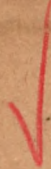


18974

B. P. im. L.

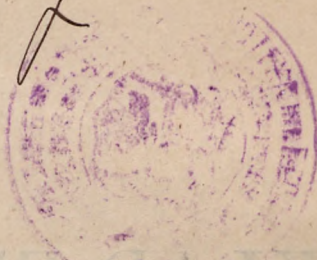


WYKŁAD FIZYKI.



1000084276

~~724~~



WYKŁAD FINYKI



821863

166185



18077.
WYDAWNICTWO CZASOPISMA „PRZYRODA I PRZEMYSŁ.”

WYKŁAD FIZYKI

OPRACOWANY NA PODSTAWIE NAJNOWSZYCH BADAŃ

przez

497
Prusa
D^{ra} Pawła Reisa.

TOM III.

FIZYKA WŁAŚCIWA.

Nauka o Ciele, Magnetyzm i Elektryczność.



WARSZAWA.

Drukiem Aleksandra Pajewskiego, ulica Niecała Nr. 12.

—
1874.



323984 / 3

53

ДОЗВОЛЕНО ЦЕНЗУРОЮ.

Варшава, 2 (14) Августа 1874 года.

ODDZIAŁ SIÓDMY.

Nauka o Ciepłe.

1. Okreslenia.

Pojęcie o ciepłe i jego istota (Melloni 1835, Mayer 1842). Pod nazwiskiem ciepła rozumiemy w życiu powszedniem siłę, obudzającą w ciełe naszym ten rodzaj wrażen, do nazywania których używamy wyrazów: ciepło, gorąco, chłodno, zimno, letnio i t. d. Mówimy, że dane ciało jest gorącym, kiedy oddaje nam bardzo wiele lub wiele swojego ciepła; letniem—kiedy wcale nie odbieramy od niego ciepła, chłodnem lub zimnem — kiedy ciało to odbiera nam nasze własne ciepło. Ten ostatni przypadek wtedy ma miejsce, kiedy jesteśmy cieplejsi, niż ciało; pierwszy — kiedy ciało cieplejsze jest od nas. Aby odebrać wrażenie ciepła od ciała gorącego lub ciepłego, niekoniecznie potrzeba go się dotykać bezpośrednio; możemy uczuć jego ciepło już w pewnej odległości, chociażby nawet pomiędzy ciałem i nami znajdowała się zupełna próżnia. Ciepło, które uczuwamy przy dotknięciu, możemy i wtedy jeszcze otrzymać, kiedy dotykamy się ciała ciepłego nie wprost naszym ciałem, ale za pośrednictwem innego ciała; w tym jednak razie odbieramy wrażenie ciepła dopiero wówczas, kiedy to drugie ciało samo się rozgrzeje, na co dłuższego czasu potrzeba; ten rodzaj ciepła rozchodzącego się powoli od jednego ciała do drugiego, czyli ciepła przewodzanego przez ciała, nazywamy ciepłem cielesnem. Przeciwnie to ciepło, które uczuwamy już za samem zbliżeniem się do ciała ciepłego, rozchodzi się z błyskawiczną prędkością przez próżnię i przez wiele ciał; tak np. gdy słońce wynurza się z po za chmury, człowiek stojący w pokoju przy oknie uczuwa natychmiast ciepło słoneczne, które z niezmierną szybkością przebiegło przestrzeń oddzielającą go od chmury. Ten drugi rodzaj ciepła, przechodząc przez próżnię i przez ciała, nie rozgrzewa ich wcale i nazywa się *ciepłem promienistem*. Ciepło pro-

mieniste jest albo połączone ze światłem, tak, że jeden i tenże sam promień sprawia na nas wrażenie światła i ciepła, i wtedy zowie się *cieplem świecącym* albo *widzialnem*, albo jest zupełnie odłączone od światła, i wtedy *cieplem ciemnem* albo *niewidzialnem* się zowie.

Ciepło promieniste powstaje z poprzecznych drgań eteru; ciepło cielesne—z cząsteczkowego ruchu ciał.

Że ciepło promieniste powstaje z poprzecznych drgań eteru, że zatem jest identyczne ze światłem, wywnioskował to Melloni z zupełnie jednakowego zachowywania się ciepła promienistego i światła. Ciepło promieniste w środku równozwrotnym rozchodzi się we wszystkie strony podług linii prostych, które zowiemy promieniami ciepła, a rozchodzenie się jego odbywa się, tak w próżni jak i w powietrzu, z tą samą co i przy świetle prędkością. Promienie ciepła od gładkich powierzchni odbijają się podług praw odbicia światła, a na matowych ulegają rozproszeniu; załamanie promieni ciepła odbywa się podług praw załamania światła. Promienie różniące się od siebie liczbą drgań są przez rozmaite ciała w niejednakowy sposób przepuszczane, pochłaniane i rozpraszane, tak, że kolorom światła odpowiadają barwy ciepła. Promienie ciepła przedstawiają, podobnie jak promienie światła, zjawiska interferencji, podwójnego załamania, polaryzacji, a nawet (podług Knoblauch'a 1865) polaryzacji kołowej. Nie można zatem wątpić o tożsamości światła i ciepła promienistego. Różnica ich polega jedynie na różnicy w liczbie drgań: promienie ciemnego ciepła, przynajmniej słonecznego, zawarte są w granicach od 60 do 400 bilionów (w 1 sekundzie), promienie ciepła widzialnego i światła dochodzą do 800 bilionów drgań.

387. Ciepło cielesne powstaje z ruchów cząsteczek składających ciała, a nie jest, jak dawniej mniemano, szczególną materją, nadzwyczaj rzadką, nieważką, przenikającą wszystkie ciała i utworzoną z cząstek odpychających się nawzajem, którą nazywano *cieplikiem*. Twierdzenie to polega na następujących zasadach:

1. *Przechodzenie ciepła promienistego w cielesne i cielesnego w promieniste.* Gdy na ciało padają promienie ciepła, temperatura jego się podwyższa, to jest wzbudza się w niem ciepło cielesne; odwrotnie, każde ciało wysyła ustawicznie na wszystkie strony promienie ciepła. Otóż niemożliwą jest rzeczą, aby materia przemieniała się w ruch, a ruch w materję; to, co powstaje z ruchu, samo musi być ruchem, i odwrotnie, to, co ruch wzbudza, także ruchem być musi; tego nie tylko wymaga zasada stateczności siły, ale i codzienne doświadczenie dowodzi. Że zaś ciepło promieniste niewątpliwie jest ruchem, przeto i ciepło cielesne, które z niego powstaje i naodwrot w ciepło promieniste się przeobraża, koniecznie ruchem być musi.

2. *Wzbudzanie nieograniczonej ilości ciepła z ograniczonej ilości materji za pomocą ruchu.* Rumford (1798) umieścił pionowo rurę działową w skrzynce napełnionej wodą, tak że rurę tę można było za pomocą kołowrotu, obracanego przez konie, wprowadzić w ruch na około osi pionowej; wewnątrz rury znajdowało się tępe dłuto stalowe, mocno do jej dna przyciskane. Przy szybkim obrocie rury woda zagotowała się wkrótce i wrzała, dopóki trwał obrót, chociaż ciepło nie przybywało w tym razie od zewnątrz. Doświadczenie to możnaby prowadzić przez całe lata, dolewając od czasu do czasu świeżej wody na miejsce wyparowanej, i tym sposobem wydobywać nieograniczoną ilość ciepła z ograniczonej masy rury i dłuta. Zjawisko to byłoby niemożliwym, gdyby ciepło było materją, bo ograniczona ilość materji nie mogłaby wytworzyć nieograniczonej ilości materji. Przy powyższem doświadczeniu dostarczamy ustawicznie przyrządowi podczas ruchu pewnej ilości siły żywej, w miejsce której ciągle wydobywa się ciepło; ruch więc przeobraża się w ciepło, a zatem i ciepło ruchem być musi.

3. *Równoważność ciepła i pracy.* Jednostka ciepła czyli ciepłostka jest to ilość ciepła, potrzebna do podwyższenia temperatury 1 kilograma wody o 1° . Równoważnik mechaniczny ciepłostki jest 424 KM; to znaczy, że gdy ciepłostka przeobraża się w pracę, wtedy zawsze powstają 424 KM, i odwrotnie, gdy 1 KM przeobraża się w ciepło, wtedy powstaje zawsze $\frac{1}{424}$ ciepłostki. Skoro praca i ciepło zawsze tak prawidłowo przeobrażają się w siebie nawzajem, że przy wszelkich okolicznościach względne ich ilości pozostają zawsze też same, to praca i ciepło muszą i wewnątrznie w samej swojej istocie być jednym i tem samym; że zaś praca jest ruchem, więc i ciepło ruchem być musi. Równoważnik mechaniczny ciepła był już przez Rumforda obliczony na podstawie opisanego wyżej doświadczenia, ale nie dość dokładnie. Mayer powtórzył (1842) obliczenia Rumforda, biorąc pod uwagę tę okoliczność, że do ogrzania powietrza znajdującego się pod ciśnieniem atmosfery, które zatem to ciśnienie musi pokonywać, potrzeba 1,42 razy więcej ciepła, niż do ogrzania powietrza zamkniętego w naczyniu, mającem objętość niezmienną. Najwięcej doświadczeń i obliczeń dla oznaczenia równoważnika mechanicznego ciepła dokonał Joule (1843—1850). Joule ścisłał wodę za pomocą rurek włoskowatych i oznaczał ilość ciepła wzbudzoną w tym razie przez tarcie; umieszczał wewnątrz odważonej ilości wody zbiornik metalowy, w którym, za pomocą pompki zgęszczającej, ścisłał powietrze aż do 22 atmosfer i wymierzał przyrost temperatury sprawiony przez zgęszczenie powietrza. Przy innem doświadczeniu, w skrzyni napełnionej wiadomą ilością wody lub rtęci umieścił koło z łopatkami, mogące się obracać na około osi pionowej; na tej osi były okręcone dwa sznurki, jeden od prawej stro-

ny na lewo, drugi od lewej na prawo, które następnie przechodziły przez bloki, obracające się prawie bez tarcia, a zatem zawieszono tak, jak blok w maszynie Atwooda. Na końcach sznurków wisały ciężary, które spadając, wprawiały w ruch obrotowy oś i osadzone na niej koło, przyczem łopatki koła, poruszając się wewnątrz cieczy, wywoływały znaczne tarcie, skutkiem którego ciecz rozgrzewała się w skrzynce. Mógł zatem Joule obliczyć z jednej strony ilość pracy zużytkowanej na pokonanie tarcia, która to praca powstawała przy spadaniu ciężarów i wymierzoną być mogła, z drugiej — ilość ciepła wzbudzoną wśród cieczy i tym sposobem wyznaczyć stosunek pomiędzy pracą a ciepłem. Używał także do tego celu tarcia ciał stałych: na wale pionowym w miejsce łopatek osadził ostrokąg z lanego żelaza, który mógł się obracać w odpowiednio wyżłobionym ostrokągu próżnym, przytwierdzonym do podstawy skrzynki napełnionej rtęcią; przy obrocie, skutkiem tarcia się ostrokągów powstawało ciepło, którego ilość z podwyższenia się temperatury rtęci obliczoną być mogła. Wszystkie te różnorodne doświadczenia i poszukiwania dały jednakowy wypadek. Następne próby dawały zawsze tę samą wartość dla równoważnika ciepła, i taką samą wyprowadzili na podstawie poglądów teoretycznych, więc nie z doświadczeń, ale z rachunku, Redtenbacher, Clausius, Person i inni. Hirn znalazł też samą wartość (1865) z doświadczeń nad uderzaniem się ciał: zawieszono na sznurkach wahadło żelazne, wyprowadzone z położenia równowagi, spadając, uderzało w wiszące wahadło drewniane, które przenosiło uderzenie na próżny walec ołowiany; ten ostatni rozgrzewał się, a ilość wzbudzonego w nim ciepła można było obliczyć, napełniając go natychmiast po uderzeniu wodą i oznaczając podwyższenie jej temperatury. I odwrotne doświadczenia, mające na celu obliczenie ilości pracy równoważnej jednej ciepłostce, doprowadziły do takiego samego jak poprzednie wypadku. Hirn (1858) obliczył ilość ciepła zawartą w parze, działającej na tłok maszyny parowej o sile stu koni; po wywarceniu działania, para skraplała się, i obliczano ilość ciepła pozostałą w tej wodzie ze skroplenia pary powstałej, przyczem okazało się, że ilość ta była mniejszą, niż w parze, że zatem różnica obu tych ilości została spotrzebowaną w maszynie, t. j. przeobraziła się w pracę, której ilość, wyznaczona za pomocą dynamometru Prony'ego, przekonała, że zamiast każdej znikłej ciepłostki powstały 424 KM pracy.

4. *Jeżeli przy jakim zjawisku nie wytwarza się lub nie zużywa praca, wtedy również i ciepło w pierwszym razie nie zużywa się, w drugim zaś nie wytwarza.* Joule (1845) zagaścił w zbiorniku powietrze do 22 atmosfer; następnie, połączony go rurką z drugim zbiornikiem, w którym poprzednio zrobił próżnię, otworzył kran i wypuścił zgęszczone powietrze do drugiego zbiornika. Powie-

trze, rozchodząc się swobodnie, nie spotykało żadnego oporu, któryby potrzebowało pokonać, bo w drugim zbiorniku była próżnia; nie pochłaniało więc wcale, ani wytwarzało pracy,—dla tego też nie było przy tem zjawisku ani wytwarzania, ani zużywania ciepła, i temperatura powietrza w zbiornikach ani podwyższeniu, ani niżeniu nie ulegała. Gdyby ciepło było materją, to przy powyższem doświadczeniu gęstość tej materji czyli temperatura musiałaby się zmniejszyć. Ponieważ to nie ma miejsca, więc i ta próba przemawia przeciwko uważaniu ciepła za materję, a świadczy o tożsamości ciepła i pracy.

Wyłożony powyżej pogląd na istotę ciepła, wraz z faktami, które stanowią jego podstawę, i ze skutkami, jakie ztąd wypływają, nazywa się *teoryą mechaniczną ciepła*.

Rodzaj ruchu nazywanego ciepłem (Clausius 1857). Według tego, co się wyżej powiedziało, niewątpliwą jest rzeczą, że ciepło jest ruchem cząsteczkowym. Natężenie ciepła czyli temperatura zależy od bystrości ruchu, t. j. od siły żywej cząsteczek. Temperatura bezwzględna, t. j. liczona od punktu, przy którym ciało wcale nie posiada ciepła, czyli przy którym jego cząsteczki znajdują się w spoczynku i w bezpośrednim ze sobą zetknięciu, jest proporcjonalna do siły żywej cząsteczek. Taki stan ciała, przy którym jego cząsteczki żadnego nie mają ruchu i bezpośrednio stykają się ze sobą, zowie się bezwzględnem zerem temperatury, albo punktem bezwzględnego zima; punkt ten leży, jak zobaczymy później, na 273 stopnie poniżej zera termometru Celsyusza. Ilość ciepła, znajdująca się w ciele przy jakiegokolwiek temperaturze, składa się z dwóch części: 1-o) z sumy sił żywych wszystkich jego cząsteczek, 2-o) z pracy, wyrażonej przez równoważną ilość ciepła, która była potrzebną, aby rozmieścić atomy w takich pomiędzy sobą odległościach, w jakich się przy tej temperaturze znajdują, aby więc skutkiem przewyciężenia przyciągania międzycząsteczkowego nadać ciału jego obecne rozsuniecie (dysgregacyę). Pierwsza ilość ciepła zowie się *ciepłozbiorem*, a druga *pracozbiorem ciała*; suma zaś obu nazywa się *dzielnoscią*. Co się tyczy samej natury ruchu cieplnego w rozmaitych ciałach, badacze różnią się dotąd w swoich zdaniach, wszakże pogląd Clausiusa nabywa coraz większego i powszechniejszego uznania. Według niego, cząsteczki ciał stałych odbywają ruch drgający czyli wahają się na obie strony swojego położenia równowagi stałej; cząsteczki ciał ciekłych odbywają tak mocne wahańia, że dana cząsteczka jest w każdej chwili gotowa, skutkiem np. uderzenia cząstek sąsiednich, położenie swojej równowagi opuścić i stanąć przy innych cząsteczkach w takim samym położeniu równowagi niestałej; nakoniec cząsteczki ciał lotnych odbywają ruch postępowy po liniach prostych, dopóki nie spotkają innej cząsteczki, albo ściany nieruchomej, od której odbite, pe-

dzą znowu po liniach prostych, ale już w innym kierunku. W ciałach stałych cząsteczki znajdują się najbliżej siebie; ztąd ich przyciąganie wzajemne jest bardzo mocne i znajduje się w stałej równowadze z ich siłą żywą; w cieczach cząsteczki są bardziej rozsunięte, przyciąganie jest mniejsze, a równowaga jego z siłą żywą cząsteczek łatwo zmienna i niestała; w ciałach lotnych nareszcie cząsteczki są bardzo oddalone od siebie, wzajemne ich przyciąganie jest skutkiem tego prawie żadne,—siła więc żywa cząsteczek, biorąc zupełną przewagę nad przyciąganiem, zamiast ruchu drgającego, sprawia ruch postępowy.

Na podstawie tej hipotezy wyprowadziliśmy w poprzedzających działach, bardzo prostym sposobem, zasadnicze własności ciał ciekłych i lotnych; również prostym sposobem dają się z niej wyprowadzić zjawiska ciepła, przez co hipoteza bardzo na prawdopodobieństwie zyskuje. Oprócz jednak poglądu Clausiusa są i inne przypuszczenia. Redtenbacher sądzi, że ciepło powstaje z drgań atomów eteru, rozchodzących się w kierunku promieni; Davy i Rankine uważają je za ruch obrotowy cząsteczek ciał; Wiener mniema, że jest ruchem drgającym atomów ciał i atomów eteru, i t. d. Ale i w samej nawet teorii Clausiusa rodzaj ruchu cząsteczek nie jest tak prostym, jak go powyżej dla poczynających przedstawiliśmy. Bo najprzód co się tyczy ciał stałych, to ich cząsteczki mogą podług Clausiusa oprócz wahań odbywać jeszcze ruch obrotowy na około swoich osi, a nadto atomy składające cząsteczkę mogą w jej wnętrzu odbywać ruchy najrozmaitsze; w cieczach mogą istnieć też same ruchy atomów stanowiących cząsteczkę współcześnie z ruchem drgającym, toczącym się i postępowym samych cząsteczek; nareszcie co do gazów, Clausius znalazł rachunkiem, że siła żywa ich ruchu postępującego wynosi tylko 63% całkowitego ich ciepłozbioru, że zatem reszty tego ciepłozbioru należy szukać w sile żywej atomów składających cząsteczkę, a może nawet w sile żywej eteru. Clausius obliczył prędkość ruchu postępowego dla cząsteczek wodoru przy 0°, która podług niego wynosi 1844^m; ztąd łatwo oznaczyć prędkość cząsteczkową innych gazów na tej zasadzie, że iloczyn mc^2 (siła żywa) dla wszystkich gazów przy jednakowej temperaturze jednakowym być musi. Obliczona tym sposobem prędkość tlenu wynosi 461^m, azotu 492^m. Wszakże nie wszystkie cząsteczki gazów tak wielkie drogi przebiegają, ale zaledwie 37% całej ich ilości, inne bowiem cząsteczki, wpadając w sferę działania siły odpychającej innych atomów, są przez te ostatnie odrzucone napowrót. Podług Maxwella średnia długość drogi cząsteczki powietrza wynosi tylko 0,00017^{mm}, zkąd Loschmidt oblicza średnicę cząsteczki powietrza na 0,00000118^{mm}.

2. Powstawanie ciepła, czyli źródła ciepła.

389. 1. Ciepło przez pracę (Joule 1843—1850). Praca znikając, jako praca, przeobraża się w ciepło; przeobrażenie to polega na tem, że ruch ciała przechodzi w ruch jego cząsteczek. Dzieje się to pospolicie w ten sposób, że ruch ciała zostaje przez inne ciało powstrzymany bądź całkowicie, bądź czę-

ściowo, albo dla tego, że to drugie ciało nie może się, jako jedna całość, poruszać, albo, że samo posiada ruch w przeciwnym kierunku, albo nakoniec, że za mało jest czasu, aby ruch mógł się wszystkim jego cząsteczkom udzielić.— W każdym z tych przypadków cząsteczki uderzone zaczynają biedz naprzód, następnie skutkiem oporu dalszych cząsteczek odrzucone zostają w tył, potem znowu naprzód popchnięte i tym sposobem zostają wprawione w ruch drgający. Przemiana pracy w ciepło odbywa się zawsze wedle prawa równoważności, t. j. za każdy znikły KM pracy powstaje $\frac{1}{424}$ ciepłotki, która to ilość ciepła, stanowiąca cieplny równoważnik pracy, oznacza się przez A. Tym sposobem praca niknie jako taka przy tarcie, uderzaniu, ściskaniu, jak również przy każdym zmniejszaniu się rozsunięcia i wskutek powstrzymywania ruchu.

Że ciepło można wzbudzać przez pracę, o tem wiedziano oddawna (T. I, str. 10). Davy, trąc o siebie dwa kawałki lodu, doprowadzał je dotopnienia (1812). Mayer przez wstrząsanie wody (1842) podwyższał jej temperaturę z 12° do 13° .— Tyndall robił w tym przedmiocie wiele doświadczeń (1862), które są ciekawe z tego powodu, że uwidoczniają powstawanie ciepła z bardzo małej pracy i odwrotnie; do tych doświadczeń używał on najczulszego ze znanych termometrów, t. j. termomultiplikatora. Za zbliżeniem do stosu termoelektrycznego zimnego kawałka drzewa, igła magnesowa odchyliła się w jedną stronę, lecz natychmiast zwracała się w stronę przeciwną, gdy Tyndall poruszał z lekkim tarcie kawałek drzewa, dotykając nim stosu. Podobne zjawisko miało miejsce, gdy dotykał się stosu najprzód kawałkiem mosiądzu, a następnie tymże kawałkiem, potartym z lekka o zimne drewno, jak również brzytwą przed i po naostrzeniu, kawałkiem drzewa jodłowego przed i po mocnem ściśnięciu, kulą ołowianą przed i po uderzeniu jej młotem, rtęcią przed i po kilkakrotnem przelaniu jej z jednej szklanki do drugiej. Kierując prąd powietrza, wydymanego za pomocą mieszka, na ściankę stosu, Tyndall zauważył rozgrzanie; gdy zaś zagęszczone powietrze samo wypytywało swobodnie na stos, przyrząd okazywał oziębienie. Tu bowiem w pierwszym razie praca wykonana w celu ściśnięcia powietrze w mieszku, przeobrażała się w ciepło i ogrzewała powietrze, w drugim — powietrze wychodzące ze zbiornika samo musi przewycięzać ciśnienie atmosferyczne, wykonywa więc pracę, na którą część jego ciepła zużywać się musi. Toż samo ma miejsce przed i po otwieraniu lewarka. Gdyby termomultiplikator znajdował się w zbiorniku wypróżnionym z powietrza, i gdyby do tego zbiornika wchodziło swobodnie powietrze z innego naczynia, w takim razie odchylenie igły wcale nie miałyby miejsca, bo w tym razie praca ani się zużywa, ani wytwarza. Kula działowa rozgrzewa się, biegnąc przez powietrze. Krzesiwo powietrzne jest to mocny walec szklany, opatrzony szczelnie przystającym tłokiem, do którego przyczepia się od spodu kawałek hubki albo waty; gdy silnem uderzeniem ręki wepchniemy gwałtownie tłok w walec, powietrze rozgrzeje się do tego stopnia, że się hubka zapali. Światło meteorów (kul ognistych) i gwiazd spadających tłómaczą rozgrzaniem ich skutkiem tarcia o powietrze i zagęszczenia przed nimi powietrza. Przeciwnie, następuje oziębienie, gdy przez wypompowywanie rozrzedzamy powietrze w naczyniu, bo w tym razie to ostatnie wydobywając się, przewycięża ciśnienie powietrza zewnętrznego, wykonywa więc pracę, a zatem zużywa ciepło.

Okazuje się to najwyraźniej, gdy oprzemy termomultiplikator o ściankę metalowego zbiornika, z którego powietrze wyciągamy za pomocą pompki powietrznej: ilekroć powietrze wychodzi ze zbiornika, igła odchyła się mocno, ilekroć powietrze wpływa napowrót do zbiornika, igła porusza się w stronę przeciwną.

Dzwon maszyny pneumatycznej przy wyciąganiu powietrza zostaje zamgłonym, bo skutkiem oziębienia para wodna, znajdująca się pod dzwonem, zaczyna się skraplać i tworzy mgłę, która znika natychmiast, gdy wpuszczając będziemy pod dzwon powietrze zewnętrzne, a to dla tego, że wtedy ciśnienie atmosfery wpędzające powietrze pod dzwon wykonywa pracę, która, przy zatrzymaniu się wpędzonej masy wewnątrz dzwonu, nie jako praca, jako ruch całej masy, i przeobraża się w ciepło. Gdy z bardzo silnego miecha bębnowego, poruszanego siłą wody, wypuszczamy powietrze dopiero po bardzo silnem ściśnięciu, wtedy zawarta w niem para zamienia się już nie na wodę, ale na śnieg, który z otworu rury miecha pada na ziemię, a w rurze osiadają kawałki lodu. Bardzo ciekawe zjawiska okazuje tworzenie się ciepła przez szczególny rodzaj tarcia, jakiego ciała będące w ruchu doznają w pobliżu silnych magnesów. Moneta srebrna, zawieszona na nitce pomiędzy biegunami mocnego elektromagnesu mającego postać podkowy, skoro tylko strumień elektryczny zaczyna obiegać, utracą natychmiast swoją ruchliwość, i jeżeli wtedy przemocą będziemy ją obracać, staje się ciepłą. Gdy w tych samych warunkach umieścimy rurę metalową, wypełnioną wewnątrz jakim łatwo topliwym metalem, ten ostatni przy szybkim obrocie rury topnieje. Foucault wprawiawszy w bardzo szybki ruch obrotowy pomiędzy biegunami magnesu tabliczkę miedzianą, doprowadził ją do bardzo wysokiej temperatury. Gdy kula ołowiana spada na płytę żelazną, rozgrzewają się obie, a podwyższenie ich temperatury można wymierzyć za pomocą termomultiplikatora; upuszczając kulę z różnych wysokości, można okazać, że ilość wzbudzonego ciepła jest proporcjonalną do wysokości, a zatem i do kwadratów z prędkości nabytych w końcu spadania (wysokości spadków mają się bowiem do siebie, jak kwadraty z nabytych prędkości), co zupełnie jest zgodnem z teoretycznem określeniem ilości ciepła. Z wiadomej wysokości spadku i wiadomego ciężaru ciała spadającego, można oznaczyć ilość ciepła wzbudzoną przez 1 KM, t. j. cieplny równoważnik pracy; w podobny sposób można obrachować ilość ciepła, która wytworzyłaby się przy uderzeniu się jakiej planety, np. ziemi o inne ciało niebieskie, lub przy nagłem powstrzymaniu się jej w biegu. Mayer znalazł, że ilość ciepła, wytworzona przy nagłem zatrzymaniu się ziemi, wystarczałaby do całkowitego zamienienia jej w parę, przy spadnięciu zaś ziemi na słońce powstałoby tyle ciepła, co przez spalenie 5600 kul takiej objętości jak ziemia, utworzonych ze stałego węgla. Jak powstaje ciepło przez zmniejszenie rozsunęcia, spowodowane uderzeniem albo ciśnieniem zewnętrznem, tak podobnie wytwarza się przez każde inne zmniejszenie rozsunęcia, t. j. przez większe zbliżenie cząstek, a naodwrot, przez powiększenie rozsunęcia powstaje zimno. Tu należy łączyć się chemiczne, przy którym cząsteczki rozłączone poprzednio przychodzą do ścisłego zetknięcia, jak również przemiana ciał lotnych na ciekłe albo stałe, przemiana cieczy na ciała stałe, o których to zjawiskach później szczegółowo mówić będziemy. Do ciepła wzbudzonego przez pracę należy odnieść także ciepło iskry elektrycznej i prądu elektrycznego, ponieważ

elektryczność, zmuszona przezwyćieżać opór przewodników, zostaje osłabioną, a nikaąca jej siła przeobraża się w ciepło.

2. Ciepło słoneczne (Pouillet 1838, Helmholtz 1854). Głównem źródłem ciepła dla ziemi jest słońce. Pouillet, za pomocą wynalezione go przez siebie pyrhelijometru, obliczył, że 1 centymetr □ powierzchni ziemskiej otrzymuje w ciągu roku od słońca $\frac{1}{4}$ miliona ciepłostek, zkaąd roczne promieniowanie słońca obliczono na 3000 kwintylionów ciepłostek. Ta niezmierna ilość ciepła rozsyłana corocznie przez słońce w przestrzeń wszechświata, wystarczyłaby do roztopienia warstwy lodu, grubej na 36^m, i otaczającej całą kulę słoneczną, w odległości równej odległości ziemi od słońca.— Jakim sposobem ta niezmierna ilość ciepła utworzyła się i utrzymuje się, to uczeni tłómaczą za pomocą rozmaitych przypuszczeń, które wszystkie są dosyć prawdopodobne. Podług Mayera ciepło słoneczne utrzymuje się wskutek spadania na słońce mnóstwa meteorytów; podług Helmholtza ciepło to powstało skutkiem powolnego ściągnięcia się materyi, która obecnie stanowi kulę słoneczną, a niegdyś, jako pierwotna mgławica (nebuloza), zajmowała nieporównanie większą przestrzeń, utrzymuje się zaś to ciepło przez dalsze ściągnięcie się materyi słońca. Gwałtowne zgęszczenie się pierwotnej mgławicy do dzisiejszej objętości słońca podniosłoby jego temperaturę do 28 milionów stopni, a zmniejszenie objętości dzisiejszej bryły słonecznej o $\frac{1}{400000}$ jużby wystarczyło do zapewnienia słońcu zapasu ciepła na pokrycie takiego jak dziś rozchodu przez 2000 lat. Dawniej mniemano poprostu, że słońce jest ciałem rozżarzonem, które posiada niewyczerpany zapas ciepła, zapas tak wielki, że od czasów historycznych żadnego nie dostrzeżono w nim zmniejszenia. Taka hipoteza jednakże nie wytrzymuje rozbioru, bo gdyby nawet słońce składało się z czystego wodoru, który posiada największe ciepło właściwe, jakie znamy, i gdyby materya jego była doskonałym przewodnikiem ciepła, to i w tym razie musiałoby ono w ciągu 5000 lat oziębic się o 3000°. I na to nie można przystać, żeby słońce miało być ogniskiem gorejących materyj; gdyby bowiem składało się np. z gorejącego węgla kamiennego, to już po upływie pięciu wieków musiałoby zagaśnąć. Musi zatem ciepło słoneczne, a nawet i samo słońce niejako odnawiać się i ustawicznie odradzać.

Pirhelijometr Pouilleta jest to płaskie naczynie walcowe, mające 1^{dm} średnicy a 15^{mm} wysokości, którego przednia ściana czyli dno pokryte jest sadzą i obrócone ku słońcu, a inne ściany posrebrzone i wypolerowane; naczynie to napełnione jest odważoną ilością wody destylowanej i od tylnej strony zamknięte korkiem, przez który przechodzi termometr wskazujący temperaturę tej wody.—

Przyrząd osadzony jest na osi, która się porusza swobodnie, tak że można ustawić górną poczernioną ściankę prostopadle do kierunku padających promieni, co się po tem poznaje, że wtedy cień przez nią rzucony na tabliczkę równoległą do owej ścianki poczernionej, równy jest zupełnie owej ściance sadzą pokrytej. Prócz tego naczynie samo może się obracać około osi, przez co cała masa wody się wstrząsa, dokładnie mięsza i wszędzie posiada jednakową temperaturę. Z podniesienia się termometru po upływie określonego czasu można wyrachować ilość ciepła pochłoniętą w ciągu tego czasu przez wodę; otrzymany jednak wypadek potrzeba jeszcze poprawić przez rachunek, oparty na danych dostarczonych przez doświadczenie i teorię, z powodu, 1-o) że sadza nie pochłania doskonale padającego na nią ciepła, ale pewną część jego odbija, — i 2-o) że atmosfera pochłania część promieni idących od słońca do przyrządu.

391. **3. Ciepło przez gorzenie** (Lavoisier 1781, Tyndall 1863). Z pomiedzy ziemskich źródeł ciepła najważniejszym jest palenie się ciał, a szczególniej właściwe gorzenie, t. j. łączenie się chemiczne z tlenem. Jak przy rozkładzie chemicznym, t. j. przy rozłączaniu zbliżonych do siebie cząsteczek, przewycięża się wzajemne ich przyciąganie, a zatem wykonywa się pewna praca i zużywa się równoważna tej pracy ilość ciepła, tak znowu przy łączeniu się chemicznem ciał ginie praca i przeobraża się w ciepło. Gdy bowiem dwa ciała łączą się z sobą skutkiem przyciągania chemicznego, wtedy cząsteczki ich biegną ku sobie z prędkością wciąż rosnącą, dopóki atomy nie uderzą o siebie; wtedy ów ruch postępowy biegnących mas nagle ustaje i przeobraża się skutkiem uderzenia w ruch drgający, toczący się lub postępowy cząsteczek i ich atomów. Tyndall przyrównywa działanie atomów tlenu, które skutkiem swojego ruchu postępowego i przyciągania chemicznego uderzają o rozżarzony węgiel, do działania meteorytów spadających na słońce. Pierwszy Lavoisier oznaczył ilość ciepła wytworzoną podczas gorzenia rozmaitych ciał palnych; znalazł on, że np. przy zgorzeniu 1 kil. wodoru powstaje 23400,—a 1 kil. węgla 7226 ciepłostek. Favre i Silbermann znaleźli (1853) nieco większe liczby: dla wodoru 34462, dla węgla 8000.

Lavoisier dokonywał palenia ciał w swoim kalorymetrze, t. j. w przestrzeni zewsząd otoczonej lodem, i obrachowywał wytworzoną przez gorzenie ilość ciepła z ilości roztopionego lodu. Na podstawie otrzymanych przez niego wypadków Welter wynioskował, że przy zużywaniu jednakowych ilości tlenu powstają zawsze jednakowe ilości ciepła, bez względu na to, jakie ciało z tlenem się łączy. Twierdzenie to, z nową teorią ciepła niedające się pogodzić, upadło jeszcze przed jej powstaniem, na skutek dokładniejszych doświadczeń Dulonga za pomocą kalorymetru wodnego. Favre i Silbermann palili ciała w naczyniu z blachy miedzianej połączonej, opatrzonem trzema rurami, z których jedna wprowadzała do naczynia tlen, druga odprowadzała gazy powstające przy gorzeniu, trzecia zaś, szersza, ze szklanną pokrywką i ze zwierciadłem, służyła do przypatrywania się zjawisku od zewnątrz. Naczynie to było umieszczone wewnątrz kalorymetru wodnego z blachy srebrnej, opatrzonego w termometry i wstawionego

w naczynie wywatowane puchem łabędzim, który i pokrywkę naczynia osłaniał; to zaś ostatnie naczynie było wstawione w jeszcze obszerniejsze naczynie napełnione wodą. W takim przyrządzie ani ciepło wytworzone podczas gorzenia nie mogło się przedostawać na zewnątrz, ani ciepło zewnętrzne nie mogło przestrzeżeni wewnętrznej dosięgać, i dla tego doświadczenia mogły i musiały dać bardzo dokładne wypadki. Na zasadzie tych wypadków okazało się, że allotropowe odmiany ciał i związki izomeryczne i polimeryczne wytwarzają przy gorzeniu różne ilości ciepła, jakkolwiek mają jeden i tenże sam skład chemiczny. Zasada ta zgodna jest z nowszą teorią ciepła; odmiany allotropowe mają bowiem inne rozmieszczenie atomów, a zatem inne rozsuniecie, ale produkty spalania są dla wszystkich odmian jedne i te same; zaczem idzie niejednakowe dla rozmaitych odmian zmniejszenie rozsunięcia, a więc niejednakowa ilość wytworzonego ciepła. Podobnież dokładne doświadczenia obaliły inne twierdzenie niewłaściwie wyprowadzone z doświadczeń Dulonga, a niezgodne z nową teorią, mianowicie, że ilość ciepła związku chemicznego równa się sumie ilości ciepła jego części składowych, i przeciwnie utrwały zgodne z tą teorią twierdzenie, że dane ciało przy gorzeniu wydaje zawsze tę samą ilość ciepła, bez względu na to, czy od razu powstaje ostateczny produkt gorzenia, czy też gorzenie, t. j. utlenianie się, odbywa się stopniowo, przechodząc przez stopnie pośrednie. Tak np. 1 kil. węgla wydaje zawsze 8000 ciepłostek, bez względu na to, czy gorejąc zamieniać się będzie od razu na kwas węglany, czy też najprzód utleni się na tlenek węgla, a następnie dopiero ten tlenek na kwas węglany się spali. I tak być powinno, bo ilość wytworzonego ciepła zależy od różnicy rozsunięcia ciała gorejącego i ostatecznego produktu spalania. Andreas badał (1848) ilość ciepła wytwarzanego przy łączeniu się ciał z chlorem; Favre i Silbermann badali ciepło powstające przy łączeniu się kwasów z zasadami. Z tych badań *) okazało się, że związek chemiczny tem więcej ciepła wydaje, im jest trwalszym, im trudniej ulega rozkładowi przez ciepło. Ztąd wypływa ważna zasada, że przy rozkładzie związków nietrwałych (t. j. związków zawikłanej budowy, a szególniej organicznych) na trwalsze, np. przy rozkładzie cukru na alkoholi i kwas węglany, musi się wytwarzać ciepło. W niektórych razach, jak np. przy tworzeniu się jodowodoru, ciepło się zużywa; w innych wytwarza się, jak np. przy rozkładzie nadtlenu wodoru na wodę i tlen, przy rozkładzie tlenku azotu i t. d. Są zatem wyjątki od ogólnego prawidła, przyczyna zaś tej pozornej nieprawidłowości polega na tem, że częstokroć oprócz zmian rozsunięcia, spowodowanych przez działanie chemiczne, i jednocześnie z temi zmianami, występują i fizyczne zmiany rozsunięcia, jako to odrywanie się lub stapianie się cząsteczek, zmiany stanu skupienia i t. p. Zresztą nie wszystko ciepło wytworzone przy danem zjawisku należy wyłącznie przypisywać sprawie chemicznego łączenia się: tak np. przy gąszeniu wapna jedna część ciepła powstaje skutkiem łączenia się wapna z wodą, druga zaś skutkiem przejścia wody ze stanu ciekłego w stan stały. I odwrotnie może się zdarzyć, że ciepło wytworzone przy połączeniu chemicznem będzie spo-

*) Thomsen na podstawie szeregu bardzo dokładnych doświadczeń (1869—1871) utrzymuje, że wypadki doświadczeń Favre'a i Silbermanna, oraz innych jego poprzedników nie są dość ściśle. *Przyp. Tłóm.* (Patrz „Przyroda i Przemysł“ t. I, str. 262, z r. 1872).

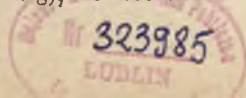
trzebowane zupełnie, lub nawet nie wystarczy na pokrycie rozchodu spowodowanego zachodzącymi jednocześnie zmianami fizycznymi, gdy np. przy połączeniu chemicznem odbywa się zarazem topnienie lub ulatnianie się, albo też odrywanie się cząsteczek.

- 392.** Znając ilość ciepła powstającą przy spaleniu 1 kil. danego ciała i ciepło właściwe produktu spalania, można obliczyć teoretycznie temperaturę gorzenia, np. temperaturę danego płomienia. Tak np. przy spaleniu 1 kil. wodoru, t. j. przy połączeniu chemicznem 1 kil. wodoru z 8 kil. tlenu dla otrzymania 9 kil. pary wodnej, powstaje podług Favra i Silbermanna 34462 ciepłostki, z kąd wypada, że przy utworzeniu tym sposobem 1 kil. pary wodnej powstaje 3829 ciepłostek. Ciepło właściwe pary wodnej, t. j. ilość ciepła potrzebna do ogrzania 1 kil. pary na 1° , wynosi, jak zobaczymy później 0,475 ciepłostki; ztąd 3829 ciepłostek, wytworzonych przy powstaniu 1° kil. pary, powinny go ogrzać na tyle stopni, ile razy 0,475 zawiera się w 3829, t. j. na 8000° . Jakkolwiek nigdy fizycy nie wierzyli, że płomień mieszaniny piorunującej posiada w samej rzeczy tak wysoką temperaturę, przecież dopiero Deville objaśnił, dla czego rzeczywista temperatura tego płomienia jest daleko niższa, niż z powyższego obliczenia wypada. Przyczyną tej niezgodności jest odkryte przez Devilla (1863) zjawisko rozprężenia czyli dysocjacji. Woda w temperaturze 3000° rozkłada się podług niego całkowicie na tlen i wodór,—więc oczywiście ani przy tej, ani tembardziej przy wyższej temperaturze składające ją gazy nie mogą się ze sobą łączyć chemicznie. Nawet przy temperaturze nieco niższej od 3000° tlen i wodór nie całkowicie, ale tylko częściowo mogą się ze sobą łączyć, bo już przy takiej temperaturze woda znajduje się w stanie częściowego rozkładu czyli w stanie tak zwanego rozprężenia. Następnie Bunsen okazał za pomocą nowych doświadczeń i opartego na nich rachunku (1867), że płomień czystego gazu piorunującego ma temperaturę 2844° , płomień mieszaniny piorunującej złożonej z wodoru i powietrza— 2024° ; płomień tlenku węgla pomieszanego z tlenem 3033° , a z powietrzem tylko 1997° ; że przy gorzeniu powyższych mieszanin tylko $\frac{1}{3}$ część gazu ulega spaleniu, a pozostałe $\frac{2}{3}$ działaniem wysokiej temperatury tracą zdolność łączenia się ze sobą. Tak np. produkt spalania czystej mieszaniny piorunującej (2 objętości wodoru na 1 objętość tlenu) składa się z 1 objętości tlenu, 2 obj. wodoru i 1 obj. pary wodnej.

- 393.** **4. Ciepło zwierzęce.** We wszystkich organach ciała ludzkiego i zwierzęcego, z wyjątkiem tylko wytworów rogowych, odbywają się ustawicznie sprawy utlenienia, a zatem zmniejszenia rozsunięcia, skutkiem czego, jak wiadomo, musi powstawać ciepło, lub praca. Tlen do utleniania potrzebny

dostaje się przez płuca do krwi, a z nią rozchodzi się po całym ciele, — produkty zaś utleniania, jako to kwas węglany i para wodna zostają wydalone na zewnątrz przez skórę, płuca i inne przyrządy wydzielające. Gdy utlenienie odbywa się w mięśniu, wtedy wytworzone ciepło przeobraża się w pracę, t. j. w ruch cząsteczek objawiający się, jako kurczenie się włókien mięśniowych; z każdego zaś innego utleniania wytwarza się bezpośrednio ciepło. Gdy ciało jest w spoczynku, wtedy wszelkie jego czynności, nawet ruchy mimowolne, przeobrażają się w ciepło; gdy zaś ciało pracuje, wtedy znaczna ilość ciepła, wzbudzonego przy utlenianiu pracujących mięśni objawia się jako praca, — niemniej przeto ogólna ilość ciepła nieprzeobrażonego w pracę jest w ciele pracującym daleko większą, niż w ciele znajdującym się w spoczynku. Pochodzi to stąd, że silniejsze utlenianie się organów pracujących udziela się i innym organom ciała, skutkiem czego ogólna ilość tlenu wchodzącego w związki chemiczne w ciele jest w tymże czasie daleko większą, a więc i daleko więcej ciepła podczas pracy powstaje przez samo utlenienie. Oprócz tego znaczna ilość pracy mięśni, przez tarcie ich o swoje omięsne (błony otaczające mięśnie), jak również przez tarcie ścięgni o ich pochwy, oraz kości o stawy przeobraża się w ciepło. Krew, obiegając po ciele, rozdziela ciepło jednostajnie po wszystkich organach, skutkiem czego ciało człowieka ma w stanie prawidłowym wszędzie jednostajną temperaturę $37,5^{\circ}$. Taką samą temperaturę ma ciało ssących i nieco wyższą mają ptaki. W gorączce ciepło w ciele człowieka wzrasta aż do 42° , a nawet 44° , w napadach zaś cholerycznych zniża się najbardziej do 35° . Już przy 42° krew przechodzi w stan stały, a przy 49° występuje stężalność mięśni działaniem ciepła sprawiona. Po śmierci wszystkie mięśnie przy tężeniu pośmiertnem ściągają się, skutkiem czego następuje przemijające podwyższenie temperatury.

Dawniej rozróżniano, idąc za poglądem Liebiga, początek siły w ciele ludzkim od powstawania w niem ciepła; Liebig utrzymywał, że ciepło powstaje przez utlenianie się wewnątrz ciała węglowodorów wchodzących w skład tłuszczów, zaś siła — skutkiem działalności chemicznej materij azotowych mięśni. Lecz doświadczenia dowiodły, że podczas działalności ciała nie zwiększa się bynajmniej wydzielanie się mocznika, który jest właśnie produktem chemicznym materij azotowych, znajdujących się w ciele (Voit); dalej, że mięsień wycięty z ciała, w którym sztucznie krew w ruch wprawiamy, więcej daleko wiązuje kwasu węglanego w stanie czynnym, niż w stanie spoczynku (Ludwig); że cały ustrój człowieka więcej wydziela kwasu węglanego podczas pracy, niż podczas spoczynku (Regnault i Reiset); że mięsień w ciele, lub wycięty z ciała, więcej pochłania tlenu podczas pracy, czego dowodzi ta okoliczność, że krew wypuszczona z żyły podczas pracy jest uboższą w tlen, niż wypuszczona podczas bezczynności mięśnia (Ludwig); że wreszcie cały ustrój więcej pochłania tlenu



podczas pracy. Na tych zasadach pogląd dawniejszy został porzuconym i dziś wytwarzanie siły ludzkiej i zwierzęcej przypisują fizycy, tak samo jak i wytwarzanie ciepła, utlenianiu się węglowodorów. Tym sposobem upada wprowadzony przez Liebiga podział pokarmów na plastyczne czyli azotowe, mające służyć do odżywiania ciała i podtrzymywania jego siły, i oddechowe czyli rozgrzewające albo bezazotowe mające służyć tylko do podtrzymywania ciepła, dostarczając ciału paliwa, które następnie z tlenem się łączy. Obecnie i pokarmy bezazotowe, któremi niedawno jeszcze nauka pogardzała, chociaż w życiu codziennym zawsze je należąycie ceniono, takie, jak ryż, ziemniaki, piwo i t. d., odzyskały należy sobie szacunek, jako materye zarówno do wytwarzania siły jak i ciepła służące.

Łatwo można dostrzedz, że i trzy ostatnie źródła ciepła, t. j. ciepło słoneczne, ciepło powstające przy gorzeniu i ciepło żywotne, mają swój początek w przemianie pracy w ciepło. I naodwrot największa liczba działań sprawianych przez ciepło polega na przeobrażeniu się ciepła w pracę. I tak, gdy powiększa się dopływ ciepła do jakiego ciała, wtedy wzrasta siła żywa cząsteczek i ich atomów, skutkiem czego cząsteczki i ich atomy bardziej się od siebie oddalają i następuje powiększenie się rozsunięcia, będące głównem działaniem ciepła. Przez powiększenie się rozsunięcia, najprzód ciała powiększają swoją objętość, t. j. rozszerzają się; prócz tego ciała stałe zamieniają się na ciecze, a ciecze na ciała lotne, t. j. odbywa się topnienie i parowanie; dalej atomy wchodzące w skład cząsteczek oddzielają się od siebie, co zwiemy rozkładem chemicznym. Wszystkie te zjawiska ciepła i wiele innych są zatem przeobrażeniem się ciepła w pracę, albo odwrotnie pracy w ciepło. I dla tego twierdzenie o równoważności ciepła i pracy jest *twierdzeniem zasadniczem* teoryi mechanicznej ciepła.

394. Dwa twierdzenia zasadnicze teoryi mechanicznej ciepła (Mayer 1843, Clausius 1850—1865). 1. *Równoważność ciepła i pracy.* Gdy praca niknie jako praca, wtedy wytwarza się ciepło, w stosunku $\frac{1}{424}$ ciepłostki za 1 kilogrametr; gdy zaś ciepło przeobraża się w pracę, wtedy zamiast 1 ciepłostki powstają 424 kilogrametry pracy. Jeżeli pracę wyrazimy za pomocą jednostek ciepła, pomnożywszy jej wielkość przez A, to jest $\frac{1}{424}$ ciepłostki, to powstały ztąd iloczyn nazywa się *ciepłopracą*. Ponieważ przy powstawaniu ciepła zużywa się ciepłopraca i ponieważ powstawanie i zużywanie są wręcz sobie przeciwne, przeto jeżeli powstające ciepło przyjmiemy za ilość dodatnią, wtedy zużyta ciepłopraca będzie ilością ujemną; że zaś podług pierwszego twierdzenia ilość zużytej przy danem zjawisku ciepłopracy równa się ilości wytworzonego ciepła, przeto można ową zasadę wyrazić inaczej w sposób następujący: *suma algebraiczna pracy i ciepłopracy w każdym procesie równa się zeru.*

Dla zupełności wykładu powtórzyliśmy jeszcze raz pierwsze twierdzenie zasadnicze teorii ciepła; twierdzenie to wypływa naturalnie z ogólniejszej zasady stateczności siły, albo lepiej dzielności, dla której to zasady Clausius podał ogólne wyrażenie: „dzielność wszechświata jest stałą.“ Pierwsze twierdzenie teorii ciepła stwierdzone zostało przez Mayera, Joule'a, Hirna i innych. Wzór jego matematyczny jest: $Q = U + A \cdot W$, gdzie Q wyraża ilość ciepła dostarczoną ciału, U przyrost dzielności, a W pracę zewnętrzną dokonaną przez ciało.

2. *Równoważność przemian.* Suma algebraiczna przemian przy odwracalnych procesach równa się zeru, przy nieodwracalnych zaś jest ilością dodatnią. Oprócz przemiany ciepłopracy w ciepło i ciepła w ciepłopracę, możemy jeszcze, jeżeli pod ciepłopracę zrozumiemy przeważnie pracę zewnętrzną wyrażoną w jednostkach ciepła, przytoczyć następujące przemiany, które należy uważać jako działanie ciepła: powiększenie i zmniejszenie rozsunięcia, podwyższenie temperatury czyli przemianę niższego stopnia ciepła w wyższy, obniżenie temperatury czyli przemianę wyższego stopnia ciepła w niższy, przejście ciepła z ciała cieplejszego w ciało zimniejsze i naodwrot przejście ciepła z ciała zimniejszego w ciało cieplejsze. Jeśli pierwszą z każdych dwóch przeciwnych przemian uważać będziemy za dodatnią, to drugą należy uważać za ujemną. Procesami odwracalnymi nazywają się takie, przy których wszystkie przemiany tak się odbywają, że przemiany odwrotne w tych samych warunkach mają miejsce.

Dowód tego twierdzenia możemy tylko podać na szczególnych przykładach. Weźmy najprostszyp przypadek, że doskonały gaz się rozszerza; to zachodzą przy tem dwie przemiany, powiększenie rozsunięcia (dodat.) i przemiana ciepła w ciepłopracę (ujemna). Te dwie przemiany są sobie równe, ich więc suma algebraiczna równa się zeru; chodzi tylko o wyznaczenie wartości dla tych przemian.— Dla ciepła zamienionego w ciepłopracę nie możemy wprost przyjąć ilości zużytego ciepła jako wartości przemiany ciepła w pracę, gdyż przy rozszerzaniu się doskonałego gazu nie potrzeba przewyżczać przyciągania cząstek (387,4). Jeśli zaś to powiększenie się rozsunięcia ma miejsce przy wyższej temperaturze, to z powodu większego ciśnienia więcej ciepła musi przejść w ciepłopracę. Zatem przy jednym i tem samym powiększeniu się rozsunięcia w dwóch wspomnianych przypadkach niejednakowa ilość ciepła przechodzi w ciepłopracę; wartość jednak przemiany tych dwóch ilości ciepła musi być ta sama, gdyż ona odpowiada wartości przemiany jednego i tego samego powiększenia rozsunięcia. Przy wyższej temperaturze ciśnienie dla tego jest większem, że siła żywa pojedynczych cząsteczek gazu czyli bezwzględna temperatura jest większą; ażeby przy tej wyższej temperaturze powiększyć rozsunięcie o tę samą ilość, należy widocznie użyć ilości ciepła czyli siły żywej, któraby do siły żywej pojedynczych cząsteczek była w tym samym stosunku, co przy niższej temperaturze; wartość zatem równoważnikowa ciepła zamienionego w ciepłopracę równać się będzie tej ilości ciepła podzielonej przez temperaturę bezwzględną czyli $= \frac{Q}{T}$. Wyrażając i powiększenie się rozsunię-

cia w ten sam sposób, to ze względu, że to powiększenie musi mieć znak przeciwny, otrzymamy, że suma algebraiczna obu tych wartości równoważnikowych jest zerem. Matematyczne wyrażenie głównego twierdzenia dla procesów odwracalnych jest $\sum \frac{Q}{T} = 0$. To samo będzie też miało miejsce dla każdego procesu, złożonego z więcej jak dwóch zmian odwracalnych.

Zresztą jest dużo procesów nieodwracalnych. Doskonały gaz może się rozszerzyć bez wykonania przy tem pracy (387,4), nie może się zaś znowu skurczyć bez zużycia przy tem pracy. Ma więc w tym przypadku miejsce powiększenie się rozsunęcia (dod.) bez równej lecz wprost przeciwnej kompensacyjnej zmiany. Zmniejszenie się zaś rozsunęcia (ujemn.) może tylko mieć miejsce, gdy się odbywa równoważna przemiana pracy w ciepło (dod.). Podobnie przy tarciu np. ma miejsce przemiana pracy w ciepło (dod.) bez odpowiadającej i kompensującej przemiany; gdy tymczasem przemiana ciepła w pracę (ujemn.), np. w machinach parowych, nie może mieć miejsca bez odpowiedniej równoważnej dodatniej przemiany, mianowicie przejścia ciepła z kotła do kondensatora lub do powietrza. Ciepło może bezpośrednio przejść z ciała cieplejszego do zimniejszego przez przewodnictwo lub promieniowanie (dodat.), gdy tymczasem ujemna przemiana, to jest przejście ciepła z ciała zimniejszego do cieplejszego, wtedy tylko jest możliwą, gdy najprzód ciepło powstanie z ciepłopracy, a następnie dopiero zostanie przeprowadzonym. Widzimy więc, że przemiany ujemne zawsze zostają zrównane przez dodatnie, dodatnie zaś nie zostają skompensowane, z czego wypada, że suma przemian w procesie nieodwracalnym musi być ilością dodatnią. Jeśli twierdzenie to zastosujemy do wszechświata, przekonamy się, że suma przemian dodatnich ciągle wzrasta i ostatecznie dosięgnie maximum, poczem żadna już przemiana nie będzie możliwą. Clausius sumę wszystkich przemian nazywa entropią, i drugie twierdzenie tak wyraża: *Entropia wszechświata dąży do maximum.*

3. Pierwsze główne działanie ciepła.

ROZSZERZANIE.

396. Warunki i przyczyna rozszerzania. Podwyższeniu temperatury ciała towarzyszy zawsze powiększenie się jego objętości czyli rozszerzenie się. Rozszerzenie polega na powiększeniu rozsunęcia spowodowanem przez zwiększenie siły żywej cząsteczek, przyczem równoważna ilość ciepła zamienia się na ciepłopracę. Jeżeli przytem przewycięża się wzajemne przyciąganie cząstek, wtedy powstaje ciepłopraca wewnętrzna; jeśli zaś ciepło pokonywa zewnętrzne ciśnienie, wtedy powstaje ciepłopraca zewnętrzna; pospolicie obiedwie te ciepłoprace dokonywają się jednocześnie. Powiększenie rozsunęcia odbywa się w na-

stępujący sposób: cząsteczki ciał lotnych skutkiem zwiększonej siły żywej silniej uderzają, a więc mocniej cisną na ciało otaczające gaz, skutkiem czego ciało to ustępuje przed niemi, usuwa się aż dotąd, dopóki działanie zwiększonej siły uderzeń nie będzie zrównoważonem przez rozrzedzenie materji ciała lotnego, w cieczech zaś i w ciałach stałych wzmacnia się ruch drgający, przez co powiększają się rozpędy cząsteczek, skutkiem czego cząsteczki uderzają o siebie i bardziej się od siebie oddalają.

Kula metalowa przechodząca z łatwością i z małym tarcieciem przez obrączkę, po rozgrzaniu, nawet uderzana młotkiem nie może się przez nią przecisnąć. Gdy na końcu cienkiej rurki szklanej wydmujemy bańkę i bańkę tę napełnimy jakimkolwiek płynem, płyn przy rozgrzewaniu bańki wznosi się w rurce. Pęcherz z szyjką mocno zawiązaną sznurkiem, położony na ciepłym piecu, rozdyma się i pęka. Gdy w opisaną powyżej rurkę szklaną z wygiętą na jednym końcu bańką, czyli w tak zwany dylatometr wprowadzimy kroplę rtęci, a następnie bańkę obejmiemy ręką, słupek rtęci w rurce wznosić się będzie do góry.

Prawa rozszerzania się ciał. 1. Rozszerzanie się jest w ogólności proporcjonalne do podwyższenia temperatury i ustaje, gdy temperatura przestaje się podwyższać. Jednakże tylko w gazach doskonałych (to jest dalekich od punktu skroplenia); jest ono dokładnie proporcjonalnem do wzrostu temperatury; w ciałach zaś stałych i ciekłych rozszerzanie się odbywa się niejednostajnie. Niejednostajność jest tem większą, im bliżej znajduje się ciało punktu zmiany swojego stanu skupienia. W ciałach stałych rozróżniamy powiększenie całkowitej objętości czyli rozszerzanie sześciennie od powiększenia pojedynczych wymiarów t. j. od rozszerzania liniowego; w cieczech i ciałach lotnych rozważa się tylko rozszerzanie sześciennie. Współczynnik rozszerzania, który gloską α oznaczamy, jest to ułamek objętości lub pojedynczego wymiaru, o który powiększa się objętość lub wymiar przy podwyższeniu temperatury ciała o 1° . Jeżeli objętość ciała przy 0° równa się 1, wtedy przy temperaturze t° i przy rozszerzaniu jednostajnem równać się będzie $1 + \alpha t$, ponieważ jednak ciała stałe i ciecze po największej części rozszerzają się niejednostajnie, przeto do nich wzór powyższy zastosować się nie daje. Dla tych ciał objętość przy $t^\circ = 1 + \Delta t + Bt^2$, gdzie A i B są to dwa różne współczynniki.— Współczynnik rozszerzania w tych dwóch stanach skupienia jest nieco większy przy wyższej, jak przy niższej temperaturze.

Ponieważ przy podwyższeniu temperatury o jeden stopień i siła żywa cząsteczek zawsze o jednakową ilość się powiększa, przeto gazy doskonałe, które przy rozszerzeniu się mają do pokonania tylko ciśnienie zewnętrzne, muszą to ciśnienie, które pozostaje zawsze sobie równem i niezmiennem, odierać przy rozgrzaniu się o 1° zawsze na jedną i tę samą odległość; gazy zatem rozszerzają się jednostajnie. Inaczej zachowują się ciecze i ciała stałe, które w tym

razie muszą pokonywać nie tylko ciśnienie zewnętrzne, ale i przyciąganie wewnętrzne, międzycząsteczkowe; przyciąganie to bowiem zmienia się wraz z odmianną odległości cząsteczek, a mianowicie, w miarę jak cząsteczki oddalają się od siebie, przyciąganie ich coraz mniejszem się staje. Skutkiem tego rozszerzanie w tym razie musi być niejednostajnem, a mianowicie przy wyższych temperaturach musi przy jednakowym wzroście temperatury (o 1°) być większem, jak przy niższych. Jednakże ta różnica wielkości współczynnika rozszerzania przy rozmaitych temperaturach jest tak nieznaczna, że potrzeba bardzo dokładnych przyrządów, aby ją można okazać doświadczalnie i z doświadczeń takich wyprowadzić ów wzór dokładniejszy $(1 + At + Bt^2)$, któryśmy wyżej podali. Dla okazania rozszerzania się prętów metalowych, umieszcza się pręt mocno w jednym końcu przyśrubowany nad korytkiem, w którym się pali spirytus; rozszerzając się pręt posuwa się w tę stronę, w której koniec jego ma ruch swobodny i popycha krótsze ramię dźwigni składanej, której ramię dłuższe stanowi skazówka mogąca się poruszać przed łukiem metalowym podzielonym na stopnie. Z ilości stopni przebieżonych przez skazówkę można obliczyć rozszerzenie się pręta. Przyrząd ten nie zaleca się dokładnością i dla tego nie może wykazać różnicy współczynników przy rozmaitych temperaturach. Gdy zagasimy płomień pod prętem, następuje oziębienie i skazówka szybko cofa się w stronę przeciwną, co dowodzi, że pręt się kurczy i zmniejsza swoją długość.

2. Ciała lotne rozszerzają się najmocniej, a mianowicie, przy powiększeniu temperatury o 100° objętość ich powiększa się w przybliżeniu o $\frac{1}{10}$; ciecze rozszerzają się słabiej, a mianowicie, przy takichże warunkach tylko w granicach między $\frac{1}{5}$ i $\frac{1}{55}$; ciała stałe — najslabiej, bo tylko w granicach między $\frac{1}{60}$ i $\frac{1}{600}$.

Powiększa różnica zachowania się ciał w różnym stanie skupienia objaśnia się tem, że ciała lotne przy rozszerzaniu pokonywają tylko ciśnienie zewnętrzne, ciecze zaś i ciała stałe oprócz niego jeszcze i przyciąganie międzycząsteczkowe, które znowu w ciałach stałych z powodu większego zbliżenia cząsteczek jest daleko silniejsze, jak w cieczech. Prawo to łatwo można stwierdzić doświadczaniem. Ponieważ dalej, ciecze i ciała stałe zawierają w tej samej objętości daleko więcej cząsteczek, niż lotne, przeto ciśnienie, które przy rozszerzaniu swoim na ciała obce wywierają, jest daleko większe, jak dla ciał lotnych. W samej rzeczy ciśnienie to jest niezmiernie wielkie, bo np., jak już mówiliśmy, kula rozgrzana i położona na obręczce, przez którą przy zwyczajnej temperaturze przechodzi z łatwością, teraz, nawet silnie uderzana młotem, nie może się przez jej otwór przecisnąć. W porównaniu z tem ogromnem ciśnieniem, ciśnienie wewnętrzne powietrza na rozszerzające się ciało jest bardzo małe, i dla tego przy rozszerzaniu ciał stałych i cieczy odbywa się głównie tylko ciepłopraca wewnętrzna.

3. Wszystkie ciała lotne rozszerzają się jednakowo, mianowicie o 0,003665 czyli $\frac{1}{273}$ swojej objętości przy 0° na każdy stopień (prawo Gay-Lussac'a), ciecze zaś i ciała stałe rozszerzają się niejednakowo; np. przy ogrzaniu od 0° do 100° (t. j. na 100 stopni) oleje rozszerzają się w przybli-

zeniu o $\frac{1}{12}$, woda o $\frac{1}{25}$, rtęć o $\frac{1}{55}$, cynk i ołów o $\frac{1}{100}$, złoto o $\frac{1}{200}$, stal o $\frac{1}{300}$, szkło o $\frac{1}{400}$.

I ta niejednostajność objaśnia się łatwo, jeżeli weźmiemy pod uwagę, że ciała lotne mają do pokonania tylko ciśnienie zewnętrzne powietrza, które dla wszystkich jest jednakowe, kiedy ciała ciekłe i stałe muszą nadto przewycięzać przyciąganie wewnętrzne, które w rozmaitych ciałach bardzo rozmaitem być może i jest rzeczywiście. Kryształy, z wyjątkiem należących do szeregu sześciennego czyli równoosiowego, mają w różnych kierunkach różną gęstość, i skutkiem tego rozszerzają się w różnych kierunkach niejednakowo. Kryształy mające dwie osi optyczne rozszerzają się we wszystkich trzech kierunkach niejednakowo; mające jedną tylko oś optyczną rozszerzają się jednakowo w dwóch kierunkach prostopadłych do osi głównej, a inaczej w kierunku tej osi, mianowicie, mniej albo więcej, niż w tamtych. Beryl np. tak mocno rozszerza się w kierunku osi głównej, że skutkiem tego w innych kierunkach następuje skurczenie. Jest i więcej takich pozornych wyjątków od prawa rozszerzania, które, jak wiadomo, wszystkim ciałom jest wspólne. Ciała organiczne i inne, zawierające wewnątrz siebie jaką ciecz, przy ogrzewaniu wysychają i przytem pozornie się kurczą; tak np. zachowuje się glina, która prócz tego prawdopodobnie ulega jeszcze i częściowemu stopieniu, przyczyniającemu się do zmniejszenia jej objętości przy silnem rozgrzaniu. Rozciągnięty kauczuk, przy rozgrzewaniu, także się kurczy, co Govi (1868) objaśnia tem, że kauczuk jest niejako rodzajem skrzeplej piany, utworzonej z niezliczonych pęcherzyków, zawierających w sobie powietrze, które to pęcherzyki podczas rezięcia wydłużają się, a następnie przy ogrzewaniu odzyskują swoją postać kulistą. Bizmut (metal) i lód kurczą się podczas topnienia, co się tem tłumaczy, że ciała te mają w stanie stałym budowę krystaliczną, przy której pomiędzy cząstkami ich znajduje się wiele niezajętych przestrzów, które zapełniają się, gdy ciało przechodzi w stan ciekły. I woda, gdy poczynając od temperatury 4° oziębamy ją stopniowo, zamiast się kurczyć, powiększa swoją objętość zapewne z tego powodu, że już od tej temperatury zaczynają jej cząsteczki uporządkowywać się i tworzyć jąderka kryształów, które w nierozwiniętym stanie stanowią lód, skutkiem czego powstają owe przestwory, właściwe budowie krystalicznej. Zupełnie niedający się wytłómaczyć wyjątek przedstawia jodek srebra, który podług Fizeau (1867), czy to w stanie doskonałego kryształu, czy tylko masy krystalicznej, czy wreszcie w stanie zupełnie bezkształtnym (amorficznym), zawsze się kurczy przy ogrzewaniu w granicach od -10° do $+70^{\circ}$, a mianowicie przecięciowo o 0,0000173, co zresztą stanowi niezmiernie małą wartość.

Współczynniki rozszerzania ciał stałych i ciekłych. Dla wymierzenia współczynników ciał stałych, Lavoisier i Laplace (1778) umieszczali pręt z tych ciał w kąpeli wodnej lub olejowej w ten sposób, że jeden koniec pręta opierał się o sztabę, stale utwierdzoną w murze, drugi zaś, mogący się swobodnie przedłużać, opierał się o jedno ramię drąga ruchomego naokoło osi; do drugiego ramienia tego drąga przymocowana była luneta. Przy ogrzewaniu kąpeli, pręt się przedłużał i popychał przed sobą jedno ramię drąga, skutkiem czego luneta przebiegała pewien łuk, którego wielkość można było oznaczyć, patrząc przez nią na skalę, umieszczoną w pewnej odległości; z wielkości tego

łuku można było wyrachować rozszerzenie pręta, a następnie współczynnik rozszerzania liniowego. Są i inne metody, nowsze i dokładniejsze, np. Fizeau (1864) i Mathiessena (1867). Fizeau kładł cienkie blaszki ciała poddanego badaniu na szklanej tabliczce, w ten sposób, że pomiędzy blaszką a szkłem pozostawał mały odstęp, zajęty przez powietrze; następnie przepuszczał przez ten prosty przyrząd jednorodne światło sodowe, przyczem tworzyły się pierścienie Newtona, naprzemian jasne i ciemne. Przy rozgrzewaniu, blaszka rozszerzała się, warstewka więc powietrza, zawarta między nią a szkłem, stawała się cieńszą, skutkiem czego owe pierścienie zmieniały swoje położenie i wzajemną pomiędzy sobą odległość; z wielkości tych zmian Fizeau obliczał całkowite rozszerzenie, a następnie współczynnik rozszerzania liniowego ciała poddane doświadczeniu. Mathiessen wymierza parcie, jakiego ciało zanurzone w wodzie doznaje od niej, następnie ogrzewa je do wiadomej temperatury, powtórnie w wodzie zanurza i znowu oznacza wielkość parcia, które w tym razie, z powodu zwiększenia objętości ciała, jest większe, niż poprzednio przy niższej temperaturze; z różnicy parcia doznawanego przez ciało przy obu temperaturach, można wyliczyć najprzód ogólne rozszerzenie, a następnie współczynnik rozszerzania liniowego. Oto wielkości współczynników rozszerzania liniowego niektórych ciał, wyrażone w częściach milionowych: Lód 64 (0,000064), (co znaczy, że każda jednostka długości lodu przy ogrzaniu o 1° przedłuży się o 0, 000064 siebie samej), kadm (metal) 32, cynk 30, ołów 28, cyna 23, srebro 20, mosiądz 19, miedź 17, złoto 15, żelazo 12, stal 11, platyna 9, szkło 8, drzewo 3. Dla spłynów (allijażów) znalazł Mathiessen, że ich współczynnik równy jest w ogólności średniej arytmetycznej współczynników metali, w skład spływu wchodzących. Bardzo znaczny współczynnik posiadają, według Fizeau, związki halodów: chlorek potasu 38, sól kuchenna 40, salmijak 63, chlorek srebra 33.

Znając współczynnik rozszerzania liniowego, łatwo obliczyć współczynnik rozszerzania sześciennego, dość jest bowiem pierwszy potroić. W samej rzeczy, wyobraźmy sobie sześcián, którego bok przy 0° równa się jednostce liniowej, a więc objętość jednostce sześcienniej, zrobiony z ciała, którego współczynnik rozszerzania liniowego jest x . Gdy sześcián ogrzejemy do 1°, bok jego będzie $= 1+x$, a objętość będzie $= (1+x)^3 = 1+3x+3x^2+x^3$. Ponieważ x jest zawsze bardzo małym ułamkiem właściwym, więc wyższe potęgi x są tak małe w porównaniu z pierwszą potęgą tej ilości, że można je opuścić, bez wyraźnego ztąd błędu; zatem objętość sześciánu przy 1° będzie $1+3x$, a samo rozszerzenie sześcienne przy rozgrzaniu jednostki objętości na 1°, czyli współczynnik sześciennego rozszerzania ciała będzie $3x$, t. j. będzie 3 razy większy od współczynnika liniowego. Jakkolwiek otrzymana tym sposobem wielkość jest tylko przybliżoną, jednakże wypadki obliczonych tym sposobem objętości zgodne są z wypadkami otrzymanymi wprost z doświadczenia.

Oznaczywszy przez L_0 długość ciała przy 0°, przez L_t długość ciała przy temperaturze t^0 , przez $L_{t'}$ długość jego przy t'^0 , przez V_0 , V_t i $V_{t'}$ objętości przy temperaturach 0°, t^0 i t'^0 , wreszcie przez α współczynnik rozszerzania liniowego, otrzymamy następujące wzory, służące do rozwiązywania wszelkich zagadnień, tyjących się zmiany długości lub objętości ciał stałych:

$$(1) L_t = L_0 (1 + \alpha t), \quad (2) L_0 = \frac{L_t}{1 + \alpha t}, \quad (3) L_t = L_t \cdot \frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t},$$

$$(4) V_t = V_0 (1 + 3\alpha t), \quad (5) V_0 = \frac{V_t}{1 + 3\alpha t}, \quad (6) V_t = V_t \cdot \frac{1 + 3\alpha t'}{1 + 3\alpha t}.$$

Wyrażenie $1 + \alpha t$ zowie się dwumianem rozszerzania liniowego, $1 + 3\alpha t$ — dwumianem rozszerzania sześciennego.

Dziwnem jest spostrzeżenie generała Baeyera (1867), że współczynniki rozszerzania prętów żelaznych i cynkowych z biegiem lat ulegają zmniejszeniu.

Współczynniki rozszerzania ciał ciekłych mogą być oznaczone za pomocą tak zwanego termometru wagowego Gay-Lussac'a. Jest to naczynie szklane z szyjką, która w jednym miejscu zwęża się bardzo mocno i tworzy rodzaj lejka. Naczynie to napełnia się cieczą aż do wierzchu lejka, następnie, przez pograżenie w topniejącym śniegu, oziębia się je do 0^0 i wtedy wyciąga się ciecz znajdującą się w lejku po nad zwężeniem. Następnie ogrzewa się naczynie do wiadomej temperatury t^0 , przyczem część cieczy skutkiem rozszerzenia do lejka przechodzi, i tę ciecz znowu się z lejka usuwa. Znając ciężar cieczy przy 0^0 i przy temperaturze t^0 , można obliczyć całkowite rozszerzenie cieczy przy ogrzaniu jej od 0 do t^0 , a następnie i współczynnik rozszerzania. Kopp (1847) używał w tym celu dylatometru, t. j. rurki szklanej z bańką na końcu, a Mathiessen oznaczał współczynnik za pomocą swojej metody parcia, zanurzając wyszlifowane kawałki szkła w cieczy przy rozmaitych temperaturach tejże. Za pomocą tych i innych jeszcze metod otrzymano wielkości współczynników rozszerzania sześciennego cieczy, z których przytaczamy następujące, wyrażone w częściach milionowych: eter około 1500, alkohol 1000, brom 1000, olejek terpentynowy 900, oliwa 800, kwas siarczany 600, woda 500, rtęć 180. Dla wielu cieczy rozszerzanie jest tak niejednostajne, że do obliczenia objętości zamiast wzoru $V_t = V_0 (1 + \alpha t)$, potrzeba używać daleko bardziej złożonego wzoru $V_t = V_0 (1 + At + Bt^2 + Ct^3)$, w którym A, B, C są trzy rozmaite współczynniki, wyprowadzone z doświadczeń. Najjednostajniej rozszerza się rtęć, dla której Mathiessen podaje wzór $V_t = V_0 (1 + 0,0001812t)$, której zatem współczynnik rozszerzania wynosi 181,2 milionowych, czyli prawie $= \frac{1}{5555}$. Regnault podaje wprawdzie dla rtęci wzór dokładniejszy, do którego wchodzi druga potęga t , ale współczynnik tej potęgi jest tak mały, że przy zwyczajnem użyciu rtęci w termometrach i barometrach można śmiało ten wyraz wzoru Regnaulta opuścić.

Z powodu ważnych zastosowań rtęci do przyrządów fizycznych, starano się jak najdokładniej oznaczyć jej współczynnik rozszerzania. Dulong i Petit (1816) spożytkowali w tym celu zasadę naczyń połączonych: dwie rurki pionowe połączone u dołu rurką poziomą napełnione były rtęcią i zanurzone jedna w cieczy oziębionej do 0^0 , druga w cieczy ogrzanej do t^0 . W tej drugiej rurce wysokość rtęci była wyższa jak w pierwszej, a z różnicy wysokości wymierzonej za pomocą katetrometru można było wyrachować rozszerzenie. W samej rzeczy, jeżeli jakąkolwiek ilość rtęci ogrzewamy o t^0 , to objętość jej powiększy się razy $1 + \alpha t$, a gęstość tyleż razy się zmniejszy; zatem gęstość rtęci w rurce przy 0^0 będzie się miała do gęstości rtęci w rurce przy t^0 , jak $1 + \alpha t$ do 1; oznaczywszy zatem wy-

sokości słupów rtęci w obu rurkach przez h^0 i h^t , otrzymamy $\frac{h^t}{h^0} = \frac{1 + \alpha t}{1}$,

z kądem $\alpha = \frac{h^t - h^0}{h^0 t}$. Za pomocą takich doświadczeń okazało się, że rozszerzanie rtęci w granicach pomiędzy -20^0 i $+200^0$ jest prawie jednostajne, i że dopiero w pobliżu punktów zamarzania (-40^0) i wrzenia ($+357^0$) rtęć zaczyna się rozszerzać niejednostajnie.

398. Nieprawidłowe zachowanie się wody. Rozszerzanie wody jest tak niejednostajne, że Kopp, dla przedstawienia go w granicach między 0^0 i 100^0 , musiał aż czterech różnych wzorów używać, do których temperatura (t) wchodzi prócz 1-ej i 2-ej jeszcze i w 3-ej potęgde. Prócz tego woda przedstawia jeszcze jedyny od ogólnego prawa rozszerzania wyjątek, bo gdy ją doprowadzimy do temperatury $+4^0$, a następnie czy to oziębiać, czy też ogrzewać będziemy, zobaczymy, że woda w obu razach się rozszerza, kiedy w pierwszym, wedle ogólnego prawa, powinna się kurczyć, t. j. zmniejszać swoją objętość. To rozszerzanie się wody przy oziębianiu trwa bezustannie aż do samego zamarzania, przy którym podobnież zamiast, jak inne ciała, kurczyć się, znowu się rozszerza, tak że lód jest lżejszym od wody. To jednak drugie zjawisko rozszerzania się przy krzepnięciu nie samej tylko wodzie, ale i niektórym innym ciałom (np. surowiec, czyli lane żelazo), jest właściwe.—Całkowite rozszerzenie wody przy oziębianiu jej od 4^0 do 0^0 stanowi 0,000139 jej objętości przy 0^0 ; rozszerzenie się przy samem krzepnięciu wynosi około 0,1.

Z powyższego wynika, że woda posiada największą gęstość t. j. największy ciężar właściwy przy 4^0 , a właściwie przy $4^0,08$. Od tego punktu, który się zowie *maximum gęstości wody*, woda przy ogrzewaniu rozszerza się, ale bardzo niejednostajnie; pomiędzy 8^0 i 9^0 ma ona powtórnie taką samą gęstość i taką samą objętość, jakie miała przy 0^0 . Jeżeli objętość wody przy 0^0 będzie równa 1, wtedy też ilość wody przy 4^0 będzie miała objętość = 0,999877, przy 10^0 = 1,000124, przy 20^0 = 1,001567, przy 40^0 = 0,007521, przy 60^0 = 0,016590, przy 80^0 = 1,028581, przy 100^0 = 1,042986, z kądem okazuje się widocznie niejednostajność rozszerzania wody. Weidner (1866) znalazł, że przy oziębianiu wody w rurkach termometrycznych, w których woda aż do -10^0 bez zamarznięcia oziębioną być może, rozszerzanie odbywa się i poniżej 0^0 , że wynosi ono na każdy stopień w przecięciu 170 milionowych, i że powiększa się w miarę obniżenia temperatury.

Dawniejsze badania, równie jak najnowsze badania Mathiessena, wykazały dla objętości wody przy różnych temperaturach w porównaniu z objętością przy 0^0 nieco większe liczby od przytoczonych. Dla przekonania się o wyjątkowem zachowaniu się wody, rurka termometryczna napełnia się wodą przy

9° , a następnie bańka jej zanurza się w topniejącym lodzie; wtedy woda zrazu będzie w rurce opadać, a następnie znowu się podnosić, i gdy ciepłota obniży się do 0° , znowu pierwiastkową wysokość odzyska.

Wyjątkowe zachowanie się wody ma ważne znaczenie w ogólnem gospodarstwie natury: gdyby nie ono, nasze jeziora, rzeki i morza wymarzałyby podczas zimy aż do dna, skutkiem czego istnienie zwierząt i roślin wodnych byłoby niemożliwem, i inne jeszcze wynikałyby ztąd niedogodności. Przy oziębianiu bowiem wody od zewnątrz, z początku każda warstwa zewnętrzna, oziębiając się, staje się cięższą, a zatem pogrąża się w głąb i ustępuje miejsca warstwie poniżej leżącej, która z kolei znowu się oziębia i tonie, ustępując miejsca trzeciej i t. d. Tym sposobem oziębia się stopniowo cała masa wody, i gdyby to trwało aż do oziębienia jej aż do 0° , wtedy przy dalszem oziębieniu musiałyby nastąpić zamarznięcie wszystkich warstw, aż do najniższej, bo i lód, który wówczas byłby gęstszym od wody, w miarę swojego powstawania opadałby na spód. Ale do tego nigdy przyjść nie może, bo skoro tylko cała masa wody oziębi się do 4° , to wtedy przy dalszem oziębianiu warstwa zewnętrzna staje się coraz lżejszą, pozostaje więc i sama tylko coraz bardziej się oziębia i wreszcie zamarza; że zaś nadto lód jest lżejszym od wody, przeto utworzona na powierzchni wody skorupa lodowa nie tonie, ale zostaje na wierzchu i chroni wodę od głębszego zamarznięcia, tak bowiem lód, jak i woda są złemi przewodnikami ciepła. Skutkiem tego nawet w morzach przybiegunowych, poczynając od pewnej głębokości aż do dna, woda posiada zawsze stałą temperaturę 4° , i dla tego ryby i inne zwierzęta morskie spotykamy obficie na najodleglejszej północy i południu. Tak jednak zachowuje się tylko woda stojąca, w rzekach zaś, gdzie istnieją prądy we wszystkich kierunkach, może w pewnych miejscach cała masa wody aż do dna samego oziębiać się do 0° . Woda płynąca spokojnie i niestykająca się z żadnem ciałem stałym może się oziębić nawet poniżej 0° , bez zamarznięcia; jeśli zatem w jakim miejscu rzeki cała masa wody jest do tego stopnia oziębiona, albo też kierunek prądu unosi ją ku dnu, wtedy przy zetknięciu z dnem i właśnie skutkiem tego zetknięcia następuje krystalizacya i tworzy się na samem dnie lód, który następnie, jako lżejszy, wypływa na wierzch, kiedy tymczasem nowy lód na dnie powstaje. Tym sposobem w końcu woda całkowicie zamarza.

I ta zmiana fizyczna od działania cząsteczkowego zależy, t. j. rozszerzanie się wody przy marznięciu odbywa się z bardzo wielką siłą; naczynia napełnione wodą i zamknięte, nawet bomby, pękają, gdy woda wewnątrz zamarza. Butla żelazna, napełniona wodą i zamknięta za pomocą wśrubowanej w jej szyjkę zatyczki, pęka, gdy ją pogrążamy w mieszaninę oziębiającą; to samo następuje, gdy zamiast wody napełnimy ją roztopionym bizmutem. Skąły, których szczeliny i pory w jesieni napełniają się wodą, podczas zimy w części pękają na kawały, w części rozkruszają się na piasek, który wraz z mniejszemi odłamkami na wiosnę zostaje spłukany i uniesiony przez potoki do rzek i mórz, a następnie osiada na dnie i tworzy corocznie powiększające się warstwy. Tym sposobem odbywa się tak zwane *wietrzenie skał*, skutkiem którego góry zwolna się rozsypują i giną, a wklęsłości skorupy ziemskiej zapełniają się i wyrównywają. Takie działanie powstającego lodu jest często szkodliwe, bo rozsadza drzewa i krzewy pożyteczne (winorośle), niszczy bruki i chodniki uliczne, mury, szyny i t. p.

399. Współczynnik rozszerzania się ciał lotnych (Gay-Lussac 1802), podług nowszych badań Rudberga, Regnaulta i Magnusa (1838—42), wynosi 0,003665, czyli prawie $\frac{1}{273}$. Zatem gaz ogrzany do 273° przyjmuje objętość 2 razy większą, niż przy 0°; przy temperaturze 273° . 2, t. j. przy 546° objętość jego stanie się 3 razy większą, przy 819° — cztery razy i t. d. Jeżeli jednak gaz nie może powiększać swojej objętości, bo jest np. zamknięty w naczyniu o mocnych ścianach, wtedy ogrzany do 273°, będzie oczywiście miał gęstość dwa razy większą, aniżeli przy tej temperaturze i pod zwyczajnem ciśnieniem powietrza mieć powinien, bo będzie zamknięty w objętości stanowiącej połowę objętości, jaką zajmować powinien. Przy 546° objętość gazu będzie tylko trzecią częścią tej objętości, jaką przy tej temperaturze powinien zajmować, a więc gęstość jego będzie trzy razy większą i t. d. Ztąd na zasadzie prawa Mariotte'a wynika, że prężność gazu przy 273° będzie 2 razy większą, niż przy 0°, czyli równą 2 atmosferom; przy 546° równą 3 atmosferom i t. d. Prawo to, zwane prawem Gay-Lussac'a i Mariotte'a, określające przyrost prężności gazu, mającego stałą objętość przy podwyższeniu jego temperatury, wyraża się następującym wzorem: $p = p^0(1 + \alpha t)$, gdzie p^0 oznacza prężność przy 0°, p — prężność przy t^0 , a α — jego współczynnik rozszerzania.

Dowodzenie. Jeżeli gaz przy 0° ma objętość V^0 , to przy t^0 winna być jego objętość

$$V_t = V^0 + V^0 \alpha t = V^0(1 + \alpha t) \dots \dots \dots (7);$$

jeżeli zaś gaz zachowuje tę samą objętość V^0 , wtedy można powiedzieć, że objętość jego zmniejszyła się (w porównaniu z tą, jaką mieć powinien) w stosunku $\frac{V_t}{V^0}$, prężność więc w tym samym stosunku musiała się na mocy prawa Mariotte'a powiększyć; zatem będzie

$$p = \frac{p^0 V_t}{V^0} = \frac{p^0 V^0 (1 + \alpha t)}{V^0} = p^0 (1 + \alpha t) \dots \dots \dots (8).$$

Z pomiędzy rozmaitych sposobów wymierzania współczynników rozszerzania gazów, wymienimy metody Gay-Lussaca i Magnusa. Gay-Lussac używał dylatometru, w którego bańce znajdowało się suche powietrze, oddzielone od powietrza zewnętrznego kropelką rtęci, która wpuszczona w rurkę stanowiła jakby ruchomą zatyczkę; rurka podzielona była na części, których objętość, równie jak objętość samej bańki, była wiadomą. Skoro więc, wstawiwszy bańkę dylatometru w naczynie z wodą, której temperaturę wskazywały zanurzone w niej termometry, zaczęto wodę, a tem samem i bańkę z powietrzem ogrzewać, wtedy z położenia owej kropelki rtęci, znajdującej się w rurce, można było wymierzyć powiększenie objętości powietrza przy rozmaitych temperaturach, a następnie oznaczyć jego współczynnik rozszerzania. Okazało się przytem, że powietrze ogrzane od 0° do 100° powiększa swoją objętość o 0,325 objętości przy 0°, że zatem współczynnik rozszerzania $= \frac{0,325}{100} = 0,00325$. Rudberg, wątpiąc o dokładności tej liczby, znalazł z własnych doświadczeń dla α wartość $= 0,00365$. Magnus

używał barometru Fortina, którego rurka barometryczna była u góry otwarta, w której zatem rtęć znajdowała się na tejże wysokości, co w naczyniu. Przez pokrywę naczynia przechodziła druga rurka, dolną częścią pogrążona w rtęci, u góry zaś połączona ze zbiornikiem, w którym znajdowało się powietrze, albo inny gaz. Zbiornik ten można było oziębiać lub ogrzewać, oziębiając lub ogrzewając kąpiel, w której był zanurzony, skutkiem czego gaz rozszerzał się lub kurczył, lecz wtedy, opuszczając lub podwyższając dno skórzane barometru Fortina za pomocą znajdującej się pod niem śrubki, doprowadzano rtęć w drugiej rurce do poprzedniego poziomu tak, że gaz znajdujący się w tej rurce i w zbiorniku posiadał zawsze jedną i tęż samą objętość, bez względu na swoją temperaturę. Skutkiem tego gaz ten musiał przybierać przy niższej temperaturze mniejszą, a przy wyższej większą prężność, a zatem w pierwszym razie wywierał mniejsze, a w drugim większe ciśnienie na powierzchnię rtęci w naczyniu barometru Fortina, która skutkiem tego mniej lub więcej podnosiła się w rurce barometrycznej. Ze zmiany wysokości rtęci w rurce można było oznaczyć zmianę prężności gazu w zbiorniku, a ztąd i proporcjonalną do niej zmianę objętości czyli rozszerzenie. Za pomocą takich dokładnych doświadczeń Magnus i Regnault znaleźli, że rozmaite gazy niezupełnie jednakowo się rozszerzają, że zatem prawo Gay-Lussac'a niezupełnie jest ściśłem. Im jaki gaz jest ściśliwszym i im bliższym jest punktu swojego skroplenia, tem więcej odstępuje od tego prawa, jak to się pokazuje z następujących liczb, wyrażających dokładne współczynniki rozszerzania rozmaitych gazów: Wodór—0,003660, azot—0,003668, kwas węglany — 0,003590, kwas siarczany—0,003845.

Wzór $p = p^0(1 + \alpha t)$ pozwala oznaczyć punkt *bezwzględny zera temperatury*, t. j. taką temperaturę, przy której ciało nie wcale nie zawiera w sobie ciepła, czyli jest bezwzględnie zimne, t. j., przy której cząsteczki jego znajdują się w bezwzględnym spoczynku i w największem możliwym pomiędzy sobą zbliżeniu. Skoro bowiem prężność gazu jest skutkiem ruchu jego cząsteczek, przeto bezwzględne zero czyli bezwzględny spoczynek cząsteczek jest wtedy, kiedy prężność gazu równa się zeru, t. j., kiedy $p = 0$; lecz, aby we wzorze p było równem 0, musi być i $p^0(1 + \alpha t) = 0$, czyli musi być $p^0(1 + 0,003665 t) = 0$. Że zaś p^0 , t. j. prężność gazu przy 0° Cel., ma pewną wielkość, więc drugi czynnik $1 + 0,003665 t$ musi być równy 0. Będzie więc równanie $1 + 0,003665 t = 0$, z kąd $t = -\frac{1}{0,003665} = -1:\frac{1}{273} = -273^\circ$. A zatem zero bezwzględne temperatury znajduje się na 273° poniżej zera Celsjusza. Jeżeli za punkt wyjścia przy oznaczeniu temperatury przyjmiemy zero bezwzględne, wtedy temperatury liczone od tego punktu nazywać się będą *temperaturami bezwzględnymi*. Temperatura bezwzględna jest to siła żywa cząsteczek.

Zjawiska polegające na rozszerzaniu powietrza przez ciepło. Na rozszerzaniu powietrza przez ciepło polegają prądy powietrzne, wybuchy rozmaitych mieszanin piorunujących i gazowych, a w części i wybuchy ciał stałych

i ciekłych (proch, nitrogliceryna). Dla prądów powietrznych istnieje następujące prawo: jeżeli przestrzenie napełnione powietrzem niejednakowo ograniczone są ze sobą połączone, wtedy powietrze ciepłe odpycha górą w przestrzeń zimną, a powietrze zimne odpycha dołem w przestrzeń cieplejszą. Na tem zasadza się działanie kominków przy lampach (cylindrów), kanałów piecowych i dymników czyli kominów, jako też powstawanie wiatrów.

Wyobraźmy sobie rurę pionową na obu końcach otwartą i wypełnioną ciepłym powietrzem; z powodu mniejszej gęstości tego powietrza, spowodowanej rozszerzeniem, ciężar słupa powietrznego, znajdującego się w rurze, który oznaczamy przez l , jest mniejszy, aniżeli ciężar jakiegokolwiek słupa równej wysokości i średnicy, znajdującego się nazewnątrz rury. Jeżeli zatem ciężar każdego słupa zewnętrznego, którego średnica równa jest średnicy rury, a obie podstawy leżą na tych samych płaszczyznach poziomych, co podstawy rury, oznaczmy przez s , wtedy będzie $s > l$. Na górnych powierzchniach, czyli podstawach tych słupów zewnętrznych, równie jak na górnej podstawie rury, spoczywają słupy powietrzne, wznoszące się aż do granicy atmosfery i mające równy ciężar, który oznaczamy przez a ; wtedy ciśnienie pionowe na dół w dolnym otworze rury oznaczone przez P będzie $= a + l$, a ciśnienie P' na podstawę dolną słupów zewnętrznych będzie $= a + s$. Oba te ciśnienia P i P' , rozchodząc się przez warstwę powietrzną, stanowiącą podstawę wszystkich słupów, działają także i z dołu do góry; zatem powietrze w dolnym otworze rury doznaje ostatecznie przewyżki ciśnienia, równej $P' - P$, czyli równej $s - l$ i skierowanej z dołu do góry, i skutkiem tej przewyżki wznosi się w rurze tem prędzej, im owa przewyżka jest większą. Jednocześnie powietrze znajdujące się w górnym otworze rury doznaje tejże samej przewyżki ciśnienia z dołu do góry $s - l$, i roznosi ją w kierunku poziomym, ku górnym podstawom słupów zewnętrznych, na których inne ciśnienia równoważą się z sobą; zatem powietrze wychodzące z rury rozpycha się na strony i tu jako cieplejsze wznosi się ku wyższym warstwom. Powyższe prawo powstawania prądów w powietrzu można sprawdzić, umieszczając płomień świecy raz na progu, drugi raz u wierzchu otwartych drzwi, prowadzących z ogrzanego pokoju do zimnej sieni: w pierwszym razie płomień nachylił się ku pokojowi, w drugim ku sieni: w środku zaś wysokości otworu we drzwiach płomień zachował kierunek pionowy. Prąd wstępujący, czyli ciąg powietrza w rurze, jest tem silniejszy, im przewyżka $s - l$ jest większa, zatem im rura ma większą wysokość i im gorętsze zawiera w sobie powietrze. Ciąg w piecu jest zatem także tem mocniejszy, im powietrze zewnętrzne jest zimniejsze, im ogień mocniej się pali i im wyższy jest dymnik, do którego kanały pieca uchodzą. Gdzie idzie o otrzymanie bardzo mocnego ognia, a zatem, gdy potrzeba, aby gorzenie paliwa odbywało się bardzo szybko, jak np. pod kotłem machin parowych, tam budują się nad ogniskami ogromne dymniki (kminy). Ale i najwyższy dymnik nie powiększyłby ciągu, gdyby ciepły słup powietrza mógł się w górnej jego części oziębiać; dla tego dymniki budują się z dwóch współśrodkowych warstw muru, pomiędzy którymi umieszcza się warstwa popiołu, zanikniętego powietrza, lub innego złego przewodnika ciepła, a nadto dymnik zawsze się zwęża ku górze. Ponieważ jednak w żaden sposób nie można zupełnie zapobiedz oziębianiu powietrza w kominie, i ponieważ z drugiej strony wraz z jego wysokością zwiększa się tarcie, skutkiem

czego pęd powietrza w dymniku coraz bardziej się zwalnia, dla tego wysokość komina ma pewną granicę, którą przekraczać byłoby zupełnie bezpożytecznie.— Ze szczelin gór, ciągnących się od dołu ku górze i na obu końcach otwartych, u dołu wypływa prąd zimnego powietrza, bo przy górnym otworze powietrze jest zimniejsze jak przy dolnym. Każdy ogień obudza ciąg powietrza, czyli wiatr. Przy niejednakowem ogrzaniu powietrza zawsze powstają wiatry. Tak na wybrzeżach morskich podczas dnia wieje zawsze wiatr z morza na ląd, który jest wtedy cieplejszy, niż woda, a w nocy wieje wiatr przeciwny, t. j. z lądu na morze, bo wtedy morze jest cieplejsze od lądu. W początkach naszego lata panują wiatry północnozachodnie, wiejące z zimnego wówczas morza Północnego na cieplejszy południowoschodni ląd Europy i Azji. Podczas naszego lata powietrze z chłodniejszego Oceanu Indyjskiego płynie na mocniej rozgrzaną część Azji, leżącą ku północowschodowi względem niego, z kąd powstaje wiatr zwany południowozachodnim mussonem; podczas naszej zimy, kiedy Ocean Indyjski jest od tej części cieplejszym, panuje tam musson północnwschodni. Pomiędzy pasem gorącym i położonemi po obu jego stronach zimniejszymi pasami (umiarkowanym i zimnym na każdej półkuli) panują ustawicznie dwa na każdej półkuli prądy powietrzne: górny czyli równikowy, biegnący od okolic równikowych ku biegunowi i dolny czyli biegunowy (polarny), wiejący w kierunku od bieguna ku równikowi. (Wiatry stałe czyli passaty; więcej o nich na końcu książki w Fizyce Powietrza).

Motor gazowy Lenoira (Lenoir 1860, Otto 1865). Przy spalaniu mieszaniny piorunującej powstaje od 2000^o do 3000^o ciepła; gdyby zatem spalanie to mogło się odbyć całkowicie w jednej chwili, wtedy lotne produkty spalania powiększyłyby nagle od 6 do 10 razy swoją objętość; ponieważ zaś ściany naczynia nie pozwalają na rozszerzenie gazów przy spalaniu powstałych, przeto gazy te nabywają prężności, wynoszącej od 6 do 10 atmosfer, co sprawdził Bunsen (1867), zmuszając gazy, powstające przy spalaniu mieszaniny piorunującej, do podnoszenia swoim ciśnieniem ciężarów i z wielkości podniesionego ciężaru wymierzając ich prężność. Gaz oświetlający zawiera, oprócz czystego wodoru, węglowodory; gazy te, zmieszane w należytem stosunku z powietrzem, tworzą mieszaninę wybuchającą, mniej wprawdzie silną od właściwej mieszaniny piorunującej (wodór i tlen), która jednak przy spalaniu w naczyniu zamkniętem bardzo wielkie ciepło wydaje i wytwarza gazy, posiadające wspomnianą wyżej prężność 6 do 10 atmosfer. Ta prężność zastosowaną została jako motor czyli siła poruszająca w nowo wynalezionej maszynie gazowej. W pierwotnej maszynie wynalezionej przez robotnika francuzkiego Lenoira tłok poruszał się w cylindrze w jedną i drugą stronę naprzemiann skutkiem wybuchów gazu, następujących naprzemiann po obu jego stronach; do zapalania mieszaniny gazu i powietrza używano iskry elektrycznej, wzbudzanej za pomocą cewki indukcyjnej Rumkorffa. Urządzenie tej maszyny zostawiało wiele do życzenia; iskra często zawodziła, przez co nie następował wybuch; ruch tłoka odbywał się gwałtownymi skokami, skutkiem czego i ruch wszystkich innych części maszyny i poruszanych przez nią przyrządów, był szeregami nagłych szarpnięć, a przez to wszystkie te przyrządy ulegały ustawicznym wstrząśnieniom; dalej, ponieważ szarpane w ten sposób części składowe maszyny i przyrządów wywierały silne ciśnienie zwrotne, przeto ogromna ilość ciepła, wzbudzona przez wybuch, nie mogła się dość szybko przetwarzać na pracę, a nieprzetworzone ciepło rozgrzewało mocno i szkodliwie sam walec; nareszcie

z powodu tegoż zwrotnego ciśnienia, spalanie nie mogło się odbywać dokładnie i dla tego znaczna ilość sadzy osiadała wewnątrz walca. Wszystkie te wady usunięte zostały bardzo dowcipnie przez Langena i Otto. W ich maszynie wybuch sprawionym zostaje przez płomyk gazowy, zasilany gazem, dopływającym oddzielną rurką, dochodzącą do dolnej części walca. W chwili wybuchu właściwy przyrząd odczepia tłok od innych części maszyny, a prężność gazów podnosi do góry sam tylko tłok, nie działając bynajmniej na inne przyrządy. Skutkiem tego prawie cała ilość ciepła, wytworzona przy wybuchu, przeistacza się na pracę podnoszącego się tłoka, który nabywszy przy tem znacznej siły żywej, odbywa ostatnią część swojej drogi do góry, leżącą już po za obrębem działania wybuchu, mocą tej swojej siły żywej, przyczem gazy pod tłokiem rozszerzają się i przez to oziębiają, a jednocześnie prężność pod tłokiem staje się mniejszą od ciśnienia atmosferycznego. Ponieważ tłok przy swoim ruchu wstępującym jest zupełnie swobodny i odłączony, przeto zupełnie giną przyczyny wszelkich wstrząśnień, nadmiernego rozgrzewania się walca i wynikającej ztąd straty ciepła, równie jak osiadania sadzy wewnątrz walca. Gdy już tłok doszedł do najwyższego swojego położenia, wtedy ów przyrząd właściwy łączy go znowu z innymi częściami maszyny i poruszanych przez nią przyrządów, a jednocześnie ciśnienie zewnętrznego powietrza, przeważające nad prężnością gazów pozostałych pod tłokiem, spycha go na dół. Tym sposobem części poruszane przez tłok zostają wprowadzone w ruch, nie przez gwałtowne działanie wybuchu, ale przez spokojne ciśnienie powietrza, nie są więc narażone na szarpanie i wstrząśnienia. Tym sposobem właściwym motorem w tej maszynie jest ciśnienie powietrza, i dla tego też wynalazca nazwał ją maszyną gazową atmosferyczną.

Maszyna ta, dla wytworzenia siły jednego konia parowego, zużywa przez dzień roboczy gazu za $\frac{1}{4}$ do $\frac{1}{2}$ talara (rozumie się podług ceny gazu w Niemczech, a nie u nas), a zatem jest daleko tańszym motorem, niż wszystkie inne; nie wymaga ona wcale palenia, a więc nie potrzebuje oddzielnego dozorczy (maszynisty), gdyż sam rzemieślnik, pracujący na poruszonym przez nią warsztacie, z łatwością może dozorować jej działanie; nie przedstawia żadnego niebezpieczeństwa wybuchu ani pożaru, więc w każdym miejscu, nawet w pokoju ustawioną być może; może być puszczona w ruch w każdej chwili, bez wszelkich przygotowań, i w każdej chwili ruch jej powstrzymanym być może; nareszcie wydaje większą ilość procentową pracy pożytecznej zawartej w ciepłe, aniżeli jakakolwiek inna maszyna, i dla tego, zwłaszcza dla zakładów nie wymagających zbyt wielkiej siły, jest bez porównania korzystniejszą i lepszą od maszyn parowych; to też maszyna ta od lat kilku znalazła ogromne rozpowszechnienie i ma wielką przyszłość przed sobą.

401. Zastosowania rozszerzania ciał przez ciepło. I. Termometr (Drebbel 1605, Fahrenheit 1714). Zwyczajny termometr, opisany w pierwszej części tej książki, jest to dylatometr szklany, napelniony rtęcią; wybór tych dwóch ciał usprawiedliwiony jest następującymi powodami: 1-o że szkło rozszerza się nadzwyczaj słabo, a rtęć w porównaniu z niem silnie; 2-o że rtęć dopiero przy -40° zamarza, a przy $+360^{\circ}$ zaczyna wrzeć, że zatem może wskazywać wszystkie temperatury, zdarzające się w życiu codziennem; 3-o że roz-

szerzenie rtęci w granicach pomiędzy -25° i $+200^{\circ}$ odbywa się jednostajnie, co już ztąd się ujawnia, że przy współczesnem i jednakowem rozgrzaniu rtęci i powietrza w dylatometrach, gdy powietrze rozszerza się stopniowo na $\frac{1}{100}$, $\frac{2}{100}$, . . . $\frac{99}{100}$ i t. d. pierwiastkowej objętości, rtęć rozszerza się na takż sam ułamek swojej objętości pierwotnej, gazy zaś, jak wiadomo, rozszerzają się jednostajnie. Za stałe czyli zasadnicze punkty przy robieniu podziałki termometrycznej wybrano temperaturę czyli punkt topnienia śniegu albo lodu (punkt marznięcia) i punkt wrzenia wody, ponieważ 1-0) punkty te z łatwością w każdym czasie oznaczone i sprawdzone być mogą, 2-0) ponieważ wysokość słupka rtęci przy tych punktach pozostaje przez czas dłuższy niezmienną, skutkiem czego można te punkty z wielką dokładnością na podziałce oznaczyć. Dla oznaczenia tych punktów, pogrąża się najprzód termometr wraz ze swoim zbiornikiem w naczynie napełnione śniegiem albo lodem i wnosi się to naczynie do ciepłego pokoju; rtęć z początku szybko opada, lecz po jakimś czasie zaczyna się podnosić i gdy lód topnieć zacznie, zatrzymuje się nieruchomie na pewnej wysokości, której nie przekracza, dopóki wszystek lód się nie roztopi, choćby nawet naczynie stało nad ogniem; wierzchołek słupa rtęci wskazuje wówczas punkt topnienia lodu, czyli dolny punkt stały podziałki. Gdy już wszystek lód się roztopi, wtedy rtęć zaczyna się podnosić i to tem prędzej, im woda mocniej jest ogrzewaną, lecz gdy woda zawrze, znowu rtęć zatrzymuje się na stałej, niezmienniej wysokości, na której pozostaje, dopóki wszystka woda wygotowaną nie zostanie, chociażby i teraz naczynie zawierające gotującą się wodę na najsilniejszym znajdowało się ogniu. Słup rtęci nie zmienia swej wysokości i wtedy, kiedy podczas wrzenia wody będziemy zbiornik termometru stopniowo z wody wynurzali, gdy zatem termometr będzie otoczony nie wodą wrzącą, ale wychodzącą z niej parą; wierzchołek słupa rtęci wskazuje w tym razie punkt wrzenia, drugi czyli górny—punkt stały podziałki. Że przez cały czas topnienia lodu i wrzenia wody wysokość słupa rtęci pozostaje niezmienną, zjawisko to polega na tem, iż całkowita ilość ciepła, przychodząca do ciała topniejącego lub do gotującej się cieczy, zużywa się w pierwszym razie na roztopienie, w drugim na wyparowanie, więc przeobraża się w pracę, nie powiększając już wtedy wcale siły żywej czyli temperatury cząsteczek, o czem później poinowimy obszerniej. Przekonamy się także, że punkt wrzenia jest zależny od ciśnienia atmosferycznego, i że wraz z podwyższeniem tego ciśnienia, i on się podnosi wyraźnie, dla tego podziałka termometru albo wtedy winna się robić, kiedy powietrze wywiera ciśnienie normalne t. j. $= 76^{\text{cm}}$; albo też, zauważywszy wysokość barometru, należy w tablicach prężności par wynaleźć, przy ilu stopniach wrze woda przy takim stanie barometru, i tę liczbę stopni napi-

sać przy wierzchołku słupka rtęci, wskazującego punkt wrzenia. Jeżeli znajdziemy np., że pod takim ciśnieniem powietrza, przy jakim odbywa się doświadczenie, woda wrze w 102° lub 98° , wtedy odstęp pomiędzy punktem marznięcia czyli 0° , a wierzchołkiem słupka rtęci należy podzielić w pierwszym razie na 102 równe części czyli stopnie, w drugim—na 98, nie zaś na 100. Zresztą nawet i punkt marznięcia czyli topnienia ulega wpływowi ciśnienia powietrza, ale w bardzo małym stopniu; tak np. przy ciśnieniu 8-iu atmosfer punkt ten leży o $\frac{1}{18}^{\circ}$ niżej, niż przy zwyczajnem ciśnieniu; jest to zatem różnica tak mała, że można nie zwracać na nią wcale uwagi.

Przed rozpoczęciem *budowy termometru* należy się przekonać, czy rurka jest wewnątrz doskonale kalibryczną; w tym celu wprowadzamy do niej kropelkę rtęci, która w rurce wydłuży się w słupek; słupek ten przesuwamy wzdłuż całej rurki i mierzymy w rozmaitych miejscach jego długość, uważając, czy wszędzie jest jednakową; jeśli nie, to rurka nie jest na termometr przydatną i wówczas należy wziąć inną. Następnie wybrana rurka zanurza się we wrzącym kwasie azotnym, który niszczy znajdujące się w niej cząstki organiczne, przepłukuje się wodą przepędzoną i suszy się w strumieniu ogrzanego powietrza. Wówczas, za pomocą lampy emalijerskiej lub innej, wydymają się na obu końcach rurki dwa zbiorniki: na jednym zamknięty w postaci bańki lub walca, na drugim otwarty, stanowiący rodzaj lejka. Do tego lejka wlewa się stosowna ilość doskonale oczyszczonej (chemicznie), przepłukanej i wysuszonej rtęci, a następnie rurka wraz ze swoim zbiornikiem (bańką) rozgrzewa się na rozżarzonych węglach w odpowiednio urządzonym piecyku, przyczem powietrze napełniające zbiornik rozszerza się i wydobywa się przez lejek na zewnątrz; gdy więc teraz ostudzimy rurkę, a przez to zmniejszymy prężność pozostałego jeszcze w rurce powietrza, rtęć znajdująca się w lejku, doznając daleko mocniejszego ciśnienia od powietrza, zewnętrznego, niż od powietrza rozrzedzonego, znajdującego się w rurce, zostaje wpechniętą do rurki i wypełnia część zbiornika, do którego poprzednio przez cienką, włoskową rurkę termometru wlać jej nie było można. Teraz zbiornik ogrzewa się powtórnie aż do zawrzenia rtęci, której para, wydobywając się z rurki ze znaczną siłą, wypycha z termometru pozostałe w nim jeszcze powietrze i wilgoć, skutkiem czego, po powtórnem oziębieniu rurki i skropleniu pary rtęciowej, w rurce powstaje próżnia, którą rtęć z lejka teraz już całkowicie wypełnia. Przed zatopieniem górnego otwartego końca rurki, należy ogrzać termometr aż do najwyższej temperatury, jaką ma pokazywać, bo inaczej mogłoby się zdarzyć, że rtęć, znajdująca się w zbyt wielkiej ilości, dosięgłaby końca rurki jeszcze przed dojściem do tej temperatury; podobnie, jeżeli termometr ma pokazywać bardzo niskie temperatury, należy go aż do najniższego z nich oziębnić, aby zobaczyć, czy rtęć jeszcze przed tą temperaturą nie cofnie się zupełnie do zbiornika, całkowicie opuszczając rurkę; w ostatnim razie potrzeba więcej rtęci wprowadzić do rurki, w pierwszym potrzeba część rtęci wypchnąć przez ogrzanie na zewnątrz. Następnie ogrzewa się zbiornik, dopóki rtęć nie wzniesie się do wierzchołka rurki; wtedy mocno się rozgrzewa ten wierzchołek, kierując nań bardzo gorący płomień, póki szkło nie rozmięknie, i wówczas mocno się zaciska obciążkami rozmiękczoną część rurki, przez co się rurka zatapia i zamyka; po ostygnięciu rtęć

opada, pozostawiając nad sobą próżnię. Wtedy oznacza się na rurce punkt topnienia lodu, a następnie punkt wrzenia, przy czem termometr pogrąża się nie we wrzącą wodę, ale w parę, która z tej wody wychodzi i wypełnia sobą naczynie z kilku walców współśrodkowych złożone, skutkiem czego para w walcu wewnętrznym zabezpiecza się od oziębienia przez zewnętrzne powietrze. Lepiej jest oznaczać punkty stałe dopiero w kilka miesięcy po napełnieniu i zamknięciu rurki, gdyż w tym czasie objętość rurki nieco się zmniejsza skutkiem zewnętrznego ciśnienia nierównoważonego ciśnieniem wewnętrznym, bo w rurce nie ma powietrza; skutkiem tego jest zjawisko zwane *podnoszeniem się zera*, polegające na tem, że punkt topnienia lodu, oznaczony zaraz po ostudzeniu rurki po upływie kilku miesięcy, leży niżej od rzeczywistego zera, a różnica wynosi około 1° . Ale i ta ostrożność nie wystarcza, jeżeli termometr do badań naukowych ma służyć, i w takim razie potrzeba od czasu do czasu sprawdzać położenie punktów stałych, t. j. oznaczać je na nowo. Niedosć jest także przy robieniu podziałki na takim termometrze podzielić poprostu odstęp punktów stałych na części równej długości, bo bardzo rzadko równym odstępom liniowym odpowiadają równe objętości; potrzeba zatem podzielić odstęp między 0° i 100° na części równej objętości, co się zowie wykalibrowaniem rurki. W tym celu, za pomocą krótkiego uderzenia, odłącza się od całej masy rtęci, znajdującej się w zbiorniku i w części rurek, słupek równy w przybliżeniu połowie całego odstępu pomiędzy 0° i 100° i nadaje mu się takie położenie (ogrzewając zlekka rurkę z jednej lub drugiej jego strony), aby dolny koniec słupka stanął na 0° ; następnie, zauważywszy punkt a, przy którym leży wierzchołek słupka, przesuwa się słupek, aby górnym końcem osiągnął 100° , i uważa się punkt b, przy którym wówczas leży jego koniec dolny; nareszcie odstęp między a i b, zawsze bardzo mały, dzieli się na dwie równe części i w samym jego środku naznacza się 50° ;—tym samym sposobem oznacza się punkt 25° , 75° i t. d., a w końcu małe odstępy zawierające po kilka już tylko stopni dzieli się na części równej długości.

Do mierzenia niskich temperatur używa się *termometr alkoholowy* (rtęć przy -40° zamarza), zbudowany tak samo, jak rtęciowy, lecz podzielony na stopnie nie za pomocą jeometrycznego podziału, ale przez porównanie z termometrem rtęciowym, lub *termometry metaliczne*; ostatnie polegają na niejednakowym rozszerzaniu przez ciepło rozmaitych metalów. Jeżeli dwa równe paski z różnych metalów zlutujemy ze sobą tak, aby przy zwyczajnej temperaturze tworzyły płaską wstążeczkę, wtedy przy ogrzewaniu wstążeczka ta wykrzywi się tak, aby metal bardziej rozszerzalny znajdował się na stronie wypukłej, a przy oziębianiu tak, aby tenże metal utworzył wklęsłą stronę wstążeczki; tym tylko bowiem sposobem może on przyjąć w pierwszym razie większą, a w drugim mniejszą długość, niż drugi. Jeżeli owa wstążeczka już przy zwyczajnej temperaturze ma sobie nadaną postać łuku, wtedy łuk ten przy zmianach temperatury, będzie się mocniej zakrzywiał, lub odprostowywał; jeśli wreszcie ma ona postać zwiniętej bądź w kształcie folgi, bądź na jednej płaszczyźnie węzownicy, która jednym końcem jest stałe przytwierdzoną do słupka pionowego, a na drugim ma lekką wskazówkę poziomą, pod którą znajduje się tarcza okrągła z obwodem podzielonym na stopnie (przez porównanie z termometrem rtęciowym), wtedy przy ogrzewaniu się lub oziębianiu węzownica będzie się, stosownie do położenia tworzących ją metalów, odkręcać lub mocniej zakręcać, przez co wskazówka będzie się

raz w jedną, drugi raz w drugą stronę posuwać. Termometr metaliczny Bregueta (1817) składa się z trzech paseczków, zlutowanych w grajczarkowatą węzownicę: paseczek platynowy (najmniej rozszerzalny) zajmuje stronę wewnętrzną, w środku jest złoty, a od zewnątrz srebrny (najmocniej rozszerzalny); przy ogrzewaniu węzownica skręca się mocniej, przy oziębianiu odkręca się. Termometry, w których skręty węzownicy leżą na jednej płaszczyźnie, mają zwykle postać zegarka kieszonkowego. Termometry metalowe używane być mogą i do mierzenia wysokich temperatur, w ogólności jednak nie mogą, pod względem dokładności, a zwłaszcza niezmienności swoich wskaźań, iść w porównanie z rtęciowemi, bo po upływie niejakiego czasu inne wypadki dają, niż poprzednio.

Termometry służące do wymierzania wysokich temperatur zowią się *pirometrami* i w ogólności są jeszcze bardzo niezadawalniające. *Muschenbrock* (1750) zastosował w tym celu rozszerzanie prętów metalowych, które działając na kołowrot, wprawiały w ruch skazówkę, przebiegającą po nad tarczą podzieloną na stopnie. Pirometr *Wedgwooda* (1782) składał się z dwóch listewek mosiężnych, przytwierdzonych do płyty z tegoż metalu i nachylonych do siebie pod bardzo ostrym kątem, i z walców z wysuszonej gliny, mających $\frac{1}{2}$ cala średnicy; walec, włożony w ogień, kurczył się w nim skutkiem wysychania i cząstkowego topnienia, a następnie wyjęty i ostudzony, tem dalej mógł być miedzy schodzące się listwy wsuniętym, im w mocniejszym znajdował się ogniu;—wszakże podziałka na listwach, wskazująca temperaturę, bynajmniej wiarogodną nie była. Pirometr *Pouilleta* (1836), nazwany przez niego inaczej termometrem powszechnym, jest to termometr powietrzny. W przestrzeń, której temperatura ma być oznaczoną, wkłada się kula dęta z platyny, która za pomocą rurki platynowej łączy się z jedną, mianowicie krótszą, z dwóch rurek szklanych, połączonych ze sobą; rurka ta jest zamknięta, druga zaś wyższa jest otwartą, a w obu znajduje się rtęć na jednakowej wysokości. Powietrze kuli platynowej, rozgrzewając się i rozszerzając, wypycha część rtęci z rurki krótszej do dłuższej, z podniesienia się więc słupa rtęci w ostatniej można oznaczyć temperaturę przestrzeni poddanej badaniu. Za pomocą tego przyrządu znalazł *Pouillet*, że temperatura, przy której ciała zaczynają się rozżarzać i wydawać światło czerwone (poczynający się żar czerwony), wynosi 525° ; żar ciemno-czerwony ma 700° , wiśniowo-czerwony 900° , pomarańczowy 1100° , żółty 1200° , biały 1300° , wreszcie jaskrawo-biały 1600° . Pirometr magnetyczny *Pouilleta* składa się z rury karabinowej, do której na obu końcach przylutowane są druty platynowe, połączone z termomultiplikatorem; gdy jeden koniec rury będzie umieszczony w przestrzeni badanej, powstaje strumień termoelektryczny, który w miarę swojego natężenia, zależącego od temperatury tej przestrzeni, odchyła mniej albo więcej igiełkę magnesową termomultiplikatora od położenia normalnego, z kąd można obliczyć temperaturę przestrzeni. Pirometr *Becquerela* tem się różni od powyższego, że w nim zamiast rury żelaznej znajduje się drut palladowy (pallad jest to metal). Do wymierzania temperatur, zawartych pomiędzy 350° i 500° , wystarcza termometr *Alvergniata* (1868) zbudowany wedle wskazówek *Berthelota* (fig. 1). Walec szklany A zawierający powietrze zanurza się w retorcie szklanej lub w innem naczyniu napełnionem cieczą, którą mamy poddać badaniu; powietrze w A, ogrzane ciepłem tej cieczy, rozszerza się i wypycha część rtęci, znajdującej się w rurce włoskowatej a b a, do otwartego naczynia B; wysokość rtęci w rurce wskazuje szukaną temperaturę.—

Podziałka robi się, zanurzając A w topniejący lód (0°), we wrzącą wodę (100°), we wrzącą rtęć (350°) i we wrzącą siarkę (440°), przez co otrzymuje się cztery punkty stałe, a następnie dzieli się ich odstępny na liczbę stopni odpowiednią różnicy ich temperatur. Ponieważ rtęć w B znajduje się pod ciśnieniem atmosfery i wraz z tem ciśnieniem zmienia swój poziom, z czem się łączy zmiana wysokości jej w rurce, przeto podziałka musi być ruchomą, i dla tego tabliczka, na której jest zrobiona, może się przesuwać wzdłuż rurki i przytwierdzać na rozmaitej wysokości do podpory C za pomocą śrubki D; w tym celu przed doświadczeniem zanurza się walec A w ciecz, której temperatura jest wiadomą, i tak przesuwa się podziałkę, aby wierzchołek słupa rtęci w rurce przypadł na liczbę, wskazującą tę poprzednio już wiadomą temperaturę.

Jeżeli idzie o poznanie najwyższej lub najniższej temperatury, jaka miała miejsce w ciągu pewnego okresu, np. w ciągu jednej doby, wtedy używają się przyrządy zwane *termografami*. Termograf (termometrograf) *Rutherforda* (1795) do oznaczenia *maximum* temperatury jest to leżący termometr rtęciowy, w którego rurce przed końcem słupka rtęciowego leży pręcik żelazny; przy rozszerzaniu się, słupek rtęci naciska ten pręcik wypukłym swoim odcinkiem; przy kurczeniu się zaś pozostawia go w miejscu, skutkiem czego pręcik wskaże najwyższą od chwili poprzedniej obserwacji temperaturę, po czem, przez wstrząśnienie lub za pomocą magnesu, znowu w zetknięcie z wierzchołkiem słupka rtęciowego przyprowadzić go można. Termograf tegoż dla *minimum* jest to termometr alkoholowy, w którym *wewnątrz* słupka alkoholu i przy samym jego końcu zanurzony jest mały waleczek szklany; gdy alkohol się rozszerza, słupek zostaje w miejscu, gdy zaś się kurczy, wtedy ostatnia jego warstewka, ograniczona powierzchnią wklęsłą, zabiera z sobą siłą przylegania słupek szklany i cofa go wstecz, póki ciecz nie przestanie się kurczyć. Nowsze termografy, używane w strażnicach meteorologicznych, są urządzone inaczej; rysują one mechanicznie linię jednociągłą na przesuwanym się przed końcem ołówka paseczku papierowym, a z postaci tej linii i jej wygięć można oznaczyć dokładnie, jak przez cały czas zmieniała się temperatura i ile mianowicie było stopni ciepła o danej godzinie. Do wymierzania różnicy temperatury dwóch ciał służy *termometr różnicowy Leslie* (1804), składający się z dwóch rurek szklanych pionowych, połączonych u dołu w rurką poziomą, a u góry zakończonych bańkami, napełnionemi powietrzem;— w rurce poziomej i w obu pionowych znajduje się kwas siarczany zabarwiony na

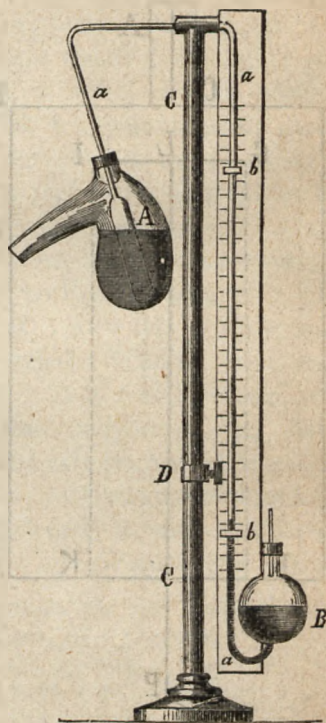


Fig. 1.

czerwono. Jeśli obie bańki są umieszczone w ciałach mających jednakową temperaturę, lub jeśli obie wystawione są na jednakowe działanie ciepła promieniowego (w ostatnim razie bańki pokrywają się sadzą), kwas siarczany stoi w obu rurkach na jednakowej wysokości; gdy zaś bańki niejednakowo będą rozgrzane, ciecz w rurce połączonej z bańką chłodniejszą wyżej się wzniesie, a różnica poziomu jej w rurkach wskaże na podziałce, przygotowanej na podstawie doświadczenia, różnicę obu temperatur. Daleko czulszym termometrem różnicowym jest stos termoelektryczny, połączony z termomultiplikatorem, za pomocą którego można podług Melloniego ocenić różnicę temperatur, wynoszącą zaledwie $\frac{1}{5000}$ stopnia.

402.

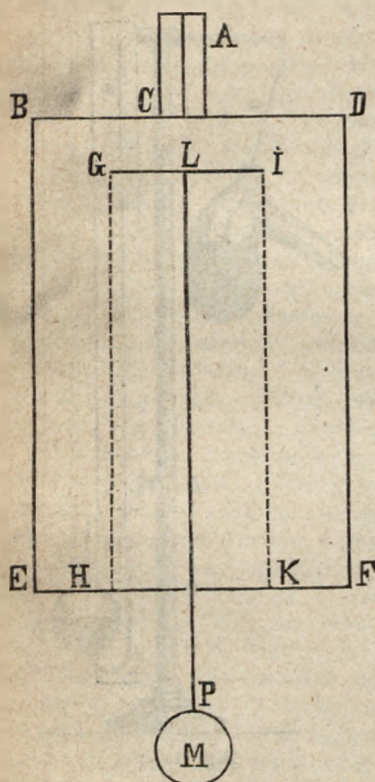


Fig. 2.

zakończony soczewką wahadła; w M jest środek wahań. Gdy temperatura podwyższa się o stopni t , wtedy pręty żelazne AC, BE i LG, które z powodu nieruchomości punktu A, oraz zlutowania z beleczkami BD i GI w punktach B i G, mogą się tylko *na dół* przedłużyć i tym sposobem obniżają punkt M na L αt , gdzie L oznacza sumę długości prętów $AC + BE + LP$, a α — współczynnik rozszerzalności żelaza. Jednocześnie pręty cynkowe stale przytwierdzone u spodu do beleczki EF, która jest stale z nieruchomym punktem A połączona, a zatem nie po-

2. Wyrównywanie długości wahadła (kompensacja). Długość wahadła fizycznego, t. j. odległość od punktu zawieszenia do środka wahań w wahadle zwyczajnym przy podwyższaniu temperatury się powiększa, a przy obniżaniu jej się zmniejsza, skutkiem czego zegar w pierwszym razie będzie się opóźniał, a w drugim będzie się śpieszył. Dla zapobiegnięcia tej niedokładności w zegarach do ścisłego wymierzania czasu przeznaczonych, np. astronomicznych, wahadło składa się z kilku prętów bądź żelaznych i cynkowych, bądź żelaznych i mosiężnych, tak połączonych ze sobą, że o ile przez rozszerzenie pierwszych obniża się środek wahań, o tyleż środek ten podwyższa się przez rozszerzenie drugich, skutkiem czego długość wahadła pozostaje zawsze niezmienną.

A jest punkt zawieszenia, AC i LG pręty żelazne; BDFE ramka z takichże prętów; HG i IK pręty cynkowe u dołu przytwierdzone do tej ramki, a u góry połączone beleczką GI, do której przymocowany jest pręt

zwala im przedłużyć się na dół, muszą się przedłużyć do góry i podnieść GI, a z nią i punkt M na ilość $L' a' t$, gdzie L' jest długość każdego z tych prętów, a a' — współczynnik rozszerzalności cynku. Zatem warunkiem wyrównywania długości wahadła przy każdej temperaturze jest, aby $L_{\alpha} t$ było równe $L' a' t$, lecz w takim razie $L_{\alpha} = L a'$, a ztąd $\frac{L}{L'} = \frac{a'}{\alpha}$, że zaś współczynnik rozszerzania cynku jest blisko $2\frac{1}{2}$ razy większy, niż żelaza, zatem długość prętów cynkowych tyleż razy mniejszą być musi, niż żelaznych.

3. Motor kaloryczny czyli machina Ericssona (1850). Machina kaloryczna, inaczej zwana machiną o powietrzu ogrzanem, jest to motor, wprawiany w ruch prężnością rozgrzanego powietrza atmosferycznego. Jest to machina o pojedynczem działaniu, t. j. taka, w której ogrzane powietrze sprawia tylko ruch tłoka w jedną stronę; tłok ten, posuwając się naprzód w walcu, za pomocą przyrządu komunikacyjnego, obraca wał i osadzone na nim koło rozpedowe, tak zbudowane, że jedna jego strona jest daleko cięższą, niż druga. Gdy tłok osiąga krańcowego położenia, wtedy cięższa połowa koła znajduje się u góry, spada więc następnie skutkiem przewyżki swojego ciężaru, przez co koło obraca się dalej i pociąga za sobą tłok, który przy tem posuwa się w przeciwną stronę walca, t. j. w tył, po czem znowu działaniem ogrzanego powietrza, które teraz wchodzi do dolnej części walca, naprzód posuniętym zostaje. Motor ten około r. 1860 zaczął wchodzić w powszechne użycie, zwłaszcza w małych warsztatach fabrycznych, lecz obecnie mało już się używa, z powodu, że podczas ruchu cała machina zbyt często się rozgrzewa i ulega ustawicznym wstrząśnieniom skutkiem gwałtownego otwierania się i zamykania klap (wentylów), służących do wpuszczania i wypuszczania z pod tłoka gorącego powietrza, za czem idzie szybkie zniszczenie maszyny.

Zadania. 552. Jaka ilość ciepła wytwarza się przy spadnięciu bryły ołowiu ważącej 100 kil. z wysokości 100^m? Rozw. 23,6 ciepłostek.

553. Powyższe zadanie rozwiązać sposobem ogólnym. Rozw. ph.

554. Kula działowa, ważąca 100 kil., uderza w płytę stali lanej z prędkością 600^m, nie wnikając w nią, ani też od niej się odbijając, obliczyć ilość ciepła, jaką wytwarza. Rozw. 452 ciepł.

555. Toż samo rozwiązać ogólnie. Rozw. $\frac{pv^2}{8480}$ ciepłostek.

556. Asteroid, ważący 1000 kil., utracą w powietrzu ze swojej prędkości 1 milę; ile przez to utworzy się ciepła? Rozw. 6500000 ciepłostek.

557. Ile wywiązałyby się ciepła przy uderzeniu ziemi o słońce? Rozw. Ciężar ziemi na słońcu = 7 kwadrylionów \times 28 kil.; przyjmując, że ziemia dla pozyskania obecnej swojej prędkości, musiała spaść do dzisiejszego położenia z trzy razy większej odległości od słońca, jak dzisiejsza, — wypada ilość ciepła = 280000 kwintylionów ciepłostek, która byłaby dostateczną do zaspokojenia dzisiejszego rozchodu słońca (promieniowania) przez 93 lata.

558. Ile powstaje ciepła przy spaleniu 10 kil. czystego węgla? Rozw.—80000 ciepłostek.

559. Jeden kil. gazu oświetlającego po spaleniu wydaje 6000 ciepłostek; jakąż możnaby wykonać pracę, gdyby wszystko to ciepło mogło być dokładnie spożytkowane? Rozw. 2544000 KM.

560. Ile pracy może dostarczyć przy swoim spaleniu 1 kil. węgla kamiennego, jeśli gorejąc wywiązuje 7500 ciepłostek? Rozw. 3180000 K—M.

561. Jeśli maszyna parowa dla wydobycia siły jednego konia zużywa na godzinę 9 kil. węgla kamiennego, jakież procent całej ilości wywiązującego się ciepła przeobraża się w tej maszynie w pracę? Rozw. 9 kil. dają w ciągu godziny 67500 ciepłostek, więc w sekundzie 18 ciepłostek = 7632 K—M; że zaś istotnie powstaje tylko praca=75 K—M, więc ilość szukana wynosi $\frac{75}{7632}$, t. j. mniej niż $1\frac{0}{10}$.

562. Motor gazowy Otto-Langena spożywa 0,8 kil. gazu przez godzinę na siłę jednego konia; ileż wytwarza procentów? Rozw. $13\frac{0}{10}$.

563. Ciepło właściwe kwasu węglanego = 0,2; jakaż jest temperatura gorzenia czystego węgla? Rozw. 1 kil. węgla wydaje $3\frac{2}{3}$ kil. kwasu węglanego i przytem 8000 ciepłostek, więc 1 kil. kwasu węglanego posiada 2200 ciepłostek; żąd szukana temperatura = 11000⁰.

564. Szyna żelaza przy 0⁰ jest długa 3^m; znaleźć jej długość przy 30⁰. Rozw. 3^m,001.

565. Pręt cynkowy przy 100⁰ ma długość = 334^{cm}; jakaż jego długość przy 0⁰? Rozw. 333^{cm}.

566. Dwa mury oddalone o 10^m, odchyliły się od siebie o 6^{cm}; chcemy je przywrócić do pierwotnego położenia przez ściągnięcie za pomocą kotwicy żelaznej; do iluż stopni należy poprzednio rozgrzać sztaby żelazne? Rozw. Do 500⁰.

567. Tabliczka prostokątna ma przy 0⁰ długość = d i szerokość = s; jaka będzie jej powierzchnia P przy t⁰? Rozw. $P = ds(1 + \alpha t)^2 =$ w przybliżeniu $ds(1 + 2 \alpha t)$.

568. Obliczyć powierzchnię blaszki srebrnej kwadratowej przy 300⁰, jeżeli bok jej przy 0⁰ = 200^{mm}. Rozw. 404,8^{cm}□.

569. Współczynnik rozszerzania piaskowca = 0,000012; obliczyć rozszerzenie bryły 1^m sześcienn. wyciosanej z tego piaskowca przy podwyższeniu temperatury od —10⁰ do 30⁰. Rozw. 1440^{cm}.

570. Naczynie szklane przy 0⁰ mieści w sobie dokładnie 1^{dm} sześcienn. wody; ileż jej pomieści przy 100⁰? Rozw. 1,0024^{dm} sześcienn.

571. Współczynnik rozszerzania drzewa dla 1⁰ C. jest 0,00000375; jakież będzie dla 1⁰ R.? Rozw. 0,00000469.

572. Jaka objętość przy 100⁰ będzie miała taka ilość rtęci, która przy 0⁰ zajmuje 1 litr? Rozw. 1018,2^{cc}.

573. Jaka jest gęstość rtęci przy 200⁰, kiedy przy 0⁰ wynosi 13,59?—Rozw. 13,11.

574. Ciało przy 0⁰ ma gęstość d; jaka będzie gęstość jego przy t⁰?—

Rozw. $d' = \frac{d}{1 + \alpha t}$.

575. Barometr pokazuje 760^{mm} ciśnienia przy t^0 ; sprowadzić wysokość jego do 0^0 , t. j. wyliczyć, jaka byłaby wysokość barometru przy temże samym ciśnieniu atmosfery, gdyby temperatura była 0^0 ? Rozw. $h' = \frac{h}{1+0,0001812t}$
 = (prawie) $\frac{760}{1+\frac{1}{5550}t}$.

576. Zadanie poprzedzające rozwiązać 1) sposobem ścisłym i 2) sposobem przybliżonym. Rozw. 757,255 i 757,261.

577. Wyrachować współczynnik rozszerzania rtęci dla 1^0 R. Rozw. $\frac{1}{4440}$.

578. Obrachować ciężar właściwy cieczy przy 0^0 , jeżeli ciężar ten przy $t^0 = w$. Rozw. $w' = w(1 + \alpha t)$.

579. Wahadło mosiężne, którego długość przy $0^0 = 1^m$, ile przy t^0 uczyni wahnien w ciągu godziny? Rozw. $n = 3600 : \pi \sqrt{\frac{l(1 + \alpha t)}{g}}$.

580. Wahadło sekundowe z mosiędzu, którego długość = 0,994^m przy 0^0 , o ileż mniej zrobi wahnien przez dzień przy 20^0 , jak przy 0^0 ? Rozw. Zamiast 86400 tylko 86383, więc mniej o 17, zatem przez tydzień zegar opóźni się o 1 minutę.

581. Litr gazu przy 0^0 jaką zajmie objętość przy 100^0 ? Rozwiązanie. 1366,5^{cm³}.

582. Obliczyć prężność powietrza niemogącego powiększać swojej objętości przy 200^0 . Rozw. 1317^{mm} rtęci.

583. Gęstość gazu przy 0^0 i przy ciśnieniu atmosfery, wynoszącym 760^{mm} = d; jakąż będzie przy wysokości barometru h i przy t^0 ciepła? Rozwiązanie.

$$d' = \frac{d \cdot \frac{h}{760}}{1 + \alpha t}$$

584. Arago i Biot oznaczyli w r. 1806 gęstość gazów następującym sposobem: bania napełniona powietrzem przy wysokości barometru H i przy temperaturze t^0 ważyła P kil.; po rozrzedzeniu zaś w niej powietrza aż do osiągnięcia prężności h ważyła tylko p kil.; taż bania napełniona gazem do prężności H' i przy t'^0 ważyła P' kil.; a po powtórnem wyciągnięciu powietrza do h'—jeszcze p' kil. Oznaczyć gęstość gazu δ . Rozwiązanie:

$$\delta = \frac{(P' - p')(H - h)(1 + \beta t)(1 + \alpha' t')}{(P - p)(H' - h')(1 + \beta' t')(1 + \alpha t)}$$

gdzie α , α' i β są współczynniki rozszerzania powietrza, gazu i szkła.

4. Drugie główne działanie ciepła.

ZMIANA STANU SKUPIENIA CIAŁ.

Są cztery zmiany stanu skupienia: 1) przejście ciała ze stanu stałego w ciekły, czyli topnienie; 2) przejście ciała ze stanu ciekłego w sta-

ły, czyli krzepnienie; 3) przejście ciała ze stanu ciekłego w lotny, czyli parowanie; 4) przejście ciała lotnego w ciekłe, czyli skroplenie.

I. Topnienie. Dla stopienia ciała potrzeba nadać mu oznaczoną i zawsze niezmienną temperaturę, która zowie się punktem topnienia; oprócz tego potrzeba mu jeszcze w czasie topnienia dostarczyć pewną ilość ciepła, która się zużywa na stopienie ciała, która wcale temperatury jego nie podwyższa, a która się zowie *cieplem topnienia* (dawniej ciepło utajone, lub związkowe).

Ażeby ciało stopić, potrzeba cząsteczki jego tak daleko od siebie rozsunąć, aby wzajemne ich przyciąganie doprowadzić prawie do zera; to rozsuwanie cząsteczek stanowi pracę, która kosztem siły żywej cząsteczek dokonaną być musi. Lecz aby jakakolwiek siła mogła wykonać pewną pracę, musi najprzód osiągnąć pewnego natężenia, pewnej wysokości; gdy np. ciężki kamień, leżący na jakim pokładzie, chcemy naprzód posunąć, dokonywając tej pracy z o ile można najmniejszym naprężeniem naszych mięśni, wtedy musimy naprężenie ich zwolna i stopniowo powiększać, aż osiągnie wysokości potrzebnej do przewyciężenia tarcia kamienia o pokład; wówczas dopiero może naprężenie naszych mięśni wykonywać pracę, która zostaje całkowicie pochłoniętą przez tarcie. Dopóki mięśnie nasze wykonywają tę pracę, dopóty dalsze podwyższenie ich naprężenia jest niepotrzebnem, a nawet niemożliwem (pewnik 5). Podobnie, aby siła żywa cząsteczek stała się zdolną do takiego rozsuwania cząsteczek, jakie jest potrzebne do nadania ciału stanu ciekłego, musi ta siła żywa czyli inaczej temperatura podwyższyć się aż do tego stopnia, przy którym równoważy się z oporem, jaki jej stawiają cząsteczki skutkiem wzajemnego pomiędzy sobą przyciągania się. Ta to właśnie temperatura jest *punktem topnienia* ciała. Ale nie dość jest doprowadzić ciało do punktu topnienia, nie dość jest podwyższyć jego siłę żywą aż do tego stopnia, przy którym staje się ona zdolną do pokonywania wzajemnego przyciągania cząsteczek; potrzeba jeszcze dla stopienia ciała pokonać w samej rzeczy to przyciąganie, potrzeba wykonać pracę nowego uporządkowania cząsteczek, właściwego stanowi ciekłemu. Praca ta dokonywa się kosztem siły żywej, t. j. ciepła, i to właśnie ciepło, które się przeistacza na pracę roztopienia ciała, nazywa się *cieplem topnienia*. Podczas dokonywania tej pracy, dalsze podwyższenie siły żywej (temperatury) nie jest potrzebne, ani nawet możebne, bo w tym razie siła rozsuwająca i ruch sprowadzający rozsuniecie ściśle zlewają się z sobą; rozsuwanie cząstek uskutecznia się bowiem skutkiem tego, że każdy nieskończenie mały przyrost ruchu natychmiast bardziej oddala od siebie cząsteczki i przez to przeistacza się w pracę; tym sposobem wszystko ciepło, które dochodzi do ciała, zużywa się na pracę, a nie na podniesienie temperatury. Chociaż zatem do ciała topniejącego ustawicznie coraz nowa ilość ciepła przychodzi, temperatura jego pozostaje przez cały czas topnienia niezmienną. Na mocy powyższego objaśnienia zjawisk topnienia, powinno topnienie być zawsze połączonem z rozszerzaniem się, to też to w samej rzeczy zachodzi w największej liczbie przypadków. Tylko niektóre ciała, których wewnętrzna budowa jest krystaliczną, jak np. lód i bizmut, przedstawiają wyjątek od tego prawa, bo się kurczą przy topnieniu, a rozszerzają przy przechodzeniu w stan stały. Ta pozorna nieprawidłowość pochodzi

zład, że te ciała powstają z połączenia drobnych kryształków, czyli ziarn krystalicznych w ten sposób, iż pomiędzy nimi znajduje się mnóstwo miejsc pustych, które następnie, podczas topnienia, zapełniają się łatwo ruchliwymi cząsteczkami cieczy. Jakkolwiek zatem każde rozpadające się na cząsteczki ziarno krystaliczne zajmuje teraz więcej miejsca, niż zajmowało poprzednio, jakkolwiek zatem w istocie rozszerza się, to przecież całkowita objętość ciała staje się mniejszą.

Punkt topnienia (Deluc 1790) jest dla jednego i tego samego ciała niezmienny, ale dla różnych ciał niejednakowy, bo i przyciąganie międzycząsteczkowe w rozmaitych ciałach różną ma wielkość. Wielka liczba ciał topnieje w granicach temperatur, dających się z łatwością otrzymać za pomocą zwyczajnych środków ogrzewania; inne, jak np. platyna, kwarc, wapno, topią się dopiero w płomieniu dmuchawki zasilanej mieszaniną piorunującą, niektóre nareszcie w najsilniejszym cieple albo zaledwie okazują tylko jakieś ślady poczynającego się topnienia, jak np. węgiel, albo są całkiem nie-topliwe, jak np. osm (metal). Wiele ciał przy zwyczajnej temperaturze znajduje się w stanie ciekłym; takie ciała mają swój punkt topnienia nieco nad 0° , lub pod 0° ; niektóre gazy nie dały się dotąd przeprowadzić w stan skrępeły, a więc punkt ich topnienia jest nieznanym i leży gdzieś bardzo nisko pod 0° . Przy wzroście ciśnienia zewnętrznego podwyższa się i punkt topnienia, ale bardzo nieznacznie. Punkt topnienia spłynów (aljaże) jest niższym od średniej arytmetycznej punktów topnienia metalów, wchodzących w ich skład, a nawet dla wielu leży niżej, niż punkt topnienia któregośkolwiek ze składowych metalów.

Stałość punktu topnienia okazuje się już z doświadczenia przytoczonego poniżej, na mocy którego oznacza się punkt marznięcia na rurce barometru:— Despretz używał do rozmiękczenia i nadtopienia węgla, umieszczonego w przestrzeni wypełnionej azotem, baterii złożonej z 500 — 600 elementów Bunsena; magnezyna topi się już przy 187 elementach, metale iryd i rod, glinika i inne tlenki metali ziemistych topią się w płomieniu dmuchawki wodorowo-tlenowej. Punkty topnienia ciał trudno topliwych oznaczył Pouillet za pomocą swojego pyrometru; następujące liczby wskazują punkt topnienia rozmaitych ciał:

Żelazo miękkie (kowalne)	1600 ⁰	Bismut	265 ⁰	Masło	32 ⁰
Stal	1400	Cyna	230	Olej rzepakowy	1
Surowiec (żelazo lane)	1200	Siarka	111	Lód	0
Złoto	1200	Sod	90	Olejek terpentynowy	27
Miedź	1050	Stearyna (kwas)	70	Rtęć	39
Srebro	1000	Wosk	68	Kwas węglany	58
Kadm	500	Olbrót	47	Ammoniak	75
Cynk	360	Fosfor	43	Siarkowodór	86
Ołów	330	Łój	40	Tlenek azotu	100.

I. Thomson i Clausius (1850), na podstawie teorii mechanicznej ciepła, wprowadzili wniosek, że punkt topnienia powinien się podwyższać w miarę powiększania się zewnętrznego ciśnienia. Jakoż wszystkie ciała, które podczas to-

pnienia powiększają swoją objętość, muszą wykonywać przytem pracę zewnętrzną, a mianowicie, muszą odierać ciśnące na nie powietrze, aż do granicy swego rozszerzania; ztąd wynika, że przy większem ciśnieniu ciało musi być doprowadzone do wyższej temperatury, musi więc siły żywej posiadać, aby mogło to ciśnienie odierać, jak przy niższem, a następnie, gdy już równowaga nastąpi, t. j. gdy ciało dojdzie do punktu topnienia, będzie przez cały czas topnienia tem większa ilość siły żywej przeistaczała się w pracę topnienia, im ciśnienie zewnętrzne jest większe. Tak więc wraz z ciśnieniem podwyższa się punkt topnienia i wzrasta ciepło do roztopienia potrzebne, t. j. ciepło topnienia. Wniosek ten co do punktu topnienia sprawdzony został przez Bunsena i Hopkinsa przez doświadczenie. Bunsen znalazł, że olbrot pod ciśnieniem 1 atmosfery topi się przy 48° , pod ciśnieniem zaś 156 atmosfer topi się przy 51° . Hopkins okazał, że tenże olbrot przy 519 atm. topi się przy 60° , a przy 792 atm. przy 80° ; punkt topnienia siarki przy tych dwóch ostatnich ciśnieniach wynosi 135° i 141° . Ta zgodność doświadczenia z wywodem teoretycznym jest ważnem stwierdzeniem prawdziwości samej teorii mechanicznej ciepła. Jeszcze mocniejszym dowodem zasadności tej teorii jest osobliwe zachowywanie się wody. Z kurczenia się lodu podczas topnienia I. Thomson i Clausius wynioskowali, że dla wody punkt topnienia powinien się obniżyć przy podwyższeniu ciśnienia zewnętrznego; w tym bowiem razie nie tylko topniejący lód nie wykonywa żadnej pracy zewnętrznej, bo nie potrzebuje odierać żadnego ciśnienia, ale owszem praca w tem ciśnieniu zawarta, praca zewnętrzna, w miarę zmniejszania się objętości lodu przeistacza się w ciepło, przez co mniej obcego ciepła do roztopienia lodu potrzeba. W tym razie ciśnienie działa w tym samym kierunku, co i ciepło zewnętrzne, t. j. przyczynia się do rozdzielania ziarn krystalicznych, skutkiem czego siła żywa cząsteczek, czyli temperatura do roztopiania wody potrzebna, musi być niższą przy wyższem, aniżeli przy niższem ciśnieniu. Ale to obniżenie punktu topnienia lodu, podobnie jak podwyższenie punktu topnienia olbrotu, przy wzrastającym ciśnieniu zawsze bardzo małym być musi, bo siły międzycząsteczkowe w ciałach stałych znakomicie przeważają wszelkie ciśnienie zewnętrzne; bo zatem praca wewnętrzna jest tu daleko większą od zewnętrznej. I te wnioski wpływają z teorii mechanicznej naturalnie zostały stwierdzone doświadczeniem. W. Thomson, zanurzając w mieszaninie lodu i wody bardzo czuły termometr napełniony eterem, znalazł, że pod ciśnieniami 8 i 17 atmosfer obniżenie punktu topnienia wynosiło $0,0575^{\circ}$ i $0,1287^{\circ}$ C. Mousson (1858) okazał, że woda ściśniona marznie dopiero poniżej 0° , a mianowicie pod ciśnieniem 13000 atmosfer przy -18° , i że odwrotnie lód poddany ciśnieniu już poniżej 0° zaczyna się topić.

Obniżenie punktu topnienia spłynów metalicznych, które podług Mathiesena tłómaczy się tem, że cząsteczki różnorodne słabiej się przyciągają, niż jednorodne, stwierdzonem zostało licznymi badaniami. Spłyn 1-jej części cyny z 6-ma ołowiu topi się przy 270° , 1-jej części cyny z 2-ma ołowiu — przy 227° , 6-ciu cyny z 1-ą ołowiu — przy 194° , 1-jej bizmutu z 1-ą ołowiu i 1-ą cyny — przy 123° , 8 u bizmutu z 8-ma cyny i 3-ma ołowiu (metal Rosego)—przy $94,4^{\circ}$, 8-u bizmutu z 2-ma kadmu, 2-ma cyny i 4-ma ołowiu (spłyn Wooda) — przy 65° do 71° . Podobnie obniżenie punktu topnienia okazują mieszaniny kwasów tłuuszczowych (Heintz 1854). Stal topi się łatwiej, niż żelazo, chociaż zawiera w sobie węgiel, który jest prawie wcale nietopliwym; przykładowi dodawane do rud

metalicznych dla otrzymania łatwo topliwego zuzła są same przez się dopiero w płomieniu dmuchawki wodorowo-tlenowej topliwe; do czystych metalów dodaje się pewna ilość innych metalów, dla zrobienia ich topliwszemi; jeżeli tygiel platynowy zrobiony jest z nieczystego metalu, wtedy w mocnym ogniu zostaje podziurawiony w tych miejscach, w których platyna była obcemi ciałami zanieczyszczoną. Spłyn przed roztopieniem się pospolicie się najprzód rozmiękcza, co ma ztąd pochodzić, że przy topnieniu rozpada się na dwie części różnej topliwości, że zatem jedna część spłynu pozostaje jeszcze skrzeplą, gdy druga już roztopioną została. I niektóre inne ciała, a mianowicie głównie bezpostaciowe kolloidy ulegają przed topnieniem podobnemuż rozmiękzeniu, i dla tego rozszerzenie tych ciał podczas topnienia, np. podług Kopp'a, wosku i siarki odbywa się stopniowo, powolnie. Przeciwnie krystalloidy zazwyczaj odrazu przechodzą ze stanu skrzeplego w stan doskonale ciekły i okazują nie powolne i stopniowe, ale szybkie i natychmiastowe rozszerzenie przy swoim topnieniu; w tej samej chwili, w której rozpadają się zarodki kryształów, cząsteczki zostają zupełnie wyswobodzone z pod władzy wzajemnego przyciągania i tworzą ciecz doskonale ruchliwą. Odmiiany allotropowe mogą się różnić punktem topnienia, bo one zależą od rozmaitego uporządkowania cząsteczek, któremu odpowiada niejednakowe przyciąganie międzycząsteczkowe; tak np. fosfor bezpostaciowy topi się przy 252° , zwyczajny zaś przy 44° . Siarka i selen nie mają tej własności, bo ich odmiiany bezkształtne przy 100° zamieniają się nagle w pospolite.

Ciepło topnienia (Black 1775) jest to ciepło, które potrzeba dostarczyć 407. ciału doprowadzonemu już do punktu topnienia, aby je zamienić na ciecz, mającą też samą temperaturę. Ciepło to oblicza się zawsze dla jednego kilograma i wyraża w ciepłostkach. Tak np. ciepło topnienia lodu jest około 80 ciepłostek (dokładniej 79,25); to znaczy, że dla przeprowadzenia 1 kilograma lodu mającego 0° w kilogram wody mający także 0° , potrzeba mu dostarczyć 80 ciepłostek, t. j. tyle ciepła, ile go potrzeba do ogrzania 1 kil. wody o 80° . Ponieważ ciepło, o którym mowa, zostaje pochłonięte przez ciało, a temperatura jego wcale się nie podwyższa, dla tego dawniej, gdy jeszcze panowała teoria, uważająca ciepło za szczególny płyn nieważki, zwany cieplikiem, nazywano ciepło topnienia ciepłem utajonem, albo związanem.

Zmięszawszy 1 kil. drobno potłuczonego lodu przy 0° z kilogramem wody przy $79,25^{\circ}$, otrzymujemy 2 kil. wody przy 0° ; zatem 79,25 ciepłostek wziętych od wody zostały zużyte na roztopienie 1 kil. lodu. Ciepło topnienia lodu po raz pierwszy wymierzili dokładnie *de la Prevostaye* i *Desains* (1834); w tym celu wrzucili oni w masę wody, ważącą m i mającą temp. t° , kawałek lodu, którego ciężar = M , a temperatura = 0° , i po roztopieniu lodu oznaczyli nową temperaturę wody T . Oznaczywszy ciepło topnienia lodu przez x , rozmawiali oni w ten sposób: lód otrzymał przy roztopieniu się ilość ciepła = $M(x+T)$; woda utraciła $m(t-T)$ ciepłostek; że zaś ciepło zyskane przez lód jest właśnie ciepłem utraconem przez wodę, więc $M(x+T) = m(t-T)$; ząd $x = \frac{m(t-T) - MT}{M}$. *Regnault* (1844) i *Person* (1848) za pomocą podobnych metod i po wprowadzeniu

wszystkich poprawek przy swoich doświadczeniach, otrzymali też samą liczbę 79,25 ciepłostek. Person oznaczył i ciepło topnienia innych ciał i otrzymał dla fosforu 4, dla siarki 9, saletry chilijskiej (azotan sodu) 63, cyny 14, bizmutu 13, ołowiu 5, cynku 28, srebra 21, rtęci 3.

Ciała stałe nie tylko przez ogrzewanie, ale i inną drogą, a mianowicie przez *rozpuszczenie* mogą być przeprowadzone w stan ciekły, a doświadczenie przekonawa, że i w tym razie rozpuszczające się ciało pochłania ciepło. Wrzuciwszy do wody pewną ilość sproszkowanej soli kuchennej i mieszając ciecz termometrem, spostrzegamy wkrótce obniżanie się jej temperatury; jeszcze wyraźniej pokazuje to stos termoelektryczny. Zużycie ciepła jest tem większe, im w większej ilości wody sól się rozpuszcza, bo w tym razie cząstki soli więcej się rozdrabniają, rozpraszając się pośród całej masy wody, więc następuje mocniejsze powiększenie rozsunięcia, na które więcej pracy, a zatem więcej ciepła potrzeba. Tak podług Persona ciepło rozpuszczenia soli kuchennej w wodzie wynosi 10,13 lub 23 ciepłostek, podług tego, jak 1 część soli rozpuszcza się w 4, w 7 lub w 15 częściach wody; dla saletry chilijskiej ciepło rozpuszczenia wynosi 36,48 albo 60 ciepłostek, gdy ilość wody jest 2, 5 albo 20 razy większą od ilości tej soli. Przytoczone liczby przekonują, że ilość pochłoniętego ciepła wzrasta w daleko mniejszym stosunku, niż ilość rozpuszczającej cieczy, z kąd wypada, że obniżenie temperatury roztworu jest tem większe, im ten roztwór jest mocniej nasyconym.— Wniosek ten zgodny z teorią sprawdził za pomocą doświadczeń *Rudorff* (1869). Wsypywał on do wody rozmaite sole w nieco większej ilości, niż do zupełnego nasycenia jej było potrzeba, a to w tym celu, aby to nasycenie nastąpiło, o ile można, najprędzej i znalazł, że obniżenie temperatury roztworu dla soli kuchennej wynosi w tym razie $2^{\circ},5$, dla chlorku potasu $12^{\circ},6$, dla salmijaku $18^{\circ},4$,— dla jodku potasu $22^{\circ},5$, dla chlorku wapnia krystalicznego 23° , dla azotanu amonu $27^{\circ},2$, dla rodanku potasu $34^{\circ},5$. Tak znaczne obniżenie temperatury wielu roztworów spożytkowanem zostało do robienia *mieszanin oziębiających*, używanych często przy doświadczeniach chemicznych, a niekiedy i w życiu codziennem. Mieszananina 3 cz. salmijaku z 10 cz. wody, obniża temperaturę wody z 13° na -5° ; mieszananina 3 cz. rodanku potasu i 2 wody — z 11° na -23° . Jeśli w tej mieszananinie zanurzymy rurkę z cienkiego szkła napełnioną do połowy wodą (epruwetkę), woda, zwłaszcza przy wstrząsaniu i poruszaniu rurki, po 2 lub 3 minutach w niej zamarnie. Oziębienie będzie jeszcze silniejsze, gdy zamiast wody użyjemy do mieszanimy oziębiającej tłuczonego lodu lub śniegu, W tym razie, przez wzajemne na siebie działanie wprawionych w ruch cząsteczek, następuje połączenie obu ciał, odpowiadające rozpuszczeniu jednego z nich przez drugie;— ponieważ zaś te roztwory mają daleko niższy punkt topnienia, aniżeli każda z ich części składowych (o czem niżej), przeto owa skrzepla mieszanimy musi przejść w stan ciekły. Z tego powodu w tym razie zużywa się nie tylko ciepło do rozpuszczenia soli potrzebne, ale i ciepło konieczne do przeprowadzenia śniegu albo lodu w stan ciekły, przez co temperatura mieszanimy obniża się daleko więcej, niż przy użyciu wody. Tak np. mieszanimy 3 cz. śniegu z 1 cz. soli kuchennej obniża swoją temperaturę do -21° (Fahrenheit otrzymał $-17^{\circ},7$ C. i w tym punkcie naznaczył 0° swojej podziałki); 3 części krystalicznego chlorku wapnia i 1 część śniegu dają zimno = -33° . Obniżenie temperatury dochodzi prztem, jeżeli stosunek części składowych jest taki, jaki odpowiada nasyceniu, aż do

punktu marznięcia nasyconego roztworu, ale nigdy niżej, bo podczas marznięcia ciepło napowrót się wzbudza. Jeżeli mieszanina zrobiona jest w innym stosunku, wtedy oziębienie nie jest tak silne, bo roztwory mniej zagęszczone mają wyższy punkt topnienia.

2. Krzepnienie. Przechodzenie cieczy w stan stały jest zjawiskiem **408.** wprost pod każdym względem odwrotnem topnieniu. Aby ciecz mogła krzepnąć, musi ona najprzód oziębć się do pewnej temperatury, która się zowie *punktem krzepnienia* albo *zamarzania*. Punkt krzepnienia jest dla każdego ciała tenże sam, co i punkt topnienia. Podczas krzepnienia cieczy, zachodzi zmniejszenie rozsunięcia, skutkiem którego wytwarza się taka sama ilość ciepła, jaka przy topnieniu pochłonięta czyli zużyta została. Ztąd wynika, że ciepło wytworzone przy krzepnieniu równa się ciepłu topnienia; dawniej mówiono, że ciepło, które się przy topnieniu utaiło, wyswabadza się podczas krzepnienia. Punkt krzepnienia największej liczby cieczy przez ciśnienie zewnętrzne się podwyższa, dla wody zaś się obniża. Krzepnienie może być opóźnionem, t. j. ciecz może być oziębioną poniżej punktu swojego zamarzania, nie tracąc stanu ciekłego, czyli, jak mówią, może być *przechłodzoną*, jeśli ją zabezpieczymy od wszelkiego wstrząśnięcia i zetknięcia z ciałami stałymi, lub gdy przeciwnie przez silne klócenie wprawimy ją w gwałtowny ruch, jak również, gdy ją zamkniemy w wąskiej włoskowatej rurce, lub, gdy nareszcie rozpuszczczą w niej będziemy jakie ciało. Roztwory, podobnie jak i mieszaniny, mają niższy punkt krzepnienia, aniżeli ciecz rozpuszczające, i tem niższy, im roztwór bardziej jest nasycony.

Gdy ciecz jaką oziębimy sztucznie poniżej jej punktu zamarzania, t. j. gdy ją przechłodzimy, a następnie pozwolimy jej marznąć, wówczas temperatura podnosi się nagle aż do punktu krzepnienia, część cieczy przechodzi gwałtownie w stan stały, reszta zaś pozostaje w stanie ciekłym działaniem ciepła krzepnienia, powstałego przy zamarznięciu pierwszej. Gdy np. weźmiemy kilogram wody niezawierającej rozpuszczonego w sobie powietrza i zabezpieczywszy ją od wstrząśnięć i od przeciągu powietrza, przechłodzimy wodę do -10^0 i wtedy wstrząśniemy, wówczas zamarznie natychmiast $\frac{1}{8}$ całej masy, reszta zaś wody, równie jak lód utworzony podniosą swoją temperaturę do 0^0 . Ponieważ w tym razie ciepło wzbudzone przy zamarznięciu $\frac{1}{8}$ kilograma podniosło temperaturę całego kilograma wody na 10^0 , więc przy zamarznięciu $\frac{8}{8}$, t. j. całego kilograma wody, musi się wytwarzać 8 razy większa ilość ciepła, t. j. 80 ciepłostek; zatem ciepło krzepnienia wody równe jest ciepłu topnienia (lodu). Ciepło krzepnienia wody sprawia, że rzeki, jeziora i morza bardzo powolnie zamarzają; gdy bowiem jedna część wody marznie, wtedy wytwarzająca się przy tem ilość ciepła rozgrzewa wodę znajdującą się pod lodem i nie pozwala jej krzepnąć, tem więcej, że owa wierzchnia lodowa skorupa, jako zły przewodnik ciepła, nie daje tej wodzie zbyt szybko się oziębiać. Dla podobnejże przyczyny ciepło topnienia sprawia powolne tajenie mas lodowych, bo na roztopienie się części masy lodowej zużywa się cała rozporządzalna ilość ciepła znajdującego się w częściach sąsiednich, tak że do ich

roztopienia potrzeba im najprzód nową ilość ciepła od zewnątrz dostarczyć. Ciepło krzepnięcia tłómaczy niektóre zjawiska, zachodzące przy połączeniach chemicznych, np. ogromne podwyższenie temperatury podczas gaszenia wapna; w tym razie woda łącząc się z wapnem, przechodzi w stan stały, z kąd owo rozgrzanie całej masy. Podobnież powstaje ciepło przy krystallizacyi. Jeśli wlejemy do kolbki 1 cz. wody zmieszanej z 2 cz. soli glauberskiej i zagotujemy otrzymane roztwór, a następnie, szybko zamknąwszy otwór kolbki korkiem, w którym osadzony jest termometr, pozwolimy cieczy spokojnie się oziębić i wówczas pogrążywszy termometr w roztworze, wtedy natychmiast rozpocznie się krystallizacya i nastąpi mocne rozgrzanie się masy znajdującej się w kolbce. Gdy znowu przez ogrzanie do 45^0 roztopimy w kolbce pewną ilość podsiarkonu sodu, pozwolimy otrzymanej cieczy oziębić się spokojnie do zwyczajnej temperatury, a po takim oziębieniu wrzucimy w nią kawałek tejże samej soli w stanie stałym, wtedy cała masa krystallizuje się gwałtownie, a temperatura podwyższa się przytem o 20^0 .

Zjawisko przechłodzenia t. j. oziębienia cieczy poniżej punktu krzepnięcia bez ich zamrożenia (woda do -12^0 , fosfor do $+24^0$, siarka do $+20^0$) nie jest dotąd dostatecznie wytłómaczonem. Jedni mniemają, że ono polega na ciepłe krzepnięcia, że mianowicie w całej masie cieczy powstają bardzo drobne cząstki skrzące i że ciepło, które przy tem powstaje, nie mogąc się wydostać nazewnątrz z powodu małego przewodnictwa ciał ciekłych, utrzymuje inne cząstki cieczy w stanie ciekłym; inni objaśniają przechłodzenie stanem równowagi niestajej, w jakim znajdują się ciecze pod względem wewnętrznej swojej budowy, z którego to stanu dopiero przez obce potrącenie (wstrząśnienie) do stanu równowagi stajej, t. j. do stanu stałego, przechodzą. Oba te przypuszczenia nie tłómaczą bynajmniej, dla czego ciecz może być przechłodzoną przez wprawienie jej w gwałtowny ruch. Ten ostatni rodzaj przechłodzenia dla krystalloidów tłómaczy się pro prostu przez to, że silny ruch cieczy przeszkadza tworzeniu się zarodków krystallicznych; takie same działanie wywiera w rurkach włoskowatych przyleganie, skutkiem którego można wodę w takich rurkach przechłodzić aż do -20^0 .

Widzieliśmy powyżej, że mieszaniny stałe mają obniżony punkt topnienia, t. j., że topią się przy niższej temperaturze, jak każda z ich części składowych; podobnież i mieszaniny ciekłe mają obniżony punkt krzepnięcia. Roztwory wodne marzną nie przy 0^0 , ale poniżej 0^0 , i to tem niżej, im mocniej są zagęszczone. Według Rüdorffa (1865) obniżenie jest proporcjonalne do ilości procentowej ciała rozpuszczonego w cieczy; woda zawierająca 2% soli kuchennej zamarza przy $-1^0,2$; mająca 12% przy $-7^0,2$; ale obliczając ilość stosunkową ciała rozpuszczonego, potrzeba wliczać w nią i wodę krystalliczną, wchodzącą w skład wielu soli, z kąd wnioskujemy, że sole te rozpuszczają się w wodzie jako sole, zawierające wodę krystalliczną, t. j., że każda ich cząstka zachowuje w sobie tę wodę nawet i po rozpuszczeniu. Przy krzepnięciu roztworów solnych woda krzepnie oddzielnie i tworzy lód zupełnie czysty, t. j. niezawierający w swoim składzie soli; na tej zasadzie otrzymują sól z wody morskiej bardzo tanim kosztem.— W tym celu wodę wystawiają w naczyniu na mróz i od czasu do czasu rozbijają i wyrzucają utworzoną na wierzchu skorupę lodową, przez co wszystka sól pozostaje rozpuszczoną w coraz mniejszej ilości wody, a gdy roztwór pozyska już należyte zagęszczenie, wtedy dopiero odparowują resztę wody przez ogrzewanie.— Jeżeli znaczna ilość wody słonej w naczyniu lub w naturalnym zbiorniku zamara-

nie, wtedy sól zagęszczona w bardzo małej ilości wody, tworzy cienkie warstewki ciekłe, przegradzające tablice kryształów lodowych. Punkt zamarzania wody morskiej leży przy $-2^{\circ},2$; jednakże może ona, nawet przy zwykłym swoim ruchu, zostawać silnie przechłodzoną i wtedy zamarza dopiero przy silniejszym wzruszeniu, lub przy zetknięciu z jakim ciałem stałym, a szczególnie z ziarnami lodu lub śniegu. Takie zamarzanie przechłodzonej wody morskiej odbywa się tak szybko, że często morze zupełnie wolne od lodów nagle, prawie w jednej chwili zamarza, nigdy jednak w jednolitą masę lodową, ale zawsze tylko w gęstą krę, a to z dwóch powodów: raz, działaniem ciepła powstającego przy krzepnięciu, drugi raz, działaniem niezamarzłego a zagęszczonego roztworu solnego, który rozłącza powstające kawały lodu. Zasługuje na uwagę tworzenie się skorupy lodowej na dnie morza, co ztąd pochodzi, że woda morska, różna w tem od wody czystej, posiada największą gęstość dopiero przy $-5^{\circ},6$, i z tego powodu nie tylko może w całej swej masie obniżyć się do 0° , ale jeszcze znacznie pod 0° we wszystkich warstwach aż do samego dna przechłodzić się może, zwłaszcza w miejscach płytkich. Dla tego to w morzach przybiegunowych, na mieliznach dno morskie często bywa całkowicie pokryte lodem; znajdowano taki lód gruntowy nawet w głębokości 200 stóp. Gdy, podczas zimy, morze oziębiając się stopniowo, przechładza się w końcu aż do samego dna, wtedy czy to przez zetknięcie z dnem morskiem, czy też skutkiem żywszego ruchu niektórych warstw, zaczynają się tworzyć drobne kryształy lodowe, które, jako lżejsze, wznoszą się ku górze i podczas tego wznoszenia się wzruszając napotymane cząstki wody, zamieniają je w lód, przez co same rosną wokół i wreszcie wypływają na powierzchnię w postaci okrągłych placków, mających od 1 do 2 stóp średnicy. I to zjawisko, powstawania tych tak zwanych placków lodowych, niekiedy występuje nagle na wielkich przestrzeniach, lecz i w tym razie tworzy się tylko gęsta kra, nie zaś wielkie i jednolite masy lodowe.

Niekiedy spłyny mają podług *Rudberga* dwa punkty krzepnięcia: wyższy, który się zmienia wraz ze stosunkową ilością części składowych, i niższy który jest stały i tylko od jakości, a nie od ilości tych części zależy. Podług *Schultza* (1869) ten ostatni odpowiada topnieniu spłynu, zawierającego części składowe w tym samym zawsze względem siebie połączone stosunku, t. j. spłynu, mającego skład niezmienny; pierwszy zaś jest punktem topnienia metalu, pozostającego w nadmiarze, który zatem oddziela się od reszty spłynu, a raczej pozostaje jeszcze skręptym po wytopieniu wszystkiego spłynu. Podobnie zachowują się także cieczy, które tylko w oznaczonych stosunkach mogą się mieszać ze sobą. Podług *Schultza* przymieszka gazów działa obniżająco na punkt topnienia cieczy, i to tem silniej, im ciecz więcej zawiera w sobie rozpuszczonego gazu. Woda niezawierająca powietrza, umieszczona w kolbce pogrążonej w lód topniejący i również wolny od powietrza, zamarza.

Przymarzanie lodu (*Regelation* — Faraday 1850). Dwa kawałki lodu 409. przy 0° topniejące na zewnętrznych powierzchniach, przymarzają do siebie, gdy będą ściśle ze sobą zetknięte; zjawisko to zostało nazwanem przez Faradaya *regelacją* czyli przymarzaniem. Zjawisko to następuje tak wówczas, kiedy topniejące powierzchnie są tylko poprostu z sobą zetknięte, jak i wte-

dy, kiedy są słabiej lub mocniej przyciśnięte do siebie działaniem jakiegokolwiek ciśnienia zewnętrznego, np. za pomocą tłoczni (prasy); w ostatnim razie przymarzanie następuje prędzej i jest mocniejsze, niż w pierwszym. Odbywa się ono zarówno przy niskiej jak i przy wysokiej temperaturze powietrza, nawet wewnątrz gorącej wody. Skutkiem przymarzania lód posiada plastyczność, t. j. może działaniem mocnego ciśnienia przyjmować i zachowywać wszelki kształt, jaki pragniemy mu nadać. Tak np., gdy pomiędzy dwiema tabliczkami drewnianymi mającemi od wewnątrz odpowiednie wklęsłości, będziemy ścisnąć mocno stosowną ilość lodu, otrzymamy jasną i przezroczystą soczewkę dwuwypukłą lodową; tak pręt lodowy prosty, przy odpowiednim użyciu ciśnienia, można przeprowadzić stopniowo przez rozmaite zakrzywione kształty i w końcu nadać mu postać półokręgu.

Gdy na powierzchni wody pływa znaczna ilość kawałków lodu, dotykających się nawzajem, choćby tylko kilkoma punktami, można ciągnąc jeden kawałek, wszystkie inne wraz z nim pociągnąć. *Tyndall* w gorący dzień letni uchwyciwszy kawałek lodu leżący na wierzchu całej kupy, podniósł z nim razem do góry tyle lodu, że ten całą miskę napełnił. Lecz przymarzanie nie ma miejsca, gdy lód się nie topi, gdy więc jego temperatura jest niższą od 0° . Bardzo zimny śnieg nie daje się ubijać, ponieważ powierzchnie drobnych cząstek lodu, które go składają, nie topnieją, więc nie przymarzają przy ścisnaniu jedne do drugich; przeciwnie śnieg blizki punktu topnienia ubija się i ugniata bardzo dobrze; wiadomo, że ze śniegu topniejącego w rękach można z łatwością ugnieść piłkę lodową. Za pomocą tłoczni można z kawałków lodu lub ze śniegu otrzymać bryły lodowe prawie doskonale jedulite i przezroczyste; można wysokie a wąskie walce lodowe przerabiać na niskie i grube, i odwrotnie. W tenże sam sposób śnieg pokrywający wierzchołki Alp, zwany firnem (śniegowcem), zamienia się na lód tworzący lodowce alpejskie (gleczery), który, dzięki swej plastyczności, polegającej na przymarzaniu, wypełnia sobą doliny ze wszystkimi ich zakrzywieniami, zwężeniami i rozszerzeniami, a spotykając na swojej drodze strone spadki zwiesza się z nich w postaci lodowych wodospadów, które dosięgłszy na nowo dna doliny, znowu rozpościerają się po niej i wypełniają ją całkowicie.

Nie posiadamy dotąd zadawalniającego wytłumaczenia zjawiska przymarzania. *Faraday* uważał za zjawisko zetknięcia i przyrównywał do zjawisk chemicznych, w których ciało rozkładające pobudza do rozkładu inne, zetknięte z niem ciało. *Tyndall* twierdził, że przy zetknięciu powierzchni lodowych, znajdująca się na nich woda, zostaje zamkniętą wewnątrz lodu, i że przez to swobodny ruch cząsteczek cieczy powstrzymanym zostaje. *Schultz* (1869) mniema, że woda otoczona lodem z powodu braku powietrza zamarza daleko prędzej, niż woda znajdująca się w zetknięciu z powietrzem i zawierająca dużą jego ilość w roztworze. *Helmholtz* (1865) zbijał powyższe objaśnienia, dowodząc, że gdyby były słuszne, wtedy powinnyby przy marznieniu wytwarzać się znaczna ilość ciepła, której znikania powyższe przypuszczenia usprawiedliwić nie mogą. *Pfaundler* (1869) okazał, że przy zetknięciu lodu z wodą, ilość lodu nie może się powiększyć, bo suma sił żywych, stanowiących ciepło lodu i wody, musi pozostać niezmienną.

nia, — że zatem tylko postać lodu ulega tu zmianie. Cząsteczki wody ożywione ruchem postępującym, uderzając o lód, mogą się odbijać od niego, nie ulegając żadnej zmianie, ale mogą także zostawać pochwycone i zatrzymane przez cząsteczki lodu, lub też oddając tym cząsteczkom swój ruch postępujący, zbliżać je do stanu ciekłego. Jakoż lód, z powodu swojej budowy krystalicznej, może biegnącym cząsteczkom wody przeciwstawić swoje cząsteczki w najrozmaitszym położeniu i stanic: jedne z tych lodowych cząsteczek mogą bardzo uporczywie trzymać się swojego położenia równowagi, inne z mniejszą już siłą usiłują się w tem położeniu utrzymać, inne nareszcie z łatwością mogą być z niego wyparte; trzy te rozmaite stany muszą rozmaicie oddziaływać na uderzające cząstki wodne, skutkiem czego lód w jednych miejscach pozostaje bez zmiany, w innych narasta, w trzecich nareszcie zakłęsa, t. j. część swoich cząsteczek zewnętrznych utracą. — Tym sposobem pomiędzy powierzchniami topniejących kawałów lodu mogą się tworzyć cienkie mosty lodowe, łączące obie zetknięte z sobą powierzchnie. Pfaundler poparł swoje przypuszczenie następującem doświadczeniem. W kolbie szklanej zawiesił on kulę lodową prawie tej samej wielkości, co wnętrze kolby, a zatem prawie dotykającą się wewnętrznej powierzchni szkła; następnie zanurzył kolbę w topniejącym śniegu i zobaczył, że kula przymarzła do szkła za pośrednictwem mostków kulisto-krążkowej postaci. Tym sposobem wywołał on przymarzanie bez pomocy ciśnienia. Zwiększone ciśnienie, jak wszyscy badacze twierdzą jednozgodnie, znakomicie przyspiesza i wzmacnia przymarzanie, co Thomson i Helmholtz tłómaczą w sposób następujący: ciśnienie obniża punkt topnienia, skutkiem czego topniejący lód ma niższą temperaturę i przez to oziębia i zamraża otaczającą go wodę. Temu zimnu powstającemu przy ścisnieniu topniejącego lodu należy przypisać przymarzanie ściskanych kawałków lodu, jak również przymarzanie cząstek śniegu składających lodowce. Co się zaś tyczy przymarzania kawałków lodu poprostu zbliżonych tylko do siebie, ale nie ściskanych, Helmholtz tłómaczy je ciśnieniem zależnem od włoskowatości, które to przypuszczenie podług objaśnienia Pfaundera wydaje się wcale już niepotrzebnem.

3. Parowanie (Clausius 1857). Parowanie ciała może się odbywać zarówno na jego powierzchni, jak i w jego wnętrzu; w pierwszym razie zowie my je *ulatnianiem*, w drugim *wrzeniem*. Ulatnianie odbywa się przy każdej temperaturze, wrzenie (gotowanie się) tylko przy oznaczonej temperaturze, która jednak zależy nietylko od samej natury cieczy, ale i od zewnętrznego na nią ciśnienia, i która zowie się *punktem wrzenia*. Oprócz ciepła potrzebnego do doprowadzenia cieczy do punktu wrzenia, potrzeba jej jeszcze przez cały czas, czy to wrzenia, czy ulatniania, dostarczać na każdy zamieniony w parę kilogram pewną stałą ilość ciepła, która zowie się *cieplem parowania*. 440.

Ażeby ciało przeszło w stan lotny, siła żywa jego cząsteczek musi się do tego stopnia powiększyć, ażeby każda z nich wydobyła się zupełnie z okręgu przyciągania innych cząsteczek. Muszą zatem cząsteczki daleko się od siebie odsunąć, przyczem potrzeba pokonywać wzajemne ich przyciąganie przez cały ciąg tych wielkich odległości. Chociaż zatem przyciąganie międzycząsteczkowe już w stanie ciekłym jest małe, a podczas parowania coraz mniejszem się staje, wszelako praca dokonywana dla przezwyciężenia tego przyciągania jest

wielka, bo owe odległości czyli drogi, przez których całą długość praca ta się dokonywa, są bardzo wielkie. Oprócz tego potrzeba podczas parowania pokonywać ciśnienie zewnętrzne, pospolicie ciśnienie powietrza, t. j. potrzeba odierać powietrze cisnące na ciecz, i to także na bardzo znacznej przestrzeni, bo powstająca para zajmuje daleko większą objętość, niż ciecz, z której się tworzy. Tak zatem przy parowaniu dokonywają się dwie bardzo wielkie prace: praca wewnętrzna, t. j. powiększenie rozsunięcia, i praca zewnętrzna, t. j. odieranie zewnętrznego ciśnienia. Obu tych prac musi dokonać ciepło dostarczone parującej cieczy, więc przy parowaniu musi się zużywać pewna ilość ciepła, która zowie się ciepłem parowania. Może się wprawdzie zdarzyć, że pracy zewnętrznej nie potrzeba wcale dokonywać (gdy np. ciecz paruje w próżni), ale ciepło parowania zużywa się zawsze, bez względu na to, czy parowanie odbywa się przy wysokiej, czy przy niskiej temperaturze, czy pod ciśnieniem powietrza, czy w próżni, czy tylko na powierzchni cieczy, czy i w jej wnętrzu. Pod tym względem parowanie jest podobne do topnienia, od którego jednak tem się odróżnia, że przy parowaniu nie zawsze potrzeba podwyższać temperaturę cieczy, kiedy ciało stałe tylko przy oznaczonej temperaturze się topi. Ta różnica pochodzi ztąd, że w stanie ciekłym przyciąganie międzycząsteczkowe już prawie równa się zeru, zatem już przy bardzo małym powiększeniu siły żywej cząsteczek pokonanem być może, i w samej rzeczy zostaje pokonanem, skoro tylko jest do rozporządzenia praca do parowania potrzebna—t. j. ciepło parowania. Na górnej powierzchni cieczy do takiego podwyższenia siły żywej danej cząsteczki wystarcza np. potrącenie jej przez cząsteczki sąsiednie, skutkiem którego dana cząsteczka wybiega po za sferę przyciągania i przez to staje się swobodną, t. j. lotną czyli gazową cząsteczką; dla tego na powierzchni cieczy parują, czyli ulatniają się przy każdej temperaturze. We wnętrzu cieczy takie wybieganie cząsteczek po za sferę przyciągania cząsteczek sąsiednich wtedy tylko może mieć miejsce, jeżeli w cieczy znajdują się pęcherzyki powietrza, t. j. przestrzenie napełnione powietrzem, choćby niewidzialne dla oka; wtedy albowiem cząsteczki cieczy mogą się wsuwać w te przestwory, między cząsteczki powietrza i przez to, uwalniając się od przyciągania cząsteczek cieczy, stawać się swobodnymi, lotnemi. Te swobodne, gazowe cząsteczki, skutkiem swojej siły żywej, wywierają pewne ciśnienie na ciekłą ściankę pęcherzyka, t. j. utworzona z nich para posiada pewną prężność. Jeżeli ta prężność, to ciśnienie wewnętrzne na ściankę cieczy ograniczającą pęcherzyk jest dość silne do odparcia ciśnienia, jakie powietrze zewnętrzne i sama ciecz wywierają na tę ściankę od zewnątrz, wtedy ów drobnutki pęcherzyk rozdyma się w pęcherz pary, t. j. ciecz zaczyna się gotować, czyli wrzeć. Tak zatem warunkiem wrzenia jest, aby prężność pary tworzącej się we wnętrzu cieczy była równa zewnętrznemu ciśnieniu. Lecz ta prężność wzrasta oczywiście ze wzrostem temperatury cieczy i pary; bo im ciecz jest gorętsza, tem jej cząsteczki posiadają większą siłę żywą, tem prędzej cząsteczki te nabywają prędkości potrzebnej do wyswobodzenia się z pod władzy przyciągania, tem zatem obficiej cząsteczki pary się tworzą; a znowu im gorętszą jest para, tem prędkość, a zatem i siła żywa jej cząsteczek jest większa. Ztąd wynika, że przez podwyższenie temperatury, powiększa się i liczba cząsteczek pary i ich siła żywa, a zatem i prężność pary zależąca właśnie od liczby i siły żywej cząsteczek. Jeżeli teraz ciecz znajduje się pod słabem ciśnieniem powietrza, lub zgoła pod żadnem, to cząsteczki pary wbiegające we-

wnętrz pęcherzyków powietrznych, mają do przewyciężenia samo tylko małe ciśnienie słupków cieczy, wznoszących się nad pęcherzykami, do czego im niewielkiej siły żywej, t. j. niskiej temperatury potrzeba; dla tego w próżni lub pod małym ciśnieniem powietrza powstawanie pęcherzyków pary wewnątrz cieczy czyli wrzenie następuje już przy niskiej temperaturze. Inaczej dzieje się pod zwyczajnem ciśnieniem atmosfery, lub pod wyższem jeszcze ciśnieniem, wywieranem przez parę na powierzchnię cieczy; w tym razie wrzenie wtedy jest dopiero możliwe, kiedy przez podwyższenie temperatury, kiedy prężność pary we wnętrzu pęcherzyków dorówna, co najmniej, zewnętrznemu ciśnieniu; wtedy bowiem dopiero mogą się owe drobniuchne pęcherzyki powietrzne rozdymać w pęcherze czyli bańki pary, które, jako lżejsze od cieczy, wznoszą się do góry i wywołują w ten sposób owo burzenie i przewracanie się cieczy, które jest właściwą cechą gotowania się czyli wrzenia.

Podług tej teoryi wrzenia, występuje ono tylko w cieczy, zawierającej pęcherzyki gazowe (powietrzne) przy tej temperaturze, przy której prężność pary równa się zewnętrznemu ciśnieniu; jeśli ciecz nie zawiera takich pęcherzyków, to wrzenie wtedy dopiero może mieć miejsce, kiedy skutkiem spotęgowanego ruchu cząsteczkowego, pewna ilość cząstek cieczy rozstąpi się, i tym sposobem utworzy pęcherzyk, do czego koniecznem jest większe podwyższenie temperatury.

Para nasycona. Każda ograniczona przestrzeń może, przy oznaczonej temperaturze, przyjąć w siebie tylko pewną, oznaczoną ilość pary, zależącą najprzód od wielkości przestrzeni i od natury cieczy parującej, a następnie tylko od temperatury, wraz z którą jednocześnie się zwiększa. Jeśli dana przestrzeń zawiera tyle pary, ile jej, przy istniejącej podówczas temperaturze, może w sobie pomieścić, wtedy powiadamy, że przestrzeń jest nasycona parą, i sama ta para zowie się także nasyconą; jeżeli przeciwnie w danej przestrzeni mniej znajduje się pary, niż jej przy tej temperaturze znajdowaćby się mogło, wówczas para zowie się *nienasyconą*, albo *przegrzaną*. Jeśli przestrzeń zawierającą daną ciecz przy niezmiennej temperaturze utzymywać będziemy, wtedy zrazu znajdować się będzie w tej przestrzeni para przegrzana, której prężność i gęstość będą wzrastać stopniowo, aż w końcu przestrzeń zupełnie nasyconą zostanie, przyczem prężność i gęstość nasyconej pary osiągną najwyższego stopnia, do jakiego przy onej oznaczonej temperaturze dojść mogą; dla tego mówimy, że para nasycona posiada *maximum prężności*. Lecz nietylko wówczas para nasyconą być może, kiedy się styka z cieczą, dającą jej początek; owszem możemy sobie wyobrazić przestrzeń nasyconą, chociaż w przestrzeni tej nie ma już cieczy, która wydała [parę nasycającą tę przestrzeń; do tego dość nam przypuścić, że od chwili, kiedy para przestała stykać się ze swoją cieczą, temperatura przestrzeni nie podwyższyła się wcale, że zatem para nasycona nie mogła się przeistoczyć w przegrzaną.

Zarówno nasycona, jak i przegrzana para z pozoru podobne są do gazów; są bowiem bezbarwne (z małemi wyjątkami: para jodu np. jest fioleto-

444.

wa) i przezroczyste, a zatem niewidzialne; jednakże w istocie para nasycona w swoich wewnętrznych własnościach bardzo się różni od gazów. W samej rzeczy, jeżeli parę nasyconą, czy to zetkniętą ze swoją cieczą, czy też od niej odłączoną, będziemy ściskali i tym sposobem zmniejszali jej objętość, zachowując przytem niezmienną temperaturę, wtedy para nie podwyższy ani swojej prężności, ani swojej gęstości, jakby to każdy gaz na mocy prawa Mariotta uczynił; prężność i gęstość pozostawać będą przy ściskaniu niezmiennymi, — tylko część pary przejdzie w stan ciekły, bo w zmniejszonej objętości mniej pary nasyconej pomieścić się może, niż w poprzedniej; i tu więc znajdujemy, że para nasycona posiada najwyższą możebną prężność, której przekroczyć nie może w żadnym razie, jeśli tylko nie wzrośnie temperatura, — że zatem posiada maximum prężności. Jeżeli teraz pozwolimy parze stykającej się ze swoją cieczą rozszerzać się, t. j. powiększać swoją objętość, i przytem tak, aby para nie wykonywała żadnej pracy, jeżeli więc sami będziemy powiększali przestrzeń, którą para zajmuje, to i w tym razie nasycona para nie będzie się tak zachowywać jak gazy, to jest, jej prężność i gęstość nie będą się zmniejszać, jak chce mieć prawo Mariotta, ale zachowywać będą zawsze tę samą wielkość, to samo maximum, jakie miały przy mniejszej objętości, lecz jednocześnie część cieczy zamieniać się będzie na parę. Podobnie, gdy nie zmieniając objętości pary nasyconej i stykającej się ze swoją cieczą, będziemy powiększali temperaturę, wtedy prężność pary będzie wzrastała nie podług prawa obowiązującego dla gazów, które prawem Mariotta i Gay Lussaca się zowie, t. j. nie o $\frac{1}{273}$ część na każdy stopień, ale w szybszym stosunku, bo w tym razie nie tylko para dawniej istniejąca powiększa swą prężność, ale nadto nowa para z cieczy się tworzy, której prężność dodaje się do powiększonej prężności pary dawniejszej. I naodwrot, przy oziębianiu pary nasyconej w przestrzeni zachowującej stałą objętość, prężność jej maleje nie o $\frac{1}{273}$ na jeden stopień, ale o większy ułamek, bo w tym razie część pary skrapla się na ciecz i utracą całkowicie swoją prężność, którą teraz odjąć potrzeba od prężności pozostałej pary, i bez tego już zmniejszonej. Jeżeli nareszcie para nasycona przez swoje rozszerzanie wykonywa jaką pracę, wtedy część pary także skroplić się musi, bo praca odbywa się kosztem ciepła zawartego w parze, która zatem temperaturę swoją musi obniżyć, przez co część pary musi się skroplić (Clausius i Rankine 1850).

Opisane powyżej własności pary nasyconej są skutkiem ruchów cząsteczkowych cieczy i pary. Cząsteczki ulatujące z powierzchni cieczy w przestrzeń znajdującą się po nad tą powierzchnią, odbijają się od ciała ograniczającego tę przestrzeń, lub od innych cząsteczek, i tym sposobem przychodzą napowrót do powierzchni cieczy, albo też dosięgają warstewki ciekłej skroplonej na ścianie ograniczającej przestrzeń, w której znajduje się para. Przy zetknięciu z cieczą czą-

steczki te zostają w części działaniem przyciągania zatrzymane przez nią i do jej masy przyłączone; lecz i cząsteczki wewnątrz samej przestrzeni zajętej przez parę uderzające o siebie, nie mając jeszcze dość prędkiego ruchu postępującego, mogą się powstrzymywać wzajemnie, skutkiem czego tworzą się wewnątrz pary grupy cząsteczkowe, znajdujące się w stanie bardzo bliskim stanu ciekłego. Takie same grupy cząsteczkowe mogą być odrywane mechanicznie od masy ciekłej przez wyrwywającą się z niej parę i unoszone w przestrzeń sąsiednią, w której grupy te zawieszane są wśród pary, jako cząstki ciekłe. Dopóki z samej cieczy i z owych grup cząsteczkowych więcej ulatuje cząsteczek, aniżeli napowrót do nich powraca i na nich osiada, dopóty para nie jest jeszcze nasyconą; taki stan trwa tem dłużej, im temperatura jest wyższą, bo wtedy ilość ulatujących cząsteczek jest większą. Gdy ilość cząsteczek powracających do powierzchni cieczy i do grup cząsteczkowych stanie się równą ilości ulatujących cząsteczek, wtedy para staje się nasyconą; w tym stanie ilość grup cząsteczkowych nie może ulec zmniejszeniu, para zatem nasycona zawiera w sobie największą możliwą ilość tych grup. Przy zmniejszeniu objętości zajętej przez nasyconą parę, liczba cząsteczek powracających powiększa się, zaś liczba cząsteczek ulatniających się pozostaje bez zmiany, skutkiem czego część pary musi się skroplić, t. j. przyłączyć bądź do głównej masy cieczy, bądź do grup cząsteczkowych. Gdy naodwrot przestrzeń zajęta przez parę powiększa swoją objętość, wtedy ulatujące cząsteczki dłuższe niż poprzednio odbywają drogi, zanim odbitemi zostaną, zatem liczba cząsteczek powracających w danym przeciągu czasu do powierzchni cieczy i do grup cząsteczkowych staje się mniejszą od liczby cząsteczek ulatujących, zaczem nowa ilość pary utworzyć się musi. Gdy nareszcie ulatujące cząsteczki wykonywają przytem jaką pracę, wtedy utracają część swojej prędkości, przez co ich przyłączenie się do masy ciekłej zostaje ułatwionem, skutkiem czego część pary zostaje skroploną.

Do okazania powyżej wyłożonych własności pary nasyconej za pomocą doświadczenia służą rurki Toricellego. Kilka takich rurek napełnia się prawie do wierzchu rtęcią, poczem pozostała część 1-ej rurki dopełnia się wodą, 2-ej eterem, 3-ej alkoholem i t. d., a następnie każda rurka zamknięta palcem i przewrócona zanurza się otwartym swoim końcem w obszerne i głębokie naczynie z rtęcią. Ciecze do dolania rurek użyte wypływają po nad rtęcią aż do próżni barometrycznej, i tu parują swobodnie, bo bez żadnego ciśnienia od zewnątrz, skutkiem czego wydają w bardzo krótkim czasie całą ilość pary, jaką przy swojej temperaturze wydać są zdolne. Para ta prężnością swoją spycha rtęć na dół do naczynia, przyczem słupek cieczy stojący nad rtęcią coraz się zmniejsza, lecz wkrótce rtęć zatrzymuje się na niezmiennej, choć w każdej rurce innej, wysokości, i słupek cieczy przestaje się zmniejszać: wówczas para w każdej z trzech rurek nasyca sobą zupełnie przestrzeń znajdującą się nad rtęcią. W rurce z eterem rtęć się obniża najmocniej, a w tej, gdzie woda—najślabiej, z kądem wnioskujemy, że przy jednakowej temperaturze alkohol mocniej niż woda, a eter mocniej niż alkohol paruje (czyli jest lotniejszy). Wepchnijmy rurki głębiej w naczynie z rtęcią, aby zmniejszyć przestrzeń zajętą w każdej przez parę: natychmiast słupki cieczy stojące nad rtęcią powiększą się, rtęć zaś pozostanie na tej samej wysokości, z kądem widać, że część pary zamienia się na ciecz, a prężność pozostałej pary żadnej zmianie nie ulega. Wysuńmy teraz naodwrot bardziej rurki z naczynia, przez co przestrzeń zajęta przez parę zostanie powiększoną: słupki cieczy

zmniejszą się zaraz, a rtęć nie podniesie się w rurkach do góry, ale i teraz na dawniejszej wysokości zostanie; w tym razie pewna ilość cieczy przeszła w stan lotny, skutkiem czego prężność par w powiększonych przestrzeniach pozostała bez zmiany. Nasuńmy dalej na rurki, a mianowicie na te miejsca, w których znajdują się słupki cieczy nad rtęcią, gorące pochwłki metalowe, aby przez to temperaturę cieczy podwyższyć: natychmiast słupki się zmniejszą i jednocześnie rtęć we wszystkich rurkach opadnie,—więc przy wyższej temperaturze w tej samej przestrzeni ilość a więc gęstość pary i prężność jej są większe, jak przy niższej. Gdy nareszcie zamiast ogrzanych, nasuniemy mocno oziębione pochwłki, zauważymy z powiększenia się słupków i z podniesienia się rtęci, że gęstość i prężność pary uległy zmniejszeniu.

412. Para nienasycona albo przegrzana powstaje wtedy, kiedy w bardzo wielkiej przestrzeni znajduje się mała tylko ilość cieczy, lub, gdy para nasycona i odłączona od swojej cieczy albo, zachowując tęż samą temperaturę, rozchodzi się po większej przestrzeni, czyli rozszerza się, albo też, zachowując tęż samą objętość, podwyższa swoją temperaturę; ten ostatni sposób powstawania pary nienasyconej objaśnia dla czego nadano jej nazwę przegrzanej.— Para przegrzana staje się nasyconą, gdy albo ją ściskamy w mniejszą objętość, nie zmieniając jej temperatury, albo nie zmieniając jej objętości, obniżamy jej temperaturę, albo nareszcie, gdy do przestrzeni zajętej przez parę przegrzaną wprowadzamy ciecż, z której to para powstaje. Porównyując parę przegrzaną z parą nasyconą, znajdujemy, że przy jednakowej temperaturze para nasycona ma większą gęstość i większą prężność, niż przegrzana, i że odwrotnie przy jednakowej prężności para przegrzana musi posiadać wyższą temperaturę, co znowu usprawiedliwia nadane jej nazwisko. Jeżeli przegrzanie pary jest niewielkie, wtedy niewiele różni się ona w swoich własnościach od pary nasyconej; gdy zaś przegrzanie coraz większem się staje, gdy zatem para coraz więcej oddala się od punktu swojego skroplenia, wtedy i własności jej coraz bardziej się różnią od własności pary nasyconej i coraz podobiejszemi się stają do własności prawdziwego gazu. Nakoniec przegrzanie ciągle wzrastając, dochodzi do pewnej granicy, od której poczynając para zaczyna podlegać prawu Mariotta i prawu Gay-Lussaca, od której zatem staje się prawdziwym gazem, kiedy poprzednio przechodząc od stanu nasycenia do owej granicy, uchylała się od obu tych praw, a uchylała tem więcej, im bliżej znajdowała się od punktu nasycenia. Gdzie leży owa granica dla każdej pary i jak zatem daleko rozciąga się ów stan przejściowy, to jeszcze dotąd nie zostało zbadaniem.

W stanie przejściowym znajdują się jeszcze w parze przegrzanej owe grupy cząsteczkowe, na których odbywa się ulatnianie i skraplanie cząsteczek zupełnie tak samo, jak na powierzchni cieczy, co nam tłómaczy, dla czego para mało przegrzana ma własności zbliżone do pary nasyconej. Licz-

ba grup cząsteczkowych zmniejsza się w miarę, jak się powiększa przegrzanie, a gdy wszystkie grupy zamieniają się na cząsteczki pary, wtedy para dochodzi właśnie do owej granicy, przy której staje się doskonałym gazem.

Własności pary przegrzanej sprawdzają się doświadczalnie, tak samo jak własności pary nasyconej, t. j. za pomocą rurek Toricellego, do których wprowadzamy w tym razie bardzo małą ilość cieczy.

Prężność pary nasyconej jest to ciśnienie, które para na mocy swojej 415. rozprężliwości, t. j. skutkiem siły żywej swoich cząsteczek, wywiera na ciało otaczające i na samą siebie. Nie zależy ona od wielkości przestrzeni zawierającej parę, ale jest zależną od natury cieczy i od temperatury. Co do związku pomiędzy prężnością pary i temperaturą, wiemy w tym względzie dwie następujące prawdy:

1. *Prężność pary nasyconej w punkcie wrzenia cieczy równa się ciśnieniu atmosfery, (lub w ogóle zewnętrznemu ciśnieniu).* Bo pęcherzyki powietrzne znajdujące się wewnątrz cieczy wtedy dopiero mogą się rozdymać w bańki pary, kiedy prężność pary wpadającej w te pęcherzyki, może pokonać ciśnienie powietrza, działające przez pośrednictwo cieczy na zewnętrzną powierzchnię pęcherzyków, oraz ciśnienie samej cieczy, wznoszącej się nad niemi; że zaś to ostatnie ciśnienie w porównaniu z pierwszym jest zwykle nic nie znaczące, przeto można powiedzieć, że przy wrzeniu prężność pary nasyconej równą jest ciśnieniu atmosfery.

2. *Prężność pary nasyconej wzrasta wraz z temperaturą.* Tak np. prężność nasyconej pary wodnej przy 100° C. = 1 atmosferze; przy 120° = 2 atm., przy 135° = 3 atm., przy 145° = 4 atm., przy 200° = 16 atm., przy 220° = 23 atm.; odwrotnie prężność jej przy 82° = $\frac{1}{2}$ atm. czyli 380^{mm} rtęci, przy 50° = 92^{mm} , przy 4_0 = 6^{mm} , przy 0° = $4^{\text{mm}},5$, przy -20° = 1^{mm} , przy -32° = $0^{\text{mm}},3$. Rozpatrzywszy się w powyższych liczbach, widzimy, że nie tylko prężność nie jest proporcjonalną do temperatury, ale nadto, że nie można pomiędzy temi wielkościami upatrzeć takiego związku, który dałby się jakimkolwiek prostym prawem wyrazić. W samej rzeczy badania już od paru wieków czynione przez uczonych, nawet bardzo uniejętne badania Regnaulta i Magnusa (1843) nie doprowadziły dotąd do odkrycia tego prawa, choćby dla jednej tylko pary wodnej, która była szczególnym przedmiotem doświadczeń. Uczeni ci podali wprawdzie wzory dla pary wodnej czyniące zadość warunkom doświadczenia, lecz wzory wyrażające zależność prężności pary wodnej od jej temperatury są tak zawikłane i sztuczne, że nie można ich w żaden sposób wysłowić. Tak Magnus podał wzór:

$$S = 4,525.10 \frac{74475 t}{234.69 + t}$$

w którym S wyraża prężność, a t temperaturę. Jeszcze bardziej zawikłane są wzory Regnaulta, z których następujący służy do obrachowania prężności nasyconej pary wodnej przy jakiegokolwiek temperaturze:

$$\log S = a - b \cdot \alpha^x - c \cdot \beta^x,$$

gdzie $x = t + 20$, $\log \alpha = 0,994049292 - 1$, $\log \beta = 0,998343882 - 1$, $\log b = 0,1397743$, $\log c = 0,6924351$ i nareszcie $a = 6,2640348$.

Jak z rozpatrzenia się w liczbach dostarczonych przez doświadczenia nie udało się dotąd drogą indukcji wynaleźć prawa wyrażającego zawisłość prężności nasyconej pary od temperatury, tak i wszelkie usiłowania wyprowadzenia tego prawa z ogólnych prawd teoretycznych, czyli drogą dedukcji, okazały się bezowocnymi. A jednak widoczną jest rzeczą, że prężność musi się powiększać wraz z temperaturą, bo według prawa Gay-Lussaca, prężność każdego gazu powiększa się przez podwyższenie jego temperatury, a oprócz tego powiększa się jeszcze i sama ilość powstającej pary; skutkiem więc obu tych przyczyn przy wyższej temperaturze ciśnienie pary powiększa się raz przez to, że jest więcej cząsteczek cisnących czyli uderzających o ścianki lub o inne cząsteczki, powtórę przez to, że każda z tych cząsteczek posiada większą siłę żywą, a więc sprawia mocniejsze uderzenia.

Nie udało się również wyszukać związku pomiędzy prężnościami rozmaitych par; wiadomo tylko, że w ogóle prężność danej pary jest przecięciowo tem wyższą, im niżej leży punkt wrzenia tworzącej ją cieczy, czyli im ciecz jest lotniejszą, bo, jak wiadomo, prężność wszystkich par w punktach wrzenia ich cieczy jest jednakowa i równa ciśnieniu atmosfery. Tak prężność pary eteru przy $120^{\circ} = 10$ atm., kiedy przy tejże temperaturze prężność dwusiarku węgla $= 7$ atm., pary alkoholu $= 5$ atm., chloroformu $= 4$ atm., pary wodnej $= 2$ atm.; tymczasem para rtęci dopiero przy 375° ma prężność $= 1$ atm., a przy $400^{\circ} = 2$ atm. Dalton ze swoich badań wyprowadził prawo, że prężności rozmaitych par przy temperaturach oddalonych o jednakową ilość stopni od właściwych im punktów wrzenia, są sobie równe; prawo to stosuje się wprawdzie do pewnych grup cieczy, ale w ogóle jest nieprawdziwe.

Prężność par roztworów solnych jest mniejszą, aniżeli prężność par tych cieczy, w których sole są rozpuszczone, porównyując, rozumie się, parę czystej cieczy i parę roztworu solnego przy jednakowej temperaturze; zmniejszenie prężności dla rozmaitych soli jest różne; dla jednej zaś soli jest proporcjonalne do ilości tej soli w roztworze; prócz tego ubytek prężności w tym razie powiększa się z podwyższeniem temperatury (Wüllner 1866). Prężność mieszanin utworzonych z dwóch lub większej liczby cieczy nie jest, jak dawniej mniemano, równą sumie prężności par cieczy w skład mieszaniny wchodzących, ale jest w ogóle mniejszą od tej sumy (Magnus 1836). Podług Re-

gnaulta (1854) przy takich mieszaninach, których części składowe, jak np. eter i woda tylko w ograniczonych ilościach mogą się z sobą mieszać, prężność pary zaledwie dorównywa prężności lotniejszej z dwóch cieczy; przy takich zaś, których części składowe mogą się z sobą mieszać w jakimkolwiek stosunku, prężność pary jest niższą od prężności pary cieczy lotniejszej (Wüllner 1866); nareszcie, gdy w naczyniu znajdują się dwie ciecze, wcale niedające się mieszać ze sobą, np. woda i oliwa lub woda i dwusiarek węgla, wtedy prężność mieszaniny obu par bardzo się zbliża do sumy prężności par obu cieczy.

Gdy nareszcie ciecz jaka paruje nie w próżni, ale wśród powietrza lub jakiegokolwiek innego gazu, z którym jej para się miesza, wtedy *prężność mieszaniny pary i gazu równa się sumie oddzielnie wziętych prężności pary i gazu odpowiednich temperaturze mieszaniny*. Prawo to zowie się *prawem Daltona* (1801). Z tego prawa wynika, że dana ilość pary nasyconej posiada zupełnie taką samą prężność, gdy jest pomieszana z powietrzem lub innym ciałem lotnym, jakaby miała, gdyby sama wyłącznie zajmowała tę samą przestrzeń, którą zajmuje mieszanina. Prawo to jednakże niezupełnie jest ściśle, prężność bowiem pary jest w próżni o bardzo małą ilość większą, jak w gazach, a to zboczenie od prawa Daltona jest tem wyraźniejsze, im ciecz tworząca parę bardziej jest lotną (Regnault 1854).

Wyłożone powyżej wiadomości o związku pomiędzy prężnością i temperaturą, sprawdzają się za pomocą rurek Toricellego. W tym celu do próżni barometrycznej wprowadzamy pewną ilość danej cieczy, przyczem rtęć natychmiast się obniża o pewną ilość milimetrów, która to ilość będzie oczywiście miarą prężności pary wytworzonej w próżni. Gdy na rurkę, mianowicie na tę jej część, która jest przez słupek cieczy stojącej nad rtęcią zajęta, nasuniemy rozgrzaną pochwę metalową, rtęć obniży się więcej, i to tem więcej, im pochwę jest mocniej rozgrzana. Lepiej jest otoczyć rurkę barometryczną naczyniem zawierającym kąpiel wodną lub olejową, bo wtedy przy stopniowym ogrzewaniu tej kąpeli, możemy z jednej strony mierzyć temperaturę kąpeli ciekłej, a więc i temperaturę zanurzonej w niej rurki i cieczy w rurce zawartej,—z drugiej—obniżenie poziomu rtęci w rurce, a zatem prężność powstającej pary. W takim przyrządzie można dokładnie spostrzegać wzrastanie prężności przy wzroście temperatury i zarazem przekonać się, że gdy temperatura cieczy osiągnie punktu jej wrzenia, gdy zatem słupek znajdujący się nad rtęcią zaczyna się gotować, wtedy rtęć w rurce opadnie do tej samej wysokości, na której stoi w naczyniu, w którym otwarty koniec rurki jest pogrążony, że zatem w punkcie wrzenia cieczy prężność pary równa się ciśnieniu atmosfery. Do wymierzania prężności pary przy temperaturach przewyższających punkt wrzenia służy bardzo wysoka rurka szklana u góry otwarta, u dołu zakrzywiona do góry, nakszałt barometru lewarkowego lub rurki Mariotta. To krótsze ramię wydęte jest na górnym swoim końcu w obszerny zbiornik, zakończony szyjką, która za pomocą zatyczki dokładnie zamkniętą być może. Zbiornik ten napełnia się do pewnej wysokości rtęcią, ua

którą nalewa się warstwa cieczy poddanej badaniu, poczem zbiornik szczelnie się zamyka za pomocą zatyczki, w której osadzony jest termometr, przeznaczony do wskazywania temperatury cieczy; przed wsadzeniem zatyczki ogrzewa się zbiornik aż do zawrzenia cieczy stojącej nad rtęcią, a to dla wypędzenia z niego powietrza przez parę owej cieczy. Gdy ciecz zamkniętą i ostudzoną będziemy teraz ogrzewać stopniowo, przez zanurzenie zbiornika w ogrzewanej kąpieli, wtedy tworząca się w nim para, cisnąc na powierzchnię cieczy, będzie wypychać rtęć ze zbiornika do rurki, a różnica poziomów rtęci w zbiorniku i w wysokim ramieniu rurki powiększona o 1 atmosferę, będzie oczywiście miarą prężności pary wytworzonej w zbiorniku.

Można do tegoż celu użyć kociołka Papina (Dyjonizy Papin 1681), t. j. monego naczynia metalowego, opatrzonego szczelnie wśrubowaną przykrywą, w której znajduje się kłapa bezpieczeństwa, zabezpieczająca kociołek od rozsadzenia przez parę zbyt naprężoną, oraz termometr do mierzenia temperatury cieczy znajdującej się w kotle. Górna część tego naczynia łączy się za pomocą rurki ze zbiornikiem napełnionym rtęcią i przykrytym od góry szczelnie przystającą pokrywą; w tej pokrywie jest otwór, przez który wstawia się w rtęć koniec wysokiej rurki szklanej na obu końcach otwartej, poczem otwór przy rurce oblepia się starannie. Para wywiązująca się w kociołku prężnością swoją wypycha rtęć ze zbiornika do rurki, a wysokość podniesionego słupa rtęci daje miarę prężności przy rozmaitych temperaturach, które wskazuje termometr. Za pomocą tych i tym podobnych metod liczni uczeni czynili badania nad prężnością par.

414. Następująca tablica zawiera wypadki otrzymane dla pary wodnej; w kolumnach oznaczonych literą T wyrażone są temperatury, a pod literą S odpowiednie tym temperaturom prężności, wyrażone w milimetrach:

T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.
-32°	0,320	8°	8,017	31°	33,41	54°	111,9	77°	313,6	100	760,0 = 1 atm.
-30	0,386	9	8,574	32	35,36	55	117,5	78	326,8	102	816,1
-25	0,605	10	9,165	33	37,41	56	122,2	79	340,5	104	875,4
-20	0,927	11	9,792	34	39,56	57	129,3	80	354,6	106	938,3
-15	1,400	12	10,46	35	41,83	53	135,5	81	369,3	108	1005
-10	2,093	13	11,16	36	45,20	59	142,0	82	384,4 = 1/2 atm.	110	1075 = 1 1/2 atm.
-9	2,297	14	11,91	37	46,69	60	148,8	83	400,1	115	1269
-8	2,455	15	12,70	38	49,30	61	155,8	84	416,3	120	1491 = 2 atm.
-7	2,658	16	13,54	39	52,04	62	163,2	85	433,0	125	1744
-6	2,876	17	14,42	40	54,91	63	170,8	86	450,3	130	2030
-5	3,113	18	15,36	41	57,91	64	178,7	87	468,2	135	2354 = 3 atm.
-4	3,362	19	16,37	42	61,05	65	186,9	88	486,6	140	2718
-3	3,644	20	17,39	43	64,35	66	195,5	89	505,7	145	3126 = 4 atm.
-2	3,941	21	18,49	44	67,79	67	204,4	90	525,4	150	3513
-1	4,263	22	19,66	45	71,39	68	213,6	91	545,7	160	4652
0	4,600	23	20,89	46	75,16	69	223,2	92	566,7	170	5962 = 8 atm.
1	4,940	24	22,18	47	79,09	70	233,1	93	588,3	180	7546 = 10 atm.
2	5,302	25	23,55	48	83,20	71	243,4	94	610,7	190	9412
3	5,687	26	24,99	49	87,50	72	254,1	95	633,7	200	11689 = 16 atm.
4	6,097	27	26,50	50	91,98	73	265,1	96	657,4	210	14325
5	6,534	28	28,10	51	96,66	74	276,4	97	681,9	220	17390 = 23 atm.
6	6,998	29	29,78	52	101,5	75	288,5	98	707,2		
7	7,492	30	31,55	53	106,6	76	300,8	99	733,2		

Następująca tablica wskazuje: 1) przy jakich temperaturach rozmaite pary posiadają jednakową prężność, 2) naucza, jak różne są prężności rozmaitych par przy jednej i tej samej temperaturze, 3) przekonywa, że prężności par w punktach wrzenia, wyrażonych w pierwszym wierszu poziomym, są równe ciśnieniu atmosfery, 4) że przy temperaturach oddalonych o równą ilość stopni (w przybliżeniu) od punktów wrzenia, prężności rozmaitych par są jednakowe (Dalton).— Z rozpatrzenia się w tej tablicy przekonywamy się, że para eteru przy jednakowej temperaturze największą ze wszystkich cieczy wymienionych w tablicy ma prężność, że zatem maszyny poruszane parą eteru byłyby daleko korzystniejsze w użyciu od zwyczajnych maszyn parowych, gdyby tylko eter był tańszym. Para kwasu węglanego ma jeszcze wyższą prężność od eteru, bo przy 0⁰ równa się 35 atm., a przy 45⁰ równa się 100 atm.

Tablica porównawcza prężności rozmaitych par.

415.

Prężność w atmosferach.	Eter.	Chloroform.	Alkohol.	Woda.	Rtęć.
1	35 ⁰	60 ⁰	78 ⁰	100 ⁰	357 ⁰
2	56	83	97	121	397
3	70	98	109	134	423
4	88	109	118	144	442
5	89	119	125	152	458
6	96	127	132	159	472
7	103	134	138	169	484
8	109	141	143	171	494
9	114	147	147	176	505
10	119	152	152	180	514

Zmniejszenie prężności par roztworów solnych pochodzi ztąd, że roztwory te mają podwyższony punkt wrzenia; ponieważ zaś prężność pary dopiero przy tym podwyższonym (w porównaniu z czystą wodą) punkcie wrzenia równa się ciśnieniu atmosfery, przeto przy 100⁰ musi być niższą od 1 atmosfery, a zatem mniejszą, niż prężność pary czystej wody przy 100⁰; ztąd wynika, że i przy innych temperaturach prężność pary roztworu jest mniejszą, niż prężność pary czystego rozpuszczalnika (cieczy rozpuszczającej). Tak np. dla roztworu 10 części soli kuchennej w 100 częściach wody obniżenie = 0,06 S (prężności); dla takiegoż roztworu saletry obniżenie = 0,0196 + 0,0000108 S².

Obniżenie prężności takich mieszanin jednych cieczy z drugimi, które tylko przy ograniczonych, stale oznaczonych stosunkach wagowych części składowych powstają, które zatem zbliżone są do prawdziwych związków chemicznych, tłumaczy się, że przy tworzeniu się takich mieszanin, podobnie, jak przy powstawaniu związków chemicznych, następuje zmniejszenie rozsunienia, a zatem podwyższenie punktu wrzenia, skutkiem czego prężność pary mieszaniny przy równej temperaturze musi być mniejszą od sumy prężności par jej części składowych. Prężność par w gazach wymaga oddzielnego zastanowienia się nad nią.

416. **Gęstością pary** nazywamy stosunek wagi jakiegokolwiek objętości pary do wagi takiej samej objętości powietrza przy jednakowej prężności i jednakowej temperaturze. Pary mocno przegrzane mają gęstość stałą; w samej rzeczy, ponieważ, jak wiemy, pary te podlegają prawom Mariotta i Gay-Lussaca, przeto przy zmianie temperatury i ciśnienia zewnętrznego, waga danej objętości pary przegrzanej zmienia się w tym samym stosunku, w jakim się zmienia waga takiej samej objętości powietrza, stosunek przeto obu wag przy każdej temperaturze i przy każdym ciśnieniu pozostaje niezmienny. Wprawdzie pary przegrzane zbaczają nieco od pomienionych praw, ale to zboczenie jest tak małe, że prawie zupełnie nie wpływa na zmianę tego stosunku wag, który nazywamy gęstością pary. Tak np. waga przegrzanej pary wodnej zawsze się równa podług Gay-Lussaca 0,6235 czyli $\frac{3}{8}$ wagi takiej samej objętości powietrza, mającego też samą temperaturę co para wodna, i znajdującego się pod takim samym jak i ona ciśnieniem, czyli, co na jedno wychodzi, posiadającego jednakową z nią prężność. Inaczej dzieje się z parami blizkimi punktu nasycenia: takie pary mocno zbaczają od praw Mariotta i Gay-Lussaca, z powodu, że para blizka nasycenia zawiera w sobie półciekle grupy cząsteczkowe; z tego powodu stosunek pomiędzy wagą danej objętości pary blizkiej nasycenia a wagą takiej samej objętości powietrza musi być większy, aniżeli stosunek pomiędzy wagą danej objętości pary mocniej przegrzanej, a wagą równej objętości powietrza, t. j. gęstość pary zbliżającej się do punktu nasycenia musi coraz większą się stawać, a gęstość pary oddalającej się od tego punktu musi się zmniejszać. Ztąd wynika, że gęstość pary blizkiej nasycenia maleje przy wzroście jej temperatury. Lecz jeżeli pomienione prawa (Mariotta i Gay-Lussaca) już do par blizkich nasycenia nie dają się stosować, to tem mniej stosować je można do par nasyconych, co pierwszy Claasius (1850) wywiódł rachunkiem z teorii mechanicznej ciepła. Dawniej dla oznaczenia wagi danej objętości pary nasyconej, obliczano zawsze wagę takiej samej objętości powietrza przy jednakowem ciśnieniu i jednakowej temperaturze, i otrzymany wypadek mnożono przez liczbę wyrażającą podług Gay-Lussaca gęstość tej pary. Obliczenie takie w tym tylko razie byłoby oczywiście dokładnem, gdyby waga pary nasyconej zmieniała się odpowiednio do owych praw, t. j. w tym samym stosunku, co waga tejże objętości powietrza. Ponieważ jednak tak nie jest, przeto wypadki otrzymywane w ten sposób, tem bardziej różnić się muszą od wypadków wyprowadzonych na podstawie teorii, im dla wyższej temperatury były obliczone. Prawdziwość wypadków wyprowadzonych teoretycznie udowodnioną została doświadczeniami przez Fairbairna i Taite'a (1860).

Oznaczenie gęstości par za pomocą doświadczenia. Objętość powietrza v centymetrów sześciennych przy t^0 i przy wysokości barometru h , wa-

ży $\frac{0,001293.vh}{760(1+\alpha t)}$ gramów. W samej rzeczy 1 centymetr sześcienny powietrza przy 0° i przy ciśnieniu 760^{mm} waży 0,001293 grama, więc przy ciśnieniu 1^{mm} ważyłoby $\frac{0,001293}{760}$; przy t° objętość jego powietrza będzie 1 + αt , więc powiększy się razy 1 + αt , a zatem gęstość jego tyleż razy się zmniejszy, waga zatem 1 centym sześć. będzie $= \frac{0,001293}{760(1+\alpha t)}$; przy ciśnieniu h, waga jego będzie h razy większa, t. j. $\frac{0,001293}{760(1+\alpha t)}h$, a waga v centymetrów sześciennych będzie $= \frac{0,001293.hv}{760(1+\alpha t)}$. Oznaczywszy teraz wagę tejże objętości pary przy tychże warunkach przez p, a gęstość pary przez d, będziemy mieli

$$d = p : \frac{0,001293.hv}{760(1+\alpha t)} = \frac{p.760(1+\alpha t)}{0,001293.hv}$$

Dla znalezienia wielkości wchodzących do tego wzoru, t. j. p, v, h i t, Gay-Lussac używał następującego sposobu. Na piecyku umieszcza się naczynie z lanego żelaza, w kształcie szerokiego a niskiego walca, od góry otwarte i w części napełnione rtęcią, następnie bierze się walec szklany na jednym końcu zamknięty i mający wyrzniętą na sobie podziałkę na milimetry, i napełniwszy go zupełnie rtęcią, przewraca go się końcem otwartym w owo naczynie żelazne, i dolną część jego zanurzwszy w rtęci, ustawia się go na dnie naczynia. Następnie wprowadza się w ten walec banieczka z cienkiego szkła, napełniona zupełnie odważoną ilością p cieczy badanej; banieczka ta wypłynie nad rtęć do samego wierzchołka walca szklanego. Teraz walec ów otacza się innym, dalko szerszym i wyższym walcem szklanym, który u góry jest otwarty, a u dołu wkrębowany w dno naczynia żelaznego, i w walec ten nalewa się tyle wody, aby walec wewnętrzny z rtęcią i banieczką był w niej pograżony całkowicie. Po takim przygotowaniu zaczynamy ogrzewać owo naczynie żelazne, przy czem rozgrzewa się rtęć i woda, a zatem i ów walec wewnętrzny otoczony kąpielą wodną; skutkiem tego woda znajdująca się w banieczce rozsadza ją i zamienia się *całkowicie* (bo ilość jej jest bardzo mała) na parę, której waga równa wadze wody będzie = p. Rtęć w walcu wewnętrznym opada, a różnica wysokości jej w tym walcu i w naczyniu zewnętrznym, odjęta od wysokości barometru w chwili doświadczenia, daje prężność pary w walcu, a zatem i ciśnienie h, pod którym znajduje się ta para. Objętość v pary wynajduje się łatwo, bo walec zawierający parę podzielony jest na części równej objętości, można zatem łatwo obliczyć, ile para zajmuje centymetrów sześciennych; nareszcie termometr pograżony w kąpeli wodnej daje temperaturę t wody, a zatem i pary znajdującej się w walcu. Tym sposobem, zrobiwszy przytem stosowne poprawki, otrzymujemy wszystkie wielkości potrzebne do wyznaczenia d.

Tym sposobem znalazł Gay-Lussac, że gęstość pary wodnej = 0,623, pary alkoholu = 1,613, eteru = 2,586, olejku terpentynowego = 5,013.

Dumas brał banię szklaną wiadomej objętości, wyciągniętą w jednym miejscu w wążutko zakończony ogonek z małym na końcu otworkiem; bania za-

wierała niewielką ilość cieczy probowanej i była zanurzona w kąpeli wodnej, olejowej lub z chlorku cynku. Ogrzewając tę kąpiel, doprowadzał on ciecz w bani do wrzenia, a gdy wszystka ciecz zamieniła się w parę i wypędziła przez ów ogonek powietrze znajdujące się w bani, wtedy nagle zatapiał koniec ogonka za pomocą dmuchawki. Wtedy w bani pozostała para mająca prężność h równą ciśnieniu atmosfery, więc równą wysokości barometru; objętość jej v była wiadomą już poprzednio; ciężar pary p można było obliczyć przez zważenie bani i odtrącenie od znalezionej liczby ciężaru samej bani wiadomego poprzednio, nareszcie temperatura t była wskazana przez termometr zanurzony w kąpeli obejmującej banię. Znowu więc, po dokonaniu potrzebnych poprawek, wielkości p , h , t i v były wiadome. Za pomocą tej metody, zwykle używanej przez chemików, Dumas znalazł gęstość pary jodu = 8,716, pary rtęci = 6,976 i wiele innych.— Jednakże oba te sposoby, tak Dumasa jak i Gay-Lussaca, jako oparte na nieograniczonym stosowaniu praw Mariotta i Gay-Lussaca (patrz o współczynniku rozszerzania ciał lotnych), nie są zupełnie dokładne. Dokładniejsze wypadki daje metoda teoretyczna.

Oznaczenie gęstości par za pomocą teorii. Chemija naucza, że gazy łączą się z sobą podług bardzo prostych stosunków objętościowych, i że objętość utworzonego związku znajduje się w prostym stosunku do objętości części składowych. Tak np. 1 objętość chloru (Cl) łączy się z 1 obj. wodoru (H) i wydaje 2 obj. chlorowodoru (HCl); podobnie 1 obj. tlenu (O) łączy się z 2 obj. wodoru (H) i wydaje 2 obj. pary wodnej (H²O). Taki sposób łączenia się gazów wynika z ich budowy cząsteczkowej, a mianowicie z podanego już dawniej przypuszczenia, że równe objętości rozmaitych gazów zawierają jednakową ilość cząsteczek, i że każda cząsteczka pierwiastku chemicznego zawiera w swojej eterowej osłonce nie jeden atom, ale dwa. Podług tego, gdy 1 objętość chloru łączy się z 1 obj. wodoru, wtedy połączenie chemiczne na tem polega, że po jego dokonaniu każda cząsteczka związku, zamiast 2 atomów wodoru, albo 2 atomów chloru, będzie w sobie zawierała 1 atom wodoru i 1 atom chloru; ztąd wypada, że w tym razie liczba cząsteczek ani się powiększy, ani zmniejszy, że zatem i objętość związku będzie taka sama jak suma objętości obu gazów. Przy połączeniu 2 obj. wodoru z 1 obj. tlenu atomy tych gazów grupują się inaczej, mianowicie tak, że każda tworząca się cząsteczka pary wodnej zawiera w swojej eterowej osłonce 2 atomy wodoru i 1 atom tlenu; oczywiście więc liczba cząsteczek pary wodnej wyniesie tylko $\frac{2}{3}$ ogólnej liczby swobodnych cząsteczek wodoru i tlenu, a zatem i objętość utworzonej pary będzie równą $\frac{2}{3}$ całkowitej objętości obu gazów przed ich połączeniem się z sobą. Na mocy dwóch powyżej przytoczonych hipotez o budowie ciał lotnych i o budowie pierwiastków chemicznych, wnioskujemy, że ciężary równych objętości gazów mają się do siebie, jak ciężary atomowe tych gazów; aby zatem otrzymać gęstość jakiegokolwiek gazu prostego lub pary jakiegokolwiek pierwiastku, potrzeba tylko pomnożyć gęstość czyli ciężar właściwy wodoru, którego ciężar atomowy = 1, przez ciężar atomowy tego pierwiastku. Ciężar właściwy wodoru = 0,0693; liczba ta wyraża wagę takiej objętości wodoru, przy której powietrze waży 1; ponieważ w takiej samej objętości tlenu jest tyleż atomów, co i wodoru, a jeden atom tlenu waży 16 razy więcej, niż atom wodoru, przeto oczywiście ciężar takiej samej objętości tlenu, jak objętość powietrza waży 1, lub jak takąż objętość wodoru waży 0,0693, t. j. gęstość tlenu będzie

$= 0,0693 \times 16$ (ciężar atomowy wodoru) $= 1,1088$. Podobnie gęstość chloru $= 0,0693 \times 35,5 = 2,458$, które to wypadki zgadzają się z liczbami otrzymanymi z doświadczeń. Dla gazów złożonych potrzeba otrzymany iloczyn podzielić przez ilość utworzonych objętości związku, aby tym sposobem otrzymać ciężar jednej objętości. Tak np. z dwóch objętości tlenu i 1-ej wodoru powstają 2 obj. pary wodnej, której ciężar cząsteczkowy (atomowy, równoważnik) $= 18$; ponieważ 1 obj. wodoru waży 0,0693 (w porównaniu z objętością powietrza ważącą 1), a w 1 obj. pary wodnej jest tyleż cząsteczek pary, ile jest cząsteczek wodoru w takiejże jego objętości, cząsteczka zaś wodoru składa się z dwóch atomów; więc w 1 obj. pary wodnej jest 2 razy mniej cząsteczek, niż jest atomów w 1 obj. wodoru. Dla tego 1 objętość pary będzie ważyła nie 18 razy tyle, ile waży 1 objętość wodoru, t. j. nie 0,0693.18, ale połowę tego iloczynu, t. j. $\frac{0,0693.18}{2}$

$= 0,6237$, która to liczba wyrażająca gęstość pary wodnej zgodną jest z gęstością otrzymaną przez Gay-Lussaca.

Metoda teoretyczna nie tylko pozwala nam prostować wypadki otrzymane przez doświadczenie, ale nadto daje możność obliczania gęstości pary takich ciał, które dotąd nie dały się ulotnić, jeżeli tylko znane są związki gazowe tych ciał z innymi. Tak np. wiadomo, że gdy węgiel połączony z tlenem tworzy tlenek węgla, wtedy objętość tego gazu jest dwa razy większą od objętości znajdującego się w nim tlenu, z ką� wnosimy, że jest także 2 razy większą od objętości pary węgla; podobnie jak objętość chlorowodoru jest 2 razy większą od objętości obu składających go gazów. Objętości więc tlenu i przypuszczalnej pary węgla w tlenku węgla są jednakowe, zawierają zatem tyleż atomów; z ką� wnosimy, że 1 objętość pary węgla tyle razy jest cięższa od 1 obj. tlenu, ile razy atom węgla waży więcej od atomu tlenu. Pomnożywszy zatem wagę 1 obj. tlenu, czyli jego ciężar właściwy 1,1088 przez iloraz z podzielenia ciężaru atomowego węgla 12 przez ciężar atomowy tlenu 16, otrzymamy gęstość nieznaney pary węgla równą $1,1088. \frac{12}{16} = 0,831$,

Jeżeli w powyższych rozumowaniach uważaliśmy gęstość każdej pary za ilość (w przybliżeniu) stałą, to ztąd bynajmniej nie wynika, że pewna objętość pary danego ciała ma zawsze, przy każdej prężności i przy każdej temperaturze jednakowy ciężar. Owszem należy sobie zawsze wyobrazić taką samą objętość powietrza pod jednakowemi warunkami prężności i temperatury, a wtedy ciężar pary podzielony przez ciężar tego powietrza, da zawsze na iloraz ową liczbę do pewnego stopnia niezmienną, która gęstością pary się zowie; ponieważ zaś ciężar danej objętości powietrza przy rozmaitych prężnościach i różnych temperaturach jest różny, przeto i ciężar danej objętości pary przy zmianie tych warunków się zmienia. Dla obliczenia ciężaru pary, dawniej mnożono ciężar takiej samej objętości v powietrza i przy tychże warunkach, który, jak wiadomo, $= \frac{0,001293. hv}{760(1 + at)}$ przez gęstość pary, ale ta metoda nawet dla par przegrzanych niezupełnie jest dokładną, bo gęstość pary przy jej zbliżaniu się do punktu nasycenia staje się nieco większą, jak to dowiedli Bineau dla kwasu mrówczanego, Cahours dla kwasu octowego, a Regnault dla pary wodnej,—a tem bardziej niedokładną jest dla

par nasyconych. Tak np., podług *Zeunera* (1866), ciężar 1-go metra sześć. pary wodnej wynosi, podług teorii mechanicznej ciepła, przy 1 atm. 0,6059 kil., przy 2 atm. 1,1631 kil., przy 5 atm. 2,75 kil., przy 10 atm. 5,2703 kil., kiedy podług starej metody wypadają liczby: 0,5892, — 1,1167, — 2,5841 i 4,8479 kilogramów. Podobnież *Clausius* (1864) na podstawie teorii znalazł, że 1 kil. pary wodnej nasyconej przy 58° ma objętość = 8,23 metr. sześć., przy 92° = 2,11 metr. sześć., przy 124° = 0,760 m. sz., przy 144° = 0,4370 m. sz., które to liczby są zgodne z wypadkami nowszych doświadczeń *Fairbairna* i *Taite'a*, kiedy dawniejsza metoda daje w tym razie wypadki: 8,38, — 2,18, = 0,809, — 0,466. Z przytoczonych liczb okazuje się widocznie, że zboczenie wzrasta wraz z temperaturą, że zatem oba prawa tem mniej stosować się dają do par nasyconych, im temperatura tych par jest wyższą. Z tychże liczb pokazuje się jeszcze, że biorąc gęstość w zwykłym znaczeniu, znajdujemy, że w wyższych temperaturach gęstość pary nasyconej wzrasta, gdy bowiem 1 C^m pary nasyconej o prężności $\frac{1}{10}$ atmosfery waży $\frac{1}{15}$ kilograma, to ta sama objętość przy 14 atmosferach waży 7 kilogramów (*Zeuner*).

Mocne zbaczanie par nasyconych przy wysokiej temperaturze od praw *Gay-Lussaca* i *Mariotta* okazał bardzo jasno doświadczeniem *Cagniard de la Tour*.— Wziął on mocną rurkę szklaną o dwóch nierównych ramionach, z których krótsze miało postać zbiornika: w obu ramionach u dołu znajdowała się rtęć, po nad którą w ramieniu krótszem, czyli w zbiorniku, umieszczał on warstwę wody, alkoholu, eteru lub dwusiarku węgla; oba końce rurki były dokładnie zamknięte.— Przy temperaturach: dla 1-ej cieczy 400° , dla 2-ej 259° , dla 3-ej 200° , dla 4-ej 275° , ciecze te znikaly, t. j. zamieniały się na parę, która musiała się mieścić w objętości tylko 2 do 3 razy większej, jak objętość cieczy, skutkiem czego para trzech ostatnich cieczy nabyła prężności wynoszących 119, 37 i 78 atmosfer. Łatwo wyliczyć, że np. ciężar właściwy pary eteru, której gęstość = 2,586, powinien na mocy praw wynosić przy 200° w porównaniu z wodą (ciekłą) wziętą za 1, zaledwie 0,08, kiedy przy doświadczeniu *Cagniard'a* ciężar ten był tylko 2 razy mniejszy od ciężaru właściwego eteru ciekłego (bo para eteru zajmowała 2 razy większą objętość, niż eter ciekły), a zatem = 0,355, co widocznie przedstawia wielkie zboczenie.

Widzieliśmy, że para znajdująca się w przestrzeni napełnionej innym gazem ma tę samą prężność, jakaby miała w próżni przy tejże objętości i takiejże temperaturze (prawo *Daltona*); podobnież i gęstość pary w przestrzeni zajętej przez gaz jest prawie taka sama jak w próżni; przynajmniej, co się dotyczy pary wodnej, można przyjąć, że w granicach tych temperatur, jakie się przytrafiają w naszym klimacie, gęstość pary wodnej w powietrzu wynosi zawsze 0,625 (*Regnault*), co jest bardzo ważnem przy obliczaniu wilgotności powietrza. Dla cieczy lotniejszych od wody zboczenia są podług *Regnaulta* znaczniejsze.

417. Prężność i gęstość par przegrzanych. Dla par bardzo mocno przegrzanych, a zatem znajdujących się po za granicą stanu przejściowego, prawa *Mariotta* i *Gay-Lussaca* mają całkowitą swoją wagę; zatem ciężar właściwy i prężność takich par powiększają się o $\frac{1}{273}$ na każdy stopień C. Oznaczmy prężność gazu lub pary mocno przegrzanej, co na jedno wychodzi, przy 0°

przez p , a jej objętość przez v_0 ; ponieważ wedle prawa Mariotta prężność gazu przy nieziennej temperaturze staje się tyle razy większą, ile razy zmniejszą się objętość i naodwrot, przeto iloczyn $p v_0$ będzie zawsze ilością niezmienną, bez względu na to, jakakolwiek jest wielkość ilości p i v_0 wziętych oddzielnie; iloczyn ten zatem będzie zawsze równy pewnej ilości stałej, którą oznaczmy przez A , będziemy więc mieli $p v_0 = A$. Niech teraz gaz ma temperaturę t^0 ; wtedy nowa jego objętość $v = v_0 (1 + \alpha t)$, z kąd $v_0 = \frac{v}{1 + \alpha t}$; podstawivszy tę wartość w powyższe równanie, zamiast v_0 otrzymamy równanie

$$p v = A (1 + \alpha t),$$

które się nazywa połączeniem prawem Mariotta i Gay-Lussaca, i które można wysłowić następującym sposobem: *iloczyn z prężności gazu (lub pary) przez jej objętość równa się ilości stałej rozmnożonej przez dwumian rozszerzenia, czyli jest proporcjonalny do dwumianu rozszerzenia*. Podstawivszy zamiast α jego wartość $\frac{1}{273}$, otrzymamy wzór powyższy w postaci:

$$p v = A \left(1 + \frac{t}{273} \right) = \frac{A}{273} (273 + t).$$

Że zaś $273 + t$ wyraża, jak wiadomo, temperaturę bezwzględną, t. j. liczoną od zera bezwzględnego, która oznacza się przez T , przeto oznaczywszy jeszcze stały iloraz $\frac{A}{273}$ przez ilość niezmienną B , otrzymamy:

$$p v = B T.$$

Prawo to do par znajdujących się w stanie przejściowym nie daje się zastosować; *Zeuner* na mocy swoich badań (1866) podał dla par słabo przegrzanych inny wzór: $p v = B T - C \sqrt[4]{p}$, w którym stały współczynnik $B = 0,0049287$, a współczynnik $C = 0,18781$. Podług doświadczeń *Hirna*, wypadki otrzymane za pomocą tego wzoru są zgodne z wypadkami otrzymanymi przez doświadczenie.

Własności par przegrzanych nabrały od niejakiego czasu ważnego znaczenia praktycznego, bo w wielu machinach parowych używa się dla oszczędzenia paliwa, zamiast pary nasyconej para przegrzana.

Objętość 1 kil. pary wodnej przegrzanej przy 200^0 i przy prężności 3, 4 i 5 atm. obliczona z wzoru *Zeunera* wypada: 0,6947, — 0,5164 i 0,4150 metr. sześć.; z doświadczeń zaś robionych przez *Hirna* wypadają liczby: 0,697, 0,522 i 0,414; różnica jednych i drugich jest tak mała, że nie wychodzi z granic niedokładności nieuniknionych przy wykonywaniu, obserwowaniu i obrachowywaniu doświadczeń. Nowsi pisarze nazywają objętość 1-go kilogr. pary wyrażoną w metrach sześć. objętością właściwą (gatunkową) pary; wyrażenie to w dawniejszej

mechanice miało inne znaczenie, oznaczało bowiem stosunek pomiędzy objętością pary i objętością wody, z której ta para powstała; objętość właściwa pary wodnej w terażniejszym znaczeniu przy prężności 1 atm. = 1700, przy 2 atm. = około 900 (metr. sześć). Podobnie gęstość pary, podług Zeunera, jest to ciężar 1 metra sz. pary wyrażony w kilogramach, nie zaś stosunek ciężarów pary i powietrza przy jednakowych warunkach. Na tę różnicę określić, przy czytaniu nowszych dzieł, należy zwracać uwagę.

418. Punktem wrzenia cieczy (Dalton 1801) nazywa się temperatura, przy której powstają wewnątrz cieczy bąbki pary i wznosząc się do góry, sprawiają wzburzenie całej masy, stanowiące charakterystyczną cechę gotowania się, czyli wrzenia. Ponieważ temperatura gotującej się cieczy pospolicie różni się nieco od temperatury wychodzącej z niej pary i ponieważ ta ostatnia jest daleko mniej zależną od wpływu okoliczności postronnych niż pierwsza, przeto zgodzono się nazywać punktem wrzenia temperaturę wskazywaną przez termometr pogrążony nie w cieczy, ale w jej parze; z tem wszakże zastrzeżeniem, żeby para była dokładnie zabezpieczoną od zetknięcia z obcemi ciałami, któreby mogły ją oziębnić albo rozgrzać. Punkt wrzenia rozmaitych cieczy umieszczonych w zupełnie jednakowych warunkach jest różny i w ogóle tem niższy, im dana ciecz jest lotniejszą, t. j. łatwiej zmieniającą się w parę. Dla jednej i tej samej cieczy, przypuszczając, że wewnątrz niej zawierają się pęcherzyki powietrzne, punkt wrzenia zależy przedewszystkiem od ciśnienia zewnętrznego wywieranego na powierzchnię cieczy bądź przez powietrze, bądź przez parę, bądź innym sposobem. Wpływ ten zewnętrznego ciśnienia wyraża się następującem prawem: *Punkt wrzenia równy jest temperaturze, przy której prężność pary dorównywa zewnętrznemu ciśnieniu.* Z tego powodu punkt wrzenia jednej i tej samej cieczy jest bardzo zmienny; ilekroć zaś nie oznaczamy go bliżej, to znaczy, że mówimy o wrzeniu cieczy zawierającej pęcherzyki powietrzne i zostającej pod normalnem ciśnieniem powietrza, t. j. pod ciśnieniem 1 atm. czyli 760^{mm} rtęci. Gdy ciecz nie zawiera w sobie pęcherzyków (Dufour 1864) i gdy takowe nie mogą się utworzyć przez wydobycie z dziurek obcych cząstek zanieczyszczających ściany naczynia (Schröder 1870), wtedy punkt wrzenia znacznie się podnosi. Temperatura wrzącej cieczy jest zawsze nieco wyższa od temperatury jej pary, a wielkość przewyżki zależy od własności ścian naczynia, od wysokości cieczy w naczyniu i od oporu stawionego przez zewnętrzną warstewkę (powłokę) cieczy, więc od spójności cieczy. Roztwory takich ciał stałych, które z natury swojej są nielotne, mają punkt wrzenia wyższy, niż sam rozpuszczalnik, i wydają parę gorętszą, ale takież prężności jak para rozpuszczalnika (Magnus 1862). Mieszanki cieczy mogących się w sobie rozplwać mają punkt wrzenia pomiędzy punktami cieczy składowych i tem bliżej punktu wrzenia każdej z nich leżący, im więcej

jest tej cieczy w mieszaninie. Bardzo są ciekawe badania *Koppa* (1855) nad punktami wrzenia szeregów jednorodnych, t. j. takich związków organicznych, których cząsteczki w swojej wewnętrznej budowie różnią się między sobą o jedną i tę samą cząsteczkę węgla i wodoru; Kopp znalazł, że jednej i tejże samej różnicy w budowie cząsteczki takich związków odpowiada bardzo często jedna i ta sama różnica punktów ich wrzenia. W naczyniach nazbyt rozgrzanych małe ilości cieczy wcale wrzeć nie mogą (stan sferoidalny, — o czem niżej).

Punkty wrzenia niektórych cieczy przy ciśnieniu 760^{mm}.

Cynk	1040°	Olej skalny	85
Rtęć	360	Benzol	80,4
Wodan kwasu siarczanego	325	Alkohol	78,4
Olej lniany	316	Eter octowy	74,3
Siarka	316	Alkohol drzewny	65,5
Olejek terpentynowy	293	Dwusiarek węgla	46,6
Eter benzoosowy	209	Eter	34,9
Jod	175	Aldehyd	20,8
Chlorek cynku	120	Eter chlorowodorowy	11
Woda	100	Kwas siarkawy	10.
Kwas azotny	86°		

Gdy ciśnienie się zmniejsza, punkt wrzenia się obniża. Woda na Chimborasso wre przy 77°, na Mont-Blanc przy 85°, na St-Bernardzie przy 92°. Z tablicy prężności pary wodnej umieszczonej powyżej można, znając ciśnienie, łatwo oznaczyć punkt wrzenia wody. Tak np. gdy ciśnienie = $\frac{1}{2}$ atmosfery, szukamy w kolumnie oznaczonej literą S prężności = $\frac{1}{2}$ atm., i naprzeciwko niej znajdujemy w kolumnie T temperaturę odpowiadającą tej prężności 82°, która będzie punktem wrzenia wody przy ciśnieniu $\frac{1}{2}$ atm. Podług tego pod ciśnieniem $\frac{1}{4}$ atm. punkt wrzenia wody = 65°, przy 0,1 atm. = 46°, przy $\frac{1}{20}$ atm. = 33°, przy 0,01 atm. = 7°, przy 4^{mm},6 = 0; w bardzo mocno rozrzedzonym powietrzu pod dzwonem maszyny pneumatycznej woda gotuje się już przy 0°, a jeszcze łatwiej przy zwykłej pokojowej temperaturze. Można inaczej jeszcze stwierdzić obniżenie punktu wrzenia przy małym ciśnieniu. Do kolby szklanej nalewa się do pewnej wysokości woda i zagotowywa, a gdy wydobywająca się para wymiecie już zupełnie powietrze, szyja kolby zatyka się korkiem szczelnie wchodzącym, poczem kolba przewraca się szyjką na dół i daje się jej ostygnąć. Po ostygnięciu w kolbie nad wodą znajduje się para cisnąca na wodę, lecz gdy oblewając próżną część kolby zimną wodą, oziębimy i skroplimy tę parę, wtedy prężność pozostałej będzie tak mała, że woda sama bez ogrzewania znowu gotować się zacznie. To przyspieszone wrzenie ma ważne zastosowanie w cukrowniach, w których sok cukrowy odgotowywa się nie w otwartych kotłach, ale w przyrządach zamkniętych, pod małym ciśnieniem. Na te same zasady polega przyrząd zwany *termohypsometrem*, służący do oznaczania wysokości gór i innych miejsc wy-

niostych; przyrząd ten wskazuje temperaturę, przy której na danej wysokości gotuje się woda; z różnicy punktów wrzenia w dwóch miejscach można obliczyć różnicę ich wzniesienia nad poziom oceanu, mnożąc podług *Remy'ego* przez tę różnicę 291 metrów.

Przy powiększeniu ciśnienia punkt wrzenia się podwyższa. Tablica umieszczona powyżej dla wody wskazuje, że przy 2 atm. punkt wrzenia wody = 120° , przy 3 atm. = 135° , przy 4 atm. = 145° , przy 8 atm. = 170° , przy 16 atm. = 200° . Podwyższenie punktu wrzenia przy wzroście ciśnienia można okazać za pomocą kociołka Papina. W takim kociołku, który Niemcy nazywają kotłem oszczędnym (*Sparkochtopf*), można wodę doprowadzić do daleko wyższej temperatury, niż jej punkt wrzenia w naczyniu otwartym i dla tego używają go do gotowania rosółu i mięsa na wysokich górach, do wyciągania drogą rozpuszczenia z rozmaitych ciał organicznych takich części składowych (ekstraktów), których woda przy 100° nie jest w możności rozpuścić, wreszcie do zwyczajnego gotowania kuchennego, które odbywa się w takim kociołku daleko prędzej i z większą oszczędnością paliwa. W kotłach machin parowych o wysokim ciśnieniu woda ma temperaturę wyższą nad 100° , ponieważ wytworzona z niej para musi posiadać prężność kilku atmosfer. Gdy w takim kotle nastąpi z jakiegokolwiek powodu nagłe zmniejszenie prężności, np. przez otworzenie kłapy bezpieczeństwa lub przez zrobienie się jakiej szczeliny w kotle, wtedy ogromna masa mocno rozgrzanej wody zamienia się na raz jeden w parę, co podług *Kaysera* (1865) ma stanowić przyczynę często zagadkowych roszadzeń kotłów parowych. Podobnym działaniem wysoko rozgrzanej wody objaśnia Bunsen (1846) przerywane wybuchy *wielkiego Gejzeru* na wyspie Islandyi.

Że punkt wrzenia równy jest temperaturze, przy której prężność pary równą jest zewnętrznemu ciśnieniu, to wypływa z podanej powyżej (§ 410) teoryi parowania, podług której para wtedy dopiero może drobne pęcherzyki powietrzne rozdymać w większe bańki, kiedy jej prężność może przewyżnić ciśnienie działające na owe pęcherzyki. Ponieważ jednak na pęcherzyki działa nie tylko ciśnienie atmosferyczne, ale i ciśnienie znajdujących się po nad niemi słupków cieczy, przeto temperatura wrzącej cieczy musi być nieco wyższą od temperatury jej pary i to tem więcej, im rozważana warstwa głębiej leży pod poziomem cieczy; para albowiem, gdyby nawet wewnątrz cieczy posiadała jednakową z nią temperaturę, to wznosząc się do góry i przechodząc przez coraz mniej uciskane i chłodniejsze zatem warstewki, musi się nieco oziębć i odprężyć. Obecność pęcherzyków powietrznych jest niezbędnym warunkiem, aby ciecz mogła się gotować przy właściwym jej punkcie wrzenia; w braku ich ciecz, nawet doszedłszy punktu wrzenia, gotować się nie będzie. Dopiero, przy innej wyższej temperaturze, kiedy już siła żywa cząsteczek wzrośnie do tego stopnia, że skutkiem sprzyjającego potrącenia o siebie cząsteczek ożywionych ruchem drgającym, wiorowym i postępującym, pewna ich ilość rozskoczy się może, wtedy przez rozstępowanie się cząsteczek powstają pęcherzyki pary, które się natychmiast powiększają, wznoszą w górę, rozdzielają na części i tym sposobem wywołują wytworzenie się mnóstwa baniek pary, czyli nagłe wydobycie się znacznej ilości pary, która silnie podrzuca całą masę cieczy do góry. Podwyższenie punktu wrzenia spowodowane nieobecnością pęcherzyków powietrznych nazywa się *opóźnieniem wrzenia* (*Dufour* 1864), ciecz zaś rozgrzana powyżej swojego punktu wrzenia zo-

wie się *cieczą przegrzaną*. Dufour dla zbadania przyczyny tego zjawiska wziął retortę, t. j. banię szklaną z szyją zakrzywioną na bok i z drugą krótszą szyjką stojącą pionowo; napełniwszy retortę wodą, zamknął krótszą szyjkę korkiem, w którym osadzony był termometr wskazujący temperaturę cieczy, do szyi zaś retorty przystosował rurę blaszaną ciągle oziębianą od zewnątrz i połączoną z pompą powietrzną. Następnie Dufour zagotował wodę w retorcie i po dłuższym długi wrzeniu, zaczął ostrożnie wypompuwać parę z retorty, wystrzegając się najmniejszego wstrząśnienia wody; woda zaraz przestała się gotować, chociaż ciśnienie zewnętrzne było daleko mniejsze, aniżeli prężność odpowiadająca temperaturze cieczy. Im częściej woda była gotowaną, tem większe było opóźnienie wrzenia, a przy mocniejszym opóźnieniu, najłżejsze wstrząśnienie wywoływało gwałtowne i natychmiastowe wznawianie się wrzenia, połączonego z silnym podrzucaniem całej cieczy znajdującej się w retorcie; toż samo następowało, gdy wewnątrz cieczy sprawiano wydobywanie się pęcherzyków gazowych, przepuszczając przez nią strumień elektryczny, za pomocą dwóch drutów biegunowych, które przed doświadczeniem były wprowadzone wewnątrz retorty, lub gdy nagle i znacznie albo podwyższano temperaturę wody, albo zmniejszano działające na nią ciśnienie. Tym właśnie sposobem mogą powstawać liczne wypadki rozsadzania kotłów parowych. Jakoż gdy machina zostanie zatrzymana, wtedy para stopniowo się oziębia i skrapla, kiedy tymczasem woda w kotle, zachowująca wysoką temperaturę, uboga w pęcherzyki powietrzne i w zupełnym będąca spokojem, ulega opóźnieniu wrzenia; gdy machina na nowo zostaje wprawiona w ruch, wtedy (skutkiem wstrząśnienia i nagłego rozrzedzenia pary) wznawia się nagle i gwałtowne wrzenie, a olbrzymia ilość wybuchającej pary łatwo może rozsadzić kocioł.

Schröder (1870) utrzymuje, że powietrze *rozpuszczone* w wodzie nie może tworzyć owych pęcherzyków potrzebnych do prawidłowego wrzenia, ponieważ znajduje się w stanie ciekłym, co następujące doświadczenie Dufoura potwierdza. Trochę oleju lnianego miesza się z taką ilością olejku gwoździkowego, aby mieszanina miała taki sam ciężar właściwy jak wrząca woda; wewnątrz tej mieszaniny ogrzanej do 100^0 wprowadza się kropla wody także przy 100^0 i bogata w powietrze, która pozostanie w postaci kulki zawieszona wśród cieczy, poczem można podnieść temperaturę aż do 178^0 , a jednak owa kulka wody nie będzie się zamieniać na parę,—lecz wyparuje natychmiast, gdy dotkniemy ją jakim ciałem stałym. Ztąd wypada, że wrzenie odbywa się nie przy pomocy powietrza rozpuszczonego w wodzie, lecz przy pomocy powietrza znajdującego się w dziurkach (porach) ścian naczyń, a szczególnie w dziurkach zanieczyszczeń czyli obcych cząstek przylegających do tych ścian,—jakoż w samej rzeczy, wrzenie rozpoczyna się zawsze przy ścianach naczyń. Prócz tego *Marcet* (1846) zauważył, że natura ścianek naczyń wywiera istotny wpływ na temperaturę wrzącej w niem cieczy. Tak woda w naczyniach metalowych gotuje się przy niższej temperaturze, niż w szklanych, a w tych ostatnich można przyspieszyć wrzenie, wrzucając do wody opiłki żelazne; dawniej objaśniano to przypuszczeniem, że woda mocniej przylega do szkła, niż do metalów; teraz znajdujemy przyczynę tej różnicy w większej ilości powietrza przylegającego do metalów, a objaśnienie to jest tem podobniejsze do prawdy, że gdy naczynie szklane oczyścimy doskonale za pomocą kwasu siarczanego, lub pokryjemy je powłóczką szelaku, wówczas temperatura do zagotowania potrzebna podniesie się o kilka stopni.

Podwyższenie punktu wrzenia roztworów ciał stałych w cieczach, w porównaniu z czystymi cieczami, tłumaczy się tem, że przyciąganie pomiędzy cząsteczkami ciała stałego i cieczy jest większe, niż wzajemne przyciąganie cząsteczek cieczy pomiędzy sobą; ztąd wynika także, że podwyższenie musi wzrastać wraz z ilością rozpuszczonego ciała, choć niezupełnie w tym samym stosunku.— Podług *Legrand'a* (1836) roztwór wodny zawierający 8 $\frac{0}{10}$ soli kuchennej wrze przy 101 $^{\circ}$, 40 $\frac{0}{10}$ przy 108 $^{\circ}$; roztwór 9 $\frac{0}{10}$ saletry chilijskiej przy 101 $^{\circ}$, 81 $\frac{0}{10}$ przy 108 $^{\circ}$, 151 $\frac{0}{10}$ przy 115 $^{\circ}$, 212 $\frac{0}{10}$ przy 120 $^{\circ}$. Para tych roztworów jest czystą parą wodną, jeżeli jak w powyższych przykładach ciało rozpuszczone nie jest lotnem; jest ona gorętszą, niż 100 $^{\circ}$, bo powstaje wśród wody mającej wyższą temperaturę, ale prężność jest i w tym razie równa zewnętrznemu ciśnieniu, t. j., taka sama, jak pary czystej wody przy 100 $^{\circ}$, bo skutkiem przyciągania wywieranego przez cząsteczki rozpuszczonego ciała, ilość pary jest mniejszą jak przy czystej wodzie, zatem o ile prężność pary podwyższa się przez wyższą temperaturę, o tyle się zniża przez mniejszą jej gęstość.

W podobny sposób podwyższa się punkt wrzenia cieczy przez przymieszanie do niej innej cieczy mniej lotnej i mogącej z pierwszą się mieszać, a obniża się przez dodanie cieczy lotniejszej. Podług *Alluarda* (1864) mieszanina 300 gram. dwusiarku węgla i 150 gram. eteru wrze przy 38 $^{\circ}$; taż sama ilość pierwszej cieczy zmieszana z 80 gr. eteru przy 40 $^{\circ}$, z 30 gr. przy 43 $^{\circ}$, z 15 gr. przy 45 $^{\circ}$;— woda z 66 $\frac{0}{10}$ alkoholu wrze przy 83 $^{\circ}$, z 33 $\frac{0}{10}$ przy 84 $^{\circ}$, z 20 $\frac{0}{10}$ przy 86 $^{\circ}$, z 10 $\frac{0}{10}$ przy 90 $^{\circ}$, z 5 $\frac{0}{10}$ przy 93 $^{\circ}$, z 2 $\frac{0}{10}$ przy 97 $^{\circ}$; mniejszy procent przymieszanego alkoholu nie zmienia już wcale punktu wrzenia wody (100 $^{\circ}$). Wedle popołitego poglądu, przy punkcie wrzenia mieszaniny w samej istocie wrze sama tylko ciecz lotniejsza, a para jej tylko mechanicznie porywa i unosi z sobą małą ilość pary cieczy mniej lotnej; gdy zatem owa para skroploną zostanie napowrót, wtedy otrzymuje się mieszanina daleko bogatsza w ciecz lotniejszą, niż mieszanina pierwotna. Na tem polega oddzielanie od siebie pomieszanych cieczy różnej lotności, za pomocą *przepędzania* (destyllacji), jak np. oddzielanie alkoholu od wody przy wyrabianiu spirytusu i okowity. Oddzielanie cieczy za pomocą *przepędzania* staje się, podług *Alluarda*, niemożliwem, gdy jedna z cieczy stanowi bardzo drobny, a dla każdej mieszaniny oznaczony, ułamek całej masy; wtedy cała mieszanina wrze tak, jakby była cieczą jednorodną. Toż samo ma miejsce, gdy części składowe mieszaniny tylko w stale oznaczonych stosunkach mogą się z sobą mieszać, co podług *Berthelota* (1863) wtedy ma miejsce, kiedy prężności par obu cieczy są odwrotnie proporcjonalne do gęstości tych par. Tak mieszanina 8 $\frac{0}{10}$ wody i 92 $\frac{0}{10}$ alkoholu nie daje się rozdzielić przez wrzenie, równie jak mieszanina 8 $\frac{0}{10}$ alkoholu i 92 $\frac{0}{10}$ dwusiarku węgla; podobnie mieszanina 9 $\frac{0}{10}$ alkoholu z 91 $\frac{0}{10}$ dwusiarku węgla ma stały punkt wrzenia 43 $^{\circ}$. W takich przypadkach mieszanina posiada pewną stałość przypominającą stałość związków chemicznych, chociaż atomy obu cieczy nie są z sobą połączone.

Zdarza się niekiedy, że punkt wrzenia mieszaniny jest wyższy, aniżeli każdej z obu cieczy składowych; w takim razie przy gotowaniu ulatnia się najprzód pewna ilość cieczy będącej w nadmiarze aż dotąd, póki obie składowe ciecze nie zostaną w pewnym stałym stosunku, pozem owa stała mieszanina zaczyna wrzeć, jak ciecz jednorodna przy nieziennej temperaturze. Tak przy gotowaniu kwasu solnego (chlorowódór) rozcieńczonego w wodzie, najprzód ulatuje

część wody, przyczem punkt wrzenia ustawicznie się podwyższa,—przy gotowaniu się mocnego kwasu solnego ulatuje chlorowódor, przyczem temperatura wrzenia także się ciągle podnosi, dopóki w obu razach nie pozostanie w naczyniu mieszanina 20⁰/₁₀ chlorowodoru i 80⁰/₁₀ wody, która odtąd ma stały punkt wrzenia 110⁰. Bywa i odwrotny wypadek, t. j., że punkt wrzenia mieszaniny leży poniżej punktu wrzenia cieczy lotniejszej, mianowicie wówczas, kiedy części składowe wcale się w sobie nie mogą rozplýwać, kiedy zatem (podług § 413) prężność pary równa się sumie prężności obu par przy tejże temperaturze, skutkiem czego w tym razie para prędzej nabywa prężności równej ciśnieniu atmosfery, a zatem prędzej następuje wrzenie. Tak mieszanina wody i dwusiarku węgla wrze przy 43⁰, kiedy punkt wrzenia czystego dwusiarku węgla = 46⁰,6. Na tem polega ciekawe doświadczenie *Kundta* (1870): gdy wodę mającą 45⁰ zmieszamy z dwusiarkiem węgla przy tejże temperaturze, mieszanina zaczyna mocno się gotować i wrzenie jej wznowia się, ilekroć poruszmy ją przecikiem szklannym.

Kapp znalazł, że przy wielu szeregach jednorodnych różnica w składzie chemicznym o CH² (jeden atom węgla i dwa wodoru) odpowiada różnicy punktów wrzenia o 19⁰; tak w szeregu kwasu mrówczanego, kwas mrówczany CH²O² wrze przy 99⁰, kw. octowy C²H⁴O² przy 118⁰, kw. propijonowy C³H⁶O² przy 137⁰, kw. masłowy C⁴H⁸O² przy 156⁰, kw. waleryanowy C⁵H¹⁰O² przy 175⁰. Podobnież w szeregu alkoholu, alkohol drzewny CH⁴O wrze przy 59⁰, alkohol zwyčajny C⁰H⁶O przy 78⁰, alk. propylowy C³H⁸O przy 97⁰, alk. butylowy C⁴H¹⁰O przy 116⁰, alk. amyłowy C⁵H¹²O przy 135⁰. Są jednak szeregi, w których ta sama różnica o CH² sprowadza większą albo mniejszą różnicę punktów wrzenia; tak w szeregu benzolowym różnica ta wynosi 24⁰, w brometylenowym zaś tylko 15⁰: benzol C⁶H⁶ — 80⁰, toluol C⁷H⁸ — 104⁰, xylol C⁸H¹⁰ — 128⁰, kumol C⁹H¹² — 152⁰, cymol C¹⁰H¹⁴ — 176⁰; brometylen C²H⁴Br — 130⁰, brompropylen C³H⁶Br — 145⁰, brombutylen C⁴H⁸Br — 160⁰. Do takich grup stosuje się z zupełną ścisłością, podług *Iandolt'a* (1868) w bliskości punktu wrzenia, prawo postawione przez *Daltona* (§ 413) dla wszystkich cieczy, lecz następnie pozbawione swojej ogólności, że dla temperatur oddalonych o jednakową ilość stopni od punktu wrzenia czy to w górę czy na dół, prężności rozmaitych par są jednakowe.

Ciepło parowania. (*Black* 1762, *Watt* 1765, *Regnault* 1847). Ciepłem 419. parowania nazywamy tę ilość ciepła, która jest potrzebna do przekształcenia 1 kilograma cieczy mającej oznaczoną temperaturę na parę posiadającą tęż samą temperaturę. Już w samym powyższem określeniu zawiera się domyślnie ta prawda, że ciepło parowania dostarczane ciału ciekłemu, zostaje przez parowanie jego pochłonięte i zużyte, że zatem ginie jako ciepło i ani na termometr, ani na zmysł dotykania działać nie może. To znikające ciepło zużywa się (jak widzieliśmy w teorii parowania § 410) w części na pracę wewnętrzną, t. j. na rozdzielanie cząsteczek pomiędzy sobą, w części na pracę zewnętrzną, t. j. na pokonywanie zewnętrznego ciśnienia. Za czasów panowania starej teorii ciepłika, nie umiano sobie wytłómaczyć znikania ciepła; wyobrażano więc sobie, że ów ciepłik pozostaje ukryty we wnętrzu pary i cie-

pło parowania nazywano ciepłem utajonem albo związanem. Ciepło parowania wody przy 100° (przy prężności 1 atmosfery) wynosi 536,5 ciepłostek; to znaczy, że potrzeba zużyć 536,5 ciepłostek, aby 1 kilogram wody ogrzanej do 100° zamienić na 1 kil. pary mającej także 100° , więc tyle ciepłostek, ile ich potrzeba do rozgrzania 536,5 kilogramów wody na 1° . Tak wielkie spożycie ciepła równoważne 227476 kilogrametrom pracy, daje nam miarę i obraz wielkości zmian wewnętrznych zachodzących przy tem przeobrażeniu wody ciekłej na lotną. Zresztą, ze wszystkich znanych cieczy, jeden tylko kwas węglany ma, jak się zdaje, jeszcze większe ciepło parowania niż woda, wszystkie zaś inne daleko mniejsze; alkohol np., przy 80° 212 ciepłostek, a eter przy 35° tylko 90 ciepłostek. Większa część ciepła parowania zużywa się na pracę wewnętrzną, t. j. na pokonanie przyciągania międzycząsteczkowego i na udzielenie cząsteczkom większej prędkości; mniejsza na pracę zewnętrzną, t. j. na odparcie zewnętrznego ciśnienia. Ta ostatnia część ciepła parowania wymierza się iloczynem $A p u$, w którym A oznacza ciepły równoważnik jednostki pracy, więc równa się $\frac{1}{424}$ ciepłostki, p — ciśnienie zewnętrzne, a u powiększenie objętości. Zewnętrzne ciepło parowania dla pary wodnej przy 100° wynosi tylko 40,2 ciepłostek, reszta zaś t. j. 496,3 ciepłostek jest miarą *wewnętrznego* ciepła parowania, t. j. zużytego na pracę wewnętrzną; tym sposobem para wodna przy 100° zawiera w sobie o 496,3 ciepłostek (w postaci pracy) więcej, niż równa ilość wody przy 100° . Zewnętrzne ciepło parowania dla cieczy lotniejszych jest mniejsze, np. dla wrzącego eteru = 8 ciepł., dla chloroformu = tylko 5 ciepł. i wzrasta przy wroście temperatury, bo wtedy i ciśnienie zewnętrzne większem się staje; tak np. dla pary wodnej przy 0° ciepło to = 31 ciepłost., przy 100° = 40,2 ciepł., przy 200° = 47 ciepłostek. Podobnie i wewnętrzne ciepło parowania dla cieczy lotniejszych jest mniejsze, lubo podobnie jak zewnętrzne, wcale nie jest do punktów wrzenia rozmaitych cieczy proporcjonalne; dla wrzącego eteru wynosi ono 82 $\frac{1}{2}$ ciepł., dla później zaczynającego wrzeć chloroformu tylko 56 ciepłostek. Lecz odwrotnie jak zewnętrzne, wewnętrzne ciepło parowania przy wroście temperatury maleje, bo wtedy para jest gęstsza; — tak dla pary wodnej przy 0° wewnętrzne ciepło parowania = 575 ciepłostek, przy 100° = 496 ciepł., przy 200° = 417 ciepłostek, i to zmniejszanie się wewnętrznego ciepła parowania przy wroście temperatury jest znaczniejsze, aniżeli odpowiednie powiększanie się zewnętrznego ciepła parowania, tak że, biorąc w ogóle, ciepło parowania przy wroście temperatury się zmniejsza. — Tak ciepło parowania pary wodnej przy 0° = 606, przy 100° = 536, przy 150° = 500, przy 200° = 464 ciepłostek.

Despretz (1823) porównawszy ciepło parowania rozmaitych ciał przy jednokowej prężności par z gęstością tychże par, ogłosił prawo, że przy jednakowem

ciśnieniu ciepło parowania rozmaitych par jest odwrotnie proporcjonalne do ich gęstości. Późniejsze i bardziej rozległe badania *Regnaulta* nie potwierdziły tego prawa. *Zeuner* (1866) obliczył, że przy ciśnieniu 1 atmosfery stosunek ciepła parowania do objętości pary dla wody = 325, (to znaczy, że jeżeli ilość ciepłostek potrzebną do wyparowania 1 kil. wody przy 100^0 , pod ciśnieniem 1 atm., podzielimy przez ilość metrów sześciennych, wyrażających objętość utworzonego kilograma pary przy 100^0 , to na iloraz otrzymamy 325); dla eteru = 268 (przy 35^0), dla dwusiarku węgla 253; przy 10 atm. stosunek wypadł dla wody 2535, dla chloroformu 1917, dla rtęci 2250. Nie utrzymało się także i wysoko niegdys cenione prawo *Watta*, że całkowita suma ciepła utajonego i swobodnego pary wodnej jest niezmienną dla każdej temperatury. *Watt* do właściwego ciepła parowania (utajonego) doliczał jeszcze ciepło potrzebne do rozgrzania wody od 0^0 do temperatury, przy której odbywało się parowanie, t. j. tak zwane wówczas ciepło ciekłości, i otrzymał z powodu małej dokładności swoich badań, prawie jednogodne wypadki, wyrażające tak zwane *całkowite ciepło pary* przy rozmaitych temperaturach i prężnościach. To jednak całkowite ciepło pary, jak je wówczas nazywano, w samej rzeczy przy $0^0 = 0 + 606,5 = 606,5$ ciepłostek, przy $50^0 = 50 + 575 = 625$ ciepł., przy $100^0 = 100 + 536 = 636$ ciepłost., przy $150^0 = 150 + 501 = 651$ ciepł., przy $200^0 = 200 + 464 = 664$ ciepł.; a zatem znacznie się od prawa *Watta* uchyla.

Do wymierzania ciepła parowania wszyscy badacze od *Watta* aż do *Bria'a* (1842) i *Regnaulta* używali kalorymetru wodnego. Jest to naczynie napełnione odważoną ilością wody wiadomej temperatury, przez którą przechodzi rura metalowa skręcona w węzownicę. W tej węzownicy para się oziębia i skrapla, przy czem oddaje swoje ciepło parowania wodzie kalorymetru; z ilości skroplonej cieczy, która zbiera się w naczyniu podstawionem pod otwór węzownicy, oraz z podwyższenia temperatury wody kalorymetru można z łatwością obliczyć ciepło parowania lecz niedokładnie, bo sposób ten połączony jest z licznymi powodami omyłek. Tak przy tej metodzie, jak i przy innych (np. *Favra* i *Silbermana*) mierzy się właściwie nie ciepło pochłonięte przez tworzącą się parę, lecz to ciepło, które przy odwrotnej przemianie, t. j. przy skropleniu tej pary się wytwarza i podnosi temperaturę ciał otaczających, co wszakże na jedno wychodzi, bo ilości te przy jednakowem ciśnieniu i jednakowej temperaturze są zupełnie równe. Przy najstarszej i najnie dokładniejszej metodzie *Blacka* postępowano inaczej, bo mierzono wprost ciepło dostarczane parującej cieczy; w tym celu *Black* mierzył czas potrzebny do zupełnego wyparowania wody napełniającej naczynie ustawione na piecyku mającym niezmienną temperaturę, i porównywał go z czasem potrzebnym do ogrzania tejże wody do 100^0 , obliczał ilość ciepła pochłoniętego na wyparowanie wody.

W tablicach par ze szczególną dokładnością opracowanych w dziele *Zeunera* p. t. „Główne zarysy teoryi mechanicznej ciepła“ znajdują się między innymi tablice wyznaczające objętość 1 kilograma pary przy rozmaitych temperaturach. Iloraz z podzielenia liczby wyrażającej ciepło parowania przez odpowiednią objętość zowie się ciepłem parowania jednostki objętości, mianowicie 1-go metra sześciennego pary. Liczby wyrażające to ciepło parowania jednostki objętości przy wzroście temperatury bardzo szybko wzrastają. Tak np. ciepło parowania 1-go metra sześciennego pary wodnej przy $0^0 = 2,9$ ciepł., przy $100^0 = 325$, przy

$150^0 = 1304$, przy $200^0 = 3692$ ciepł.; ciepło parowania 1-go metra sześciennego kwasu węglanego przy $25^0 = 3178$, a przy $45^0 = 14937$ ciepłostek. Do najciekawszych wyników teorii mechanicznej ciepła należy ten, że to ciepło parowania jest proporcjonalne do bezwzględnej temperatury i do ciśnienia wyrażonego w funkcji temperatury, z kąd wypada, że ciepło parowania jednostki objętości można otrzymać mnożąc $A = \frac{1}{424}$ ciepłostki, t. j. ciepły równoważnik jednostki pracy przez iloczyn tych dwóch wielkości. Gdybyśmy zatem znali prawo wzrostu prężności danej pary, moglibyśmy obliczyć z kąd ciepło parowania jednostki objętości; a znając jeszcze objętość 1-go kil. pary przy rozmaitych prężnościach, byłibyśmy w możności wyznaczyć tą drogą ciepło parowania jednostki ciężaru (kilogram) pary.

Dla pary wodnej objętości 1 kil. pary przy różnych prężnościach wiadome są z badań *Fairbairna* i *Taita'a* (1860); można więc obliczyć ciepło parowania *a priori*; okazująca się przytem zgodność wypadków teorii z wypadkami najdokładniejszych badań doświadczalnych, mianowicie badań *Regnaulta*, stanowi nowy i piękny dowód prawdziwości podstaw, na których teoria mechaniczna ciepła spoczywa.

Regnault z wyczerpujących swoich badań nad ciepłem parowania wyprowadził wzory empiryczne na wyznaczenie całkowitego ciepła pary λ , z których przez odtrącenie ciepła ciekłości q , które to ciepło również za pomocą wzorów wyraził, można obliczyć ciepło parowania $r = \lambda - q$. Znalazł on dla

wody . . . $\lambda = 606,5 + 0,305t$; $r = 606,5 - 0,695t - 0,00002t^2 - 0,0000003t^3$
 eteru . . . $\lambda = 94 + 0,045t - 0,0005556t^2$; $r = 94 - 0,07901t - 0,0008514t^2$
 chloroformu $\lambda = 67 + 0,1375t$; $r = 67 - 0,09485t - 0,0000507t^2$.

Woda posiada bardzo wielkie ciepło parowania; ciepło to ma zastosowanie przy ogrzewaniu za pomocą pary, przy ogrzewaniu walców służących do wysuszania, np. w papierniach do wysuszania masy papierowej i t. d. Ogrzewanie budowli parą wodną odbywa się w ten sposób: para wytworzona w kotle umieszczonym w suterenie rozprowadza się za pomocą rur przechodzących pod podłogą izb po całej budowl; woda skroplona w rurach mających nieco ukośny względem poziomu kierunek wraca do kotła, ciepło zaś przy skropleniu powstałe ogrzewa pokoje.

420. Oziębienie przy ulotnieniu. Ciecz ulatniająca się zwolna przy temperaturze niższej od punktu swojego wrzenia również pochłania ciepło; owszem pochłania go więcej, bo ciepło parowania jest tem większe, im niższą jest temperatura, przy której się parowanie odbywa. Tak np. ciepło parowania wody przy $9^0 = 606$, przy $10^0 = 599$, przy $20^0 = 592$, przy $100^0 =$ tylko 526 ciepłostkom. Z kąd wynika, że gdy dana ciecz się ulatnia, wtedy ustawicznie oddaje część swojego ciepła tworzącej się parze, skutkiem czego sama coraz bardziej oziębiać się musi, a oziębienie to odbywa się tem silniej, im prędzej ciecz się ulatnia, im zatem większą jest powierzchnia parującej cieczy, im przestrzeń, w którą para ulata, bardziej do stanu próżni się zbliża i im wreszcie sama ciecz jest lotniejszą.

Przyczyna utraty ciepła przy ulotnieniu polega na tem, że cząsteczki cieczy działają na cząsteczkę leżącą na samej powierzchni przez uderzenie, przyczem oddają jej część własnej siły żywej, t. j. oziębiają się. Uderzana w ten sposób cząsteczka ulatuje w końcu nad powierzchnię cieczy i staje się cząsteczką pary. Jeśli ulatująca cząsteczka spotka na swojej drodze cząsteczkę powietrza, wtedy zostaje przez nią odbita, wraca więc napowrót do cieczy i oddaje jej zabrane przed chwilą ciepło; ta okoliczność tłómaczy, dla czego oziębienie parującej cieczy jest tem większe, im przestrzeń po nad cieczą mniej zawiera powietrza i pary, im zatem bardziej do stanu próżni się zbliża. Lotniejsze cieczce prędzej parują, zatem pomimo mniej wysokiego ciepła parowania, silniejsze zimno wzbudzają; ztąd ręka zwilżona eterem doznaje silnego uczucia zimna, pomimo że ciepło parowania eteru przy 10° wynosi zaledwie 93 ciepłotki. Oziębienie przy parowaniu objaśnia w części, dla czego powietrze ochładza się po deszczu i wiele innych zjawisk. Temperatura ciała ludzkiego utrzymuje się na niezmiennej wysokości bez względu na temperaturę otaczającą, bo przy wzroście tej ostatniej zwiększa się parowanie skórne. W zmoczonej odzieży jest nam zimno. Cieczce w naczyniach owiniętych mokremi płacami utrzymują się w stanie chłodnym.— W Hiszpanii trzymają wodę do picia w naczyniach giinianych łatwo przesiąkliwych, zwanych *alkarazami*; w Indyach zamrażają wodę, wystawiając ją w podobnychże misach w jasne i chłodne poranki na otwarte powietrze. Eter lub kwas siarkawy nalany na watę otaczającą zbiornik termometru, przy szybkim poruszaniu tegoż w powietrzu, mocno oziębia rtęć w zbiorniku, a nawet zamrozić ją może. *Kryjofor Wollastona* (1813) składa się z dwóch baniek szklanych wypróżnionych z powietrza i połączonych ze sobą za pomocą rurki; jedna z nich zawiera w sobie trochę wody; gdy drugą bańkę zanurzymy w mięszaninie oziębiającej, wtedy w pierwszej woda zamarza. Kwas węglany skroplony w przyrządzie *Natterera* działaniem mocnego ciśnienia, paruje tak szybko i przez to tak wiele ciepła sam sobie odbiera, że reszta nieulotniona zamarza, tworząc masę podobną do śniegu. Woda pod dzwonem maszyny pneumatycznej łatwo zamarza, gdy umieścimy nad nią miseczkę z mocnym kwasem siarczanym, który chciwie pochłania i skrapla ulatującą parę wodną; gdy zamiast wody użyjemy siarku węgla, oziębienie będzie tak szybkie, że rtęć umieszczona pośród tej cieczy zamarza. Najsilniejsze zimno otrzymali *Faraday* i *Natterer*: pierwszy przez zmieszanie zamrożonego kwasu (bezwodnika) węglanego z eterem, drugi przez zmieszanie ciepłego tlenku azotu z siarkiem węgla; w ostatnim przypadku temperatura spadła do -140° . We wszystkich opisanych powyżej przypadkach używają się ciała bardzo szybko parujące, a powstająca z nich para, albo się natychmiast za pomocą maszyny pneumatycznej usuwa, albo zostaje pochłonięta przez ciała mające własność silnego jej przyciągania, skutkiem czego parowanie odbywa się szybko i nieustannie, zaczem idzie nader szybkie oziębienie.

Na teźże zasadzie polega urządzenie *maszyn służących do wyrabiania lodu*, mających ważne zastosowanie tam, gdzie o lód naturalny jest trudno. Pierwszy *Harrison* (1856) użył w Nowej Holandji do wyrabiania lodu eteru. Jego przyrząd ulepszony przez Siebego w Berlinie wzbudził wielkie zajęcie na wystawie Londyńskiej w 1862 r. Składa się on z kotła eterowego czyli zamrażacza, pompy powietrznej poruszanej siłą maszyny parowej i zagęszczalnika. Zamrażacz jest to kocioł napełniony zgęszczonym roztworem soli kuchennej w wodzie, wpo-

śród którego osadzony jest szereg rur miedzianych połączonych ze sobą. W tych rurach paruje eter, a ulatującą z niego parę wyciąga pompa powietrzna i wtłacza do zagęszczalnika, gdzie pod mocnem ciśnieniem para eteru skrapla się na ciecz, która znowu do owego systematu rur miedzianych powraca. Skutkiem szybkiego parowania eteru, roztwór soli kuchennej w zamrażaczu oziębia się bardzo mocno (do -15°); ztąd, wypuszczony wązkim strumieniem, zimny ten roztwór uderza na skrzynki blaszane, napełnione wodą, i oziębia je tak silnie, że woda w ich wnętrzu zamarza.

Poczynając od r. 1865 *Carré* w Paryżu wynalazł i udoskonalił kilka innych systematów machin do lodu. W jednym z jego przyrządów zamrażacz zawiera znaczną ilość komórek, z których każda otoczona jest zewnątrz naczyniem stożkowatym, zawierającym eter, a wewnątrz zawiera inną komórkę, napełnioną wodą; tym sposobem lód odrazu w samym zamrażaczu się tworzy. Inny jego systemat polega na użyciu ammoniaku zamiast eteru; przyrządy tego systematu są dwojakie: jedne o działaniu przerywanem do użytku domowego, inne działające bez przerwy do wyrabiania lodu sposobem fabrycznym. W trzecim systemacie, *Carré* zamraża wodę w butli, której szyja połączona jest z górną częścią kotła napełnionego do połowy kwasem siarczanym i komunikującego z machiną pneumatyczną; przy działaniu tej maszyny parowanie w butli odbywa się tak szybko, że woda wkrótce zamarza. *Kirk* (1863) do wyrabiania lodu zastosował oziębienie powstające przy rozszerzaniu się powietrza; główną częścią składową jego przyrządu jest walec; powietrze zgęszczone oddaje na jednym końcu tego walca swoje ciepło zimnej wodzie, a jednocześnie na drugim końcu walca powietrze rozrzedzone odbiera ciepło roztworowi chlorku wapnia i tym sposobem ciecz tę silnie oziębia.— Wielka maszyna *Carré*'go o nieustającym działaniu, której urządzenie kosztuje wprawdzie dużo, bo 30000 franków, ale za to obsługa i utrzymanie bardzo niewielki pociągają wydatek, dostarcza 200 kilog. lodu na godzinę; przyrząd przerywany wyrabia na jeden raz 1 kilog. lodu i kosztuje 282 fr.; aparaty z kwasem siarkawym kosztują od 120 do 1200 fr. i dostarczają aż do 100 kilog. lodu na godzinę.

421. Stan sferoidalny. Ciecz umieszczona w naczyniu ogrzanem do pewnej mniej lub więcej wysokiej temperatury traci możność wrzenia dla tego, że wówczas pomiędzy cieczą i rozgrzaną ścianą naczynia tworzy się warstwa pary, która źle przeprowadza przez siebie ciepło, a zarazem odpiera i podtrzymuje ciecz znajdującą się obok i nad nią. W tych warunkach ciecz, nie stykając się ze ścianami, przybiera, jak każda ciecz zostawiona samej sobie, postać kulistą, a utworzona kulka odrzucana ciągle przez parę tańczy w ciągłych podskokach nad dnem naczynia, przyczem wciąż się ulatnia, ale bardzo powoli, bo para jako zły przewodnik ciepła bardzo mało ciepła do niej doprowadza, promienie zaś ciepła wyrzucane przez gorące ściany naczynia, przechodzą przez nią na wylot, podobnie jak promienie światła przez ciała przezroczyste. Tym sposobem kulka nieznacznie maleje i w końcu pęka z łoskotem. Zjawisko to, które każdy zapewne widział na rozpalonej płycie kuchni angielskiej, gdy na nią przypadkiem kilka kropel wody upadnie, pierwszy

zbadał dokładnie *Boutigny* (1840) ¹⁾. Robił on w tym przedmiocie wiele różnorodnych doświadczeń i odkrył wiele zjawisk dawniej nieznanych, ale ich objaśnić nie zdołał. Postawione przez niego przypuszczenie, że w zjawiskach tego rodzaju występuje nowy, czwarty stan skupienia materji, nazwany przez niego *stanem sferoidalnym*, okazało się błędnem i zbyt czynnem, jednakże nazwa stanu sferoidalnego została w nauce, ale tylko jako nazwa zbiorowa całego szeregu zjawisk, o których mowa.

Gdy naczynie zawierające taką zwołną parującą kulkę oziębimy do pewnej stałej temperatury, wtedy ciecz nagle przechodzi w gwałtowne syczenie, wrzenie i znika. Ta stała granica temperatury opisanego zjawiska leży tem niżej, im niższy jest punkt wrzenia doświadczanej cieczy; tak podług *Boutigny*'ego wynosi ona dla wody 171^o, dla alkoholu 134^o, dla eteru 61^o. Jednakże i natura gorącego naczynia wywiera wpływ na zjawiska stanu sferoidalnego; udają się one najłatwiej w rozpalonych miseczkach metalowych, lub na powierzchniach roztopionych mas metalicznych, byle nie utlenionych; trudniej w naczyniach szklanych lub porcelanowych. Eter, brom, siarek węgla przechodzą w stan sferoidalny nawet na powierzchni gorącej wody; woda na olejku terpentynowym; eter na gorącym piasku. Przeciwnie na rozżarzonej do białości kredzie, węglu drzewnym, zardzewiałem żelazie zjawisko nie udaje się wcale (Berger 1863). Temperatura cieczy stanowiącej sferoid jest zawsze niższą od punktu jej wrzenia i (podług *Emsmanna*) tem niższą, im naczynie jest mocniej rozgrzane. Nietylko łatwo ulatniające się, ale i wszystkie w ogóle ciecze, a nawet wiele ciał stałych topliwych lub zdolnych do wytwarzania pary przyjmują, podług *Bergera*, stan sferoidalny, co rozumieć należy w ten sposób, że ciała te wrzucone do naczyń mocno rozgrzanych nie dotykają się do ich dna, ale przegrodzone od niego warstwą pary wirują z wielką prędkością; nawet bizmut, ołów i cyna tworzą na powierzchni roztopionego i do białości rozżarzonego żelaza (lanego) podobne krople sferoidalne. W tenże sposób można sobie objaśnić, że można bezkarnie zanurzyć rękę w roztopionym, byleby czystym (bez rdzy) i mocno rozżarzonemu metal; tu leży także zasada do wytłómaczenia szczęśliwych przypadków przy próbach ogniowych, używanych dawniej na tak zwanych sądach bożych.

¹⁾ Autor, wierny staremu zwyczajowi swojego narodu, przypisuje odkrycie *stanu sferoidalnego* *Leidenfrostowi* (1756) i samo zjawisko chrzci mianem „*krople Leidenfrosta*,” który miał pierwszy obserwować je na kropłach wody spadających na rozpalone płyty metalowe. Takich obserwatorów, którzy widzieli jak się zachowują w tym razie krople wody, ale żadnych nowych doświadczeń nie robili i żadnego objaśnienia naukowego nie podali, było przed *Leidenfrostem* tysiące. (*P. T.*)

Przyczynę stanu sferoidalnego jedni upatrują w odpychającej sile ciepła, inni w tem, że ciepło osłabia przyleganie, skutkiem czego spójność biorąc nad niem przewagę, nie pozwala cieczy maczać ścianek i nadaje jej kształt kulisty; że zatem ciecze zachowują się w tym razie tak samo, jak woda na powierzchni tłustej lub zakurzonej, albo rtęć na szkle. Że sferoid nie dotyka się rzeczywiście dna naczynia, o tem przekonał się *Poggendorff* przeprowadzając druty od dwóch biegunów stosu połączonego z galwanometrem, jeden do rozpalonej miseczki metalowej, drugi do zawartej w niej cieczy; jak tylko ciecz ta przeszła w stan sferoidalny, strumień elektryczny został natychmiast przerwany. *Tyndall* otrzymał sferoid z atramentu na wierzchołku wypukłej miseczki i umieściwszy oko na wysokości równej z tym wierzchołkiem, widział wyraźnie rozżarzony drut znajdujący się po drugiej stronie owego odstępu. Z pomiędzy mnóstwa ciekawych doświadczeń czynionych nad stanem sferoidalnym wymieniamy następujące. Rozżarzywszy miseczkę srebrną odwróconą dnem do góry, skrapiamy ją małą ilością wody: wtedy krople wody staczają się na dół i wydają się niby twardymi i błyszczącymi perlami. Gdy kropla spoczywa na gładkiej płaszczyźnie, wtedy para tworząca się w ich odstępie nie może wprost ulatywać w powietrze, wtedy przechodzi ona na wylot przez sam sferoid i wydobywa się z niego rytmicznie, t. j. nie ciągle, ale w równych odstępach czasu i głównie przy bokach sferoidu, skutkiem czego tenże przybiera postać rozetki; duże krople przyjmują w tym razie postać gwiazdki, która podług *Bergera*, zależy od interferencji fal wzbudzonych przez wstępowanie cieplejszych i opadanie zimniejszych cząsteczek wody. Temperatura sferoidu zawsze jest niższą od punktu wrzenia stanowiącej go cieczy; skutkiem tego kwas siarkawy w rozżarzonej miseczce platynowej ma zawsze temperaturę niższą od -10° ; gdy zatem na taki sferoid upuścimy kroplę wody, woda natychmiast zamarznie i z rozżarzonej do białości miseczki będziemy mogli wydobyć kawałek lodu. Jeżeli w podobnych okolicznościach otrzymamy w rozżarzonej miseczce platynowej duży sferoid z mieszaniny eteru z zamrożonym kwasem węglanym i wewnątrz tego sferoidu wstawimy mały tygielek napełniony rtęcią, wtedy rtęć zamarza i wkrótce z pośród płomienia gorejącej nad miseczką pary eterowej będziemy mogli wydobyć kawałek zamrożonej rtęci (*Faraday*). Kawałek zamrożonego kwasu węglanego można bez żadnej obawy położyć na język, pomimo straszliwego zimna tego ciała, które do -80° dochodzi, bo ciało to przyjmuje wówczas stan sferoidalny i nie dotyka się języka; przeciwnie przy rozniesieniu grudki takiego śnieżystego kwasu węglanego w palcach, doznaje się mocnego oparzenia. Sferoidy, o których mówiliśmy w tym paragrafie, można otrzymywać w znacznych rozmiarach; *Berger* zdołał otrzymać sferoid wodny ważący funt. Temperatura sferoidu jest, jak mówiliśmy, zawsze niższą od punktu wrzenia, ale niezbyt od tego punktu odległą; dla wody leży ona, podług *Boutigny*'ego, między 70° i 100° ; dla alkoholu między 69° i 78° . Niektórzy uważają stan sferoidalny za przyczynę rozsadzania kotłów parowych. Podczas zatrzymania ruchu maszyny parowej, woda nie przybywa do kotła, para zaś nie przestaje się w nim tworzyć i uchodzić na zewnątrz, skutkiem czego poziom wody w kotle coraz bardziej obniża się. Wkrótce górna część ściany kotła wystawionej na działanie płomienia, nie będąc więcej w zetknięciu z wodą, rozpala się tak silnie, że gdy następnie przy puszczeniu maszyny, woda znowu zacznie przybywać do kotła, przyjmuje ona z początku przy ścianach stan sferoidalny. Lecz rozpalone ściany

stygna powoli, a gdy temperatura ich obniży się pod 100° , woda styka się naraz z powierzchnią ścian i przy tej wysokiej jeszcze temperaturze zaczyna wrzeć tak gwałtownie i tak wielką ilość pary naraz wydaje, że kocioł, pomimo klapy bezpieczeństwa, rozerwanym być może. Można naśladować podobny wybuch, nalewając wody do rozżarzonego naczynia miedzianego i zatykając je korkiem; gdy naczynie zdejmujemy z ognia, korek po jakimś czasie silnie wystrzelonym zostanie. Jednakże *Scheffler* (1867) odrzuca powyższe objaśnienie pęknięcia kotłów parowych na tej zasadzie, że woda napompowywana do kotła znajduje się w zbyt silnym ruchu, aby mogła przechodzić w stan sferoidalny. Zasadność przytoczonego powyżej wytlómaczenia stanu sferoidalnego stwierdzają doświadczenia *Buddego* (1871), dowodzące, że pod dzwonem maszyny pneumatycznej, woda na miseczce miedzianej już przy 80° do 90° w stan sferoidalny przechodzi; w tym bowiem razie warstewka pary podtrzymuje tylko ciężar sferoidu, nie potrzebując równoważyć ciśnienia powietrza.

Machina parowa (Papin 1690, Watt 1765). Gdyby pomiędzy wynalazców maszyny parowej, maszyny, która w pewnym znaczeniu przekształciła wszystkie stosunki życia na ziemi i tak potężnie wpłynęła na losy jej mieszkańców, wolno było policzyć tych wszystkich, którzy poraz pierwszy potrafili poruszać ciała działaniem pary, w takim razie musieliśmy najprzód wymienić *Archimedes*a (ur. 287 r. przed Chr.) i *Herona* (ur. 120 r. przed Chr.); pierwszy bowiem wynalazł wirujące kule, a drugi obracające się osówki, poruszane na zasadzie młynka hydraulicznego (koła wodnego Segnera), za pomocą pary wybuchającej z ich wnętrza, więc na mocy ciśnienia wywieranego przez parę. Jeżeli jednak będziemy uważali za istotną część rzeczylwistej maszyny parowej pusty walec, w którym para ciśnieniem swoim porusza tłok, wtedy sława wynalazcy tej maszyny należeć się będzie *Dyonizemu Papinowi* (1647—1710). Figura 3 może dać wyobrażenie o zasadzie budowy jego maszyny.

Woda znajdująca się w dolnym naczyniu, działaniem płomienia obejmującego to naczynie, wytwarza parę, która prężnością swoją podnosi tłok p; gdy tłok dojdzie do najwyższego położenia, naczynie pogrąża się w zimną wodę, przez co para oziębi się i skrapla, i pod tłokiem powstaje rodzaj próżni, tłok zatem, działaniem ciśnienia atmosfery, na dół zepchniętym zostaje. Myśl Papina wprowadził w życie *Newcomen* (1705) w budowie swoich tak zwanych *maszyn atmosferycznych*, które jeszcze w naszym wieku służyły w wielu miejscach do poruszania pomp wyciągających wodę z szybów górniczych. W maszynie Newcomena tłok przyczepiał się za pomocą łańcucha do jednego końca poziomego wahacza (t. j. drąga osadzonego na osi), którego drugi koniec połączony był z bardzo ciężkim drągami przytwierdzonym do tłoka pompy wodnej. Drąg ten swoim ciężarem spadając na dół, pociągał za sobą przyległy mu koniec wahacza; jednocześnie drugi koniec wahacza podnosił się do góry i ciągnął za sobą tłok maszyny, pod którym w walcu tworzyła

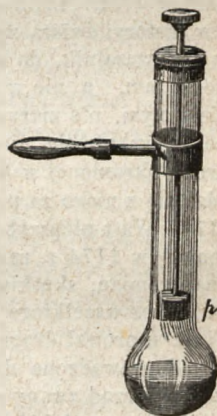


Fig. 3.

się para równoważąca swoją prężnością ciśnienie atmosfery na zewnętrzną powierzchnię tłoka. Gdy następnie przez oziębienie walca zimną wodą skraplała się para pod tłokiem i powstawała tam próżnia, powietrze cisnąc na tłok spychało go na dół, przy czem podnosił się drugi koniec wahacza i wyciągał do góry tłok pompy wodnej. W tej zatem machinie siłą poruszającą było rzeczywiście ciśnienie powietrza, para zaś służyła tylko do równoważenia tego ciśnienia w chwili podnoszenia się tłoka i do sprawiania próżni pod tłokiem, gdy tłok opadał.— W r. 1712 machina ta przypadkowo znacznie ulepszoną została przez to, że zamiast oziębiania walca parowego od zewnątrz, zaczęto wstrzykiwać w jego wnętrze zimną wodę przez wylot rurki, opatrzonej kranem, który po skropleniu pary zamykanym, a po podniesieniu się tłoka otwieranym być musiał. Do obsługiwania tego kranu, oraz drugiego służącego do ustanawiania i przerywania komunikacji kotła wytwarzającego parę z walcem parowym, użyty był mały chłopak *Humphrey Potter*. Znudzony ustawicznym zamykaniem i otwieraniem kranów Potter poprzywiązywał do nich sznurki, które z drugiej strony pouczeptał do wahacza, a zrobił to tak dowcipnie, że odtąd (1713) sam wahacz podczas swojego kołyszącego się ruchu otwierał i zamykał krany we właściwym czasie. Lecz dopiero *James Watt* (1736—1819) zapewnił machinie parowej jej dzisiejsze, tak ważne w historii świata znaczenie. W r. 1795 Watt wynalazł kondensator t. j. osobny zagęszczalnik, do którego para po sprawieniu swojego skutku w walcu przechodzi tam, a nie w walcu się skrapla; tym sposobem walec nie potrzebuje być oziębianym, nie marnuje się zatem napróżno ciepło do wytwarzania pary potrzebne i zyskuje się niezmiernie wiele na prędkości działania maszyny. Nadmiar wody skroplonej w kondensatorze, z rozpuszczonym w niej powietrzem, wyprowadza się z niego za pomocą osobnej pompy ssącej poruszanej przez wahacz. W r. 1769 Watt ulepszył walec parowy i otoczył go futerałem chroniącym od oziębiania; w 1774 r. zamknął z obu stron walec i puścił parę na obie strony tłoka naprzemian, skutkiem czego odtąd ruch tłoka w obu kierunkach odbywa się siłą pary, bez wszelkiego współdziałania ciśnienia atmosferycznego. Tym sposobem Watt utorował drogę dla *maszyny o wysokiem ciśnieniu*, w której silnikiem jest para doprowadzona do wysokiej prężności. Od 1782 do 1784 r. wynalazł najprzód przyrząd zwany *równoległobokiem Watta*, za pomocą którego koniec wahacza połączony z tłokiem maszyny może się poruszać po łuku, pomimo, że sam tłok odbywa swoje ruchy w kierunku prostoliniowym, a następnie przyrząd złożony z *drąga korbowego* i *korby*, służący do zamiany oscylacyjnego ruchu wahacza na ciągły ruch obrotowy *wału*, — dalej przyrząd służący do usunięcia niejednostajności tego ruchu, t. j. *koło rozpedowe*, i nareszcie przyrząd służący do regulowania dopływu pary z kotła do walca, zwany *regulatorem o sile odśrodkowej* (centryfugalnym). Tym sposobem machina Watta o niskiem ciśnieniu ostatecznie wykonaną została,

Daleko prostsze jest urządzenie maszyny o wysokiem ciśnieniu, zbudowanej po raz pierwszy w Północnej Ameryce w 1795 r. przez *Oliviera Evansa*, który zastosował w niej zarazem tak zwaną *ekspansję* (rozprężalność). *Fulton* pierwszy zastosował w 1807 r. maszynę parową jako motor do poruszania statku parowego, stale kursującego pomiędzy New-yorkiem i Albany, a *Robert Stephenson* zbudował w 1829 r. pierwszą lokomotywę dla pierwszej kolei żelaznej obsługiwanej parą pomiędzy Liwerpoolem i Manchesterem, otworzonej 6 października 1829 r.

Machina o wysokim ciśnieniu. Najistotniejszą częścią składową zwy- 423.
 czajnej maszyny parowej jest walec czyli cylinder, t. j. naczynie walcowe pró-
 żne i zamknięte na obu końcach, w którym znajduje się wewnątrz tłok, t. j.
 gruby krąg dokładnie przystający do wewnętrznej ściany walca. Para wcho-
 dzi kolejno na obie strony tłoka i prężnością swoją popycha go to w jedną,
 to w drugą stronę naprzemian. Ten ruch zostaje następnie przekształcony
 w ruch obrotowy wału, który to ruch za pośrednictwem bloków, kół i drągów
 z łatwością może być przeniesiony na inne maszyny. Jeżeli prężność pary
 działającej w walcu nie przechodzi dwóch atmosfer, maszyna parowa zowie
 się maszyną o niskiem ciśnieniu; gdy prężność pary jest wyższa, maszyna
 przybiera nazwę maszyny o wysokim ciśnieniu. Z powodu małej prężności
 pary, maszyny pierwszego rodzaju wtedy tylko mogą wykonywać znaczną
 pracę, jeżeli tłok i walec są o dużej średnicy i jeżeli podczas działania pary
 na jedną stronę tłoka, para znajdująca się z drugiej strony zostaje prawie
 zupełnie skroploną tak, że po tej stronie tłoka powstaje wówczas prawie do-
 skonana próżnia, skutkiem czego para wywiera w każdej chwili na tłok pra-
 wie całkowity skutek, jaki wyrzecz jest zdolna. Ztąd, konieczną częścią
 maszyny o wysokim ciśnieniu jest zagęszczalnik (kondensator), t. j. skrzynia
 ogromnej wielkości, do której para, po wywarciu swojego działania na jedną
 stronę walca, przechodzi i w niej się skrapla działaniem niskiej temperatury,
 spowodowanej przez ciągle wtryskiwanie zimnej wody do kondensatora. Tym
 sposobem para skraplając się utracą niemal całkowicie swoją prężność. Do
 wtryskiwania zimnej wody służy osobna pompa ssąco-tłocząca; inna znowu
 pompa wyprowadza z kondensatora ocieploną wodę, powstającą ustawicznie
 ze skroplonej pary, oraz rozpuszczone w wodzie powietrze. Drągi od obu
 tych pomp są połączone z wahaczem i przez niego są poruszane. Cały ten
 przyrząd, zabierający niezmiernie dużo miejsca, mający ogromny ciężar i wy-
 magający ustawicznego dopływu wielkiej ilości zimnej wody, dla maszyny
 o wysokim ciśnieniu nie jest potrzebny, lubo i przy niej zachowanym być
 może. Najprostszą zatem budowę posiadają maszyny o wysokim ciśnieniu
 i bez kondensatora, i one też do wykładu działania pary w maszynach paro-
 wych są najwłaściwsze.

Figura 4 przedstawia maszynę o wysokim ciśnieniu widzianą z przodu;—
 figura 5 tęż maszynę widzianą z boku wraz z podłużnym przecięciem walca, po-
 z walającym widzieć tłok C i stale połączony z nim drąg, przechodzący przez
 wierzchnią pokrywę walca tak szczelnie, że powietrze tą drogą nie może się do-
 stać do walca. Górny koniec drąga tłokowego połączony jest stawowato (za po-
 mocą ruchomej zawiasy) z dolnym końcem tak zwanego łącznika P, który znowu
 górnym swoim końcem obejmuje rękojeść korby Q, osadzonej stale na wale R.—
 Przy podnoszeniu się tłoka, musi się podnosić i łącznik, górny zaś koniec łączni-

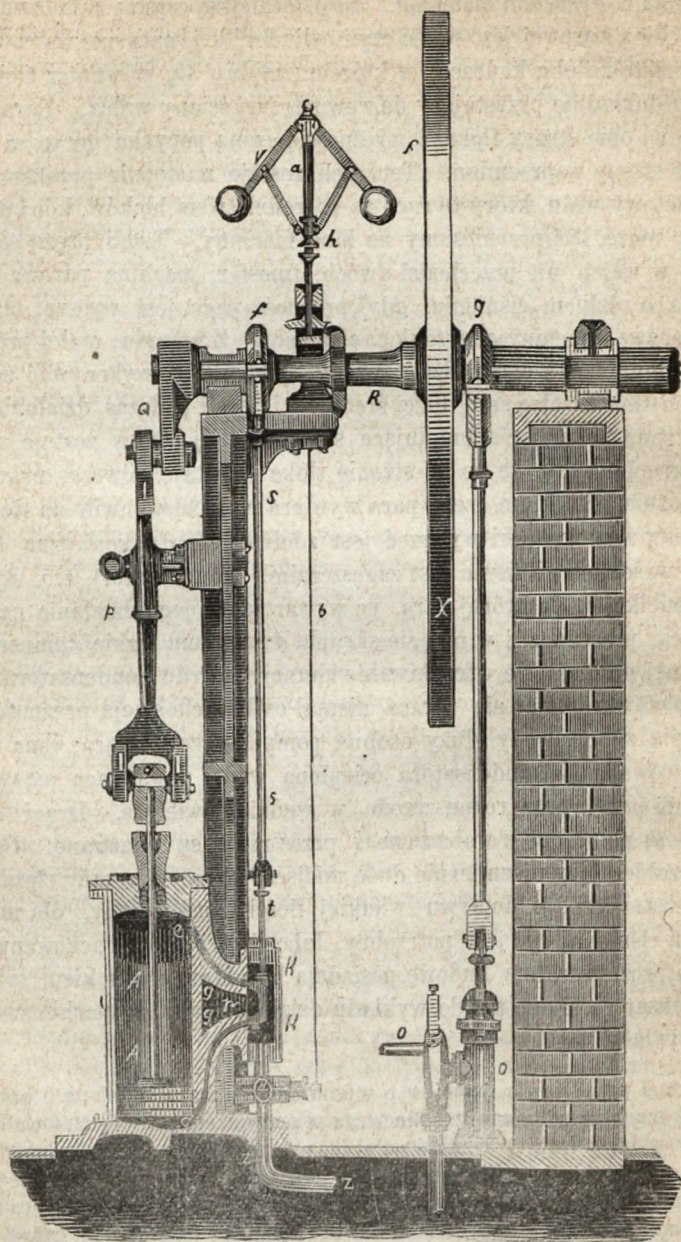


Fig. 4.

ka naciska rękojeść korby w kierunku z dołu do góry i obraca ją, a z nią obra-

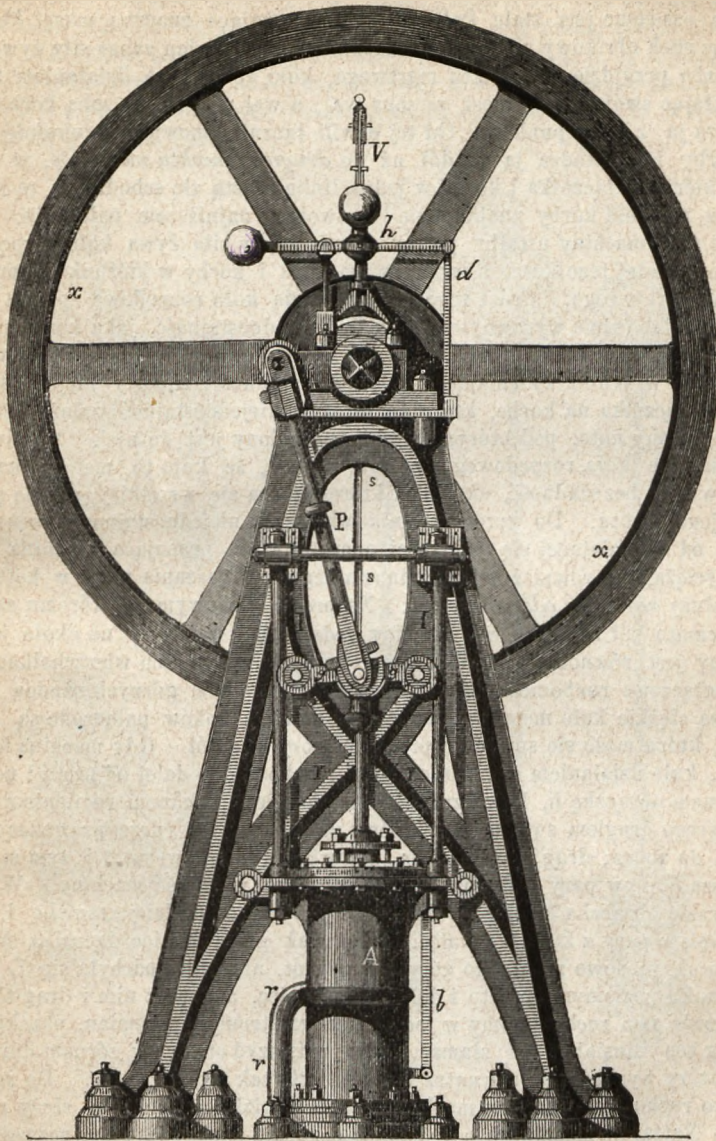


Fig. 5.

ca się i wał około swojej osi, dopóki korba nie stanie pionowo z rękojeścią zwróconą ku górze. W tem położeniu łącznik wywiera tylko ciśnienie na rękojeść

korby, ale jej obracać dalej nie może, i dla tego to położenie maszyny zowią pierwszym jej *punktem martwym*. Dla zapewnienia dalszego ruchu obrotowego, na wale osadzone jest stale *koło rozpedowe* x, mające znaczną masę, które podziałając ruch obrotowy wału, nagromadza w sobie pewien zapas siły żywej; gdy więc korba przyjdzie do punktu martwego, koło rozpedowe działaniem tej siły przedłużając swój obrót, unosi ze sobą wał, a wał porywa ze sobą korbę i odprowadza ją z tego punktu. Od tej chwili łącznik znowu staje ukośnie względem korby i sprowadza ją na dół aż do *drugiego punktu martwego*, w którym znowu kierunki łącznika i korby w jedną linię prostą się schodzą, z tą różnicą, że teraz rękojeść korby znajduje się w swoim najniższym położeniu; w tym punkcie ruch maszyny ustałby po raz drugi, gdyby siła żywa koła rozpedowego nie uniosła dalej tego koła, a wraz z niem wału i korby w kierunku poprzedniego ruchu obrotowego. Prócz tego przeznaczenia koła rozpedowe spełnia jeszcze i inne, a mianowicie wyrównywa i łagodzi niejednostajność, jaką koniecznie musiałyby nastąpić w ruchu obrotowym wału i części z nim połączonych, a więc całej maszyny w skutek zmieniającej się ciągle prędkości tłoka i niejednostajnego działania łącznika na korbę, która to ostatnia niejednostajność zależy od ustawicznej zmiany kąta, pod którym łącznik nachylony jest do niej. Wyrównyujące działanie koła rozpedowego polega na tem, że koło to ma wielką masę, a więc wielką bezwładność, skutkiem której opiera się wszelkiej zmianie prędkości swojego obrotu. Do wyrównywania większych niejednostajności ruchu, zależących od zmieniającej się wielkości oporów, które pracująca maszyna parowa przechwyciła, jak również od niejednostajnego wytwarzania pary w kotle parowym, służy *regulator odśrodkowy* V. Na pręcie pionowym a, któremu za pomocą systematu kół zębatach wał maszyny nadaje ruch obrotowy na około jego osi, osadzony jest równoległobok V, którego boki we wszystkich wierzchołkach są ze sobą połączone ruchomemi stawami; na przedłużeniach górnych ramion utwierdzone są ciężkie kule metalowe, końce zaś dolnych boków połączone są z obręczką h, która może się suwać po pręcie do góry i na dół. Gdy maszyna idzie za prędko, kule działaniem siły odśrodkowej rozchodzą się dalej od pręta i podnoszą tem samem obręczkę h, która znowu połączona jest z jednym ramieniem drąga, działającego drugim swoim ramieniem na zasuwkę w rurze prowadzącej parę z kotła do walca; drąg ten wypycha zasuwkę głębiej w rurę i tym sposobem zmniejsza dopływ pary pod tłok, a więc i samą prędkość maszyny. W przeciwnym razie obręczka h idzie na dół, a drąg wyciąga bardziej zasuwkę i powiększa dopływ pary z kotła do walca. Ponieważ górny koniec łącznika nie tylko porusza się pionowo z dołu do góry i napowrót, ale nadto odchyła się i na boki w kierunku poziomym, przeto i dolny jego koniec, a wraz z nim i drąg tłoka odbywa tenże sam ruch poziomy w jedną i drugą stronę naprzemian, skutkiem czego drąg ten musiałby się złamać, albo zniszczyć otwór w górnem dnie tłoka, przez który wychodzi na zewnątrz walca, czyli tak zwaną *buknę*. Do zniweczenia tego ruchu poziomego w maszynie Watta o niskiem ciśnieniu służy równoległobok Watta; w maszynach o wysokiem ciśnieniu służą do tego rozmaite przyrządy, z których jeden przedstawia figura 4. Tym końcem na wierzchołku drąga tłokowego osadzona jest *głównka poprzeczna* q, która za pomocą dwóch bloków utrzymuje się zawsze w jednakowem położeniu względem dwóch słupków bocznych, pomiędzy którymi się porusza i tym sposobem utrzymuje drąg tłoka za-

wsze w położeniu pionowym. Pozostaje nam jeszcze opisać najciekawszą z przydatkowych części maszyny parowej, a mianowicie przyrząd, za pomocą którego sama maszyna reguluje dopływ pary z kotła do górnej i dolnej części tłoka naprzemian. Przyrząd ten składa się z *kanałów parowych* d, e, g, r, z *komory parowej* k i muszelkowatej *szufladki*, umieszczonej wewnątrz komory, która za pomocą prętów s i t, i *mimośrodu* (ekscentryka) f może się posuwać w kierunku pionowym do góry i na dół.

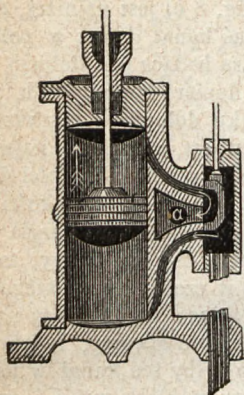


Fig. 6.

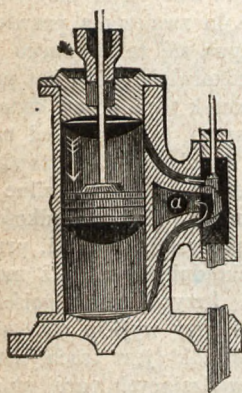


Fig. 7.

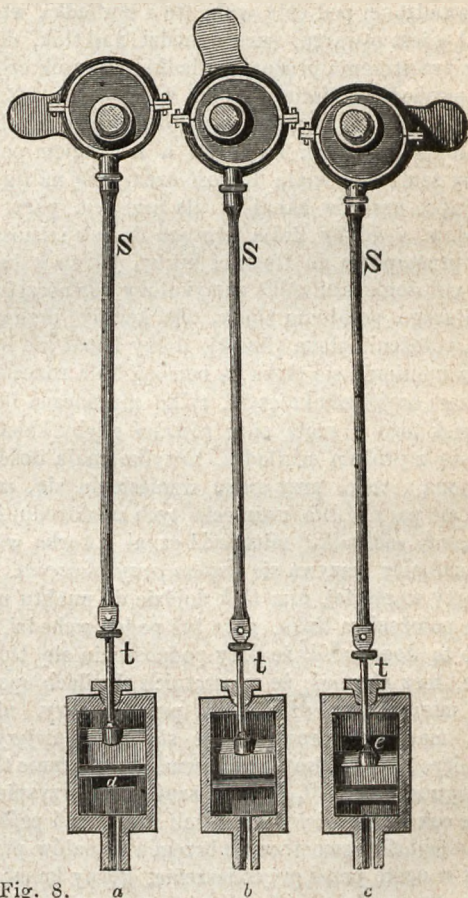


Fig. 8.

Mimośród jest pełnym kręgiem tak osadzonym na wale głównym, że środek mimośrodu nie pada na oś wału, lecz jest od niej oddalonym na połowę wysokości przebieganej przez szufladkę (fig. 8). Na tym kręgu znajduje się wolno nałożony pierścień, stanowiący całość z drążkiem kierującym S, który się łączy z drążkiem t. Jeżeli środek mimośrodu znajduje się na pionowej przechodzą-

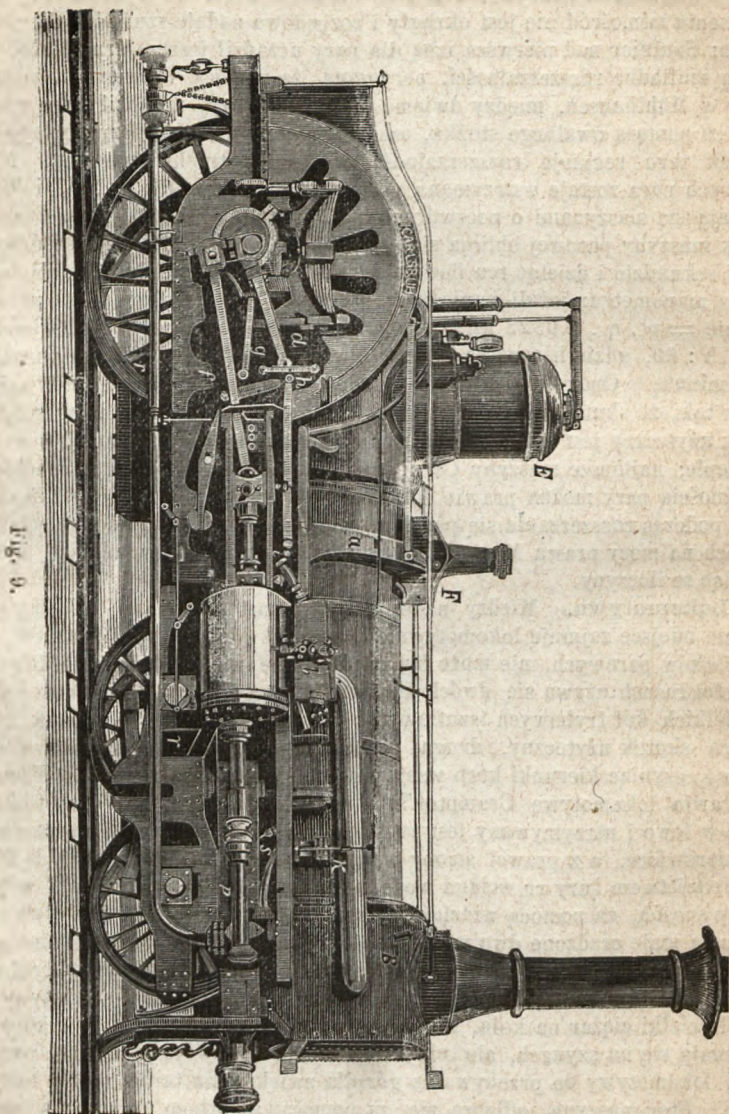
cej przez oś wału, to szufladka (fig. 8 a) przyjmuje wtedy położenie najwyższe, dolny kanał dla przejścia pary d jest otwarty, para przezeń przechodzi pod tłok, podczas gdy górny kanał e (fig. 6) jest w połączeniu z próżną przestrzenią szufladki tak, że para będąca nad tłokiem uchodzi w tę przestrzeń próżną, z niej w przestrzeń g znajdującą się w ścianie cylindra, a ztąd przez rurkę r uchodzi na zewnątrz. Jeśli środek mimosrodu leży po za pionową przechodzącą przez oś wału, to szufladka przyjmuje położenie średnie (fig. 8 b) i oba kanały d i e są zamknięte. Gdy środek mimosrodu zajmuje położenie najniższe na linii pionowej poprowadzonej pod osią wału, to i szufladka wtedy (fig. 8 c) jest najniżej, górny kanał e jest otwarty, para wchodzi nad tłok, dolny zaś kanał d jest w połączeniu z przestrzenią próżną szufladki, wskutek czego para będąca pod tłokiem znajduje swobodne wyjście. Tłok, w ostatnim z trzech dopiero rozważanych położań, znajduje się prawie w połowie swego przebiegu ku dołowi, w pierwszym— w połowie przebiegu ku górze, a w drugim położeniu jest wzniesiony najwyżej. Gdyby szufladka miała długość oznaczoną na fig. 4, ściśle równą odległości dwóch skrajnych brzegów kanałów dla przejścia pary, i grubość równą szerokości tych kanałów, i gdyby linija łącząca środek mimosrodu z środkiem przecięcia wału była prostopadłą do długości korby, jak to wskazują trzy ostatnie figury, to średnie położenie szufladki zamykałoby równocześnie i w czasie najwyższego lub najniższego położenia tłoka, oba kanały przeprowadzające parę. Przy najniższym położeniu tłoka (fig. 4), dolny kanał nie byłby jeszcze otwarty, i przy małym wzniesieniu się tłoka za pomocą koła rozpędowego byłby ten kanał w bardzo znacznej części zamkniętym, tylko nieznaczna ilość pary mogłaby wejść i działać wskutek tego z małą siłą; również gdyby kanał górny małą częścią komunikował się z próżnią szufladki, to tylko mała ilość pary z nad tłoka mogłaby być oddaloną i tłok, przy swem wzniesieniu się, miałby do zwalczenia prawie całe napięcie pary. Dla usunięcia tych niedogodności używa się tak zwanego *przyspieszenia* szufladki; mimosród czyni z korbą więcej cokolwiek, niżeli kąt prosty; ten nadmiar nazywa się *kątem przyspieszenia*. Wskutek tego dolny kanał jest otwarty wcześniej, nim tłok dojdzie do punktu najniższego, tak, że przed najniższym położeniem tłoka, para już podeń wchodzi. To urządzenie przedstawia nie tylko tę dogodność, że przy podnoszeniu się tłoka para wywiera nań silne działanie, lecz również, że w ostatnich chwilach opuszczania się tłoka, prędkość jego jest miarkowaną działaniem przeciw pary, niby sprężystej poduszki, przez co ruch maszyny parowej staje się spokojniejszym, składniejszym, niż maszyn, w których ma miejsce gwałtowne przerzucanie tłoka. Przyspieszenie wejścia pary wynosi około $\frac{1}{4_{00}}$ drogi szufladki; przyspieszenie przy wyjściu staje się jeszcze cokolwiek większem, jeżeli przestrzeń próżna szufladki jest trochę dłuższa, niż odległość wewnętrznych brzegów kanałów przeprowadzających parę, przez co, jak i w ogóle przez przyspieszenie, górny kanał jest już zamknięty przed najniższym stanem tłoka. To wcześniejsze zamykanie się górnego kanału jest szczególnie korzystnem wtedy, gdy ma miejsce już na $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ i $\frac{1}{2}$ przebiegu tłoka, gdyż wtenczas 4, 3 i 2 razy mniejszą ilością pary wykonać można pracę nie o wiele mniejszą.

Maszyny mające to korzystne urządzenie, że przyplływ pary zostaje wstrzymanym po przebieżeniu przez tłok tylko pewnej części drogi, nazywają się *maszynami z rozszerzalnością parą*, ponieważ w nich para za tłokiem ciągle się roz-

szersza wskutek swej rozprężliwości, i działa na tłok, lubo z coraz zmniejszającym się natężeniem. Mechanizm, który sprawia wstrzymanie przypiływu pary, bywa bardzo rozmaity; najprostszy składa się z większego kąta przyspieszenia, połączanego z brzegami nakrywek szufladki na zewnątrz i ku wydrażeniu; w innym urządzeniu mimośród nie jest okrągły i rozpędowo nadaje szufladce potrzebne położenia; Saulnier nad pierwszą izbą dla pary urządził jeszcze drugą izbę, mającą własną szufladkę rozszerzalności, poruszaną za pomocą drugiego mimośrodu;— Meyer w Mühlhausen, między dwiema izbami dla pary, urządził kłapę zamykającą się za pomocą owalnego stożka, osadzonego na wale koła rozpędowego, i która wskutek tego reguluje rozszerzalność według potrzeby maszyny. Maszyny, w których para zostaje wstrzymaną po przebyciu przez tłok $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ i $\frac{1}{2}$ drogi, nazywają się maszynami o poczwórnej, potrójnej i podwójnej rozszerzalności.— Skutek maszyny parowej oblicza się, mnożąc ciśnienie na tłok przez drogę tłoka w 1-iej sekundzie i dzieląc ten iloczyn przez 75. Ciśnienie na tłok oblicza się za pomocą manometru; jeżeli napięcie = p atm., a powierzchnia tłoka = q □ c, to ciśnienie = $p \cdot q \cdot 1,0328$ kil. Droga przebieżona przez tłok w 1-iej sekundzie = $n \cdot h : 60$, gdzie h oznacza wysokość wzniesienia się, a n liczbę poruszeń tłoka na minutę. Opory i ruch części składowych maszyny parowej zużywają część skutku tak, że skutek użyteczny wynosi tylko 0,5 do 0,7 skutku teoretycznego. Skutek użyteczny jest tylko nieznacznym procentem pracy zawartej w wytworzonym cieple; najlepsze maszyny Corni'ego dają tylko 14%. Skutek machin z rozszerzalnością pary można prawie dokładnie obrachować, dzieląc wzniesienie się tłoka, podczas rozszerzania się pary, na wiele części, obliczając napięcia w tych częściach na mocy prawa Mariotte'a, mnożąc je przez odpowiadające wysokości, i dodając te iloczyny.

Lokomotywa. Między nader licznymi zastosowaniami maszyny parowej pierwsze miejsce zajmuje lokomotywa. Ponieważ do niej, jak również do maszyn statków parowych, nie może być zastosowane wielkie koło rozpędowe, przeto w obu razach używa się dwóch maszyn parowych, działających na jeden wał obu wielkich kół trybowych (szuflowych) w ten sposób, że gdy jedna z maszyn wywiera skutek użyteczny, druga przebiega punkt martwy, co łatwo daje się osiągnąć, czyniąc kierunki korb wzajemnie do siebie prostopadłemi. Figura 9-ta przedstawia lokomotywę Crampton'a; C przedstawia cylinder; drąg tłoka porusza się w lewo i utrzymywany jest prosto za pomocą suwacza regulowanego przez dwie kierownice, a z prawej strony wprawia w ruch pompę zasilającą P, która za pośrednictwem rury rr wciąga wodę z tendra. Drąg tłoka działają w powyżej opisany sposób, za pomocą widzialnych na figurze wachacza i korby na wał, na którym są stale osadzone dwa wielkie koła trybowe, i na którym za pomocą szczególnie starannie urządzonych podkładek i mocnych sprężyn spoczywa gruba, żelazna, czworokątna rama; ona to dźwiga wszystkie pozostałe części maszyny i przesyła ich wielki ciężar na koła, które wskutek powstałego ztąd wielkiego tarcia nie ślizgają się na szynach, ale niby koła zębate chwytają je mocno przy poruszeniu; lokomotywy do przebywania gór dla zwiększenia tarcia muszą być jeszcze cięższe. Ster maszyną odbywa się za pomocą zwykłego urządzenia szufladki z mimośrodem, z tą różnicą, że urządzenie to pozwala i na *przeciwster*, czyli przeciwkierunek, tak, że po chwili spoczynku lokomotywa może się poruszać w kierunku wprost przeciwnym; osiąga się to łatwo, nadając tłokowi ruch od-

mienny od tego, który miał przed chwilą spoczynku, a wtedy korba i koła wykonywają obroty w drugą stronę. Ruch tłoka zmienia się, puszczając parę na drugą powierzchnię tłoka, co się odbywa przez zamknięcie, kanału otwartego



i otwarcie zamkniętego, czyli przez przesunięcie szufladki o całą długość przebywanej przez nią drogi. Ponieważ mimośród nie da się współcześnie przesunąć w przeciwne położenie, przeto na wale są umieszczone dwa mimośrodny jeden

wprost obok drugiego tak, że linije ich środków i wału są od siebie odchyłone o 180° . Oba ich drągi są kierowane dwoma końcami tak zwanej kieszeni wiszącej albo kulissy d g f, którą prowadzący lokomotywę może podnosić lub spuszczać za pomocą drążka. Składa się ona z dwóch u góry i u dołu połączonych szyn żelaznych, których strony wewnętrzne są bardzo równo oszlifowane, i które obejmują sobą stały koniec drąga szufladki. Jeżeli ten koniec jest u góry, to zostaje poruszany w obie strony przez mimośród górny, jeżeli zaś kulissa zostanie podniesioną przez prowadzącego lokomotywę, to koniec ten łączy się z dolnym końcem kulissy i wspólnie z drągiem szufladki jest poruszany przez mimośród dolny, a zarazem zostaje posunięty o długość drogi szufladki.

Kocioł parowy, który w maszynach zostających stale w jednym miejscu ma kształt walca z obu stron kulisto zamkniętego i jest pomieszczonym w mura wanem ognisku z bardzo wysokim kominem, lokomotywie powinien dostarczać znacznej ilości ciepła, bez muru, przy niskim kominie i małej przestrzeni. To zadanie rozwiązuje się przez kocioł rurowy, będący długim, walcowem, przytwierdzonem do ramy, wokół zamkniętem naczyńiem, które mieści w sobie wielką liczbę rurek równoległych do jego osi. Te ostatnie idą od tylnej ściany skrzynki ogniowej (ściany jej są podwójne) i tworzą w niej przestrzenie próżne, będące w bezpośredniej styczności z przestrzenią kotła, a więc mogące być napełnione wodą; od tej tylnej ściany skrzyni ogniowej ciągną się więc rury przez cały walec, aż do przestrzeni komina będącej na drugim końcu; przy przejściu przez nie gazów powstałych z palenia, zostają one mocno rozgrzane, a ponieważ ich ściany są w zetknięciu z wodą kotła, udzielają więc tej ostatniej ciepła dostatecznego do wytworzenia potrzebnej ilości pary. Para wpływa z bezwodnej, wyższej części kotła do czepka parowego E i rozchodzi się ztąd kanałami a, wychodząc z nich przez dwie rury łączące się w przestrzeni komina, do rury wdmuchującej, która, mocno się zwięzając, zmusza parę do oddalenia się kominem w postaci szybko wybiegającego strumienia; ten strumień pary pociąga za sobą powietrze będące w kominie i zostawia przestrzeń rozrzedzoną, która gazy rozgrzane w skrzyni ogniowej wciąga w rury dymowe i wciska nową ilość powietrza zewnętrznego przez ruszt do ogniska; tak więc para odchodząca sprawia cug, osiagany w maszynach stałych za pomocą długiego komina; naturalnie, ciśnienie odchodzącej pary musi być większe niż jedna atmosfera, zkad okazuje się w lokomotywie potrzeba wyższego napięcia pary. Niemożebność użycia oziębialników i wielkich cylindrów, jak również przewożenia znacznych ilości wody sprawia, że maszyny lokomotyw muszą być maszynami o wysokiem ciśnieniu; w statkach parowych, gdzie ta niemożebność znika, używa się maszyn o niskiem ciśnieniu i ze skraplaniem. W czepku parowym, przy ujściu rury, urządza się regulator, albo w kształcie kłapy, albo w kształcie przedziurawionego kręgu, który przez prowadzącego lokomotywę, za pomocą rękojeści więcej lub mniej może być przy mknęty; w lokomotywie Crampton'a regulator znajduje się przy u w przestrzeni F. Na czepku parowym umieszczają się kłapy bezpieczeństwa, których drążki są obciążone nie ciężarkami, lecz napięciami sprężyn, gdyż te mniej niż ciężarki podlegają wstrząśnieniom w czasie jazdy; tamże znajduje się świstawka, a na przodowej powierzchni skrzyni ogniowej wskaźnik stanu wody i manometr. Jako aparatu zasilającego używa się często w ostatnich czasach pompy parowej Giffard'a. Lokomotywa Crampton'a ma bardzo wielkie koła trybowe i nieco ru-

chomy czterokołowy przodek, przez co jest zdolną biedz z większą szybkością, nawet po wielkich krzywiznach.

425.

4. Skraplanie (Faraday 1823—45, Andrews 1870). Pary i gazy mogą być zamienione w płyn: 1. *Przez oziębienie*; bo przestrzeń nasycona parą zawiera największą ilość pary, którą przy oznaczonej temperaturze mieć może; przy niższej temperaturze może ona zawierać tylko mniejszą ilość pary, a więc część pary musi się skroplić. Jeżeli przestrzeń zawiera przegrzaną parę albo gaz, to nie zawiera tak wielkiej ilości tego ciała lotnego, jakaby zawrzeć mogła przy właściwej temperaturze; ponieważ jednak przez oziębienie pewnej przestrzeni ilość pary potrzebna do jej nasycenia staje się mniejszą, więc każda dowolna ilość ciała może wystarczyć do nasycenia przestrzeni, byle tylko oziębienie dosyć daleko było posunięte. Każdy więc gaz może być zamieniony przez dostateczne oziębienie w parę nasycającą, a następnie w płyn. 2. *Przez ciśnienie*; gdyż para nasycająca ma maximum napięcia, odpowiadające właściwej temperaturze; jeżeli przy stałej temperaturze para będzie coraz silniej ściskana, to ponieważ jej napięcie nie może powiększać się nieskończenie, więc część pary musi się skroplić. Przegrzana para albo gaz nie posiada przy tej samej temperaturze największego, jakie tylko można osiągnąć, napięcia; to największe napięcie można jednak (podług prawa Mariotte'a) otrzymać prędzej lub później przez ciśnienie. Wskutek ciśnienia więc, gaz nabywa swego największego napięcia, a pod większym jeszcze ciśnieniem skrapla się. 3. *Przez oziębienie i ciśnienie*. Aby przypuszczenie drugiej metody, stała temperatura, było spełnionem, musi z ciśnieniem łączyć się ujęcie ciepła, gdyż wskutek ciśnienia wywiązuje się ciepło. Nadto przy ściskaniu tyle właśnie ciepła się wytwarza, ile się zużywa przy przejściu w parę, albo jak dawniejsza fizyka naucza, utajone ciepło pary oswabadza się przy ściskaniu. To ciepło, powstałe wskutek ściśnienia pewnej części gazu, służy do utrzymania w stanie gazu pozostałej części, jeżeli nie jest przez oziębienie o ile można usuwane. Dalej, przy niższej temperaturze maximum ciśnienia pary nasycającej jest mniejsze, niż przy wyższej; potrzeba więc przy niższej temperaturze mniejszego ciśnienia dla otrzymania największego napięcia; oziębienie zatem w połączeniu z ciśnieniem sprawia wcześniejsze skroplenie. Nakoniec Andrews (1860—70) udatnemi doświadczeniami okazał, że powyżej pewnej temperatury, skraplanie przez ciśnienie daje nie płyn zwyczajny, ale wytwarza pewien stan pośredni, przedstawiający pewne powolne przejście ze stanu lotnego w płynny; temperaturę, przy której zaczyna się to powolne zgęszczanie, nazwał Andrews *punktem krytycznym*. Podczas gdy poniżej krytycznego punktu następuje gwałtowne przejście ze stanu gazu w płyn, z nagłym zmniejszeniem objętości, gdy zatem para i gaz są od

siebie oddzielone wyraźną granicą, — to powyżej punktu krytycznego, przejście to jest wcale niedostrzegalne, połączone z bardzo powolnym zmniejszeniem objętości, i skroplenie daje się tylko poznać po wybuchu, powstającym wskutek gwałtownie zmniejszonego ciśnienia; tylko w pobliżu krytycznego punktu pojawiają się chwiejne, niestale się poruszające smugi w masie skraplanego ciała. Z tego wypada, że zwyczajne skroplenie jest możebnem tylko poniżej punktu krytycznego, ztąd zaś wypływa, że w wielu razach z ciśnieniem musi się łączyć oziębienie. Pod pewnem oznaczonem ciśnieniem, temperatura skroplenia, albo punkt skroplenia przypada na punkt wrzenia płynu, pod temże ciśnieniem; przy skraplaniu zatem wywiązuje się tak wielka ilość ciepła, jaka była zużyta na przejście w parę.

Skraplanie przez oziębienie objaśnia się w ten sposób, że oziębienie jest zmniejszeniem żywotnej siły molekuł, wskutek czego zmiana powstająca w przyciąganiu utrzymuje je stale w pewnem położeniu, pozwalając im drgać w pewnych tylko granicach. Przez ciśnienie molekuły zostają tak do siebie zbliżone, że przyciąganie zaczyna działać, szczególnie gdy wyższa żywotna siła, udzielona im przez pracę ciśnienia, wskutek oziębienia zostanie im napowrót odjęta; jeżeli w czasie ściskania temperatura jest za wysoką, to i tak wielka już siła żywotna molekuł może się do tego stopnia powiększyć, że molekuły, mimo wielkiego przyciągania, zachowują ciągle zdolność oddalenia się od siebie; tem właśnie objaśnia się punkt krytyczny i stan pośredni Andrews'a.

Skraplanie par przez oziębienie zwykle odbywa się w ten sposób, że pary zostają wprowadzone w zimny płyn, najlepiej w zimną wodę, albo, że woda zostaje wstrzykiwaną w parę, albo też pary są przeprowadzane przez długie rury spiralne, pogrążone w zimnej wodzie. Jeżeli skraplająca się para, np. para wodna, znajduje się w powietrzu, to jej pojedyncze, zgęszczone cząstki zostają rozdzielone powietrzem i jego pędem unoszone; przyjmują więc formę kulistą, albo raczej, jako zawieszona w powietrzu, formę pęcherzyków kulistych. Z takich to pęcherzyków powstaje: para z ust wychodząca podczas zimna, para unosząca się nad gorącą albo gotowaną wodą, słupy pary nad rurami i kominami a także mgła i obłoki. Jeżeli skraplanie odbywa się na ciałach stałych, to one pokrywają się kroplami powstałymi z połączenia się cząstek pary; ciała pocą albo zraszają się, np. okna ciepłych pokojów w zimie, zimne przedmioty wniesione do ciepłego pokoju, przedmioty ziemskie pokrywające się rosą pod wpływem chłodnego, pogodnego poranku. Zamieniono także w płyn, przez samo oziębienie, gazy: kwas siarczany, kwas saletrzany, cyan i ammoniak, przepuszczając je przez rurkę kształtu litery U, i mającą na zakrzywieniu balon szklany umieszczony w mieszaninie oziębającej; dla skroplenia kwasu węglowego potrzeba w tym razie stustopniowego zimna. Lepiej udaje się skraplanie gazów za pomocą ciśnienia. Faraday użył tu także bardzo mocnej rurki szklanej, dwuramiennej, zalutowanej, z końcami zwróconemi na dół; w jeden koniec rurki było wprowadzone ciało wywiązujące gaz, np. chlorek srebra nasycony ammonijakiem i koniec ten był ogrzewany, wskutek czego ammoniak przechodził w drugie ramię rurki i tam się skraplał pod wpływem własnego ciśnienia. Thilorier (1834) za-

stał wzmiankowane 2 ramiona mocnymi naczyniami z żelaza lanego, wzmocnionymi przez kute żelazne obręcze; jedno z nich zawierało podwójny węglan kwaśny sody i rurkę napełnioną kwasem siarczanym, przewierconą u góry. Gdy naczynie to, wiszące na haku, zostało wprowadzone w kołysanie, kwas siarczany spływał na sól, oswabadzał kwas węglowy, który wtedy przechodził przez rurkę do drugiego, zupełnie takiegoż naczynia i skraplał się w niem własnym ciśnieniem. Ponieważ ten niebezpieczny aparat stał się przyczyną kilku nieszczęśliwych wypadków, przeto obecnie do skraplania kwasu węglowego i innych gazów używa się o wiele bezpieczniejszego aparatu Natterer'a (1844). Ten ostatni, wypróbowany na 150 atm., jest flaszką z żelaza kutego, z grubymi ścianami, mającą u dołu klapę ciśnienia, a u góry otwór zamykany śrubą. To naczynie zakłada się na górny otwór silnej pompy, która jest poruszana za pomocą koła rozpedowego, korby i drąga tłokowego, i która wtłacza kwas węglowy do naczynia otoczonego jeszcze mieszaniną oziębiającą. Jeżeli tak otrzymany płynny kwas węglowy wpuszczymy otworem górnym do szerokiego blaszanego naczynia, to wskutek parowania powstanie tak wielkie zimno, że kwas węglowy przejdzie w stan stały, w postaci śniegu; ten śnieg kwasu węglowego pomieszany z eterem daje największe zimno. Na wolnem powietrzu śnieg ten wskazuje 70° zimna i zatrzymuje swój stan stały w przeciągu jednego dnia, jako zły przewodnik ciepła; topi się przy —58°. Kwas węglowy przedstawia tę szczególność, że jego punkt topienia się jest wyższym od punktu wrzenia, gdyż płynny kwas węglowy, pod ciśnieniem 1 atm., wre już przy —80°. Największego, do 110° dochodzącego zimna, otrzymanego za pomocą wzmiankowanej mieszaniny, użył Faraday do dalszych doświadczeń nad skraplaniem, pogrążając w takiej mieszaninie rurkę kształtu U i wtłaczając w nią gazy; drugie ramię rurki było zamknięte i zawierało manometr do mierzenia ciśnienia, pod którym wpływający gaz stawał się płynnym. Faraday znalazł, że kwas węglowy pod ciśnieniem 1,2 atm., skrapla się przy —78°; pod ciśnieniem 16 atm., przy —28°; pod ciśnieniem 37 atm., przy —1°. Gaz tlenu azotu potrzebował przy ostatniej temperaturze 31 atm., a przy 1 atm., 87° zimna; gaz oświetlający został skroplony przy —73° dopiero za użyciem 9 atm. ciśnienia, a przy —1° pod ciśnieniem 42 atm. Przy takim ciśnieniu i zimnie, oparło się skropleniu tylko 6 gazów: tlen, wodór, azot, tlenek węgla, gaz błotny i tlennik azotu, które obecnie same jedynie zasługują na nazwę gazów właściwych.

426. *Zadania:* 585. O ile stopni zniża się punkt topnienia pod średnią arytmetyczną, przez zmieszanie 1 cyny i 6 ołowiu, 1 cyny i 1 ołowiu, 6 cyny i 1 ołowiu? Rozw. 46°, 91°, 50°.

586. Black umieścił pewną ilość lodu w stałej temperaturze i zauważył, że do stopienia go potrzeba było 20 minut czasu, 25 minut następnych do chwili zawrzenia, a następnie 134 minuty do zupełnego wyparowania; ile ciepła zostało zużytego przy topnieniu i przy wrzeniu? Rozw. Ciepło topnienia = 80, ciepło przejścia w parę = 536 jednostkom ciepła.

587. Dwa kil. lodu na 0° zostaje pomieszane z 5 kil. wody na 90° i dają temperaturę mieszaniny 41,6°; jak wielkie jest ciepło topienia się lodu?—Rozw. 79,4.

588. Jaką temperaturę otrzyma 1 kil. wody rozgrzanej do wrzenia, przez stopienie 1 kil. śniegu na 0°? Rozw. 20,75.

589. Ile kil. lodu na 0^0 trzeba pomieszać z 3 kil. wody na 100^0 , aby ta oziębioną została do 0^0 ? Rozw. $300 = 79x$; ztąd $x = 3,8$ kil.

590. Ile gr. lodu na 0^0 trzeba dodać do 120 gr. wody na 80^0 , aby mieszanina oziębiła się o 60^0 ? Rozw. 72 gr.

591. Jaka temperaturę przyjmuje mieszanina 3 kil. wody na 65^0 i 2 kil. śniegu na 0^0 ? Rozw. $7,3^0$ C.

592. Jaka praca zużywa się na stopienie 1-go kil. lodu? Rozwiązanie. 33602 K—M.

593. Jak wielkie jest powiększenie objętości, albo rozszerzenie krzepnącej wody, skoro, podług Bunzena (1870), c. wł. lodu wynosi 0,91674? Rozwiązanie 1,09.

594. O wiele powiększa się objętość litra wody przy marznięciu? Rozwiązanie. 90 k_c .

595. O wiele przyrasta lodu z 3^c długiej szyi flaszki litrowej, napełnionej wodą? Rozw. $12,7^c$.

596. Jaka praca wytwarza się przy marznięciu 1 kil. wody, przez rozszerzenie? Rozw. $pu = 103,28 \cdot 0,09 = 0,295$ K—M.

597. Podług Schuhmacher'a i Mozeley'a współczynnik liniowej rozszerzalności żelaza $= 0,00005142$, a więc kubicznej $= 0,00015426$; jeżeli się przyjmie, że понижение punktu marznięcia przez ciśnienie pochodzi ztąd, że rozszerzalność żelaza nie do 1,09, lecz tylko o 0,00015426 mniej, jest dozwoloną, to można rozwiązać pytanie: przez jakie ciśnienie punkt marznięcia zniża się o 1^0 , przyjmując, że ściślność żelaza jest znaną; niech ona wynosi np. 0,000001 pod ciśnieniem 1 atm. Rozw. Potrzeba użyć 154 atm.

598. Ile wody krzepnie, jeżeli 6 kil. oziębionych do -12^0 marznąć zaczyna wskutek uderzenia? Rozw. 0,9 kil.

599. Obliczyć, podług wzorów Magnusa i Regnault'a, napięcie pary wodnej przy 110^0 i porównać je z tablicą § 414. Rozw. Magnus daje 1077,2, Regnault 1075,3, tablica 1075.

600. Jak wielkie jest ciśnienie pary wodnej przy 150^0 na $1 \square^m$? Rozw. 48664 kil.

601. Z górnej części kotła parowego wychodzi rura na zewnątrz, zniża się i znowu się podnosi; o ile wyżej woda wznosić się będzie w tem otwartem ramieniu, niż w zamkniętem, jeżeli temperatura kotła wynosi 115^0 ? Rozw. $6,9^m$.

602. O ile woda wyżej wznosić się będzie w ramieniu zamkniętem, jeżeli temperatura zniży się do 60^0 ? Rozw. $8,3^m$.

603. Jakiego ciśnienia doznaje z zewnątrz kocioł parowy mający $8 \square^m$ powierzchni, gdy temperatura kotła zostaje zniżoną do 70^0 ? Rozw. 57293 kil.

604. We wzorze (45) dla połączonego prawa Mariotte'a i Gay-Lussac'a, ilość stała $A = 1,2077$; jak wielką będzie podług tego wzoru objętość v , metra kubicznego pary, przegrzanej do 200^0 C. i przy 4 atm. napięcia, i jak wielką jest ta objętość podług wzoru Zeuner'a, który nie przyjmuje powyższego prawa?—Rozw. 0,5232 i 0,5164, duża różnica.

605. 1 kil. $= 1,6504$ k^m pary wodnej na 100^0 i przy 1 atm. zamyka się, a następnie ogrzewa, przy stałej objętości, do 400^0 ; jakie napięcie powinna mieć ta para podług fałszywie przyjętego prawa Mariotte'a i Gay-Lussac'a, a jakie podług wzoru Zeuner'a? Rozw. 1,8 i 1,9 atm.

606. Jak wielką jest objętość 1 kil. pary nasycającej przy 100^0 , gdy podług Zeuner'a ciężar 1 k^m pary (gęstość) wynosi 0,6059 kil.? Rozw. $1,6504 k^m$.

607. Jak wielką jest ta objętość przy 60^0 , 150^0 i 190^0 , jeżeli odpowiadające gęstości są: 0,13, 2,6 i 6,4? Rozw. $7,7 k^m$, $0,38 k^m$ i $0,15 k^m$.

608. Jaki związek ma ta właściwa objętość Zeuner'a z dawniejszemi pojęciami o właściwej objętości? Rozw. Dawniejsza objętość właściwa wynosiła 1700 przy 100^0 , to jest, że pewna ilość pary na 100^0 zajmuje 1700 razy większą przestrzeń, aniżeli woda na 0^0 , z której ta para powstała; 1 kil. wody na 0^0 ma 1 k^d objętości; 1 kil. pary ma zatem $1700 k^d = 1,7 k^m$ objętości; podczas gdy objętość właściwa podług Zeunera dla tegoż samego ciężaru daje tylko $1,6504 k^m$; w zasadzie oba pojęcia są też same, tylko dawniejsze liczby są niedokładne.

609. Niedokładność dawniejszej objętości właściwej pochodziła z przyjęcia, że gęstość pary dla wszystkich temperatur jest stałą i $= \frac{5}{8}$, i że dla pary nasycającej prawo Mariotte'a i Gay-Lussac'a ma miejsce; jak obliczyć, według tego przyjęcia, dawniejszą objętość przy 100^0 ? Rozw. 1 k^d powietrza na 100^0 waży $1,293 : (1 + 0,3665)$ gr.; 1 k^d pary $= 1,293 \cdot 0,6235 : (1 + 0,3665)$ gr.; więc objętość 1 gr. pary przy $100^0 = 1,3665 : 1,293 \cdot 0,6235 = 1,695 k^d = 1695 k^c$; 1 gr. wody $= 1 k^c$; ztąd dawna właściwa objętość $= 1695$.

610. Obliczyć objętość właściwą pary przy 2 atm., podług dawnego i nowego zapatrywania się. Rozw. 1 kil pary $= (1 + 0,003665 \cdot 121) : (1,293 \cdot 0,6235) = 0,893 k^m$; 1 kil. wody $= 0,001 k^m$; więc dawniejsza objętość właściwa $= 893$. Nowa $= 1 : 1,1631 = 0,859 k^m$, przeto znówu znaczna różnica. Liczba 1,1631 przedstawia podług tabell Zeuner'a ciężar 1 k^m pary.

611. Obliczyć podług dawnej metody ciężar 1 k^m pary przy 100^0 i przy 121^0 . Rozw. 1 k^m powietrza na 100^0 waży 1,293 : $(1 + 0,3665)$ kil. $= 0,9462$ kil.; przeto 1 k^m pary $= 0,5899$ kil. Dla 121^0 musi być także uwzględnioną różnica w napięciu; 1 k^m pary waży wtedy $1,293 \cdot 0,6235 \cdot 2 : (1 + 0,003665 \cdot 121) = 1,117$ kil., podczas gdy tablice Zeuner'a dają 1,1631 kil.

612. Oznaczyć teoretycznie gęstość tlenu azotu. Rozw. Gaz ten powstaje z 1 obj. N $= 0,969$ i 1 obj. O $= 1,108$; ztąd wypada 1 obj. gazu $= 1,0385$, zgodnie z doświadczeniem.

613. Przy jakiej temperaturze wre woda pod ciśnieniem 0,1 atm.? Rozw. $46,2^0$, podług tabelli 414.

614. Znaleźć, podług wzoru Magnusa, przy jakiej temperaturze woda, pod ciśnieniem 100 atm., zaczęłaby wrzeć? Rozw. 307^0 .

615. Ze wzoru na wysokość barometryczną $h = 18404 (\log. b - \log. b')$, gdzie b i b' oznaczają stany barometru u podnóża i na wysokości, jak również podług reguły Remy'ego (§ 418), obliczyć wysokość góry, u podstawy której woda wre przy 99^0 , a na wierzchołku przy 91^0 ? Rozw. Podług tabelli 414, stany barometru odpowiadające tym punktom wrzenia są 733,2 i 545,7, ztąd, według wzoru, $h = 2360^m$, a podług reguły Remy'ego 2328^m .

616. Wprowadzając 3 kil pary na 100^0 do 150 kil. wody na 20^0 , całość ogrzewa się do 32^0 ; jakie jest ciepło pary wodnej? Rozw. $150 \cdot 12 = 3 \cdot x + 3 \cdot 68$; ztąd $x = 532$.

617. Przeprowadza się 1 kil. pary eteru na 35^0 przez węzownicę, leżącą w 10 kil. wody na 10^0 ; eter odpywa z temp. 35^0 , a temp. wody podnosi się do 19^0 ; jakie jest ciepło pary eteru? Rozw. 90 jed. ciep.

618. Jaką temperaturę mieć będzie 100 kil. wody na 10^0 , po wprowadzeniu w nie 4 kil. pary na 120^0 ? Rozw. $35,1^0$.

619. Jakiej pracy mechanicznej byłoby potrzeba do zamienienia 1 kil. wody na 100^0 w parę na 100^0 , gdyby taka przemiana była możebną do wykonania przez tę pracę? Rozw. 227476 K—M.

620. Jaka praca powstaje, gdy 1 kil. H łączy się z 8 kil. O, i gdy połączenie to, ziębnąc powoli, staje się lodem? Rozw. $(34000 + 9 \cdot 636 + 9 \cdot 80 - 93) 424 = 17$ mil. K—M.

621. Obliczyć zewnętrzne ciepło pary wodnej na 100: Rozwiąz. $A p u = 10328 \cdot 1,6504 : 424 = 40$ jed. ciepła.

622. Ważny wzór, wzmiankowany w § 419, na ciepło pary jednostki objętości, jest następujący: $r = AT$ (dp : dt); znaczenia A i T są wiadome;— dp : dt oznacza pochodną napięcia p, wziętą względem temperatury t, która to pochodna według wzoru Magnusa $= p \cdot 7,4475 \cdot 234,69 : (234,69 + t)^2 \cdot \log.$ nat. 10; jak wielkie jest podług tego ciepło pary wodnej na 100^0 ? Rozw. $dp:dt = 760 \cdot 7,4475 \cdot 234,69 \cdot 2,3025851 : 343,69^2 = 27,305^{mm}$ merkurjuszu $= 371,07$ kil. na k^m ; ztąd $r = 371,07 \cdot 373 : 424 = 326$ jed. ciep. na $1 k^m$ pary; ponieważ jednak 1 kil. pary $= 1,6504 k^m$, to r dla 1 kil. $= 3261 \cdot 6504 = 538$ jed. ciep. Ta wartość jest cokolwiek za duża, ponieważ r służy właściwie nie dla $1 k^m$ pary, lecz dla różnicy między tym $1 k^m$ pary i odpowiadającą objętością wody; uwzględniając to, wypada ściśle 536.

623. Niech będzie średnica tłoka maszyny o wysokim ciśnieniu $= 48c$, wysokość wzniesienia się tłoka w każdej sekundzie $= 120c$, a temperatura pary niech będzie 130^0 ; jakie wypadną: skutek bezwzględny, skutek pożyteczny, zużycie wody i zużycie węgla w maszynie, robiąc nieściśle naturalnie przypuszczenie, że para nasycająca, nawet podczas pracy, podlega prawu Mariotte'a? Rozw. Skutek bezwzględny $= 0,24^2 \cdot 3,1416 [(2030 - 760) : 760] 10328 \cdot 1,2 : 75 = 49,968$ koni; skutek pożyteczny jest zwykle $\frac{1}{2}$ skutku bezwzględnego, więc $= 24$ koniom; zużycie pary na sek. $= 0,24^2 \cdot 1,2 = 0,06912 k^m$ przy 130^0 ; $1 k^m$ pary na 130^0 waży podług Zeuner'a 1,542 kil., więc zużycie wody na sekundę $= 0,06912 \cdot 1,542 = 0,10658$ kil., a więc na godzinę 383,698 kil.;— zużycie węgla: ciepło pary 1 kil. pary na $130^0 = 646$ jed. ciep., więc 383,688 kil. $= 383,688 \cdot 646$ jed. ciep.; 1 kil. węgla daje 1200 jed. ciep.; ztąd zużycie węgla $= 383,688 \cdot 646 : 1200 = 206,42$ kil.

624. W maszynie parowej z oziębialnikiem temperatura pary wynosi 108^0 , promień tłoka $40c$, wzniesienie się tłoka $140c$, liczba jego poruszeń na minutę 36; przeciwiśnienie w oziębialniku niech będzie 0,1 atm.; jaki jest skutek bezwzględny? Rozwiąz. $0,4^2 \cdot 3,1416 [(1,005 - 760) : 760] 10328 (1,4 \cdot 36 : 60) : 75 = 71,073$ koni.

625. Obliczyć przybliżenie skutek maszyny z rozszerzalnością pary, podług bardzo nieściśle przypuszczeń dawniejszej teorii, wiedząc, że rozszerzalność zaczyna się na $\frac{1}{4}$ wysokości wzniesienia się tłoka, przeciwiśnienie $= 1$ atm., powierzchnia tłoka wynosi $\frac{1}{2} \square^m$, a wzniesienia się tłoka na sek. $= 1^m$. Rozw. Ciśnienie w pierwszej ćwiartce wzniesienia $= 1$ atm., w 2-jej $= (1 + \frac{1}{2}) : 2 = \frac{3}{4}$,

w 3-ej $= (\frac{1}{2} + \frac{1}{3}) : 2 = \frac{5}{12}$, w 4-ej $= (\frac{1}{3} + \frac{1}{4}) : 2 = \frac{7}{24}$ atm., razem $= \frac{61}{24}$ atm., a więc średnio $\frac{61}{96}$ atm. $= \frac{1}{2} \cdot \frac{61}{96} \cdot 10328 = 3281$ kil.; ztąd skutek $= 3281 \cdot K - M = 40$ koni.

5. Trzecie główne działanie ciepła.

OGRZEWANIE.

427. **Ciepło właściwe** (Wilcke 1772). Przez ciepło właściwe pewnego ciała rozumiemy ilość ciepła, w jednostkach wyrażoną, potrzebną do podniesienia temperatury 1 kil. tego ciała o 1 stopień. Poniaważ jednostka ciepła jest ilością ciepła służącą do ogrzania 1 kil. wody na 1^0 , przeto ciepło właściwe pokazuje ile razy więcej lub mniej ciepła pewien ciężar danego ciała potrzebuje do pewnego podwyższenia temperatury; niżeli równy mu ciężar wody do takiegoż ogrzania. Toż samo pytanie stawia się zresztą i dla objętości, a wskutek tego rozróżnia się ciepło właściwe objętości od ciepła właściwego ciężarów; lecz przez wyrażenie: ciepło właściwe, rozumie się zawsze to ostatnie. Porównywa się także ilości ciepła, służące do równego ogrzania równoważników różnych pierwiastków; to ciepło nazywa się ciepłem właściwym równoważników; nakoniec możnaby zwracać uwagę na ilości ciepła potrzebne do równego ogrzania atomów i molekułów w ich odosobnionym stanie, i razem wytworzyć pojęcie właściwego ciepła atomowego i molekularnego.

W nowej nauce o cieple, temperatura, jak wiadomo, jest żywotną siłą najmniejszych cząsteczek; w ciałach równej temperatury atomy mają równe siły żywotne, przy czem małe atomy drobność swej masy nagradzają większą szybkością. Według tego pojęcia podwyższenie temperatury powstaje wskutek podwyższenia żywotnej siły atomów; wzniesienie się temperatury np. o 1 stopień w najróżnorodniejszych ciałach odpowiada nadaniu atomom ich równej siły żywotnej, która udzieloną być może albo przez pracę, albo przez wprowadzone ciepło. To wprowadzone ciepło jednak, które tu szczególnie mieć będziemy na uwadze, sprawia nie tylko powiększenie siły żywotnej atomów, nie tylko wzmacnia drgające lub rozchodzące się ruchy atomów, ale także jest przyczyną większego oddalania się od siebie atomów i molekułów, połączonego z pokonaniem przyciągania, a wskutek zwiększonej objętości, z pokonaniem ciśnienia zewnętrznego, które zwykle ma miejsce; wprowadzone ciepło nie tylko podnosi temperaturę, ale także obraca się częściowo w wewnętrzną i zewnętrzną pracę. W pojęciu ciepła właściwego zamyka się nie tylko ciepło potrzebne do podniesienia temperatury, ale także i to ciepło pracy, gdyż często nie można oddzielić tych różnych ilości ciepła. Gdyby można ciepło potrzebne do wewnętrznej i zewnętrznej pracy oddzielić od ciepła właściwego, to pozostałoby ciepło istotnie ogrzewające, ciepło wyłącznie potrzebne do podniesienia żywotnej, atomowej siły. Nowsza nauka o cieple wprowadziła to ostatnie do fizyki, Rankine nazywa je prawdziwym ciepłem właściwym, Clausius nadał mu nazwę *zdolności ciepła* (Wärmecapacität).

Z teorii mechanicznej ciepła wynikają dla ciepła właściwego następujące prawa (Clausius 1850):

1. Ciepła atomowe wszystkich ciał są sobie równe i stałe, t. j., odrywając uwagę od związku między atomami, wszystkie atomy najróżnorodniejszych pierwiastków potrzebują równej ilości ciepła do równego podwyższenia temperatury, jakkolwiek byłyby ta temperatura; możnaby to twierdzenie wypowiedzieć jeszcze w ten sposób: wszystkie atomy mają tę samą, stałą, zdolność ciepła.

Równe podwyższenie temperatury różnych atomów polega na tem, że ich siła żywotna równo się podwyższa; do tego potrzebnym jest równy przyływ ciepła, gdyż atomy lżejsze potrzebują odpowiednio znacznieszego zwiększenia prędkości, a nadto, w przypuszczeniu atomów odosobnionych, żadna zmiana nie zachodzi wskutek wewnętrznej i zewnętrznej pracy. Podwyższenie o 1° jest zawsze równem zwiększeniem siły żywotnej, jakkolwiek byłyby temperatura; więc ciepło atomowe jest stałe.

2. Ciepła właściwe różnych ciał są różne; np. ciepło właściwe merkuryusza jest $\frac{1}{29}$, wodoru = 3, żelaza = $\frac{1}{9}$, litium = $\frac{1}{40}$; do ogrzania 1 kil. wody potrzeba 29 razy więcej ciepła, niż do takiegoż ogrzania 1 kil. merkuryusza.

Atomy różnych ciał mają najrozmaitszy ciężar, więc 1 kil. różnych ciał zawiera liczbę atomów nader rozmaita; ponieważ ostatnie mają toż samo ciepło atomowe, przeto 1 kil. różnych ciał potrzebuje rozmaitych ilości ciepła dla jednakiej podwyżki temperatury. Jest tu mowa o cieple atomowem, a więc nie zwraca się uwagi na związek między atomami; uwzględniając ten związek, wzmiankowana nierówność mogłaby się cokolwiek zmienić wskutek różnicy między pracą wewnętrzną a zewnętrzną, ale żadną miarą nie dałaby się zmienić zupełnie.

Po zmieszaniu 1 kil. wody na 80° z 1 kil. merkuryusza na 20° , mieszanina otrzyma temperaturę 78° ; kil. wody zniżył zatem swoją temperaturę o 2° , kil. merkuryusza podwyższył swoją o 58° , i to wskutek ciepła oddanego przez wodę przy jej oziębieniu się. To ciepło wynosi 2 jednostki; dla ogrzania przeto 1 kil. merkuryusza o 58° , trzeba 2 jed., zatem dla ogrzania o 1° , $\frac{1}{29}$ jedn.; ciepło właściwe merkuryusza = $\frac{1}{29}$.

3. Zdolności ciepła równoważników pierwiastków są sobie równe; właściwie mówiąc, ciepła właściwe równoważników są równe tylko dla pierwiastków gazowych, dla innych zaś pierwiastków są tylko przybliżenie równe.

Ciężary równoważników mają się do siebie ściśle w stosunku atomów, zawierają więc równe ilości atomów. Ponieważ zaś różne atomy, bez względu na ich związek, potrzebują równych ilości ciepła do jednakowego ogrzania, czyli posiadają równą zdolność ciepła, przeto równe liczby atomów—równoważniki mają jednaką zdolność ciepła. Przy cieple właściwem nie spuszcza się z uwagi i związku między atomami. Przyciąganie międzyatomowe nie jest toż samo w różnych pierwiastkach; potrzebnym jest zatem rozmaity zapas ciepła do pokonania tego przyciągania przy oddalaniu się atomów, przy pracy wewnętrznej; zarówno i ze-

wewnętrzna praca, potrzebna do rozszerzeń pierwiastków, a ztąd i odpowiednia ilość ciepła, jest także rozmaita. Wskutek tego ciepła właściwe, zawierające w sobie zdolność ciepła, i ciepło prac wewnętrznej i zewnętrznej, mogą być nie ściśle, lecz tylko przybliżenie równe. Jedyny wyjątek stanowią pierwiastki gazowe; w tych bowiem nie ma przyciągania międzyatomowego, a więc i pracy wewnętrznej; praca zaś zewnętrzna, z przyczyny jednakiej rozszerzalności, pozostaje zawsze taż sama; przeto ciepła właściwe pierwiastków gazowych są sobie równe.

4. Zdolność ciepła podobnych połączeń chemicznych jest taż samą; ciepła właściwe podobnych połączeń są tylko przybliżenie równe.

Ciała złożone, podobnego składu, mają molekuly składające się z równej liczby atomów; ztąd w swych równoważnikach posiadają równą ilość tychże atomów; ponieważ zdolności ciepła wszystkich atomów są sobie równe, przeto i zdolności ciepła równoważników połączeń podobnych są także sobie równe. Przy uwadze na pracę wewnętrzną i zewnętrzną, muszą zająć naturalnie mniejsze lub większe różnice; ciepła właściwe połączeń podobnych nie są więc ściśle też same.

5. Ciepła właściwe objętości pierwiastków gazowych są sobie równe; dla gazów skraplalnych i par prawo to służy tem mniej, im bardziej stan ich jest odległy od doskonałego gazu, im bliższymi są skroplenia.

Równe objętości gazów bezwzględnych zawierają równe ilości atomów; ponieważ te ostatnie mają też samą zdolność ciepła, przeto zdolności ciepła objętości równych są sobie równe. Przy ogrzewaniu gazów bezwzględnych nie zachodzi żadna praca, a więc z tego względu nie ma żadnej modyfikacji. Gdyby zrobić przypuszczenie, że przy ogrzewaniu nie ma rozszerzenia, to nie byłoby również modyfikacji wskutek pracy zewnętrznej. To przypuszczenie ma miejsce tylko wtedy, gdy objętość gazu jest zamkniętą, czyli gdy gaz zachowuje objętość stałą. Ztąd wypada, że ciepła objętości różnych gazów są sobie równe przy stałej objętości. Mimo to, przypuszczenie stałej objętości nie jest koniecznie potrzebnem; gazy mogą także spełniać przy ogrzaniu pracę zewnętrzną, jeżeli tylko ta dla różnych gazów jest jednakową i niezmienną podczas ogrzewania; wtedy bowiem na pracę zewnętrzną różnych gazów zużyte zostaną równe ilości ciepła i równość ciepła objętości pozostanie niezmienną. Zazwyczaj gazy ogrzewane rozszerzają się pod wpływem ciśnienia atmosferycznego; ciepła objętości różnych gazów są więc, pod tem samem, stałem ciśnieniem, jednakie. Ztąd widać, że należy rozróżnić ciepło właściwe gazów przy stałej objętości od ciepła właściwego pod ciśnieniem stałem; w obu razach nie ma pracy wewnętrznej dla gazów istotnych, w pierwszym razie nie ma także pracy zewnętrznej, gdy w drugim zachodzi praca zewnętrzna, która może być rozmaita, lecz która pod stałem ciśnieniem dla różnych gazów jest jednakową.

6. Ciepło właściwe pierwiastku gazowego jest stałem tak przy stałej objętości, jako też pod stałem ciśnieniem; dla innych ciał zdolność ciepła jest wprawdzie stałą, ale ciepło właściwe przedstawia różnice wedle gęstości, temperatury, stanu skupienia, chemicznego składu i allotropijnych modyfikacji.

Oznaczony ciężar gazu zawiera zawsze tęż samą liczbę atomów, przy jakichkolwiek: gęstości, temperaturze i modyfikacjach; podwyższenie temperatury tego ciężaru gazu o 1 stopień polega, przy tych wszystkich okolicznościach, na nadaniu tej samej liczbie jego atomów tej samej podwyżki siły życiowej; na co zawsze potrzeba tej samej siły lub tegoż ciepła; zatem ciepło właściwe gazu jest stałe.— Clausius wypowiedział to twierdzenie w czasie (1850), gdy panowało przeciwnie zdanie, wskutek niezupełnie ścisłych doświadczeń; nowe, ściślejsze prace Regnault'a uzasadniły to twierdzenie, a główna idea teorii mechanicznej ciepła zyskała istotną podporę. Dla innych ciał twierdzenie powyższe służy tylko wtedy, gdy upadają wpływy pracy wewnętrznej i zewnętrznej, zatem, gdy ciała te zamienione zostaną w mocno przegrzane pary, t. j., gdy zdolność ciepła postawić można na miejscu ciepła właściwego; wtedy można powiedzieć, że zdolność ciepła pewnego ciała jest stałą. Gdy jednak zwraca się uwagę na związek między atomami, czyli skoro jest mowa o cieple właściwym, to ostatnie ulega zmianie, a mianowicie ciepło właściwe staje się większem, gdy odległości między cząsteczkami stają się znaczniejszemi, zatem gdy gęstość się zmniejsza, a temperatura powiększa, gdy połączenia chemiczne ulegają rozkładowi, gdy ciało stałe przechodzi w płynne; przeciwnie, przy przejściu w stan gazowy, ciepło właściwe staje się znowu mniejszem. Przy wzroście bowiem dysgregacyi, atomy więcej oddalają się od siebie, przyciąganie staje się słabszem. Ciepło wchodzące w ciało może teraz łatwiej pokonać przyciąganie, może wykonać większą pracę wewnętrzną, i stosownie do tego, zewnętrzną także pracę; słowem, większa ilość ciepła wprowadzonego w ciało rzadsze, może być obróconą na pracę; suma tych większych ilości ciepła prac i pozostającej stałą zdolności ciepła daje więc dla mniej gęstego ciała większe ciepło właściwe. Ta możliwa wewnętrzna i jej odpowiadająca zewnętrzna praca jest jeszcze większą w stanie płynnym ciała, co pokazują także większe współczynniki rozszerzalności płynów, jak również wzrost współczynników z temperaturą; wypada ztąd, że ciepło właściwe ciała w stanie płynnym jest większe niż w stanie stałym. W stanie gazowym praca wewnętrzna jest albo zupełnie równą, albo bardzo bliską zera, ciepło właściwe musi tu być zatem o wiele mniejsze. Clausius wypowiedział już to (1850) wtedy, gdy podług Delaroche'a i Bernard'a przyjęto ciepło właściwe pary wodnej równem 0,847, i znalazł także poparcie w nowej liczbie Regnault'a = 0,475.

7. Zdolność ciepła pewnego połączenia daje się dokładnie obliczyć ze zdolności ciepła części składowych, gdyż zdolność ciepła atomów pozostaje stałą; zdolność ciepła objętości pewnego połączenia jest równą sumie zdolności objętości części składowych, podzielonej przez objętość połączenia; podobnie znajdziemy zdolność ciepła ciężaru, gdy także zdolności części składowych pomnożymy przez ich wagi atomowe, dodamy iloczyny, a sumę podzielimy przez wagę atomową połączenia. Te prawa ciepła właściwego służą tylko dla prawdziwych gazów, łączących się z takimże gazem; dla innych ciał ma miejsce większe lub mniejsze uchylenie się; obrachowane średnie ciepło właściwe jest popolicie większe, aniżeli obserwowane.

8. Stosunek ciepła właściwego gazów pod stałym ciśnieniem do ciepła

właściwego przy stałej objętości jest stały i $= 1,41$, przyjmując, że stałe ciśnienie $= 1$ atm.

Dowód. Przy stałej objętości ciepło potrzebnem jest tylko do ogrzania, pod stałym zaś ciśnieniem zużywa się także na przewyciężenie tego ciśnienia podczas całego rozszerzania się, ciepło właściwe zatem pod stałym ciśnieniem musi być większe od ciepła właściwego przy stałej objętości o wydatek ciepła na pracę zewnętrzną; ponieważ ta praca zewnętrzna, z przyczyny równej rozszerzalności wszystkich gazów, zawsze jest taż sama, więc dla wszystkich gazów i przy wszystkich temperaturach, przy ogrzewaniu pod stałym ciśnieniem, spotrzebowana zostaje równa ilość ciepła więcej, niż przy stałej objętości. Praca zewnętrzna przy ogrzewaniu 1 km^3 gazu o 1^0 wynosi $10328 \cdot 0,003665 = 37,85 \text{ K—M}$, na co potrzeba $37,85 : 424 = 0,0893$ jedn. Podług Regnault'a ciepło właściwe 1 kil. powietrza pod stałym ciśnieniem $= 0,23741$; więc ciepło właściwe 1 km^3 albo $1,293 \text{ kil.}$ wynosi $0,23741 \cdot 1,293 = 0,30697$. Ponieważ z tego ciepła zużywa się na pracę zewnętrzną $0,0893$ jed., pozostaje więc dla ogrzania $0,30697 - 0,0893 = 0,21767$ jed. Ta liczba służy dla 1 km^3 ; dla 1 kil. podług tego zdolność ciepła $= 0,21767 : 1,293 = 0,1683$. To ciepło potrzebne dla wyłącznego ogrzania 1 kil. powietrza jest niżem innem, jak ciepłem właściwem powietrza przy stałej objętości; więc stosunek ciepła właściwego pod stałym ciśnieniem do ciepła właściwego przy stałej objętości $= 0,23741 : 0,1683 = 1,41$.

Do potwierdzenia tego prawa służą wyniki licznych poszukiwań ciepła właściwego przez obserwację, nad któremi zastanowimy się tylko w krótkości.

429. Metody do oznaczenia ciepła właściwego ciał stałych i płynnych:

a). *Metoda mieszanin* albo *kalorymetr wodny* (Neumann 1831, Regnault 1840). Ogrzewa się badane ciało m do pewnej temperatury t i wkłada się je następnie do oznaczonej ilości wody m' mającej temperaturę t' ; ciało udziela wodzie swego ciepła dotąd, aż mieszanina przyjmie wspólną temperaturę T , z której można obrachować ciepło właściwe c ciała. Ciało bowiem otrzymuje, rachując od punktu marznięcia, od mieszaniny ciepło mct , płyn zaś, którego ciepło właściwe niech będzie c' , również od mieszaniny $m'c't'$ oboje zatem otrzymują $mct + m'c't'$. Po zmieszaniu, gdy ma miejsce wspólna temperatura T , ciepło odpowiadające $= (mc + m'c') T$. Ponieważ przez zmieszanie nie zginęło nic ciepła, więc ma miejsce równanie: $mct + m'c't' = (mc + m'c') T$, ztąd

$$c = m'c' (T - t') : m (t - T).$$

Jeżeli płyn kalorymetru jest wodą, to $c' = 1$: dla ciał rozpuszczalnych w wodzie, albo których małemi tylko ilościami rozrządzać możemy, używa się oleju terpentynowego, gdyż jego zdolność ciepła jest bardzo nieznaczną, a wskutek tego mała ilość ciepła wystarcza do zmierzyć się dającego podwyższenia temperatury. Trudności tej metody leżą w trudności dokładnego zmierzenia temperatur, w trudności utrzymania temperatury stałą podczas przechodzenia ciała w płyn kalorymetru, i uniknięcia strat ciepła podczas doświadczenia. Powstające ztąd błędy są stosunkowo tem mniejsze, im większą jest masa ciała i objętość płynu

kalorymetru; ztąd metoda ta służy tylko dla ciał, których znacznymi ilościami rozporządzać można. Regnault wkładał ciało w koszyczek wiszący na delikatnych nitkach, ten koszyczek otoczył szeroką rurą blaszaną, która w podobny sposób drugim, a następnie trzeciem naczyniem otoczona była; w wierzchniem przykryciu umieszczony był termometr. W wewnętrzną, pierścieniową przestrzeń zostawała wprowadzona para, która ogrzewała ciało do temperatury dającej się odczytać na termometrze; potem koszyczek był prędko usuwany do kalorymetru umieszczonego pod naczyniem, a następnie na saneczkach wyciągany dla przeczytania temperatury mieszaniny. Aby skompensować o ile można straty otoczenia, należy podług Rumforda oziębić przed doświadczeniem płyn kalorymetru o tyle względem otaczającego powietrza, o ile ten płyn po doświadczeniu jest więcej od powietrza ogrzany. Regnault zamykał płyny w cienkie rurki, które kładł w koszyczek. Kopp (1864) oddalał kalorymetr od aparatu ogrzewającego, aby osłabić promieniowanie tegoż; ogrzewał ciało stałe w małej szklaneczce wody, nakrytej i umieszczonej w kąpeli merkuryalnej, i wsuwał je szybko w kalorymetr; podług tej metody poszukiwał on ciepła właściwego (później Wullner 1868) alotropowych modyfikacyj, jak również Schüller (1869) licznych roztworów solnych. Pfaundler (1868) uniknął możebnych tu błędów przez ogrzanie równych ilości badanego płynu i wody za pomocą drutu spiralnego o stałym oporze, przebiegającego przez ten sam prąd elektryczny. Thomsen (1870) ogrzewał równe ilości różnych płynów przez spalenie jednej i tej samej objętości wodoru w kalorymetrze, i obrachowywał ciepło właściwe z różnych podwyżek temperatur, których te płyny nabierały wskutek tej samej ilości ciepła.

b). *Metoda topniejącego lodu albo kalorymetr z lodem* (Lavoisier i Laplace 1780, Bunsen 1870). Ogrzewa się ciało badane m do temperatury t i wkłada się je w lód na 0°; przez powolne oziębienie się aż do 0°, ciało topi pewną ilość lodu, którego ciężar p poznaje się z ciężaru odplywającej wody. Lód ten potrzebuje do stopienia się ilości ciepła = 79,25p jed.; ciepło właściwe ciała niech będzie = c; oddane ciepło mct musi być równe ciepłu stopienia; ztąd wypada dla ciepła właściwego wartość $c = 79,25p : mt$.

Lavoisier i Laplace używali naczynia blaszanego z podwójnemi ścianami, którego przestrzenie wewnętrzna i zewnętrzna kumunikowały z powietrzem za pomocą kurków; w przestrzeń wewnętrzną wprowadzali ciało otoczone kawałkami lodu, a pomieszczone w koszyczku drucianym; przestrzeń zewnętrzna była również otoczona lodem, a wszystko znajdowało się pod wypukłą przykrywką pełną lodu. Jakkolwiek ta metoda jest bardzo prosta, to jednak, z przyczyny wysokiego ciepła topnienia lodu, daje się użyć do ciał znacznej objętości; źródłem błędu jest przyleganie wody do lodu i możebność wnikięcia ciepła zewnętrznego. Nowy kalorymetr z lodem Bunsen'a (1870) daje się zastosować do ciał o małej objętości. Przyrząd ten składa się z rurki szklanej kształtu litery U, której jedno ramię wchodzi w obszerny cylinder szklany, a przez pokrywkę którego przechodzi rurka próżna u góry otwarta; wyższa część cylindra otaczająca rurkę próbną jest napełniona wodą, a część niższa, równie jak drugie dłuższe ramię rurki, merkuryuszem. W otwór tego ramienia wchodzi czopek z długą rurką, w którą merkuryusz wstępuje. Wskutek częstego wstrzykania bardzo zimnego alkoholu

w rurkę próbną, woda w cylindrze zamarza. Wtedy w rurce próbnej umieszcza się woda, a w niej ciało badane; ciepło jego topi część otaczającego lodu, którego ilość ocenia się z opadnięcia merkuryusza w wąskiej rurce czopowej; za pomocą tej ilości ciepła właściwe łatwo daje się obliczyć. Bunsen znalazł tą drogą ciepła właściwe ruthenium, indium i kalcium.

450. c). *Metoda oziębiania* (Tobiasz Mayer 1796, Regnault 1840). Z dwóch ciał ciepłych, równego ciężaru, równej temperatury i równej zdolności promieniowania, pomieszczonych w dwóch równie zimnych, pozbawionych powietrza przestrzeniach, ostudzi się prędzej przez promieniowanie to ciało, które ma mniejsze ciepło właściwe. Na tem polega metoda oziębiania. Niech ciało m oziębia się w czasie s o t^0 , to traci ono, gdy ciepło jego właściwe $= c$, w sekundzie $mct : s$; drugie ciało m' z ciepłem właściwem c' , niech oziębia się w czasie s' o t^0 , to utraci ono w sekundzie ciepło $m'c't' : s'$. Ponieważ według powyższego założenia ilości ciepła wypromieniowane w sekundzie muszą być sobie równe, przeto $mct : s = m'c't' : s'$, z kąd $c' = mcs' : m's$.

Dulong i Petit używali ołowianego, wewnątrz sadzami poczernionego pokrowca, przez pokrywkę którego przechodził szczelnie przypasowany termometr, podtrzymujący w środku swej rurki naczynie z blachy srebrnej.— W to ostatnie wkładanem było ciało odpowiadające kulce termometru, a wszystko otaczało się kąpielą wodną oznaczonej temperatury. Wtedy obserwowano czas potrzebny do opadnięcia termometru o 5^0 . Jeżeli toż samo doświadczenie odbytem zostało i dla wody, to zastosowanie powyższego rachunku do tych dwóch doświadczeń dawało żądane ciepło właściwe. Metoda ta przypuszcza, że ostudzenie całej masy ciała odbywa się jednostajnie, i że wszystkie ciała ciepło swe udzielają blasze srebrnej w jednakowy sposób; najstosowniejszą jest ona dla ciał płynnych.

451. Wyniki badań nad wielkością i własnościami ciepła właściwego ciał stałych i płynnych. Woda ma, z wyjątkiem wodoru, największe ciepło właściwe ze wszystkich ciał, tych bowiem ciepło właściwe jest mniejsze od 1. Wynosi ono dla alkoholu 0,6, eteru 0,5, olejku terpentynowego 0,4, siarku węgla 0,2, merkuryusza 0,03; dla lithium 0,9, magnezium 0,25, siarki 0,2, szkła 0,2, żelaza 0,11, cynku, miedzi i mosiądzu 0,09, cyny i srebra 0,06, złota i platyny 0,03. W liczbach tych, oprócz potwierdzenia drugiego prawa, leży jeszcze fakt, że ciepło właściwe ciał płynnych jest przecięciowo większem, niżeli ciał stałych; jeszcze wyraźniej występuje on przy badaniu obu stanów jednego i tegoż samego ciała. Ciepło właściwe lodu jest 0,5, wody $= 1$; dla ołowiu stałego wynosi ono 0,03, dla płynnego 0,4; dla siarki stałej 0,2, dla płynnej 0,23; dla fosforu stałego 0,19, dla płynnego 0,21; dla stałej saletry 0,23, dla płynnej 0,33. W podobny sposób ujawniają się ciepła właściwe ciała przy różnych gęstościach; Regnault podaje dla węgla drzewnego 0,24, dla węgla kamiennego 0,20, dla dyamentu 0,15; Wüllner znalazł później różnice te cokolwiek mniejszemi. Liczne doświadczenia przekonywają o zwiększaniu się ciepła właściwego przy wzrastającej temperaturze; Dulong i Petit znaleźli średnie ciepło właściwe żelaza między 0^0 i $100^0 = 0,1098$, przeciwnie między 0^0 i $300^0 = 0,1218$; ciepło właściwe wody przy $60^0 = 1,0023$, przy $100^0 = 1,005$, przy $180^0 = 1,013$. Betten-

dorf i Wullner znaleźli (1868) zgodnie z Regnault'em (ale w sprzeczności z Kopp'em) różnice w ciepłe właściwem rozmaitych modyfikacyj, dla arsenu krystalicznego 0,0828, dla bezkształtnego = 0,0791, dla selenu krystalicznego = 0,084, dla bezkształtnego = 0,0953. Nieznaczność tych różnic, potwierdzających prawo szóste, w przeciwstawieniu do wielkich różnic mających miejsce w ciałach różnych, wzmacnia inną część tego twierdzenia, mianowicie, że zdolność ciepła jednego i tego samego ciała jest stałą. Wniosek ztąd płynący, że zdolność ciepła pierwiastku zostaje takąż samą i w połączeniach, i że wskutek tego ciepło właściwe połączenia może być znalezione przybliżenie z wiadomych ciepł właściwych części składowych (prawo 7), został dopiero stwierdzony rachunkami przeprowadzonymi przez Wöstyń'a. Tak oblicza się ciepło właściwe siarku miedzi Cu^{S} = $(2 \cdot 0,095 \cdot 64 + 0,2 \cdot 32) : (2 \cdot 64 + 32) = 0,116$, gdy prace Regnault'a dają 0,120.

Znakomite zajęcie wzbudzonem zostało przez prawo Dulong'a i Petit, że ciepła właściwe chemicznych równoważników pierwiastków są równe sobie przybliżenie, gdyż prawo to nie zgadzało się z ówczesnemi poglądami na istotę ciepła, a było nadzwyczaj prostym i koniecznym wynikiem teoryi mechanicznej ciepła.— Mnożono wagę atomową a pierwiastku przez jego ciepło właściwe c, i znajdowano iloczyny ac prawie równemi sobie; te iloczyny nie są czem innym, jak ciepłami właściwemi ciężarów równoważników. Dla siarki iloczyn $ac = 32,0,2 = 6,48$, dla fosforu $32 \cdot 1,9 = 6,08$, dla cynku $65 \cdot 0,96 = 6,24$, dla żelaza $0,11 \cdot 56 = 6,16$, dla złota $197 \cdot 0,0324 = 6,39$ i t. d.; w tem leży zaraz ścisła równość ciepł atomowych różnych pierwiastków (prawo 1), także ścisła równość zdolności ciepła ich równoważników, gdy równość ich ciepł właściwych jest tylko przybliżoną (prawo 3). To prawo znalazło zastosowanie nietylko do oznaczenia wag atomowych, ale dało także powód, wspólnie z poprzednio przywiedzionemi faktami chemicznemi, do podwojenia wag atomowych pewnego szeregu pierwiastków. Okazało się mianowicie, że dla pierwiastków, których wagi atomowe z przyczyn chemicznych podwojone mi być winny, iloczyn ac jest tylko połową iloczynu dla innych pierwiastków, że zatem przez podwojenie i tamte pierwiastki wejść w ogólne prawo. Rzeczywiście, dla pierwiastków gazowych iloczyn ac jest połową wyżej przytoczonego, dla wodoru np. $ac = 1,3,4 = 3,4$, dla tlenu $16 \cdot 0,21 = 3,36$, dla azotu $14 \cdot 0,24 = 3,36$, co mieć będzie swoją przyczyną, w gazom właściwem rozmieszczeniu atomów w molekułach.

Neumann (1831) rozszerzył to prawo do połączeń; znalazł on, że tlenki formy RO, dalej tlenki formy R^2O^3 , siarki metalów formy RS, sole kwasów węglowego i siarczanego o zasadzie RO, mają ciepła równoważników dosyć zgodne między sobą; tak np. dla tlenków: magnezium, cynku, miedzi, niklu i t. d., iloczyn $ac = 11$, dla połączeń tych tlenków z kwasem siarczanym = 26,5 i t. d. Regnault (1841) rozszerzył prawo Neumann'a 4 na wszystkie połączenia o jednakiem wzorze.

Obliczając ciepło właściwe połączeń chemicznych z ciepł właściwych ich części składowych, jak to czynił Woestyn, otrzymujemy zwykle ciepło właściwe większe, niż z doświadczenia; rachunek daje np. dla siarku cynku 0,131, gdy doświadczenia Regnault'a wskazują 0,123; to odpowiada prawidłu, że wskutek zgęszczenia, ciepło właściwe maleje, gdyż przy połączeniu chemicznem zachodzi zmniejszenie dysgregacyi, pewien rodzaj zgęszczenia. Ztąd pozwolono sobie zro-

bić taki wniosek, że niezmiennosc ciepła właściwego przy kombinacji pewnej liczby ciał wskazuje, że one stanowią prostą mieszaninę, nie zaś połączenie chemiczne. Ten wniosek popierają poszukiwania Regnault'a nad ciepłem właściwym aljażów, które to ciepło jest równe średniej z ciepł właściwych części składowych, nawet często jest cokolwiek większem. W tym kierunku pracował Schüller (1869) nad roztworami solnemi; znajdował jednak często obserwowane ciepło właściwe mniejszem od obrachowanej średniej, i wykrył, że stosunek między doświadczeniem a tą średnią, przy różnej koncentracji roztworów, bywa raz stałym, np. dla soli kuchennej, raz zmiennym, a w tym ostatnim razie z procentem to rosnącym, przechodzącym nawet 1, to malejącym. Jeszcze rozleglejsze poszukiwania przywiódł Thomsen'a (1870) do ogólnego wniosku, że przy pomieszczeniu wody z pewnym roztworem wodnym ciepło właściwe zawsze maleje. Marignac (1870) zrobił zarzut temu wnioskowi, okazując, że przy mieszaninie alkoholu z wodą, ciepło właściwe tej mieszaniny przewyższa ciepło właściwe wody, jak również, że roztwory cukru i amonijaku mają ciepło właściwe równe średniej ciepł właściwych części składowych; jednak te nieliczne wyjątki nie mogą naruszać wniosku Thomsen'a, z tegoby raczej wypadało, że roztwory posiadają pewien rodzaj chemicznej konstytucyi, zmieniającej się ze stopniem ich koncentracji. Thomsen poszukiwał także ciepła molekularnego roztworów, i znalazł zgodnie z prawem Thomsen'a i Schüller'a, że ciepło molekularne pewnego roztworu zawsze jest mniejsze od sum ciepł molekularnych płynów składowych, a w niektórych nawet razach, np. dla kwasów siarczanego i saletrzanego, ciepło molekularne przy małym stopniu koncentracji zgadza się z ciepłem wody, dla kwasu solnego zaś jest odeń niższe, tak, że roztwór z 17% ClH potrzebuje 10% mniej ciepła, niż zawarta w nim woda.

432. Oznaczenie ciepła właściwego gazów (Delaroche i Bérard 1813).

a). *Pod stałym ciśnieniem.* Oznaczona ilość gazu ogrzewa się do ściśle oznaczonej temperatury i zostaje przeprowadzoną za pomocą węzownicy przez kalorymetr wodny. Ilość wody jak również jej temperatura przed i po doświadczeniu są dokładnie mierzone i z tych wielkości wyznajduje się poszukiwana. Pierwsze ściślejsze urzeczywistnienie tej idei dokonaniem zostało przez Delaroche'a i Bérarda; Regnault w ostatnich latach próbował osiągnąć jeszcze większą dokładność.

Delaroche i Bérard sprawiali stałe ciśnienie za pomocą flaszki Mariotte'a, z której woda splywała do stojącej pod nią flaszki Wulf'a o 3-ch szybkach; powietrze znajdujące się w tej ostatniej przechodziło rurką do balonu gazowego, w którym wisił przy otworze innej rurki pęcherz napełniony badanym gazem. Wskutek ciągle stałego ciśnienia powietrza, gaz zostawał wpędzany z pęcherza w rurkę i w niej ogrzany przez parę otaczającą tęż rurkę; po wyjściu z niej, gaz przechodził obok termometru dającego poznać jego temperaturę, a następnie przez kalorymetr. Dalej, gaz ten zostawał wciągany w drugi, zupełnie takiż aparat, a z niego przeprowadzany w pierwszy, za pomocą przestawienia kranów; czynność tę można było powtarzać do woli. Objętość gazu była ocenioną z opadnięcia wody we flaszce Mariotte'a, a ztąd dochodzono ciężaru gazu. Niedokładności mogły powstać przez to, że termometr ciepło gazu rozpraszał na zewnątrz

przez promieniowanie, że kalorymetr, pomimo znacznej odległości od aparatu ogrzewającego, otrzymywał odeń ciepło przez przewodnictwo, że gazy w balonie zostawały zwilgocone wpędzającym je powietrzem, niezupełnie suchem, i że wskutek tego zmieszania się nie były całkiem czystymi. Regnault otrzymał ze swych doświadczeń wyniki odmiennie niż Delaroche i Bérard. Dla powietrza wypadło 0,23741, dla O 0,21751, dla H 3,409, dla N 0,2438, dla chloru 0,12099.— Łatwo znaleźć rachunkiem, że ciepło właściwe różnych objętości różnych gazów bezwzględnych jest toż samo $i = 0,24$, i że ciepło właściwe objętości innych gazów tem więcej się odchyła od powyższej wartości, i tem jest większe, im gazy są bliższymi skroplenia.

b). *Przy stałej objętości.* Ciepło właściwe pod stałym ciśnieniem przewyższa ciepło właściwe przy stałej objętości, o ciepło rozszerzalności, które służy do pokonania ciśnienia zewnętrznego p , przy rozszerzeniu się objętości powietrza v_0 od 0^0 do 1^0 ; ta ilość ciepła jest $= p v_0 \alpha$: A jed.; jeżeli ciepło właściwe pod stałym ciśnieniem $= c$, przy stałej objętości $= c'$, to $c = c' + p v_0 \alpha$: A; a więc stosunek tych dwóch ciepł właściwych $c : c' = 1 + p v_0 \alpha : A c'$. Druga składowa sumy w tem wyrażeniu jest równa podniesieniu temperatury, sprawionemu przez zagęszczenie $v_0 \alpha$ za pomocą ciśnienia p ; znając ją, możemy obliczyć stosunek $c : c'$, tyle roztrząsany i tak ważny dla fizyki. 433.

Ta podwyżka temperatury otrzymuje się z doświadczenia Clément'a i Desormes'a. Wielki balon szklany może być w połączeniu, lub bez niego, z pompą powietrzną albo z powietrzem, za pomocą wielkiego kranu, a nadto komunikuje się z czułym manometrem wodnym. Przez częściowe wypróżnienie balonu manometr podnosi się do h' , tak, że napięcie wewnętrzne wynosi tylko $p - h'$. Wpuszczając nowe powietrze objętość zmniejszy się o część ułamkową δ , wyniesie więc tylko $1 - \delta$ poprzedniej objętości; gdyby przy tem ściśnieniu nie wywiązało się żadne ciepło, to napięcie powietrza, według prawa Mariotte'a, byłoby $(p - h') : (1 - \delta)$. Jeżeli jednak temperatura t podwyższy się o x^0 , to ciśnienie, podług Gay-Lussac'a, powiększy się o $[1 + \alpha (t + x)] : (1 + \alpha t)$; ponieważ ono jest, wskutek połączenia z powietrzem zewnętrznym, równe p , więc ma miejsce równanie $p = (p - h') [1 + \alpha (t + x)] : (1 - \delta) (1 + \alpha t)$. Przez oziębienie balonu aż do $x = 0$, napięcie znowu się zniży, manometr wskaże tylko wysokość h , napięcie będzie więc $p - h$; wskutek tego ostatnie równanie przejdzie na $(p - h') : (1 - \delta) = p - h$. Te dwa równania dają możliwość obrachowania δ , ściśnienia i x , podwyżki temperatury; wypada $\delta = (h' - h) : (p - h)$, a $x = (1 + \alpha t) h : \alpha (p - h)$. Jeżeli teraz ściśnienie $\delta = v_0 \alpha$ i sprawione ciśnieniem p , to x , podług tego co powiedziano na początku tego dowodu, równa się drugiej składowej sumy w wartości na $c : c'$; drugi warunek jest tu spełnionym, a pierwszy łatwym jest do wykonania przez wyrażenie objętości v_0 przy 0^0 , przez rozważaną tu objętość 1 przy t^0 ; $v_0 = 1 : (1 + \alpha t)$; ztąd $\delta = \alpha : (1 + \alpha t)$. Równając z sobą obie wartości na δ , będzie $\alpha : (1 + \alpha t) = (h' - h) : (p - h)$, i odwrotnie $(1 + \alpha t) : \alpha = (p - h) : (h' - h)$. Podstawiając wartość na $(1 + \alpha t) : \alpha$ w wartość na x , otrzymamy szukaną podwyżkę temperatury $x = (p - h) h : (h' - h) (p - h) = h : (h' - h)$. Ta

podwyżka łatwo się więc daje obliczyć z obu stanów manometru, a więc wartość $c : c' = 1 + h : (h' - h)$. Clement i Desormes znaleźli $c : c' = 1,357$, Kulp z cokolwiek odmiennego doświadczenia 1,425, gdy nasze obliczenie z mechanicznego równoważnika ciepła dało 1,41. Ta liczba zasługuje na największe zaufanie, gdyż wypada także z najściślejszych poszukiwań nad prędkością dźwięku.

434. Prędkość i liczba drgań dźwięku zwiększają się $\sqrt{(c : c')}$ razy wskutek ciepła wytworzonego w fali zgęszczenia, a zużytego w fali rozrzedzenia (Laplace 1825).

Dowód. Prędkość dźwięku podług znanego wzoru (30) równa się $\sqrt{(e:d)}$, gdzie d oznacza masę jednostki objętości $= s$, ciężarowi jednostki objętości, podzielonemu przez przyspieszenie g siły ciężkości, a więc $= s : g$, i gdzie e równa się ciśnieniu powietrza p ; podług tego prędkość $= \sqrt{(pg:s)}$, albo także równa się $\sqrt{[g:(s:p)]}$. Tu s i p oznaczają gęstość i ciśnienie przy t^0 ; jeżeli s_0 i p_0 oznaczają też same wielkości przy 0^0 , więc gdy $p =$ ciężarowi $0,76^m$ merkuryuszu, to $p : s(1 + \alpha t) = p_0 : s_0$. Jeżeli ciśnienie powietrza p przyrasta o s , to niech t powiększa się o Δt i s o Δs , przy czem naturalnie ma miejsce proporcja $s : p = \Delta s : s$; wskutek tego ostatnie równanie przybiera postać następującą: $s : [\Delta s(1 + \alpha t) + \alpha s \Delta t] = p_0 : s_0$, z kąd $1 = (p_0 : s_0) (1 + \alpha t) [\Delta s : s + \alpha \Delta t : (1 + \alpha t)]$. Przez przypuszczoną podwyżkę ciśnienia ma miejsce ściśnienie $\Delta s : s$ z przyrostem temperatury Δt ; w doświadczeniu Clément'a i Desormes'a ściśnienie było $= \alpha : (1 + \alpha t)$ i odpowiadający przyrost temperatury $= h : (h' - h)$; ztąd wypada proporcja $(\Delta s : s) : [\alpha : (1 + \alpha t)] = \Delta t : [h : (h' - h)]$, a dalej $\alpha \Delta t : (1 + \alpha t) = (\Delta s : s)h : (h' - h)$. Jeżeli tę wartość podstawimy w powyższe wyrażenie na 1, i zarazem zamiast $\Delta s : s$ wprowadzimy równy mu ułamek $s : p$, to wypadnie $1 = (p_0 : s_0) (1 + \alpha t) [(s : p) + (s : p)h : (h' - h)] = (p_0 : s_0) (1 + \alpha t) [1 + h : (h' - h)]$. $(s : p)$. Wyrażenie w klamrze łamanej $= c : c'$, według poprzedniego dowodu; więc jest teraz $1 = (p_0 : s_0) (1 + \alpha t) (c : c') (s : p)$, z kąd wypada $(s : p) = (s_0 : p_0) : (1 + \alpha t) : (c : c')$. Jeżeli ta wartość na $s : p$ wstawioną zostanie w powyższy wzór na prędkość dźwięku, ta ostatnia przejdzie na $= \sqrt{[g(1 + \alpha t)(c : c') : (s_0 : p_0)]}$. p_0 oznacza tu ciśnienie powietrza $=$ stanowi barometru h , pomnożonemu przez s' , ciężar właściwy merkuryuszu; po wstawieniu tej wartości wypada prędkość dźwięku $= \sqrt{[(1,42hs'g:s)(1 + \alpha t)]}$, co się zgadza w zupełności ze wzorem 40, przypuszczając, że $c : c' = 1,42$. Odwrotnie, przyjmując czynnik $c : c'$ za nieznanym i obliczając go z prędkości dźwięku 332,26, znajdziemy $c : c' = 1,41$. Najnowsze oznaczenia Kohlrausch'a (1869) i Witte'go (1869) za pomocą barometru metalicznego, zamiast chwiejącego się manometru wodnego, dają o wiele mniejsze liczby 1,302 i 1,35, tak, że w tym kierunku życzyłyby jeszcze należało ściślejszych badań.

435. **Zastosowanie ciepła właściwego.** Używa się nauki o ciepłe właściwem do znalezienia ilości ciepła potrzebnych do ogrzania ciała do oznaczonej temperatury. Naodwrot oznacza się z wiadomego ciepła właściwego ogrzanego ciała i z ilości ciepła, które toż ciało oddaje przy oziębieniu się do punktu, mierzonego na kalorymetrze wodnym, — temperaturę tego ogrzania; przy czem przypuszcza się naturalnie niezmiennosć ciepła właściwego, otrzymane więc rezultaty nie są ścisłe. Chemicy zużytkowują ciepło właściwe pewnego ciała na oznaczenie jego wagi atomowej, dzieląc iloczyn Dulong'a $ac = 6,4$ przez ciepło właściwe. Pfaun-

dlar (1866) przy poszukiwaniach ciepła właściwego różnych rodzajów gruntu zwrócił uwagę na to, że grunt mający małe ciepło właściwe szybko się rozgrzewa i oziębia, gdy tymczasem ziemia o wysokim ciepłe właściwem doznaje powolnego rozgrzewania i powolnego ostudzenia, że wilgotne, mało ziemiste grunta mają znaczne, do 0,5 dochodzące ciepło właściwe, a przeciwnie obfitujące w ziemię, jak wapno i piasek, posiadają ciepło właściwe wynoszące tylko 0,2. Wysokie ciepło właściwe wody przyczynia się do wyrównania krańcowych temperatur w okolicach nadmorskich, do małej zmienności klimatu wysp; gdyż w lecie ciepło obraca się na rozgrzanie wody, a w zimie ciepło to zostaje przez wodę powoli zwracane. Zima w Irlandyi jest łagodniejszą, niż w Lombardyi, mirta na wolnem powietrzu dobrze się tam przyjmuje, ale wino nie dojrzewa.

Zadania: 626. Po zmieszaniu mas m i m' , o różnych temperaturach t i t' , tegoż samego ciała, jaka będzie temperatura mieszaniny? Rozw. $T = (mt + m't') : (m + m')$. — (Prawidło Richmann'a 1750).

627. Jaka będzie temperatura mieszaniny 8 kil. merkuryuszu na 50^0 z 12 kil. na 10^0 ? Rozw. 26^0 .

628. W pokoju mającym 6^m długości, 3^m szerokości i 5^m wysokości, jest ciepła 20^0 ; w pokoju sąsiednim, długim na 8^m , szerokim 4^m i wysokim na 5^m , temperatura wynosi 10^0 . Jaka temperatura nastąpi, po otwarciu drzwi komunikacyjnych? Rozw. $13,6^0$.

629. Ile wody na 8^0 trzeba dolać do 80 kil. wody na 50^0 , aby temperatura połączenia wyniosła 20^0 ? Rozw. 200 kil.

630. Pomieszano 1000 kil. wody na 0^0 z 600 kil. wody i ogrzano ją przez to do 12^0 ; jaką temperaturę miała woda dolana? Rozw. 32^0 .

631. Jaką temperaturę otrzyma mieszanina 12 kil. merkuryuszu na 50^0 i 10 kil. wody na 12^0 ? Rozw. $13,5^0$.

632. Pomieszano 325 gr. siarku węgla na 18^0 z 400 gr. wody na 20^0 i otrzymano temperaturę mieszaniny $19,7^0$; jakie jest ciepło właściwe siarku węgla? Rozw. 0,2.

633. Dwa ciała, których temperatury są t i t' , a ciepła właściwe c i c' , dają n kil. mieszaniny o temperaturze T ; jakiej użyto ilości każdego z tych ciał? Rozw. Pierwszego $c'n(t'-T) : [c(T-t) + c'(t'-T)]$, drugiego $cn(T-t') : [c(T-t) + c'(t'-T)]$.

634. Woda na 30^0 i olej lniany na 50^0 (ciepło wł. = 0,5) mają dać 20 kil. mieszaniny na 40^0 ; ile trzeba użyć każdego z tych ciał? Rozw. $6\frac{2}{3}$ kil. wody i $13\frac{1}{3}$ kil. oleju lnianego.

635. Jakie jest ciepło właściwe cynku, jeżeli 2 kil. cynku na 80^0 pogrążone w 5 kil. wody na 20^0 , podnoszą jej temperaturę do 22^0 ? Rozw. 0,09.

636. O ile ogrzany zostanie merkuryusz na 0^0 przez równą objętość wody na 100^0 ? Rozw. 224^0 .

637. Rozwiązać to zadanie ogólnie, przyjmując, że ciepła właściwe 2-ch ciał są c i c' , ich ciężary właściwe s i s' , a temperatura jednego = t . Rozw. $tc s : c' s'$.

638. W wydrążeniu bryły lodu wkłada się kulę srebrną, 1 kil. ważącą o 200^0 i otrzymuje się przez to 152 gr. wody na 0^0 ; jakie jest ciepło właściwe srebra? Rozw. 0,06.

639. Jeden kil. stopionego żelaza, wlany we wkłęsłość lodową, stapia 1,37 kil. lodu; jaka jest temperatura topienia się żelaza? Rozw. 1200° .

640. Dla oznaczenia temperatury pieca, wrzuca się weń kulę platynową 200 gr. ważącą, a po ogrzaniu, wrzuca się ją w 1 kil. wody na 20° , który wskutek tego nabiera temperatury 30° ; jak wysoka jest temperatura pieca, jeżeli ciepło właściwe platyny $= 0,03308 + 0,0000042t$? Rozwiązanie. $0,2(t-30)$ ($0,03308 + 0,0000042t$) $= 10$; stąd $t = 1305^{\circ}$.

641. 3 kil. żelaza rozpalonego do czerwoności stapiają w kalorymtrze Lavoisier'a i Laplace'a 2 kil. lodu; znaleźć temperaturę rozpalenia do czerwoności? Rozw. 485° .

642. Ciepło właściwe żelaza wynosi dokładniej $0,1053 + 0,000071t$; jaka jest temperatura kuli żelaznej rozpalonej do białości, ważącej 1 kil., gdy ta w 16 kil. wody na 24° sprawia podwyżkę temperatury o 12° ? Rozw. $1079,5^{\circ}$.

643. Jeden i ten sam strumień elektryczny przepływa po tym samym cienkim drucie, przez 1 kil. wody i przez 3 kil. merkuryszu; woda wskutek tego ogrzewa się do 10° ; o ile merkurysz się ogrzeje? Rozw. $9\frac{2}{3}^{\circ}$.

644. Przez spalenie w kalorymtrze wodnym 1 gr. H, powstaje 34,462 jednostki ciepła; o ile stopni ogrzaniem zostanie takież ciężar alkoholu? Rozw. — $68,924^{\circ}$.

645. Jakie jest ciepło właściwe indium, podług prawa Dulong'a, jeżeli waga atomowa indium wynosi 113,4? Rozw. $6,4 : 113,4 = 0,0569$.

646. Jakie jest ciepło właściwe tlenku indium In^2O^3 , obrachowane z pierwiastków składowych? Rozw. 0,085.

647. Jakiem jest to ciepło podług prawa Neumann'a, jeżeli zasady formy R^2O^3 mają iloczyn $ac = 24$? Rozw. 0,086.

648. Jaka jest zdolność ciepła amonijaku gazowego, obliczona z jego pierwiastków, skoro przy połączeniu N z 3H, objętość gazów 2 razy się zmniejsza? Rozw. 2, przyjmując zdolność ciepła powietrza $= 1$.

649. Znaleźć ciepło właściwe ciężaru gazu amonijaku, przyjmując także ciepło wody $= 1$? Rozw. 0,8.

650. Obliczyć ciepło właściwe objętości i ciężaru dla tlenku azotu N^2O . — Rozw. 1,5 i 0,2342.

651. Obrachować ciepło właściwe $\text{CuO} \cdot \text{SO}_3$, jeżeli dla takich siarczanów iloczyn $ac = 26,5$. Rozw. 0,196.

652. Znaleźć ciepło właściwe $\text{CuO} \cdot \text{SO}_3$ ze złożenia. Rozw. 0,166.

653. Jeden kil. pary alkoholu na 80° przechodzi w węzownicy przez kalorymtr wodny, zawierający w sobie 10 kil. wody na 12° i rozgrzewający się wskutek tego przejścia do 36° ; jakie jest ciepło utajone pary alkoholu? Rozw. $1 \cdot x + 1 \cdot 0,5(80 - 36) = 10(36 - 12)$; stąd $x = 213$.

654. Przez kalorymtr wodny przechodzą 2 kil. pary eteru na 35° ; do jakiej temperatury podniosą się zawarte w kalorymtrze 9 kil. wody na 10° ? — Rozw. $2 \cdot 90 + 2 \cdot 0,5(35 - x) = 9(x - 10)$; stąd $x = 30,5^{\circ}$.

655. Zeuner, podług teorii mechanicznej ciepła dla ciepła właściwego przegrzanej pary, daje stosunkowi $c : c'$ następującą wartość: $1 + \frac{1}{3}T$: ($T = 38,104\sqrt{p}$); tu $c = 0,4805$ jest ciepło właściwe pod stałym ciśnieniem. Cał-

kwowite ciepło przegrzanej pary równa się wtedy $476,11 + c(T-38,104\sqrt{p})$. Obliczyć stąd całkowite ciepło par: nasycającej i przegrzanej. Rozw. Dla nasycającej = 653 jed., dla przegrzanej = 593 jed., z kąd się okazuje korzyść używania pary przegrzanej.

6. Rozchodzenie się ciepła.

Rozchodzenie się ciepła odbywa się w trojaki sposób: 1) Przez promieniowanie, 2) przez przewodnictwo, 3) przez przepływ. Promieniowanie jest udzielaniem się ruchu molekularnego pewnego ciała drugiemu ciału, za pomocą drgań albo fal eteru znajdującego się między nimi; promieniowanie ciepła jest identyczne z promieniowaniem światła; tylko zakres promieni światła jest mniejszy; ogranicza się on bowiem do liczby drgań od 400 do 800 biljonów, gdy tymczasem promienie ciepła zdają się poczynać przy 60 biljonach i rozciągają się aż do 800 biljonów, przy czym jednak w ostatnich 400 biljonach, tworzących, jak wiadomo, światło, działanie ciepła coraz się zmniejsza. Według tej tożsamości promieniowanie ciepła podlega tym samym prawom co i promieniowanie światła. Ciało ogrzewa się przez promieniowanie ciepła tylko wtedy, gdy drgania eteru przechodzą na molekuly ciała, gdy zatem promienie ciepła zostają zaabsorbowanymi przez ciało. Jeżeli nie ma tego wypadku, to fale eteru nieosłabione przechodzą przez ciało i to nie zmienia swej temperatury. To przechodzenie promieni ciepła odbywa się z prędkością właściwą falam eteru, więc z prędkością światła. Promienie ciepła przechodzą zatem próżnię, powietrze i inne ciała z prędkością światła, nie ogrzewając przebieganych przestrzeni ani ciał.

Że gorące, ciemne i świecące ciała rozsyłają promienie ciepła nieogrzewające przebieganych ciał, możemy się łatwo przekonać, gdy odwracając twarz od rozgrzanego pieca, przestaniemy doznawać wrażenia ciepła za pośrednictwem twarzy, dalej z tego, że przy zasłonięciu ekranem termometru przed gorącym piecem, termometr opada, że promienie ciepła ogrzewają ziemię, podczas gdy górne warstwy powietrza, a jeszcze więcej przestrzenie zewnętrzne, pozostają bardzo zimnymi. Rozstrzygający dowód dał Prévost (1811): po jednej stronie fontanny umieścił światło lub gorące żelazo, po drugiej stały termometr, i z natychmiastowego podnoszenia się jego wniósł, że promienie ciepła przechodziły przez warstwy wody stale się odnawiające, a więc pozostające zimnymi. Zmieniono to doświadczenie, przepuszczając przez próżną soczewkę szklaną stale napełniającą ją strumień zimnej wody, ciągle odświeżany; promienie światła koncentrowane soczewką, zapalały hubkę. Widmo słoneczne, równie jak widma płomieni ciał ziemskich przekonywają, że promienie ciepła są identyczne z promieniami światła, że jednak oprócz świecących promieni ciepła zachodzą także i ciemne, jak

o tem wreszcie przekonywa każdy piec gorący, lecz nie żarzący się, że te ostatnie mają łamliwość mniejszą, a ztąd i mniejszą liczbę drgań, ale wywierają większy wpływ cieplikowy. Nie ma wprawdzie żadnych rozstrzygających doświadczeń nad prędkością ciepła promieniującego; każdemu jednak wiadomo, że światło słoneczne i ciepło słoneczne zawsze razem przybywają i znikają, że przeto prędkość ciepła promieniującego zgadza się z prędkością światła.

Przewodnictwo ciepła jest udzielaniem się ruchu molekularnego jednej części ciała drugiej, lub udzielaniem się tegoż ruchu jednego ciała drugiemu, pośrednio lub bezpośrednio sąsiedniemu ciału, za pośrednictwem przejścia ruchu z molekulu na molekulu. Ma tu miejsce przenoszenie się ruchu z molekulu na sąsiedni eter, a z tego na następny molekulu; przewodnictwo więc jest promieniowaniem od cząsteczki do cząsteczki; odbywa się zatem daleko wolniej niż promieniowanie i tylko pod warunkiem bezwyjątkowego ogrzania wszystkich cząstek pośrednich. Ponieważ podczas tego powolnego rozchodzenia się, ciało oddaje swe ciepło otoczeniu, przez promieniowanie i przewodnictwo, przeto temperatura ciała musi być tem niższą, im dalej przewodnictwo się udziela. Gdy oprócz tego molekuly różnych ciał zajmują najróżnorodniejsze względem siebie położenia, więc zrozumieć łatwo, że molekuly te przesyłają ruch molekularny z najrozmaitszą szybkością. Ztąd podział na dobre i złe przewodniki. Najlepszymi przewodnikami są metale, najgorszymi gazy, gdyż duże przestrzenie międzyatomowe tych ostatnich czynią je blizkimi przestrzeni eterycznych i dają przewagę promieniowaniu.

Sztabka metalowa i sztabka drewniana, trzymane w obu rękach, a końcami umieszczone w jednym ognisku, dają nam jasne pojęcie o różnicy między dobrmi i złmi przewodnikami; że jednak między dobrmi przewodnikami zachodzi znaczna różnica, przekonać się można łatwo, używając sztabki srebrnej i sztabki żelaznej; ostatnią można znacznie dłużej trzymać w ręku niż pierwszą. Łatwo się także przekonać, że temperatura sztabki zmniejsza się z odległością od ogniska, lecz prawo tego pomniejszenia się nie łatwe do ujęcia.

Przepływ ma miejsce, gdy masy płynne lub powietrzne, leżące w miejscach niższych, posiadają wyższą temperaturę, niż wyżej będące; wskutek rozszerzalności te masy niższe stają się lżejszymi, jako takie wznoszą się i są przyczyną wyższej temperatury w okolicach wyżej położonych.

W ten sposób odbywa się ogrzanie wody przez ogień umieszczony pod nacyniem; przewodnictwo gra tu bardzo małą rolę, gdyż rozgrzanie płynów za pomocą ognia nad nimi utrzymywanego odbywa się nader powoli. Na tem także polega wznoszenie się prądów powietrza i powstawanie wiatrów, jak również ogrzewanie wody, Perkin'a.

438. Aparaty do studyów nad ciepłem promieniującym (Leslie 1804, Melloni 1831). Zwyczajne termometry merkuryalne wskazują działanie promieni ciepła nie w chwili jego wyjścia, lecz dopiero po pewnym czasie, gdyż mer-

kuryusz potrzebuje pewnego czasu do ogrzania się i rozszerzenia; skutkiem tego dokładne zmierzenie drobnych różnic w ciepłe, za pomocą tego przyrządu jest niemożliwym. Leslie urządził, według myśli Rumford'a, termometr różnicowy, w którym powietrze jest ciałem termometrycznym; powietrze bowiem, przy małym ogrzaniu, bardzo znacznie się rozszerza. Nobili połączył słupek cieplikowy z czułym galwanometrem, tworząc tym sposobem termomultiplikator, będący najczulszym termometrem, i dający różnicę temperatur nawet na $\frac{1}{5000}^{\circ}$; Melloni wynalazł przyrząd, noszący jego nazwisko, i który dozwolił wyprowadzić szereg nowych wniosków z nauki o promieniowaniu ciepła.

Termometr różnicowy Leslie'go składa się z 2-ch kul szklanych, napełnionych powietrzem i połączonych ze sobą rurką szklaną, dwa razy prostokątnie zgiętą; jedna z kul jest poczernioną sadzami. W poziomej części rurki szklanej

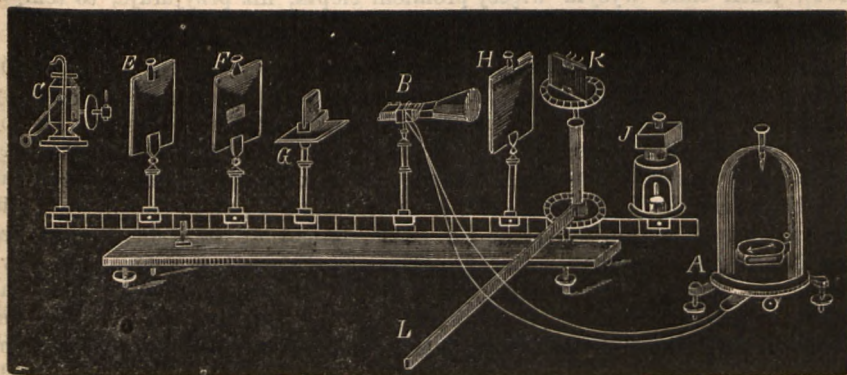


Fig. 10.

posuwa się zafarbowana kropla kwasu siarczanego, której ruchy dają poznać zmianę temperatury. Słupek cieplikowy Nobili'ego jest znanym połączeniem sztabek antymonu i bizmutu, które będąc równej długości, tak są w jeden łańcuch zlutowane, że wszystkie nieparzyste miejsca zlutowań leżą w jednej płaszczyźnie lub linii, wszystkie zaś parzyste w płaszczyźnie albo linii do tamtej równoległej, i że te sztabki razem tworzą równoległoscian prostokątny. Równoległoscian ten jest ujęty w oprawę, która na jednym końcu płaszczyzny zlutowań przechodzi w długi lejek, na drugim zaś końcu ma zasuweczkę. Klamra obejmująca oprawę utrzymuje dwie szruby ściskające, będące w odosobnionem połączeniu z pierwszą sztabką bizmutu i ostatnią antymonu. Melloni umieścił słupek cieplikowy B (Fig. 10) na sztabie mosiężnej, dokładnie podzielonej, z możliwością przesuwania go, a w pewnej odległości galwanometr A; na sztabie umieszczone są, w podobny sposób przesuwalne, źródła ciepła, jako to: lampa Locatelli'ego C, szkiełko Leslie'go J, całe ekrany E i H, ekran z otworem F, prosty

stoliczek G, stoliczek z podziałką koła K, i który za pomocą szyny L na kole podziałowym może być obróconym o kąt żądany, i t. d.

Najciekawszą jest różna prędkość przewodnictwa, badana za pomocą słupka ciepłikowego. Wkłada się na słupkę kolejno zupełnie równe cylindry ze srebra, miedzi, żelaza, bizmutu, kamienia, drzewa i t. d., po nabraniu przez nie temperatury słupka; nie ma wtedy żadnego zбочenia igły. Kładąc jednak na cyłinder zawsze tęż samą platkę żelaza wyjętą z wody gotowanej, zauważymy zбочenie, wymagające do nabrania równej wielkości bardzo rozmaitego czasu.

439. Zjawiska i prawa ciepła promieniującego. I. Wysyłanie. Każde ciało, którego temperatura jest wyższą od bezwzględnego zera, rozsyła promienie ciepła przy każdej temperaturze i otrzymuje je nawzajem; jeżeli przyjmuje w siebie więcej promieni ciepła, niż wysyła, to temperatura jego się podwyższa; jeżeli wysyła tyle promieni, ile przyjmuje, to temperatura jego pozostaje stałą; ciało wtedy znajduje się w równowadze ruchomej (Prévoſt 1804); jeżeli ciało wysyła więcej promieni ciepła, niż przyjmuje, to temperatura jego zniża się.

Drgające molekuly każdego ciała wywierają wpływ poruszający na wokół leżące atomy eteru, gdy na odwrót, atomy eteru działają uderzająco na molekuly ciała; tem się objaśnia stała wymiana ruchów i, niezrozumiała poprzednio, równowaga ruchoma. Z następujących doświadczeń okazuje się, że ciała przy każdej temperaturze promieniują ciepłem: Termometr w zwyczajnej temperaturze opada w bliskości kawałka lodu na -5° , gdyż otrzymuje od niego mniej ciepła, niż sam wysyła. W pokoju zaś, przy 10° zimna, termometr się podnosi za zbliżeniem doń kawałka lodu na -5° , gdyż otrzymuje wtedy więcej ciepła, niż go wypromienia. Przypuścimy, że w pewnym miejscu igła termomultiplikatora wskazuje 0; umieszczając ciało cieplejsze w pobliżu słupka, igła porusza się w pewnym kierunku; zbliżając ciało zimniejsze, igła porusza się w kierunku przeciwnym, gdyż w tym ostatnim razie słupek oddaje więcej ciepła, niż go otrzymuje. Podczas jasnych, długich nocy letnich, pas zwrotnikowy oziębia się aż do punktu marznięcia, przez promieniowanie od ziemi ku zimnym przestrzeniom nieba; to promieniowanie jest także przyczyną tworzenia się lodu w Indyach (420). Na tem polega również powstawanie rosy i szronu.

Przez promieniowanie albo emisję rozumie się pospolicie zjawisko, że pewne ciało więcej ciepła rozsyła, niż go przyjmuje; przeciwnie, przez absorbcję rozumie się zjawisko, że ciało więcej ciepła przyjmuje, niż wysyła; pierwsze ma miejsce, gdy temperatura ciała jest wyższą od temperatury otoczenia, drugie zachodzi w wypadku przeciwnym. Z zasady równowagi ruchomej daje się wyprowadzić twierdzenie, że przy tej samej temperaturze i przy równych zresztą okolicznościach, ciało wysyła toż samo ciepło, które pochłania; słowem, że pochłanianie i wysyłanie są sobie równe. To twierdzenie jest tylko szczególnym przypadkiem prawa pochłaniania Kirchoff'a, rozważanego w 324, i w nauce o cieple ma szczególną ważność, gdyż w wie-

lu razach tylko pochłanianie może być znalezionem bezpośrednio, na mocy zaś powyższej równości otrzymujemy i wielkość wysyłania.

Wielkość wysyłania, ilość wypromienionego ciepła, rośnie z różnicą temperatur: ciała i jego otoczenia, nie przy wszystkich jednak okolicznościach jest do tej różnicy proporcjonalną, i uchYLENIE SIĘ od tej proporcjonalności bywa bardzo rozmaite. Ilość wypromienionego ciepła zależy od natury ciała promieniującego; jest ona najmniejszą dla metalów, większą dla ciał organicznych, a największą dla sadzy. Dalej, wielkość wysyłania zależy od własności powierzchni ciała; pulchne, miękkie, ciemne powierzchnie wypromieniają więcej, niż gładkie, twarde, jasne; chropowate więcej, niż polerowane. Nakoniec, podług Clausius'a (1864), wysyłanie zależy od natury otoczenia.— Według Tyndall'a ilość wypromienionego ciepła zdaje się nie zależeć od stanu skupienia.

Oprócz ilości promieni ciepła bada się także i ich jakość, warunkującą się liczbą drgań. Promienie poniżej 400 bilj. są ciemne i ciepłe, promienie od 400—500 bilj. czerwone albo żółte i ciepłe; mówi się zatem o barwach ciepła i rozumie się przez nie rozmaite liczby drgań eteru w jego cieplikowym działaniu, nie myśląc o podobnej różnicy w działaniu ciepła do tej, jaka ma miejsce przy działaniu światła. Na polu tem mało jednak zbadano. Poniżej 500⁰ ciała promieniają tylko ciepło ciemne; czy w niem atoli zawierają się zawsze promienie od 60—400 bilj. czy nie, jeszcze nie wiadomo. Przy najmniej w cieple słonecznym, z wyjątkiem ciemnego miejsca Fizeau, zachodzą wszystkie te liczby drgań. W cieple żarzącej się platyny znalazł Desains (1868) bardzo małe świecące widmo, a widmo cieplikowe ciemne, takiej wielkości jak także widmo słońca i nieprzerwane. Sól kamienna na 150⁰ podług Magnusa (1869) wysyła przeciwnie, tylko jedną barwę cieplikową, tylko jedną liczbę drgań, jest więc monotermiczną, monochromatyczną jak para sodu, jest barwy jednorodnej; sylwin (KCl) jest prawie monotermicznym, inne zaś ciała rozpromieniają przy 150⁰ różne barwy cieplikowe. Przy 500⁰, podług Draper'a, wszystkie ciała zaczynają żarzyć się czerwono, wypromieniają więc 400—500 bilj. drgań; przy wyższej jeszcze temperaturze występują jeszcze większe liczby drgań, podczas gdy niższe drgania wzmacniają się, tak, że maximum działania leży zawsze po za barwą czerwoną. Zachowanie się par i gazów w tym kierunku bada analiza spektralna. Z tych faktów wniesć można, o ile jest słusznem twierdzenie, że barwa cieplikowa wysłanych promieni zależy nie od natury ciała, lecz od jego temperatury;— podług Knoblauch'a (1847), jest ona także niezależną od barwy ciepła ogrzewającego ciała.

Przez wysyłanie ciała oziębia się; prędkością oziębienia nazywamy zmniejszenie temperatury w jednej minucie. Newton wniósł z doświadczeń, że prędkość ta jest proporcjonalną do różnicy temperatur; Dulong i Petit (1818) znaleźli jednak, że ona, przy tej samej różnicy, dla temperatur wyższych jest większą, niż dla niższych; ponieważ oprócz tego wpływają tu jeszcze: natura ciała, jego ciepło właściwe, wielkość i zdolność wysyłania jego powierzchni, zdolność przewodnictwa otoczenia i inne okoliczności, przeto prawo oziębiania jest zawikłane i jeszcze nie wysłedzone.

Dowody poprzednich twierdzeń albo dają wynaleźć się łatwo z ogólnych praw, albo też są w zupełności niemożliwemi, gdy się odnoszą do szczegółowych własności ciał, własności pochodzących od nieznanych nam różnic w istocie samej materji; sprawdzania tych twierdzeń należą do trudnych poszukiwań experimentalnych. Leslie (1804) umieścił przed zwierciadłem wklęsłym sześcian metalowy napełniony wodą wrzącą; jedna z pionowych ścian sześcianu była pokryta sadzami, a inne warstwami ciał, których promieniowanie, w stosunku do sadzy, miało być oznaczonem; w ognisku zwierciadła umieszczoną była kula termometru różnicowego, pociągnięta sadzami. Przyjmując zdolność wysyłania dla sadzy równą 100, Leslie znalazł: dla papieru 98, żywicy 96, laku 95, krownnglasu 90, lodu 85, miki 80, grafitu 75, ołowiu chropowatego 45, merkuryusza 20, ołowiu białego 19, złota, srebra, cyny i miedzi 12. Melloni znalazł dla blejwajsu również 100, dla kutego polerowanego srebra 10, dla kutego chropowatego srebra 18, dla srebra lanego polerowanego 14, dla srebra lanego chropowatego 11, co się objaśnia w ten sposób, że zrywanie sprawia twardej metal miększym, a powierzchnię metalu miękkiego czyni twardszą. Warstwa pokostu, równie jak warstwa sadzy, zwiększa promieniowanie metalów, i dla obu tych materiałów promieniowanie rośnie z liczbą ich warstw do pewnej oznaczonej granicy. Z powodu silnego wysyłania sadzy, naczynia zakopcone ogrzewają prędzej, niż czyste; piece i rury sadzami okryte lepiej odpowiadają celowi; przeciwnie, rury do ogrzewania wody i powietrza powinny mieć powierzchnię jasną. Co do wpływu kolorów, przytaczano pospolicie doświadczenie Franklina, który kładł na śniegu rozmaitej barwy sukna, i z większego pogłębienia się ciemnych kawałków, wnosił o większem ich pochłanianiu, a stąd i o znaczniejszem wysyłaniu; Tyndall (1861) okazał, że ten wniosek nie może być uważany za ogólne prawo. Okrył on cztery ściany sześcianu Leslie'go, raz różnokolorowym aksamitem, drugi raz materjami różnych barw i nie znalazł wysyłań różnych. Tyndall zaprzeczył również zdaniu Melloni'ego, że delikatne proszki mają promieniowania równe; znalazł raczej przyrost rozsyłania od 35 do 84, w szeregu zaczynającym się proszkiem soli kamiennej, a kończącym się na sadzach. Tyndall (1864) poszukiwał również promieniowania gazów, przepuszczając je około gorącej kuli, a następnie obok lejka słupka cieplikowego; znalazł, że promieniowanie gazów będących pierwiastkami, gazów trwałych jest nieznacznem, lecz dla tlenku węgla, kwasu węglowego i t. d. otrzymywał odchylenia od 12—60°; zwrócił też uwagę na to, że nie tylko tu, lecz i przy ciałach stałych, pierwiastki—metale mają wysyłanie mniejsze, równie jak między parami chlor i brom. Jeszcze bardziej rozstrzygającymi są poszukiwania Tyndall'a nad pochłanianiem, a przez to także i nad wysyłaniem, gdyż

ostatnie jest równe pochłanianiu; szczególnie ważnem jest, poznane przez niego, silne wysyłanie pary wodnej, które także przez Frankland'a (1864) było zaobserwowanem przy przepuszczaniu strumienia pary około lejka słupka ciepłikowego, lecz zaprzeczone przez Magnusa. O tych poszukiwaniach mówić się będzie więcej przy pochłanianiu; z okazji pochłaniania, płyny ściśle uporządkowanemi zostały względnie i do promieniowania, równie jak ich pary; promieniować one mogą bądź ciepłem dostarczonem, bądź własnem ciepłem pochodzącem z zagełszczenia; temu ostatniemu zjawisku Tyndall dał nazwę *promieniowania dynamicznego*. Dla płynów i gazów okazała się zgodność między promieniowaniem dynamicznem i zwyczajnem. Clausius wyprowadził ze swej teoryi nowe twierdzenie, że siły wysyłania w różnych ośrodkach są w odwrotnym stosunku kwadratów z prędkości rozchodzenia się promieni w tych ośrodkach,—twierdzenie, które Quintus Icilius (1866) doświadczalnie stwierdził dla wodoru i kwasu węglowego. Magnus, na krótko przed śmiercią (1870), w ostatniej swej pracy nad promieniowaniem powierzchni chropowatych, doszedł do wniosku, że wysyłanie w tym razie nie zależy od zmienionej twardości, lecz przypisanem być winno zmienionemu stosunkowi załamania promieni ciepła w badanem ciele; że metale mają większy współczynnik łamliwości i dla tego ma miejsce w nich prawie całkowite odbicie wychodzącego z wewnątrz ciepła, a więc mogą one promieniować bardzo nieznacznie; rysy i chropowatości zaś tworzą wiele kątów i ostrzy, przez co uniemożliwionem zostaje całkowite odbicie.

Sprawdzenie doświadczeniem jakości promieni ciepła odbywa się dwoma sposobami: za pomocą analizy spektralnej, i za pomocą przepromieniowań.— W pierwszym sposobie widmo wytworzyć należy za pośrednictwem pryzmatu z soli kamiennej, gdyż inne ciała pochłaniają część przechodzących przez nie promieni, sól kamienna zaś przepuszcza równie dobrze prawie wszystkie barwy ciepła; pojedyncze części widma są badane za pomocą linijnego słupka ciepłikowego,— O drugiej metodzie będzie mowa w nauce diatermiczności.

2. Promienie ciepła idą z ciała ciepłego we wszystkich kierunkach, **440.** w jednorodnym środku po liniach prostych, i działają w odwrotnym stosunku kwadratów z odległości (Melloni).

Te prawa wypływają zarówno z nauki falowania, jak i z tożsamości promieni ciepła i światła. Pierwsze twierdzenie okazać łatwo, gdyż słupek ciepłikowy stawiany w dowolnem położeniu wokoło rozgrzanego ciała, sprawia zawsze ruch igły w tym samym kierunku; drugie twierdzenie udawadnia się cofaniem się igły, gdy na prostej, łączącej słupek ze źródłem ciepła, zostanie umieszczony ekran; trzecie zaś twierdzenie tem, że przy 2, 3, 4 razy większej odległości słupka od większego, powierzchniowego źródła ciepła, np. wielkiej platy metalowej, igła nie zmienia swego położenia; do lejka bowiem dochodzi ciepło od 4, 9, 16 razy większego koła; ponieważ zaś działanie zostało tem samem, więc wpływ ciepła na równą część powierzchni stał się 4, 9, 16 razy mniejszym. Doświadczenie to nie udaje się z termometrem różnicowym Leslie'go, gdyż przy większem oddaleniu padają nań promienie z mniejszemi kątami wyjścia i wzmacniają działanie. Według Leslie'go (1804), działanie promieni ciepła jest proporcjonalnem do dostawy kąta promieniowania, co według Fourier'a (1817), pochodzi ztąd,

że promieniowanie odbywa się nie tylko z powierzchni, ale także i z punktów wewnętrznych do pewnej oznaczonej głębokości.

441. **3. Odbicie i łamanie się promieni ciepła.** Jeżeli promienie ciepła trafiają na ciało, to część ich zostaje zazwyczaj przezeń pochłonięta, zamieniona w ciepło ciała, druga część zostaje odbita nieprawidłowo, inna znowu część odbita prawidłowo, tak, że promień padający i odbity, z prostopadłą leżą na jednej płaszczyźnie i tworzą kąty równe, i nakoniec część ciepła bywa niekiedy przepuszczoną i przy tem załamana, podług znanych obu praw załamania, według których promień padający i załamany, z prostopadłą, leżą na jednej płaszczyźnie, i stosunek wstawy kąta padania do wstawy kąta załamania jest stałym; ten stosunek nazywa się wykładnikiem załamania (Melloni 1835).

Prawa te wypływają, jak wiadomo, z teorii fal ciepła promieniującego i mogą być rozmaicie sprawdzane, najdokładniej za pomocą aparatu Melloni'ego. Jeżeli na stoliczek K (Fig. 10) postawimy zwierciadło tak, że promienie wychodzące ze źródła ciepła J, z prostopadłą do zwierciadła czynią kąt x , dający się odczytać na górnym kole podziałowym, to druga sztaba L musi tworzyć z pierwszą kąt $2x$, odczytać się dający na kole dolnym, jeżeli igła ma dać zboczenie.— Jeżeli na obrotowym stoliczku postawimy pryzmat i obracujemy kąt załamania z kąta padania i wykładnika załamania, to igła zbczy wtedy tylko, gdy położenie sztaby L odpowie temu kątowi. Te prawa były już stwierdzone dawniejszemi doświadczeniami. Mariotte (1680) ustawił naprzeciw siebie dwa kuliste zwierciadła wklęsłe w odległości 20' i zapalił kawałek hubki umieszczony w ognisku jednego zwierciadła, za pomocą rozżarzonych węgli w koszyczku, który znajdował się w ognisku drugiego zwierciadła; przy tem doświadczeniu należy zwrócić uwagę na tożsamość ogniska świetlnego z ogniskiem cieplikowym. Prawa dla zwierciadeł wklęsłych, opierające się na prawach odbicia, stosują się zarówno do ciepła i światła. Ciekawe doświadczenie, mogące służyć za stwierdzenie i prawa, polega na tem, że w jedno ognisko wkłada się lód, a w drugim umieszcza się termometr lub słupek cieplikowy; oba istotnie w tym razie wskażą szybkie zniżanie się temperatury. Sławne doświadczenia ze zwierciadłami wklęsłymi są następujące: Mariotte zapalał proch za pomocą zwierciadła wklęsłego z lodu;— Tschirnhausen urządził w 1687 r. zwierciadło wklęsłe, 6' średnicy mające, z pomocą którego topił srebro i miedź, a dachówkę zeszklił; Buffon połączył setki równych zwierciadeł w ten sposób, że tworzyły razem kuliste zwierciadło, i zapalał drzewo pomazane smołą, w odległości kilkuset stóp; może Archimedes użył podobnego przyrządu do spalania statków (podług Zonarasa) na znacznej odległości. Pod względem naukowym ciekawem jest spalanie dyamentu, dokonane po raz pierwszy przez Akademię Florencką (1694). Stosowanie się praw załamania promieni ciepła zostało pośrednio stwierdzonem oddawna, w podobny sposób, a mianowicie tem, że soczewki wypukłe zbierają tak samo promienie ciepła, jak i promienie światła. Już w „obłokach“ Arystofana, Strepsiadés roztopia za pomocą kryształu palącego, wosk ukrywający w sobie oskarżenie. W roku 1763 zapalano w Anglii proch przy pomocy soczewki z lodu. Berniers robił doświad-

czenia (1774) z 3-stopową alkoholową soczewką, obracającą się za słońcem, i przy jej użyciu topił żelazo, a nawet nadtopił platynę.

Odbicie prawidłowe ma miejsce od powierzchni gładkich, nieprawidłowe zaś (rozpraszanie) od chropowatych. Melloni okazał to, stawiając na stolyczku K zamiast zwierciadła, krąg pokryty z jednej strony blejwajsem, a z drugiej sadzami; pierwsza strona objawiła przy wejściu ciepła silne zboczenie igły, druga zaś nie. Blejwajs więc rozprasza mocno, sadze bardzo słabo. Bliższe poszukiwania Knoblauch'a (1847) wykazały, że ciała rozpraszają różne barwy ciepła w również rozmaitej ilości, jak i rozmaite barwy świetlne, że np. białe ciała rozpraszają promienie jasne mocniej, niż promienie ciemne; ciała czarne rozpraszają jednakowo mało wszystkie promienie, metale zaś rozpraszają je równie silnie;— metale są więc względnie ciepła tem, czem kolor biały względem światła; są one ciepłobiałemi.

4. Rozmaita łamliwość promieni ciepła. Promienie rozmaitych źródeł ciepła, różnej temperatury, równie jak i różne promienie jednego źródła ciepła, mają łamliwość rozmaitą, podobnie jak i promienie światła; najmniejszą łamliwość posiadają ciemne promienie ciepła niskiej temperatury, większą ma ciepło pochodzące ze źródeł błyszczących, i łamliwość jest tem większą, im źródło jaśniej świeci (Melloni 1835, Forbes 1838). Jak już wzmiankowano, barwami ciepła nazywamy promienie o rozmaitej liczbie drgań, albo rozmaicie łamiące. 442.

Rozmaita łamliwość jest koniecznym wynikiem przypuszczenia, że różne barwy ciepła posiadają rozmaitą liczbę drgań. Melloni badał promienie ciepła z rozgrzanej blachy miedzianej, ze spirali platynowej żarzącej się w płomieniu lampki spirytusowej i z lampy Locatelli'ego; znalazł załamania dla pierwszego źródła najmniejszym, dla ostatniego największem; okazało się także, że lampa wypromieniała różne barwy ciepła, gdyż słupek nawet przy większem odsunięciu wytwarzał jeszcze zboczenia. Forbes oznaczył, według metody Wollaston'a, wykładniki załamania przez znalezienie kąta granicznego całkowitego odbicia, którego wstawa, jak wiadomo, równa się wykładnikowi załamania; musiał użyć w tym celu pryzmatu z soli kamiennej, gdyż inne ciała przezroczyste pochłaniają ciemne promienie ciepła, a sól kamienna przepuszcza wszystkie barwy. Wyniki prac jego zgadzają się z prawami Melloni'ego; znalazł on także, że różnorodne źródła ciepła wypromieniają wprawdzie przeważnie jedną barwę, ale przytem także i inne, sąsiedniej łamliwości, że zatem ciepło największej liczby źródeł, podobnie jak światło, jest mieszaniną barw. Było to już znanem dawniej dla ciepła słonecznego (patrz 313). Podług Magnus'a (1869), jednocięplikową jest tylko sól kamienna; jest to jedyne ciało, które wypromienia jedną tylko barwę ciepła. Podług prawa pochłaniania Kirchoff'a, może ono pochłaniać także tylko jedną barwę, i tem się objaśnia poprzednio przywiedziony fakt, że sól kamienna przepuszcza wszystkie barwy, naturalnie z wyjątkiem jednej, którą też, podług Magnus'a, wypromienia. Widać ztąd także, jak ważną jest kwestya zdolności przepuszczania ciepła przez ciało, która w nauce o świetle ma sobie odpowiadającą kwestyę przezroczystości. Ciało przepuszcza tylko te weń wcho-

dzące promienie, których nie pochłania; ponieważ pochłanianie i wysyłanie są sobie równe, więc to ostatnie jest tem mniejsze, im przepuszczanie jest większe.

- 445.** 5. **Pochłanianie** (Melloni 1835, Tyndall 1862—66). Jedna część promieni ciepła fal eteru, które wchodzą w ciała, zamienia się zazwyczaj w ruch molekularny przez to, że atomy eteru udzielają swych drgań atomom ciała; tego rodzaju promienie ciepła utraciły jako takie swe istnienie, ciało, przez pochłonięcie ich, zostało ogrzanem. Według prawa pochłaniania Kirchoff'a, pochłoniętymi zostają te promienie, w których drgania eteru zgadzają się z drganiami ciała; inne nie przestają być ruchem eteru, jako takie przechodzą przez ciało, i po drugiej jego stronie wychodzą jako promienie ciepła.— Ponieważ pochłanianie równa się wysyłaniu, więc doń ściągają się też same prawa, co do pierwszego. Prawa te jednak zwykle się wyprowadzają i udawadniają osobno dla pochłaniania, co nawet jest zwykle prostszem, niż przy wysyłaniu. Pochłanianie jest nieznacznem w ciałach świecących, silnie odbijających, jak również silnie rozpraszających; metale posiadają pochłanianie najmniejsze, sadze zaś największe. Pochłanianie jest rozmaitem dla różnych barw ciepła; gdy sadze pochłaniają równie dobrze wszystkie barwy, biejwajs zatrzymuje w sobie przeważnie ciemne i niektóre jasne, a metale pochłaniają wszystkie barwy w równie nieznacznym stopniu. Z ciał przezroczystych, bezkolorowe pochłaniają najczęściej promienie ciemne, ciała kolorowe — promienie innej barwy. Tyndall znalazł, że pochłanianie trwałych pierwiastków gazowych jest prawie żadnem, przeciwnie, wiele znaczniejszem dla innych gazów i par; że pochłaniania dynamiczne dla różnych gazów i par są w tym samym do siebie stosunku, co i zwyczajne; płyny okazały nietylko ten sam wzajemny stosunek pochłaniań co i ich pary, ale nawet i takie same wielkości pochłaniań, z kąd zawnioskowano, że pochłanianie jest niezależnem od stanu skupienia. Twierdzenie to zyskało nowe poparcie w pracach Desains'a (1867).

Oznaczeniem wielkości albo zdolności pochłaniania zajmowali się: Leslie (1804), który używał zwierciadła wklęsłego, sześcianu i termometru różnicowego, i Melloni (1835), robiący doświadczenia przy użyciu blachy miedzianej, której jedna strona, pokryta sadzami, była zwrócona ku źródłu ciepła, druga zaś, pokryta substancją badaną, ku słupkowi ciepłikowemu. Oba znaleźli, że zdolność pochłaniania sadzy jest równie wielką dla wszystkich barw ciepła, i większą, niż takąż zdolność wszystkich innych ciał; uczynili ją równą 100 i znaleźli, że przy lampie Locatelli'ego, tusz ma zdolność 96, żarząca się platyna 95, miedź na 400^o 87, miedź na 100^o 85; biejwajs dał wypadki dla 4 źródeł = 53, 56, 89 i 100, gumilakka 43, 47, 70 i 72, metal 14, 13,5, 13 i 13, z kąd widać, że różne ciała względem tej samej barwy ciepła, i toż samo ciało względem różnych barw ciepła, przedstawiają rozmaite zdolności pochłaniania; biejwajs pochłania

więcej promieni ciemnych niż jasnych, a rozprasza więcej jasnych niż ciemnych, metale pochłaniają i rozpraszają różne barwy w różnej ilości. Nowsze poszukiwania Delaprevostaye'a i Desains'a pokazują większe różnice między metalami;— stal np., według nich, dla ciepła słonecznego ma pochłanianie 0,42, dla lampy arganckiej 0,34, dla lampy Locatelli'ego 0,175; platyna dla tych 3-ch źródeł 0,39, 0,30 i 0,17, przyjmując zdolność sadzy = 1. Silne pochłanianie sadzy ma zastosowanie przy uczulaniu, przez pokrycie warstwą sadzy, kulek dokładniejszych termometrów, powierzchni słupków cieplikowych i t. d. Względ pochłaniania jest bardzo ważnym przy wyborze koloru ubrania; szklane szyby w cieplarniach ogrodów znajdują swe uzasadnienie w nauce o pochłanianiu; ciepło słoneczne bowiem, po przejściu przez warstwę szkła, zmienia się w ciepło ciemne niskiej temperatury, i jako takie pozostaje pod szkłem, nie mogąc się przez nie wydostać.

Tyndall'owi zawdzięczamy rozległy szereg delikatnych poszukiwań nad pochłanianiem gazów, par i płynów. Zamykał on gazy i pary w długich, szerokich rurach, zamkniętych płatkami soli kamiennej; na jednym końcu rury znajdowało się źródło ciepła, a na drugim słupek cieplikowy zwrócony tak, aby mógł otrzymywać całe ciepło przesłone przez rurę. Kompensując działanie tego ciepła za pomocą drugiego źródła ciepła, umieszczonego po drugiej stronie słupka cieplikowego, Tyndall dał możność wzmocnienia wpływu jednej strony, najmniejszej nawet przewyżce ciepła, i oznaczył za pomocą tej metody kompensacyj ilość pochłoniętych ciemnych promieni ciepła przez gazy i pary. Jeżeli pochłanianie np. dla powietrza i trwałych pierwiastków gazowych pod ciśnieniem 1" = 1, to dla Cl = 60, dla tlenku azotu = 1590, siarkowodoru = 2000, amonijaku = 7260, kwasu siarkawego = 8800; przy użyciu większej liczby rur napełnionych, okazał się mniejszym wpływ drugiej, trzeciej rury, tak, że „działanie sumy mniejszem jest, niż suma działań.“ Uderzającym jest małe pochłanianie Cl i Br, pomimo ich mocnego zabarwienia i stosunkowo silnego działania w związkach chemicznych. Pochłanianie par w porównaniu z powietrzem, pod ciśnieniem 1" jest: dla siarku węgla 62, dla benzolu 242, eteru siarczanego 870, eteru octowego 1195. Dla gazów pachnących, pod ciśnieniem powietrza, pochłanianie jest 30—372 razy większem, niż dla powietrza; dla ozonu, podług temperatury, 30—136 razy większem, niż dla czystego tlenu. Przy wpuszczaniu par i gazów w rurę, wskutek zagęszczenia wytwarza się ciepło, gdy przeciwnie przy wypompowaniu, ciepło zostaje zużytem; Tyndall rozróżnia więc *promieniowanie dynamiczne* i *dynamiczne pochłanianie*; pierwsze dla siarku węgla daje zboczenie 14°, drugie 6°; dla eteru octowego 70° i 43°. Dłuższą, niezupełnie rozstrzygniętą, dyskusyę między Tyndall'em i Magnus'em spowodował pierwszy twierdzeniem, że para wodna pochłania w części promienie ciemne, że np. para atmosferyczna, w dniu szczególnie suchym, przyjmuje w siebie 10% promieniowania ze wszystkich źródeł ciepła, dla niej dostępnych. Tyndall wniósł zdąd, że przynajmniej 10% ciepła pochodzącego z ziemi, zostaje pochwyconem przez najniższą, 10' grubą warstwę powietrza, i uważał to jako ważną wskazówkę dla meteorologii, gdyż promieniowanie pary wodnej jest równem jej pochłanianiu; jako skutek tego promieniowania uważał: znaczne ilości deszczu zwrotnikowego, tworzenie się chmur gromadnych, słupów powietrza wznoszących się niby kapitele, wielkie zimno na wyżynach, gdyż tam pary skraplają się i para traci jeszcze przed jej swe ciepło

przez promieniowanie, dalej szybkie nocne oziębienia w wysokich i suchych okolicach, deszcz bez chmur i t. d. Magnus, którego doświadczenia nad pochłanianiem gazów dały też same rezultaty, co i prace Tyndall'a, znalazł przeciwnie, że powietrze wilgotne prawie nie więcej pochłania co suche, a zachodzące w rurach Tyndall'a pochłonięcie ciepła za wpuszczeniem wilgotnego powietrza, objaśnił tem, że na ścianach rur para się skrapla, a wilgoć ztąd powstała pochłania ciepło.— Desains nakoniec podał twierdzenie, że pochłanianie nie zmienia się ze stanem skupienia, że przeto para wodna, równie jak lód i woda, zagradza przejście promieniom ciemnym, więc je pochłaniać musi; doświadczenia jego nad widmem słonecznym, przy pomocy dokładnego galwanometru, pokazały, że same najbardziej krańcowe ciemne promienie ciepła słonecznego, przechodzą jeszcze przez warstwy wody na 2^{mm} grube, że zatem przez wodę pochłaniane promienie zostałyby udzielone powietrzu; oprócz tego widmo słoneczne okazuje w świecącej części linie pochłonięcia, pochodzące od pary wodnej; mogą się więc one znajdować i w widmie niewidzialnym; przeciwnie, widmo rozżarzonej platyny zawiera wiele promieni pochłanianych przez wodę, a nie można jednak przypuścić, że nieobecność takich promieni w widmie słonecznym jest wyłączną własnością słońca.

Dalsze sprawdzenie swego twierdzenia o parze wodnej otrzymał Tyndall z poszukiwań nad pochłanianiem płynów. Źródłem ciepła była tu lampa elektryczna, t. j. spiralna platynowa, zamknięta w balonie szklanym, którą rozżarzał strumień elektryczny, stale otrzymywany za pomocą reostatu i busoli stycznych. Płyny były zamykane w rodzaju komory z soli kamiennej, a słupek cieplikowy był uczulony za pomocą gorącego sześcianu kompensującego. Okazało się tu także, że pochłanianie rośnie z początku szybko, potem coraz wolniej, do pewnej granicy grubości warstwy; wynosi ono np. dla warstwy wody na 0,02'' grubej 80,7⁰/₀, dla 0,04'' 86⁰/₀, dla 0,07'' 88,8⁰/₀, dla 0,14'' 91⁰/₀, dla 0,27'' 91⁰/₀. Woda okazała największe pochłanianie, dalej idzie alkohol z 67⁰/₀ przy 0,02, potem etery, nakoniec siarek węgla tylko z 5,5⁰/₀. Robiono doświadczenia nad pochłanianiem par w takich ilościach, które były proporcjonalne do ilości płynów; pary, wedlug ich zdolności pochłaniania, uporządkowały się w taki sam szereg, jak i płyny; siarek węgla stanowił koniec najmniejszy, na drugim końcu stały etery i alkohol. Para wodna nie mogła być badaną w ten sposób, gdyż zbyt łatwo skrapla się; ponieważ zaś woda w szeregu płynów idzie zaraz po alkoholu, musi więc i w szeregu par zajmować toż samo miejsce; z czego, podług Tyndall'a, wnioskować należy o silnem pochłanianiu pary wodnej.

Tyndall zastanawiał się dalej nad pochłanianiem ciepła pochodzącego z rozmaitych źródeł, i znalazł je tem mniejszem, im promienie są jaśniejszemi; dla platynowej spiralnej, bardzo słabo błyszczącej, pochłanianie np. pary siarku węgla równa się 6,5⁰/₀, dla takiejże spiralnej rozpalonej do czerwoności 4,7⁰/₀, dla rozpalonej do białości 2,9⁰/₀, dla spiralnej blizkiej punktu topienia się 2,5⁰/₀, dla sześcianu Leslie'go 6,6, dla jasnego płomienia gazu 9,8, dla żaru Bunzen'a 6,2⁰/₀; gdy z pierwszych liczb widać, że ciała przezroczyste pochłaniają silniej promienie ciemne, niż jasne, to z ostatnich liczb wypada, że jasno świecący płomień gazu i żar Bunzen'a zawierają wiele promieni ciemnych.

444. 6. Diatermiczność i termochroza. Pod względem przepuszczania promieni ciepła, ciała rozdzielają się na przepuszczające ciepło czyli *diatermiczne*

i nie przepuszczające promieni ciepła czyli *adiatermiczne*. Ciała diatermiczne mogą być rozdzielonemi na termochroiczne, które przepuszczają tylko pewne barwy ciepła, oznaczonej łamliwości, i dla tego nazywane są także ciepłokolorowemi, i na nieciepłokolorowe ciała, przepuszczające wszystkie barwy ciepła. Własność przepuszczania ciepła w ogóle, nazywa się *diatermicznością*, własność zaś przepuszczania tylko oznaczonych barw ciepła *termochrozą* (Melloni 1835). Ciała przezroczyste przepuszczają najczęściej promienie ciepła świecące, a ciemne promienie osłabiają mniej lub więcej; wyjątek tworzy sól kamienna i sylwin, które dają przejście wszystkim promieniom, oprócz małej liczby promieni (podług Magnus'a 1869), które wysyłają same. Ciała nieprzezroczyste nie przepuszczają żadnych świecących promieni ciepła, lubo niektóre z tych ciał, w dosyć cienkich warstwach, przepuszczają promienie ciepła ciemne: do takich należą: sadze, mika czarna, szkło czarne i roztwór jodu w siarku węgla. Ciała przezroczyste kolorowe są tylko diatermicznemi dla ciepła właściwej im barwy, i udzielają swej barwy każdej, przez nie przesłej, wiązce promieni. Suche, gazowe pierwiastki są więcej jeszcze diatermicznemi dla wszystkich barw ciepła, niż sól kamienna; inne gazy i pary, przeciwnie, nie przepuszczają pewnych promieni (Tyndall 1861—66). Stan skupienia zdaje się nie mieć wpływu na ilość przechodzących promieni.

Ciało przepuszcza te promienie, których nie odbiło od swej powierzchni, ani rozproszyło, ani w sobie pochłoneło; ponieważ pochłonięcie jest zamianą drgań eteru w drgania ciała, ciało więc ogrzewa się wskutek pochłoniętych promieni, przepuszczone zaś promienie w niczem nie zmieniają jego temperatury.— Przepuszczając promienie słoneczne albo promienie innego źródła ciepła przez wodę, a następnie przez lód, ten ostatni nie będzie się topić, gdyż woda pochłoneła już promienie zdolne do ogrzania lodu. Ciała przezroczyste pochłaniają ciemne promienie ciepła, przepuszczają więc jasne; ciała przezroczyste kolorowe pochłaniają wszystkie promienie, z wyjątkiem promieni ich barwy; ciała ciemne pochłaniają jasne promienie i przepuszczają tylko ciemne. Ciała przeto pochłaniają promienie ciepła tej samej barwy, co i barwa promieni świetlnych przez nie zatrzymanych; osłabiają one (Franz 1857) równomiernie ciepło i światło, w czem leży potwierdzenie tożsamości tych ostatnich. Promienie nazywamy światłem wtedy, gdy sprawiają wrażenie na oku, ciepłem wtedy, gdy działają na czucie, na termometr. Pochłanianie, z którego wynika diatermiczność, zachodzi najczęściej już w pierwszych warstwach tak, że do pewnej oznaczonej granicy pochłanianie rośnie z grubością przebieganego ciała, po za tą granicą jednak grubość nie wywiera więcej wpływu na ilość przechodzących promieni; wiązka promieni po przejściu warstw pochłaniających nabrała barwy ciepłikowej ciała, przechodzi więc przez nie bez dalszych strat, niby przez drugą płatkę tegoż samego ciała.

Poszukiwania nad diatermicznością są bardzo liczne. Masson i Jamin (1850) badali różne promienie ciepła słonecznego i znaleźli, że różnorodne świe-

całe promienie ciepła przechodzą w prawie równej ilości przez sól kamienną, wodę, szkło i alun, że przez szkła zafarbowane nie przechodzą inaczej barwne promienie światła i ciepła, zaś promienie światła i ciepła tej samej co szkło barwy przechodzą w równej ilości, i że nakoniec ciemne promienie słońca wychodzą prawie nieostabionemi z soli kuchennej, silnie osłabionemi ze szkła i alunu, a z lodu wcale nie wychodzą.

Melloni badał promienie ciepła z lampy Locatelli'ego, z rozżarzonej spiralnej platynowej, z blachy miedzianej ogrzanej do 390° i z czterech powierzchni bocznych sześciianu Leslie'go. Przez sól kamienną przechodziło 92% promieni ze wszystkich 4 źródeł (strata była wytłumaczoną przez odbicie); przez szkło zwierciadlane przechodziło kolejno 39, 24, 6, 0% , przez gips 14, 5, 0, 0% , przez alun 9, 2, 0, 0% , przez lód 6, 0,5, 0, 0% . Z tablicy Melloni'ego, z której tu zacytowano pojedyncze przykłady, wypływają różne, częścią wzmiankowane już, wnioski: że ciepło tegoż samego źródła składa się z różnych barw ciepłikowych, że także i świecące źródła ciepła wysyłają głównie promienie ciemne, i że po przejściu barwa wiązki promieni zmienia się, przyjmując barwę przebitego ciała, dalej, że ciała przezroczyste, z wyjątkiem soli kamiennej, pochłaniają ciemne promienie ciepła silnie, świecące zaś promienie przepuszczają; że źródła ciepła o temperaturze niskiej wysyłają tylko promienie małej łamliwości, że z temperaturą wzrasta ilość promieni ciemnych, do których przyłączają się także świecące promienie o łamliwości wzmagającej się z temperaturą; nakoniec, że z ciał stałych przezroczystych sól kamienna jest najbardziej diatermiczną, a lód najwięcej adiatermicznym. Do podobnych wyników doszedł Knoblauch (1846); Tyndall (1862) okazał zabarwienie wiązki promieni przez przejście; przez alun, chlōmian potażu lub gips przeszłe promienie wychodzą po przejściu drugiej placki tegoż samego ciała w ilościach 90, 71 i 91% ; strata została przypisaną odbiciu. Również można puścić na kulę szklaną termometru różnicowego silną wiązkę promieni, przez soczewkę skoncentrowanych, nie sprawiając poruszenia płynnego słupka; gdyż promienie, mogące być pochłoniętemi przez szkło i powietrze, są już niejako wybrane i zatrzymane w soczewce, nie działają zatem na kulę. „Używamy szklanych zastłon piecowych, gdyż one przepuszczają przyjazne światło kominkowego ognia, zatrzymując ciepło.“ Na wierzchołkach wysokich gór lodowych spotyka się lodowo zimne powietrze, chociaż słońce w głowę mocno dopieka.

Różne barwy ciepła, jak są rozmaicie przepuszczane, pochłaniane, łamane i rozpraszane, tak też posiadają i odmienne odbicie. De la Prevostaye i Desains (1849) okazali, że ciepło lampy Locatelli'ego, po przejściu przez szkło lub sól kamienną, odbitem zostaje w różnych ilościach od alaju zwierciadlanego, srebra i platyny; toż samo znaleźli dla pojedynczych barw ciepła lampy, rozłożonego za pomocą pryzmatu; barwy te były niejednakowo odbijane przez różne metale. Rozleglejsze badania w tym kierunku dokonaniem zostały przez Knoblauch'a (1845) i Magnus'a (1869): ciepło wypromieniowane z rozgrzanej soli kamiennej zostaje odbitem od fluspatu w ilości 28— 30% , gdy tenże fluspat ciepła innych źródeł odbija tylko 6 — 10% . Srebro odbija 83 — 99% , szkło 6— 14% , fluspat 6— 10% ciepła pochodzącego z innych źródeł; ciepła z sylwimu (KCl) odbija fluspat 15— 17% .

7. Polaryzacja i podwójne załamanie promieni ciepła. Polaryzacja 445.
promieni ciepła przez odbicie została po raz pierwszy ściśle dowiedziona przez Knoblauch'a (1840); czarne zwierciadło szklane pomieszczone w heljostacie odbijało ciągle promienie słońca, pod rozmaitemi kątami; następnie promienie te przechodziły przez pryzmat Nicol'a i padały na słupek cieplikowy, tak, że przez obrót pryzmatu można było znaleźć ilość spolaryzowanych promieni; okazało się, że odbite ciepło już było spolaryzowanym przy kącie padania 25° , jednak polaryzacja zwiększała się do 35° , a potem zmniejszać się zaczęła; największa polaryzacja ma miejsce przy kącie polaryzacyjnym 35° , tak samo jak dla światła. Melloni i Forbes okazali (1835) istnienie polaryzacji przez pojedyncze załamanie; w obu końcach rury metalowej umieszczonymi były ruchome słupki z blaszek miki; na jednym końcu stała rozżarzona spiralna platynowa, wyrzucająca równoległe promienie ciepła przy odpowiednim zastosowaniu dwóch soczewek z soli kamiennej, na drugim końcu znajdował się słupek cieplikowy; przy krzyżowym położeniu słupków mikowych, działanie ciepła było najmniejszym. Magnus przy poszukiwaniach nad żarzącą się płatką platynową znalazł, że jej ciepło jest częściowo spolaryzowanym; ponieważ tu nie zdawała się zachodzić żadna inna przyczyna polaryzacji, jak tylko załamanie się przy wyjściu z powierzchni, więc część ciepła musiała wychodzić z wewnątrz, ząd Magnus wniósł, że i w ciałach adiatermicznych ciepło rozchodzi się za pomocą drgań poprzecznych, atomów ciała i eteru. Aby ten wynik rozszerzyć i do zwyczajnego ciemnego ciepła ciała, okazał Magnus (1868), że ciemne ciepło wypromieniowane z blachy różnych metalów, gorącej na 100° , albo z gorącego szkła, jest także w części spolaryzowanym, gdy dla szkła chropowatego lub sukna nie było śladów polaryzacji; ponieważ dla ostatnich ciał załamanie prawidłowe jest niemożliwym, więc Magnus wyprowadził ztąd wniosek, że polaryzacja pochodzi od załamania, wniosek ten słuszniejszy, że i przewodnictwo ciepła powstaje z drgań poprzecznych.

Istnienie podwójnego załamania promieni ciepła okazaniem zostało bezpośrednio przez Knoblauch'a (1848); przepuścił on wiązkę promieni słonecznych, bardzo wąską, odbitą od heljostatu, przez romboedr spatu wapiennego; liniowy słupek cieplikowy wskazał dwa punkta cieplejsze, oddzielone od siebie przestrzenią zimną.

8. Interferencja i uginanie się promieni ciepła. Fizeau i Foucault 446.
okazali (1847), za pomocą dwóch zwierciadeł nachylonych do siebie pod kątem bardzo rozwartym, istnienie szerokich smug interferencyjnych, i znaleźli, że temperatura średniej jasnej smugi = 36° , a obu bocznych ciemnych smug = 20° . Knoblauch (1859) używał pryzmatu interferencyjnego i lini-

nego cieplikowego słupek, mogącego wskazywać odsunięcia boczne, i obserwował różnice 1° w zboczeniach igły. Ugięcie się wiązki promieni bez interferencji wykrył również Knoblauch (1848); puścił wiązkę promieni przez wiązkę szparę na słupek cieplikowy, prostopadły do wiązki i przesuwany powoli; wiązka promieni okazała się szerszą, niż być powinna wskutek prostoliniowego ograniczenia. Ugięcie się z interferencyą zauważył także Knoblauch (1859) przy użyciu kratki z soli kamiennej; słupek cieplikowy wskazał w środku zboczenie 17° , w pierwszym widmie bocznem $3,5^{\circ}$, pomiędzy niemi 0° . Knoblauch badał nakoniec (1867) barwy interferencyjne ciepła ciemnego, promieniującego, interferencyę ciepła spolaryzowanego, za pomocą nader starannych poszukiwań i znalazł te zjawiska takiemiz jak i dla światła. Np. przy przejściu wiązki promieni przez dwa pryzmaty Nicol'a i umieszczoną między niemi płatkę krystaliczną, działanie, skutkiem obrotu jednego pryzmatu, przechodzi przez bezbarwność i zamienia się w dopełniające.— Tożsamość więc promieni ciepła i światła nie ulega żadnej wątpliwości.

Zjawiska i prawa przewodnictwa ciepła. 1. *Ciała stałe.* Zdolność przewodnictwa ciał stałych jest bardzo rozmaita; srebro jest najlepszym przewodnikiem ciepła; oznaczając jego zdolność przewodnictwa przez 1000, podług Wiedemann'a i Franz'a (1853), wypada dla miedzi 736, dla mosiądzu 231, dla cynku 190, dla cyny 145, dla żelaza 119, dla ołowiu 85, dla platyny 84, dla nowego srebra 63, dla bizmutu 18. Te liczby są tylko stosunkowymi; szukano także (Pelet 1843, Angström 1862) bezwzględnych ilości ciepła, przechodzących przez placki grube na 1^{mm} , o przecięciu 1cm^2 , przy stałej różnicy temperatur 1° , w przeciągu 1 sekundy i oznaczono ten współczynnik przewodnictwa przez k ; średnie jego wartości otrzymać można prawie dokładnie, powiększając liczby Wiedemann'a o $\frac{1}{3}$ część i dzieląc przez 10; tak np. współczynnik przewodnictwa miedzi = 101. Jeżeli grubość ciała = d , a stałe temperatury na obu końcach = a i b , to ilość ciepła przechodzącego przez przecięcie poprzeczne = $k(a-b) : d$. Ponieważ w przypuszczeniu stałej temperatury, z jednej strony, z powietrza, którego temperatura niech będzie c , wchodzi w ciało taka ilość ciepła, jaka na drugim końcu wychodzi z ciała w powietrze, o temperaturze c' , więc $k(a-b) : d = h(c-a) = h'(b-c')$; h i h' nazywają się współczynnikami przewodnictwa zewnętrznego.

447. Teorya matematyczna przewodnictwa jest bardzo zawiłaną; staje się ona prostsą w przypuszczeniu, że przeprowadzone ciepło jest proporcjonalnem do różnicy temperatur. Biot (1816) wykazał za pomocą rachunku wyższego, że w sztabie rozgrzanej na jednym końcu, temperatury maleją w stosunku geometrycznym, gdy odległości od źródła ciepła rosną w szeregu

arytmetycznym, z kąd wypada, podług Despretz'a (1828), że zdolności przewodnictwa ciepła mają się do siebie jak kwadraty z odległości, dla których różnice ciepła względnie do powietrza są sobie równe. Na zasadzie tego twierdzenia Despretz, równie jak Wiedemann i Franz, oznaczali zdolność przewodnictwa. Tylko w ciałach posiadających równą spójność we wszystkich kierunkach, przewodnictwo ciepła jest także we wszystkich kierunkach jednakim, np. w kryształach systemu regularnego. Jest ono jednakowem, podług Senarmont'a (1849), w kryształach innych systemów, np. kwadratowego lub sześciokątnego, we wszystkich kierunkach prostopadłych do osi głównej, w innych zaś, większem lub mniejszem. W systemie regularnym, punkta kryształu, do których dochodzi ciepło w jednakim czasie i w równej sile, leżą na kuli, dla dwóch następnie wzmiankowanych systematów, eliпсоjda obrotowa jest powierzchnią izotermiczną, dla 3-ch ostatnich systematów eliпсоjda trzyosiowa. Knoblauch (1859) znalazł, że i drzewo przewodzi ciepło lepiej w kierunku włókien, niż w kierunku do nich prostopadłym, i Tyndall (1862) odkrył małe różnice między przewodnictwem w kierunku prostopadłym do corocznie nakładających się warstw drzewa, a w kierunku od nich równoległym.

Dawniejsze oznaczenia przewodnictwa ciepła robionemi były za pomocą skrzyni blaszanej Ingenhaus'a; w boczną jej ścianę wkładano badane sztabki, ogrzewane olejem gorącym, wlanym w skrzynię; zewnętrzne części sztabek były pociągnięte woskiem, który topił się tem prędzej, im większem było przewodnictwo sztabki. Ta metoda jednak jest nieściśłą, choćby dla tego, że współdziałała tu także ciepło właściwe, którego wpływ znieść może zupełnie działanie dobrego przewodnictwa. Biot dowiódł swego prawa doświadczalnie, robiąc w sztabie małe wgłębienia, w równych od siebie odległościach, wypełniając je merkuryszem i wstawiając w nie małe termometry. Używając twierdzenia Despretz'a, oznaczył on podług tej metody przewodnictwo ciepła dla różnych ciał; Wiedemann i Franz użyli tego samego sposobu, tylko ich pomiary, dokonane za pomocą cieplikowego słupka, były dokładniejsze.

Senarmont pokrył płatkę kryształu cienką warstwą wosku i ogrzewał tę płatkę w środku, drutem gorącym, w na ten cel zrobionym otworze. Wosk topił się wtedy podług koła lub elipsy, z kąd Senarmont wyprywał wyżej podane wnioski. Knoblauch zastosował podobną metodę do drzewa; Grejss nakoniec robił liczne poszukiwania nad innymi organicznymi ciałami i otrzymywał najczęściej stopienia eliptyczne. Tyndall ogrzewał sześciiany drewniane za pomocą rusztu z drutu platynowego połączonego ze strumieniem elektrycznym i mierzył ogrzanie, po drugiej stronie, za pośrednictwem termomultiplikatora.

Najgorszemi stałemi przewodnikami są ciała organiczne miękkie, gdyż w ich przestrzeniach próżnych zawarte powietrze jest najgorszym zgoła przewodnikiem i, wskutek swego zamknięcia, nie może być ogrzanem przez przepływ. Przez owinięcie słomą lub czemś podobnem, ochraniają się przedmioty od przemrożenia. Nasze ubrania i łożka utrzymują ciepło, gdyż są złemi przewodnika-

mi, a przeto nie pozwalają ujścia naszemu ciepłu; popiół wskutek złego przewodnictwa ma liczne zastosowania przy robotach mularskich, kominach, kasach ogniotrwałych, maszynach ciepłikowych i t. p.; podwójne drzwi i dubeltowe okna utrzymują źle przewodzącą warstwę powietrza między ciepłym pokojem i przestrzenią zimną; źle przewodzący śnieg ochrania rośliny od mrozu; dobre przewodnictwo drucianego pokrowca lampki bezpieczeństwa Davy'ego nie puszcza na zewnątrz żaru płomienia; nie doznajemy sparzenia biorąc za rączki drzwiczek gorących; źle przewodniki są mniej zimnymi przy równym zimnie, niż dobre, a przy równym upale, mniej ciepłymi; merkuryusz na 50⁰ sprawia także same wprężenie gorąca, jak woda na 60⁰, drzewo na 80⁰ i powietrze na 120⁰; dla tego Blagden i Chantrey, dwaj angielscy malarze, mogli pozostawać przez dłuższy czas w piecu piekarskim, w którym gorąco przechodziło punkt wrzenia wody; od szkodliwego wpływu tego znacznego ciepła ciała i skóra ich były zapewne ochronione wskutek zużycia ciepła przez ulatnianie. Proszki są również złymi przewodnikami ciepła.

448. 2. *Ciała płynne i gazowe.* Rozchodzenie się ciepła w ciałach płynnych i lotnych odbywa się pospolicie przez przepływ, gdyż przewodnictwo ich jest bardzo małe; podług Despretz'a (1839), zdolność przewodnictwa wody jest 95 razy mniejszą, niż miedzi; podług Paalzow'a (1868), płyny tworzą następujący szereg: merkuryusz, woda, witriol miedziany, kwas siarczany, witriol cynkowy, roztwór soli kuchennej, w którym pierwszy jest najlepszym, ostatni najgorszym przewodnikiem. Sądzono dawniej, że gazy są bezwzględnie nieprzewodnikami, i że ciepło i zimno rozchodzi się w nich tylko przez przepływ; ponieważ jednak oziębienie tegoż samego, ciepłego ciała, w różnych gazach, nie następuje równie szybko, ponieważ np. drut platynowy, przebiegany przez strumień elektryczny, żarzy się w kwasie węglowym, gdy w wodorze jest jeszcze ciemnym, przeto Magnus (1861) przystąpił do ściślejszych badań, które wskazały zdolność przewodnictwa ciepła bardzo małą dla wodoru, a jeszcze mniejszą dla innych gazów.

Zdolność przewodnictwa płynów ocenia się za pomocą termometrów wprowadzonych w płyn przez boczną ścianę naczynia; płyn ogrzewa się z góry, gorącym olejem lub spirytusem; w doświadczeniu Despretz'a jednostajne ogrzanie wody, z góry, trwało 30 godzin. W ukośnej rurce próbnej można zagotować wodę, gdy tymczasem kawałek lodu leżący na dnie nie ulega stopieniu. Magnus ogrzewał swą przestrzeń gazową, w której znajdował się termometr zabezpieczony od promieniowania, za pomocą wody wrzącej, z góry, i znalazł, że wodór otrzymywał temperaturę wyższą, niż próżnia, inne zaś gazy miały temperaturę niższą, niż próżnia; ten ostatni fakt nie oznacza, według Magnus'a, żadnego nieprzewodnictwa, lecz tylko to, że gazy więcej niż próżnia pochłaniają promieniowania bocznego. Porównyując pochłanianie znane z temi zaobserwowaniami temperaturami, wypadną różnice, pochodzić mogące tylko z przewodnictwa, a które największymi są dla amonijaku i gazu oświetlającego.

ODDZIAŁ ÓSMY.

M a g n e t y z m.

Przyciąganie magnetyczne i siła kierunkowa magnetyczna.

W niektórych miejscowościach znajduje się ruda żelazna, mająca własność przyciągania i utrzymywania małych cząstek żelaza; mineralogowie nazywają ją rudą żelazną magnetyczną, fizycy zaś naturalnym magnesem, a każde ciało mogące przyciągać i zatrzymać żelazo, magnesem. Ta siła może być udzieloną trwale sztabom stalowym, które wtedy nazywają się magnesami sztucznymi; otrzymują one magnetyzm przez pocieranie ich magnesami naturalnymi lub sztucznymi; najkorzystniej używa się w tym celu magnesów sztucznych, najsilniejszych jakie tylko wytworzyć można, elektromagnesów, to jest sztab z żelaza kutego, stojących się magnesami w skutek przejścia elektryczności. 449.

1. Zbliżając magnes do kawałka żelaza zawieszono na nitce, to ostatnie poruszy się, przez powietrze, ku magnesowi i przystanie doń mocno; zawieszając magnes na nitce i zbliżając doń kawałek żelaza, magnes odbędzie ruch, przez powietrze, ku żelazu i przycepi się do niego. 2. Stawiając inne ciała w pobliżu magnesu, to zjawisko miejsca mieć nie będzie. 3. Umieszczając między magnesem i żelazem, papier, szkło, drzewo, przyciąganie będzie zachodzić; żelazo przeciwnie, zmniejszy działanie. 4. Kładąc magnes w opółki żelazne, te nie wszędzie jednakowo nagromadzą się; w dwóch miejscach, dla sztab zwykle na końcach, wisieć będzie najwięcej opółek, między temi dwoma miejscami, ilość opółek maleje bardzo szybko, a w środku odległości dwóch miejsc, nie ma opółek wcale. Kulka żelaza wisząca na nieskręconej jedwabnej nici jest przyciągana przez 2 wspomniane punkta sztaby, z większej odległości, przez inne punkta z coraz mniejszej, a wcale nie jest przyciągana przez punkt środkowy. Z tych doświadczeń wyprowadzają się następujące twierdzenia:

1. Magnes i żelazo przyciągają się wzajemnie. 2. Ciała różne od żelaza nie są przyciągane przez magnesy zwyczajne. 3. Przyciąganie od-

bywa się nie tylko przez powietrze, ale także i przez inne ciała z wyjątkiem żelaza. 4, Przyciąganie magnesu jest najsilniejszym w dwóch miejscach, biegunami zwanych; między biegunami, zmniejsza się ono z odległością, coraz bardziej a w miejscu pośrednim, zwanem pasem obojętnym wcale nie istnieje. Bieguny magnetyczne w sztabie znajdują się blisko końców, ale nie na samych końcach sztaby.

Prawo drugie nie jest bezwzględne; przy pewnym stopniu siły, magnes działa nie tylko na żelazo, ale także na znaczną liczbę innych ciał; te ostatnie są bądź przyciąganymi, bądź odpychanymi przez oba bieguny; ciała przyciągane przez oba bieguny nazywają się *paramagnetycznymi*, zaś odpychane przez oba bieguny, *diamagnetycznymi*; najsilniej paramagnetycznym ciałem jest żelazo i ciała je zawierające; dalej idą nikiel i kobalt; najmocniej diamagnetycznym jest bizmut; nawet jest wiele płynów i gazów bądź paramagnetycznych, bądź diamagnetycznych.

Magnes, oprócz przyciągania, ma jeszcze drugą zasadniczą własność, przyjmowania, oznaczonego położenia, przy zostawionej swobodzie ruchu. Zawieszając swobodnie sztabkę magnetyczną na nie skręconej nici jedwabnej, albo osadzając na pionowym, mosiężnym czopku, agatową skuweczkę z przy mocowaną doń igłą magnesową, to jest wąską sztabką magnetyczną, kształtu wydłużonego rąbu, z biegunami na końcach ostrych, sztabka i igła przyjmą położenie prawie północno-południowe, to jest, jeden, i zawsze ten sam, biegun, zwracać się będzie prawie na północ, drugi zaś na południe. Ta własność nazywa się *siłą kierunkową* magnesu; biegun wskazujący północ nazywa się *biegunem północnym*, przeciwny *południowym*, linija łącząca oba bieguny *osią magnesu*. Przy ścisłym mierzeniu okazuje się, że biegun północny magnesu niezupełnie na północ wskazuje, lecz cokolwiek zbacza od południka; kąt jaki igła magnetyczna czyni z południkiem, nazywa się *zbozczeniem*, a płaszczyzna wierzchołkowa przez igłę poprowadzona, południkiem magnetycznym. Zupełnie swobodna sztaba zawieszona w swym środku, nie przyjmuje również położenia poziomego, które igła, zawieszona drugim sposobem, z konieczności przyjąć musi, lecz biegun północny igły kieruje się u nas na dół; kąt jak igła magnesowa czyni z poziomem, nazywa się *nachyleniem*. Zboczenie wynosi np. w Berlinie teraz 16° na zachód, nachylenie 67° . Dokładniejsze pomiary dokonane w różnych miejscach pokazały że zboczenie i nachylenie zmieniają się z miejscem i czasem. Zboczenie jest zachodniem: w Europie, Afryce i na oceanie Atlantyckim, zaś w Ameryce, i na oceanie Wielkim i w Azji, wschodniem. Na półkuli północnej nachyla się biegun północny, na południowej, biegun południowy.

Więcej szczegółów znajduje się w nauce o magnetyzmie ziemskim.

Siła kierunkowa magnesu ma ważne zastosowanie w kompasie i w bussoli. Kompas morski ma zawieszenie Cardan'a i ołowiany pokrowiec, dla nadania mu

stale położenia pionowego, pomimo wstrząśnień statku. Na kole papierowym są narysowane 32 okolice świata, tak zwana róża wiatrów, papier jest przyklejony do blaszki miki, która jest z igłą stale połączona tak, że punkta ich środków padają na siebie, i że igła wskazuje zawsze dokładnie kierunek północno-południowy na różę wiatrów; róża wiatrów obraca się przeto razem z igłą. Sternik ma w pobliżu opisany przyrząd, a na pokrowcu kompasu są zrobione dwie kreski tak, że linija je łącząca pada na ten kierunek róży wiatrów, po którym statek ma płynąć; sternik więc ma baczność na to tylko, aby wręga okrętu była równoległą do tej linii, a kąt między tą linią i igłą pozostawał ciągle stałym. W kompasach lądowych igła zazwyczaj nie jest złączoną z kołem podziałowym; za pomocą tego kompasu można oznaczyć dokładnie strony świata dla pewnego miejsca tylko wtedy, gdy zboczenie tego miejsca jest znanem. Jeżeli to jest np. zachodniem i wynosi 18° , to pokrowiec nastawia się w ten sposób, że igła zbacza o 18° , dających się odczytać na kole podziałowym umieszczonem nad lub pod igłą; wtedy kierunki okolic świata narysowane na różę wiatrów kompasu, będą kierunkami miejsca. W busoli używanej do mierzenia kątów na niebie i na ziemi, oprócz koła podziałowego jest jeszcze dioptra, albo luneta z nitkami na krzyż; ustawia się ją w wierzchołku kąta, celuje się w kierunku obu jego ramion, a różnica dwóch wskazań igły da szukaną wielkość kąta. Na wskazania kompasu wywierają wpływ masy żelaza znajdujące się na okręcie, szczególnie na okrętach żelaznych; dla otrzymania prawdziwych wskazań, należy powstającą wskutek tego dewiację odliczyć od wskazań kompasu. Dla każdego okrętu marynarki oblicza się, podług Poisson'a wpływ masy żelaza i tą poprawką modyfikują się wskazania kompasu; podobna poprawka robi się i dla okrętów handlowych, gdy w pobliżu kompasu, znajdują się znaczne ilości żelaza. Względ ten jest nader ważnym przy budowłach mieszczących w sobie obserwatorja magnetyczne, gdyż według Gherardi'ego (1863), nawet cegły i dachówki są niekiedy magnetycznymi. — Siła kierunkowa magnesów może być zauważoną także na igłach pływających na wodzie.

Pierwsze odkrycie i pochodzenie nazwy magnesu gubią się w mroku podań. Podług Pliniusza (hist. nat. 36. 25), pochodzi nazwa ta od pasterza Magnes, którego goździe trzewików przytrzymanemi zostały przez ostrza na górze Ida (clavis crepidarum et baculi cuspidibus, cum armenta pasceret); podług Arystotelesa, ma ona pochodzić od Magnezyi na górze Sipylus, na północno-wschód Smyrny, gdzie jednak, według Quenstedt'a, tylko talk się znajduje. Siły kierunkowej mieli już używać Chińczycy, od najdawniejszych czasów, do kierowania się w podrózach. Na zachodzie wielkiego kontynentu została ona zastosowaną do żeglugi morskiej po raz pierwszy w XIV przez Flavia Gioja z Amalfi, według podań historyków; jednak zdaje się, że była już znaną wcześniej. Egipcjacy dawali swym bogom oczy, zwracające się zawsze na wschód, ku rajowi astrologów; Arve Frode, pisarz skandynawski XI stulecia, opowiada, że sławny podróżnik morski Floke Bilgerderson, będąc skłonionym w roku 868 do wyszukania Gardarsholmu (Islandyi), wziął ze sobą trzy kruki jako przewodników, gdyż wtedy podróżnicy morscy krajów północnych nie znali jeszcze „kamienia przewodniczego;“ w XII-m wieku Guyot w prowansalskiej powieści, opisuje igłę, która pływając po wodzie na słońce kierowała się ku północy. Ruda żelazna magnetyczna, która chemicznie jest tleno-tlenkiem żelaza $= \text{Fe}^2\text{O}^3 + \text{FeO} = \text{Fe}^3\text{O}^4$, znajduje się nie tylko w pokładach, ale i w całych górach gnejsu i łupku miko-

wego; Niemcy nie obfitują w nią; za to bogatszą jest północ; okolice Arendalu, Utöen, Danemora w Szwecyi są najślawniejsze i dają najlepsze żelazo, stal angielską; Taberg przy Jönköping na jeziorze Wetter jest bryłą żelaza, wysoką na 400' W Uralu, Wysokaja Gora pod Niżne-Tagilskiem jest dziurkowatą masą żelaza magnetycznego, mającą 1800' dł., 1500' szer. i 250' wysokości; nad jeziorem Wyższem znajdują się wielkie góry żelaza magnetycznego. Świeżo wydobyta ruda jest jednak słabo magnetyczną; silniej magnetycznymi są zardzewiałe części zewnętrzne.

450. **Działanie dwóch magnesów na siebie.** (Jerzy Hartmann w Norymberdze 1543). Ponieważ jeden biegun magnesu kieruje się zawsze na północ chociaż zwróconym będzie na południe, również drugi biegun zawsze się obraca na południe chociaż go na północ zwrócimy, wypada ztąd wniosek, że w dwóch połowach magnesu zachodzi pewna różność, pomimo że one przyciągają i utrzymują żelazo w jednakowy sposób. Dla zbadania tej różności poddają się dwa magnesy wzajemnemu na siebie działaniu, np. dwie igły poziomo, swobodnie kołyszące się na ostrzach, tak zwane igły zboczenia. Zauważymy wtedy, że bieguny północne obu igieł oddalą się od siebie, równie jak i bieguny południowe, że przeciwnie, biegun północny jednej igły zbliży się do bieguna południowego drugiej i utrzymywać go będzie w tem położeniu z pewną siłą. Ztąd wypływa zasadnicze prawo magnetyzmu: *bieguny różno imienne przyciągają się, a bieguny jednoimienne odpychają się wzajemnie.*

Jednoimienne bieguny nazywają się wskutek tego także nieprzyjaznymi, a różnoimienne przyjaznymi. To działanie dwóch magnesów na siebie zachodzi zresztą nie tylko w biegunach, ale także i w miejscach sąsiednich w podobny sposób, lecz z siłą tem mniejszą, im te miejsca leżą bliżej pasa obojętnego. Cała połowa po stronie bieguna północnego działa w ten sposób, równie jak i cała połowa po stronie bieguna południowego; obie połowy jednak działają odmiennie, gdyż co jedna przyciąga druga odpycha, gdy tymczasem, połowy północne wszystkich magnesów działają w równy sposób, gdyż wszystkie one toż samo przyciągają i toż samo, różnoimienne odpychają, a wszystkie połowy południowe toż samo odpychają i toż samo różnoimienne, przyciągają. Ponieważ własność albo siła zawarta w magnesie, nazywa się magnetyzmem, więc powiedzieć trzeba, że są dwa rodzaje magnetyzmu: magnetyzm połowy północnej i połowy południowej, północno magnetyzm i południowomagnetyzm, działające wprost przeciwnie i dla których zasadnicze prawo brzmi ogólniej, jednoimienne magnetyzmy odpychają się, różnoimienne magnetyzmy przyciągają się wzajemnie.

Używa się tej własności do dowiedzenia się czy i jak pewne miejsce ciała, żelaznego jest magnetycznym. Zbliża się to miejsce napróżd do jednego, potem do drugiego bieguna igły; jeżeli ono przyciąga oba bieguny igły, to żelazo w tem miejscu nie jest magnetycznym; jeżeli przyciąga biegun północny, a odpycha południowy, to miejsce jest południowomagnetycznym; jeżeli przyciąga biegun południowy, a odpycha północny, to jest północnomagnetycznym. Odpychanie więc samo może rozstrzygnąć kwestję, przyciąganie, nie.

Zbliżając igłę do bieguna bardzo silnego magnesu, zmienia ona swe położenie i ustawia się tak, że jej biegun przeciwny o ile można zbliża się do bieguna magnesu, jednym słowem, kieruje się ku temu biegunowi; umieszczając blisko niego wiele igieł, to one wszystkie zwrócą swe bieguny przeciwne ku temu biegunowi i zbliżą się doń o ile można. Ponieważ na półkuli północnej, bieguny północne wszystkich magnesów zwracają się do jednego punktu na północy, a na półkuli południowej, bieguny południowe wszystkich magnesów kierują się ku jednemu punktowi na południu, więc wniesić ztąd trzeba, że ziemia sama jest wielkim magnesem, że w półkuli północnej ma ona południowomagnetyzm i biegun południowy, w półkuli zaś południowej północnomagnetyzm i biegun północny. Bieguny magnetyczne ziemi nie zbiegają się z biegunami geograficznymi i tak według rachunków i konstrukcyj, jak również według spostrzeżeń Jana Ross (1831) i James'a Ross (1841) leżą: biegun na północy, prawie na 20° od bieguna północnego geograficznego, na północ od środka zatoki północnej w Ameryce Północnej, biegun na południu, między wulkanami Erebus i Terror w kraju biegunowym południowym, w odległości 15° od geograficznego bieguna południowego. Zamieszanie nazw znika przy oznaczeniu francuzkiem, gdyż Francuzi nazywają biegun igły, zwrócony ku północy, południowym.

Wpływ magnetyzmu. (Aepinus 1759?) 1. Zawiesiwszy na biegunie magnesu kawałek żelaza, można do tego kawałka przyczepić drugi mniejszy kawałek, do tego drugiego, trzeci, np. igłę lub stalówkę, a do téj jeszcze opiłkę żelazną lub coś podobnego. Kawałek żelaza umocowany w bliskości bieguna przyciąga do siebie i utrzymuje opiłkę żelazną, lub inny mały kawałek żelaza. W obu razach, odpadają przywieszzone kawałki za oddaleniem bieguna. Ztąd wypływa twierdzenie: W pobliżu magnesu kawałek żelaza staje się sam magnesem, ale tylko na czas zbliżenia. 451.

2. Jeżeli kawałek żelaza jest umocowany w pobliżu pewnego bieguna północnego to za zbliżeniem igły do końca więcej oddalonego, biegun jój północny będzie odpychany a południowy przyciągany; bliższy koniec kawałka odpycha biegun południowy a przyciąga północny. Sztabka magnetyczna ma zatem, w bliskości północnego bieguna magnesu, południowomagnetyzm, biegun południowy, a w drugiej części północnomagnetyzm, biegun północny; również łatwo przekonać się, że koniec sztaby zbliżony do bieguna południowego staje się biegunem północnym, a drugi koniec biegunem południowym. Wynika ztąd twierdzenie: W pobliżu bieguna magnesu sztaba żelazna ma w bliższym końcu biegun różnoimienny, w odleglejszym końcu jednoimienny.

3. Kawałek żelaza wiszący u bieguna, przylega silniej za zbliżeniem lub położeniem na magnes, jednoimiennego bieguna drugiego magnesu, odpada zaś, przy zbliżeniu lub położeniu na magnes bieguna różnoimiennego; opiłka żelazna odpada również od kawałka żelaza, umocowanego w pobliżu bieguna magnesu, jeżeli do tego kawałka zbliżymy biegun różnoimienny dru-

giego magnesu. W tem doświadczeniu działają na ciało oba różnoimienne bieguny: ponieważ magnetyzm jednego bieguna niszczy działanie drugiego wypada przeto twierdzenie: magnetyzmy różnoimienne znoszą się wzajemnie i zobojeźniają się, jeżeli działają razem z równą siłą.

Pierwsze doświadczenie może być dowolnie powtarzane, bez zmniejszenia siły magnesu; wypada więc, że magnetyzm kawałka żelaza nie jest częścią siły magnetycznej magnesu, co także wpływa i ztąd, że magnesowanie odbywa się bez dotknięcia, lecz przez samo zbliżenie. Nakoniec, sztabka przyczepiona do północnej połowy magnesu, powinna mieć tylko magnetyzm północny, gdyby następował rozdział siły, gdy tymczasem posiada ona oba magnetyzmy i właśnie, w miejscu dotknięcia, magnetyzm różnoimienny. Skoro sztabka żelazna nie otrzymała swego magnetyzmu przez podział, ten magnetyzm przeto musiał się już w sztabie znajdować i, przed działaniem bieguna, oba magnetyzmy musiały być w niej połączonemi, a przez to, według tw. 3, nie mogły objawić swojego istnienia. W skutek działania bieguna połączenie to zostało zniesionem; według zasadniczego prawa, magnetyzm różnoimienny został pociągnięty w zbliżoną część sztabki, a jednoimienny odepchnięty w część odleglejszą. Takie działanie magnesu na ciała magnetyczne nazywa się wpływem. Prawa wpływu, podług powyższego są następujące:

1. W każdym ciele magnetycznem oba magnetyzmy znajdują się na każdym miejscu, w równej ilości i wzajemnie się zobojeźniają.

2. Zbliżając do bieguna ciało magnetyczne w stanie obojętnym, biegun przyciągnie magnetyzm różnoimienny do bliższego końca ciała a odepchnie magnetyzm jednoimienny w koniec odleglejszy.

Na tej zasadzie wyjaśnia się również magnetyczne przyciąganie w ogólności. W bliskości bieguna magnesu bliższa część kawałka żelaza otrzymuje magnetyzm przeciwny, odleglejsza część, równoimienny; bliższa więc będzie przyciągana z powodu swej bliskości, mocniej, niż część dolna odpychana; całe ciało zatem musi się zbliżyć do bieguna magnesu; nie ma innego przyciągania magnetycznego, tylko przyciąganie dwóch różnych biegunów. Każde ciało przyciągnięte staje się na czas przyciągania samo magnesem czasowym. Dalej, za pomocą wpływu objaśnić można najeżanie się opiłek żelaznych na magnesie; każda mała cząstka żelaza ma w punkcie dotknięcia jeden wspólny biegun różnoimienny, a w końcu przeciwnym wspólny biegun jednoimienny; wszystkie więc konce odwrócone odpychają się wzajemnie, oddalają się przeto od siebie jak mogą najdalej. Za pomocą wpływu objaśniają się także krzywe magnetyczne rozciągające się od jednego bieguna do drugiego w krzywiznach eliptycznych, a które powstają wtedy, gdy na sztabkę magnesową położymy tafelkę szkła lub papieru, nasypimy na nią opiłek żelaznych i następnie lekko wstrząśniemy. Objasnia się tem także różnaitość w działaniu sztabki magnesowej, to jest, że przyciąganie magnetyczne

zmniejsza się od obu biegunów ku środkowi, a w pasie obojętnym jest $= 0$; gdyż oba różniamiennie magnetyzmy dwóch połów przyciągają się wzajemnie i mieszają się; w pasie obojętnym oba są równej siły i wzajemnie się znoszą; od pasa obojętnego do bieguna północnego rośnie magnetyzm północny, a magnetyzm południowy maleje, tak że coraz mniejsza część pierwszego jest zobojętniana przez nieznaczne ilości drugiego; przeciwnie rzecz się ma w połowie południowej. Można ztąd zawnioskować, że w połowie północnej przeważa północnomagnetyzm nad południowomagnetyzmem, a w połowie południowej południowomagnetyzm nad północnomagnetyzmem.

Wpływ magnetyczny wyjaśnia nakoniec, dla czego sztaby żelazne szczególnie w położeniu pionowym, jak okucia u okien, stają się powoli magnesami, i u dołu mają biegun północny, a u góry biegun południowy; gdyż południowomagnetyzm naszej półkuli północnej przyciąga do dolnego końca północnomagnetyzm sztaby. Powyżej wskazane działania zachodzą w żelazie kutem szybko i z dość znaczną siłą, ale przejściowo, w stali zaś powoli i słabo, lecz trwale. Przypisywano to dawniej osobnej sile stawiającej opór ruchowi dwóch magnetyzmów ciała. Sądono, że ona jest nieznaczną w żelazie kutem, a wielką w stali, że przeto w żelazie kutem namagnesowanie następuje prędko i łatwo przez rozdział obu magnetyzmów, i że one przez szybkie i łatwe połączenie się sprawiają odmagnesowanie żelaza, że przeciwnie w stali, z powodu wielkiej siły odporowej, rozdział magnetyzmów następuje z trudnością, a jeżeli już raz dokonany został, tylko z trudnością może być zniesionym. W ciałach niemagnetycznych przypuszczano istnienie bardzo wielkiej siły odporowej. Dalej przyjęto, że przezwyciężenie siły odporowej może być przyspieszonym przez niektóre działania. Tak np. sztaba żelazna w bliskości bieguna staje się silniej magnetyczną gdy jest pocieraną; sztaby żelaza stojące na ziemi stają się łatwiej magnesami, gdy zostaną podane uderzeniom z góry na dół.

Skład magnesu. (Coulomb 1789). Łamiąc drut namagnesowany, na 452. dwa kawałki, każdy kawałek będzie magnesem z obu biegunami: północnym i południowym; jeden kawałek ma w miejscu złamania, gdzie przedtem był pas obojętny, biegun północny, drugi kawałek ma biegun południowy; oba poprzednie końcowe bieguny zostają niezmiennymi. To doświadczenie można robić dowolnie często; otrzymuje się coraz mniejsze i słabsze magnesy, ale jednak zawsze zupełne magnesy, o dwóch biegunach. Ztąd wypada, że najmniejsze cząstki magnesu, molekuly nawet, są magnesami, że połowa każdego molekulu ma północno,—druga południowomagnetyzm, i ponieważ przy łamaniu końce zwrócone ku pierwszemu biegunowi północnemu, są biegunami północnymi, a końce przeciwne biegunami południowymi, więc wypada dalej, że końce północne wszystkich molekuluw magnesu leżą po jednej stronie, po stronie bieguna północnego, południowe zaś końce, leżą po drugiej stronie, po stronie bieguna południowego.

Na zasadzie składu magnesu dają się objaśnić łatwo wszystkie zjawiska magnetyzmu: 1, *Przyciąganie*. Jeśli kawałek żelaza zostanie zbliżonym do koń-

ca, ku któremu są zwrócone wszystkie północne końce molekułów, to będzie on bliżej wszystkich tych końców północnych niż południowych, wskutek tego jego południowomagnetyzm zostanie pociągnięty do końca bliższego, i ten południowomagnetyzm będzie silniej przyciąganym przez wszystkie końce północne, aniżeli odpychanym przez odpowiednie końce południowe, gdyż pierwszych bliższym jest niż ostatnich; trwać więc będzie przyciąganie. 2. *Pas obojętny*. W środku magnesu, kawałek żelaza jest zawsze równooddalonym od północnego końca jednego molekuła, i od południowego końca drugiego molekuła, działania te zatem znoszą się. 3. *Malenie przyciągania od końców do środka*. Kawałek żelaza w miejscu pośrednim między końcem i środkiem magnesu ma po obu stronach cząstki różnoimiennie zobojętniające jego działanie; tylko molekuły odleglejsze, nie mające sobie odpowiednich po drugiej stronie uważanego kawałka mogą działać przyciągająco, dla tego przyciąganie jest mniejsze. 4. *Położenie biegunów nie na samych końcach magnesu*. Kawałek żelaza jest nie tylko przyciągany przez sam koniec, lecz przez wszystkie molekuły całego magnesu, z siłą szybko malejącą; gdyby był przyciąganym tylko przez koniec, zbliżyłby się do samego końca, i koniec ten byłby biegunem; ponieważ jednak jest przyciąganym i przez pozostałe części, lecz z mniejszą coraz siłą, więc kierunek wypadkowy działań musi przechodzić przez punkt cokolwiek różny od końca; do tego to punktu głównie zbiegają się cząstki żelazne; ten punkt jest biegunem. 5. Magnesowanie polega na zwróceniu biegunów północnych małych magnesów molekularnych w jedną, a ich biegunów południowych w przeciwną stronę. 6. Siła oporowa jest przeciwdziałaniem temu zwróceniu, stawianem przez magnesy molekularne; jeżeli molekuły same przez się wracają do dawnego położenia ciała jest czasowo magnetycznym; jeżeli zaś zostają w swych położeniach po dokonaniem zwróceniu, to ciało jest trwale magnetycznym. 7. Różnica między para — i diamagnetycznymi ciałami polega na tem, że pierwsze kierują bieguny swych magnesów molekularnych do bieguna różnoimiennego, drugie zaś do jednoimiennego.

O prawdziwości podanego składu magnesu przekonywa doświadczenie: Rurkę szklaną napełnia się opiłkami żelaznymi, zamyka się ją korkiem. i magnetyzuje podług metod wskazanych poniżej. Jeżeli rurka zostanie wstrząśnięta, utraci swój magnetyzm, gdyż pojedyncze cząstki, które stały się magnesami, nie będą mieć swych biegunów w prawidłowem położeniu.

Podług van Rees'a (1847) polarność magnetyczna, siła magnetyczna pojedynczych warstw, t. j. ilość magnesów molekularnych zwróconych do właściwego, magnetycznego położenia, jest największą w pasie obojętnym, a na końcach najmniejszą. Nazwijmy magnetyzmy pojedynczych warstw, poczynając od końca północnego, przez N i S , N_1 i S_1 , N_2 i S_2 . . ., to S będzie zniesionem przez N_1 , również S_1 przez N_2 i t. d., jeżeli wszystkie warstwy mają tę samą polarność; ponieważ jednak na stronie północnej pozostaje przewyżka magnetyzmu północnego, więc musi być N_1 większą niż S , N_2 większe niż S_1 i t. d.; ten wniosek zgadza się z doświadczeniem; przy ułamaniu igły namagnesowanej kawałki środkowe chwytają więcej opiłek żelaznych, niż końcowe.

Okaże się później, że przy tłumaczeniu faktów magnetyzmu można się obejść bez właściwej magnetycznej siły molekułów, bez rozdziału tej siły na 2 rodzaje, i bez rozmieszczania ich w 2-ch połowach molekuła. Podług teorii Ampéra'a,

magnetyzm polega na tem, że molekuly są otoczone strumieniami elektrycznymi a zadaniem magnesowania jest nadanie tym strumieniom równoległego do siebie położenia i jednakowego kierunku.

Wytwarzanie magnetyzmu. Wytwarza się magnetyzm trwały tylko w stali i to przez pocieranie o inne magnesy lub innymi magnesami, bez względu na to, czy one same będą trwałe lub czasowe. Wskutek działania ziemi powstają także trwałe, acz bardzo słabe magnesy. Magnetyzm żelaza kutego jest przejściowy, jednak w żelazie tem może być wzbudzonym nader silny magnetyzm działaniem elektryczności. Metody pocierania są: proste pocieranie, podwójne pocieranie, i pocieranie kołowe; przy pierwszej i trzeciej metodzie pocieranie dokonywa się jednym lub obydwo ma biegunami tylko naprzód, przy drugiej metodzie dwoma przeciwnymi biegunami naprzód i w tył.

Przy pocieraniu pojedynczem (Gilbert 1633 de magnete) ustawia się jeden biegun magnesu w środku sztabki do namagnesowania, i posuwa się ku jednemu z końców sztabki, następnie magnes się podnosi, przynosi się nad sztabką, stawia się jak poprzednio w środku i znowu pociera się ku temu samemu końcowi; to postępowanie powtarza się dosyć znaczną liczbę razy, i służy także dla drugiej połowy sztabki tylko do pocierania używa się bieguna przeciwnego. Działanie tu zachodzące polega na tem, że biegun pocierający zwraca bieguny różnoimienne magnesów molekularnych ku sobie i w tę stronę, w którą odbywa się pocieranie, i że różnoimienne bieguny odwracają się w przeciwną stronę; tym sposobem koniec na którym pocieranie ustaje, otrzymuje zawsze biegun różnoimienny z pocierającym. Zamiast używania kolejno obu biegunów jednej sztabki, można stosować współcześnie bieguny przeciwne dwóch sztabek; umieszcza się je w środku i przesuwa się ku obu końcom, które wtedy otrzymują bieguny wprost przeciwnie pocierającym; ta metoda nazywa się pocieraniem rozdzielonem (Duhamel).

Przy pocieraniu podwójnem (Michell i Aepinus 1760?) umieszcza się bieguny przeciwne dwóch magnesów (za użyciem drewnianego trójkąta), pod kątem 20° w środku sztabki do magnesowania i pociera się w tem samym położeniu współcześnie obiema sztabkami naprzód aż do jednego końca, po tem napowrót przez całą sztabkę, aż do drugiego końca, dalej znowu naprzód przez całą sztabkę do pierwszego końca, powtarza się to dostateczną liczbę razy, i unosi się sztabki w środku. Zamiast używania przeciwnych biegunów dwóch magnesów, można także w ten sposób zastosować sztabkę magnetyczną zgiętą w kształcie podkowy, gdyż forma ta jest dogodną z powodu bliskości obu biegunów. Działanie tu zachodzące jest takie, że bieguny północne molekułów zwracają się do pocierającego bieguna południowego, a bieguny południowe do pocierającego północnego, w czem pomagają sobie oba bieguny pocierające przez przyciąganie i odpychanie; koniec który był pocierany tylko biegunem północnym, otrzymuje biegun południowy i odwrotnie. Obie metody, pojedynczego i podwójnego pocierania mogą być stosowane do wzbudzania magnetyzmu w podkowach żelaznych; najdogodniejszym jest tu magnes w kształcie podkowy, równej grubości, który stawia się prostopadle do poziomo położonej podkowy do namagnesowania; pocieranie odbywa się albo od zgięcia ku końcom, albo w kierunku przeciwnym.

Podług twierdzenia Rees'a, działania będą silniejszymi, jeżeli sztabkę do namagnesowania uczynimy środkową częścią innych sztab lub magnesów, czyli oprzemy sztabkę daną końcami na biegunach różnoimiennych dwóch magnesów; działanie powiększa się także przez pocieranie wszystkich stron sztabki.

Pocieranie kołowe polega na tem, że 4 sztabki stalowe, z których dwie mogą być magnesami, układają się w prostokąt, albo dwie podkowy przykładają się do siebie końcami, albo też przed końcami podkowy umieszcza się płatka z miękkiego żelaza, potem biegun magnesu opiera się w któremkolwiek miejscu, i pociera się nim cały zamknięty obwód, podnosząc magnes w miejscu z którego zaczęło się pocieranie. Widocznem jest, że biegun odwraca od siebie wszystkie jednoimiennie bieguny molekułów, a wszystkie różnoimiennie przyciąga, że przeto pocierana połowa w miejscu gdzie biegun z niej schodzi otrzyma biegun różnoimienny, a tam gdzie biegun magnesu na nią wchodzi, biegun jednoimienny. Podług Dove'go, pocieranie kołowe daje najlepsze rezultaty, gdyż tu płatka albo podkowa przyłożona, stają się również magnesami z biegunami wprost przeciwnymi i wzmacniają działanie przez wpływ.

Dla otrzymania silnych a niezbyt wielkich magnesów łączy się kilka sztabek albo podków w jedną całość kładąc je na siebie biegunami jednoimiennymi; najlepiej używać sztabek różnej długości, zmniejszającej się mianowicie od wewnątrz na zewnątrz; działanie summy nie jest tu równem, lecz mniejszem od summy działań pojedynczych magnesów, gdyż bieguny wzajemnie na siebie wpływają i osłabiają się nawzajem przez przyciąganie magnetyzmu przeciwnego. Wzmacniającą działa armatura to jest oprawa z miękkiego żelaza umieszczona w bliskości bieguna; żelazo miękkie przez wpływ staje się przeciwnie magnetycznem i ściga magnetyzm do bieguna. Ejzenlohr zaprzecza korzyściom pochodzącym z użycia armatur do sztabek połączonych; magnesy naturalne muszą mieć oprawy by używanymi być mogły.

Siła wzbudzonego magnetyzmu zależy od siły magnesów pocierających, od wielkości i twardości stali pocieranej i od liczby potarć; dosięga ona jednak wkrótce pewnej granicy, po zaktórą dalsze pocieranie pozostaje bez wpływu. Ta granica jednak nie jest trwałą, gdyż magnetyzm zmniejsza o pewną ilość swą siłę, która już lata całe niezmienną pozostaje, jeżeli magnes nie jest wstrząsanym albo też odrywającym od przyczepionego doń żelaza. Siła, którą magnes stale zatrzymuje, nazywa się nasyceniem magnetycznem; rośnie ono z twardością stali.

Pocierając różne graniczące ze sobą części długiej sztabki biegunami przeciwnymi, części te stają przeciwnie magnetycznymi i są oddzielone od siebie punktami biegunowymi, zwanymi w tym razie punktami następstwa; punkta te uwiadcniają się przez położenie na sztabie arkusza papieru i posypanie go opilkami żelaznymi. Takie magnesy, z więcej niż dwoma biegunami; nazywają się anormalnymi; powstają one także i wtedy, gdy na końcu długiej sztabki stalowej umieszczonym będzie biegun magnesu na czas krótki.

Największą siłę magnesu możnaby osiągnąć wtenczas, gdyby wszystkie magnesy molekularne zostały zwrócone do jednego położenia i gdyby w tem położeniu niezmiennie wytrwać mogły.

454.

Siła unosząca magnesu. Przez siłę unoszącą magnesu rozumiemy ciężar podniesionego i utrzymywanego, przez magnes, żelaza. Dla znalezienia

siły unoszącej bieguna, szlifuje się go o ile można najrówniej, kładzie się nań równie starannie oszlifowana platka połączona z szalką, na którą kładą się gwichty aż do oderwania platki. Ciężar gwichtów razem z ciężarem szalki i platki, podwojony, daje siłę unoszącą całego magnesu. Siła unosząca podkowy magnetycznej jest znacznie większą od podwojonej siły unoszącej jednego bieguna. Podług Häcker'a (1844) siła unosząca podkowy magnetycznej, o ile można najtwardszej i najsilniej namagnesowanej $T = a\sqrt{p^2}$, gdzie p oznacza ciężar podkowy, a a stały współczynnik = 10,33. Elias'owi jednak (1846) udało się wzmocnić jeszcze siłę unoszącą takich magnesów Häcker'a, zgodnie z tem że Häcker mógł magnesować sztaby do połowy siły unoszącej owych podków, gdy tymczasem podkowy winny mieć siłę unoszącą większą od podwójnej siły unoszącej odpowiednich sztab; siła unosząca nowego magnesu może się wznieść do podwójnej, przez powolne całodzienne dokładanie; po oderwaniu jednak ciężarków schodzi ona do pierwotnej siły. Siła unosząca rośnie wprawdzie z siłą magnetyzmu, ale nie jest jej miarą, gdyż nie jest z nią w prostej zależności, jakby to z wpływu wnosić można, słowem, siła podnosząca nie rośnie w stosunku prostym do kwadratu z napięcia magnetycznego.

Jeżeli mianowicie magnes staje się 3 razy mocniejszym, to przyciąga 3 razy silniej leżącą przed nim platkę; lecz wzbudza w niej także 3 razy silniejszy magnetyzm przez wpływ tak, że 3 razy większe przyciąganie magnesu zostaje znowuż potrojonem, staje się więc 3^2 razy większem. Ten wynik przypuszcza, że dotknięcie platki nie sprawia żadnej zmiany w składzie magnetycznym które to przypuszczenie nie jest usprawiedliwionem. Działanie przez wpływ wyjaśnia także siłę unoszącą podkowy magnetycznej; biegun jej północny przyciąga południowomagnetyzm platki a jej północnomagnetyzm odpycha do bieguna południowego; zupełnie toż samo działanie na platkę wywiera biegun południowy, polarność platki zatem staje się o wiele większą niżeli wskutek działania jednego bieguna, a ztąd i przyciąganie każdego bieguna jest większem w tym razie od jego zwykłego przyciągania; siła więc unosząca jest większą niż podwojona jednego bieguna.

Podług wzoru Häcker'a magnes ważący 0,657 kil. miałby siłę unoszącą 7,807 kil, gdy Elias temuż magnesowi nadał siłę 10 kil. Z tego wzoru wypada powolne zwiększanie się siły unoszącej z ciężarkami, tak że przy 1104 kil. siła unosząca równa się ciężarowi; wynika także z tego wzoru, że stosunek $T : P$ staje się coraz mniejszym przy powiększającym się ciężarze, że jednak przy bardzo małych ciężarkach, siła unosząca znacznie przewyższa ciężar. Hoffer i Logeman przyrządzili bardzo małe magnesy, dla których siła unosząca przewyższała ciężar o więcej, niż wskazuje wzór Häcker'a; Hoffer zrobił magnes ważący 22 luty, a podnoszący 10 funtów, a Logeman magnes ciężki na 1 funt, a mogący unosić 31 funtów; Häcker sam zrobił magnes wagi 1 luta unoszący 32 razy większy ciężar; drugi magnes wagi 1 funta unoszący 12 razy większy ciężar, i trzeci magnes o 40 funtach wagi, zdolny unieść 4 razy więcej; Carl podaje, że przyrzą-

dzał małe magnesy o kilku grammach ciężaru które unosiły więcej niż 100-ną wielokrotność swej wagi: Jamin (1869) zbudował podkowę o 100 kil. która przez 8 dni dźwigała 680 kil., a stale utrzymywała tylko 140 kil. Największą siłę unoszącą posiadają czasowe elektromagnesy, podkowy z miękkiego żelaza, stające się magnetycznymi pod wpływem elektryczności.

455. **Napięcie magnetyczne, moment magnetyczny.** (Gauss *Intensitas vis magneticae terrestris in mensuram absolutam revocata*. 1833). Ponieważ siła unosząca nie jest miarą siły, czyli napięcia magnetycznego, użyto przeto jako miary, drugiego działania magnetyzmu, siły kierunkowej. Ta ostatnia sprawia obrót igły ruchomej około jej środka, obrót igły magnesowej; jeżeli igła jest ustawiona w kierunku odpowiadającym sile kierunkowej, to siła ta nie objawia działania, moment obrotu, iloczyn z siły przez ramię obrotu, jest równym zeru. Jeżeli igła jest w położeniu prostopadłym do jej stałego położenia, to moment obrotu ma wartość największą, gdyż ramię posiada wtedy największą długość. Wystawmy sobie, że ramię siły kierunkowej $= 1$, i przypuścimy, że igła zawiera jednostkę siły magnetycznej, to moment obrotu równać się będzie sile kierunkowej, jeżeli zaś igła ma inną siłę magnetyczną, to moment obrotu będzie tem większy, im większym jest moment tej siły magnetycznej; trzeba więc wtedy siłę kierunkową pomnożyć przez moment magnetyczny igły, aby otrzymać moment obrotu. Moment magnetyczny równa się summie iloczynów napięć magnetycznych wszystkich cząstek igły, przez odległości tych cząstek od osi obrotu, mierzone równoległe do osi magnetycznej. Moment obrotu nadaje igle pewne przyspieszenie i sprowadza ją do położenia końcowego.

Dla wyrażenia momentu obrotu a przez to i siły kierunkowej w miarze bezwzględnej, Gauss i Weber przyjęli za jednostkę tę siłę która massie 1 mgr udziela przyspieszenie obrotu 1^{mm} , w jednej sekundzie, przy ramieniu 1^{mm} . Jeżeli siła kierunkowa jest wyrażoną w takich jednostkach, znaczy to, że byłaby ona w stanie, równej massie nadać w sekundzie przyspieszenie 1^{mm} , w odległości od osi obrotu równej 1^{mm} . Do oznaczenia wielkości siły kierunkowej służy wzór $P = \pi^2 k : t^2$, gdzie k oznacza moment bezwładności (wyrażony w mgr, i mm.) a t czas (wyrażony w sekundach).

Ten wzór wypływa ze znanego wzoru na czas trwania jednego wachnięcia $t = \pi \sqrt{l : g}$, gdzie l , jak wiadomo, równa się odległości punktu przyłożenia siły poruszającej od osi obrotu, a g przyspieszenie udzielone przez siłę poruszającą massie, która zastępuje w punkcie przyczepiania masie poruszającego się ciała. Ponieważ przyjmujemy, że siła poruszająca w naszym zadaniu jest odległą od osi obrotu na 1, więc massa zastępująca równa się momentowi bezwładności igły k , dalej $l = 1$ i nakoniec g , przyspieszenie, równa się sile podzielonej przez massę $= P : k$. Wstawiając te wartości we wzór na t , otrzymamy $t = \pi : \sqrt{k : P}$, zkład $P = \pi^2 k : t^2$. Dla oznaczenia P trzeba mieć wiadomym moment bezwład-

dnosci k i liczbę wachnięć t . Gauss, dla oznaczenia poziomej siły kierunkowej ziemi, zbudował pierwiastkowo swój magnetometr; składa się on z naczynka mo-siężnego zawieszonoego na nitce kokonu, które podtrzymuje sztabkę magnesową, opatrzoną zwierciadłem dokładnie prostopadłem do osi magnetycznej, i z teodo-litu, którego oś pionowa z nicią leży w płaszczyźnie południka magnetycznego i który na swej statywie ma sztabkę 1^m długą podzieloną na mm.; obrazy tych podziałów mogą być widzianemi w zwierciadle. Gdy aparat jest dokładnie ustawiony, wyprowadza się sztabkę magnesową z jej położenia, za pomocą innego magnesu, i obserwuje się czas, w którym jeden i ten sam podział skali przejdzie przez skrzyżowane nici lunety; czas ten wskaże czas wachnięć t . Dla oznaczenia momentu bezwładności k , kładzie się na sztabkę listwę żelazną z dwoma przy-wieszonemi doń równemi ciężarkami, o znanym momencie bezwładności; z po-wstałej wskutek tego zmiany w wachnięciach, można znaleźć moment bezwładno-ści k . W taki sposób oblicza się siła kierunkowa, którą wywiera ziemia jako magnes, na inny magnes; w podobny sposób wyznajduje się siła kierunkowa wy-wierana przez magnes na igłę; jeżeli ta siła przewyższa znacznie wpływ ziemi to zadanie niewiele się różni od poprzedniego, przeciwnie, staje się ono bardzo zawikłanem przy współdziałaniu ziemi. Nawet i w tych wypadkach wywarta siła kierunkowa nie daje doskonałego pojęcia o napięciu magnetycznem, gdyż si-la kierunkowa przy równych napięciach, jest rozmaita dla różnych odległości. Należy nam więc rozważyć jeszcze wpływ odległości.

Zmiana działania magnetycznego z odległością. (Coulomb 1785, 436. Gauss 1833). Jeżeli odległość dwóch magnesów od siebie jest tak mała, że przyciąganie i odpychanie mogą być uważane same w sobie, to ma miejsce prawo: przyciąganie lub odpychanie jest w odwrotnym stosunku do kwadra-tu z odległości. Twierdzenie to udowodnione matematycznie przez Gauss'a, znalezione zostało już oddawna przez Coulomb'a i sprowadzonoem doświad-czalnie dwoma różnemi sposobami: 1) Za pomocą metody wachnięć; 2) Za pomocą wazki skręceń Coulomb'a.

1) Zbliżając igłę swobodnie kołyszącą się na ostrzu, lub zawieszoną na nici kokonu, do magnesu, przyjmie ona względem niego pewne oznaczone położe-nie; wyprowadziwszy ją z tego położenia, igła wskutek przyciągania sztabki ma-gnesowej, powróci do położenia pierwotnego, i na mocy prawa bezwładności, przejdzie po za to położenie, aby dopiero po pewnym szeregu wachnięć wrócić do stanu spoczynku. Wachnięcia są tem szybsze im większą jest siła kierunkowa. Dla czasu wachnięć znaleźliśmy wzór $t = \pi \sqrt{(k : P)}$. Jeżeli igła zostanie umieszczoną w innej odległości, to k pozostanie toż samo, lecz czas wachnięć i siła kierunkowa zmieniają się; niech one będą np. t , i P , wtedy ma-my $t = \pi \sqrt{(k : P)}$. Podniosłszy oba równania do kwadratu otrzymamy $t^2 = \pi^2 (k : P)$ i $t^2 = \pi^2 (k : P)$, albo $P = \pi^2 k : t^2$ i $P = \pi^2 k : t^2$, ztąd $P : P = t^2 : t^2$. Ponie-waż liczby wachnięć n i n , są do siebie w stosunku odwrotnym czasów wachnięć, więc jest $t^2 : t^2 = n^2 : n^2$, a przeto $P : P = n^2 : n^2$, t. j. siły kierunkowe igły, przy różnych odległościach mają się do siebie w stosunku prostym kwadratów z liczby drgań. Coulomb poddał wachaniom igłę 15^c długą, pod wpływem same-go magnetyzmu ziemskiego i naliczył 15 wachnięć na min.; dalej poddał ją także

wachnięciom pod wpływem bieguna wielkiej sztabki odległego od niej na $4''$ i znalazł 41 wachnięć; nakoniec w odległości $8''$ otrzymał 24 wach.; oznaczmy siłę kierunkową magnetyzmu ziemskiego przez E , to według twierdzenia poprzedniego: $E : E + P = 15^2 : 41^2$ i $E : E + P = 15^2 : 24^2$; zkąd $P : P = 41^2 - 15^2 : 24^2 - 15^2$ albo jak 4 : 1, to jest w stosunku odwrotnym kwadratów z odległości $4'' : 8''$.

2. Wążka skręceń Coulomb'a składa się z szerokiego cylindra szklanego pokrytego płatką szklaną przewierconą na osi cylindra; w otwór ten wkitowana jest rurka szklana, która u góry jest opatrzoną okuciem z ruchomym guzikiem; do tego guzika jest przyczepiony cienki srebrny drut, spuszczaający się w cylinder. Okucie jest opatrzone kołem podziałowym i skalówką przytwierdzoną do guzika. Na drucie srebrnym, u dołu cylindra, wisi naczynko mosiężne, na którym leży sztabka magnesowa; na wysokości sztabki ściana cylindra ma także podziały koła. Aparat był tak ustawionym, że sztabka znajdowała się w południku magnetycznym, gdy drut wcale nie był skręconym; oprócz tego oznaczono poprzednio, że dla sprowadzenia igły z południka na kąt 1° , trzeba było zakręcić guzikiem oprawy na 35° , odczytanych na po kole podziałowym okucia, przy pomocy skalówki. Zbliżano potem do bieguna północnego sztabki, biegun północny innego magnesu wprowadzonego drugim otworem w płatec górnej; wskutek tego biegun sztabki został odepchniętym na 24° ; dalej, pokręcano guzikiem dotąd, aż sztabka przyjęła swe pierwotne położenie; potrzeba była 3 obrotów dla zmniejszenia odchylenia do 17° , a 8 obrotów dla zmniejszenia go do 12° , w trzech więc tych przypadkach, odległości miały się do siebie jak 24 : 17 : 12. Odchylenie w pierwszym przypadku, wyrażone w skręceniu nici było $24 \cdot 35^\circ + 24 = 864^\circ$; w drugim przypadku $17 \cdot 35 + 17 = 1692$, w trzecim $12 \cdot 35 + 12 = 3312$; siły odpychające w odległościach 24 : 17 : 12 miały się więc do siebie jak 864 : 1692 : 3312, które to liczby, po przeprowadzeniu łatwego rachunku, okazują zgodność z odwrotnym stosunkiem kwadratów z odległości.

Jeżeli odległość jest tak znaczną, że nietylko samo przyciąganie, lub samo odpychanie sztabki, lecz obie te siły działają razem na igłę, to przyciąganie jest wtedy w stosunku odwrotnym do sześciątów z odległości.

Dowód. Niech bieguny sztabki będą N i S , a igły n i s , długość sztabki $= 2a$, to $Ns = r - a$ i $Ss = r + a$, przyjmując, że N jest do igły zwróconym, i że kierunek igły jest prostopadłym do kierunku sztabki. Jeżeli przyciąganie między N i s w odległ. $l = q$, to w naszej odległości $r - a$ jest ono równem $q : (r - a)^2$; podobnież odpychanie $Ss = q : (r + a)^2$. Ponieważ N jest bliżej niż S , więc przyciąganie przemaga o $q : (r - a)^2 - q : (r + a)^2 = 4arq : (r^2 - a^2)^2$. Jeżeli a jest bardzo małym względem r , to w mianowniku a można opuścić; mianownik będzie wtedy r^4 , więc przyciąganie $= 4aq : r^3$.

457. **Wpływ innych sił na magnetyzm.** a) *Siły mechaniczne.* Wstrząsając sztabkę podczas magnesowania, magnetyzm jej wzmoćni się, wstrząsając zaś magnes gotowy, magnetyzm jego osłabienie. Jeżeli magnes przez magnesowanie przeciwne, zostanie odmagnesowanym, to przez wstrząśnienie odzyska część utraconego magnetyzmu (Wiedemann 1857).

Skręcanie sztabki magnesowej wywiera wpływ szczególny na jej magnetyzm przyczem ma miejsce zajmujące zjawisko, że magnetyzm tak wpływa na skręcanie jak skręcanie na magnetyzm. Trwały magnetyzm sztab stalowych zmniejsza się przy skręcaniu, lecz wolniej niż skręcanie wzrasta; podobnież trwałe skręcanie

żelaznego druta zmniejsza się przez magnesowanie wolniej, niż magnetyzm rośnie. Powtarzane skręcania w jednym kierunku prawie nie zmniejszają magnetyzmu, skręcenie w przeciwnym kierunku sprawia nowe zmniejszenie magnetyzmu. Zupełnie podobnie powtarzane magnesowanie w tym samym kierunku prawie nie zmniejsza skręcania, przeciwnie, magnesowanie przeciwne pierwszemu, sprawia nowe zmniejszenia skręcania. Te i tym podobne zjawiska wykryte przez Wiedemann'a (1859) wskazują, że magnesowanie jest zwracaniem magnesów molekularnych.

b) *Ciepło*. Według dawniejszych doświadczeń (Kupfer) zdolność magnetyczna żelaza miękkiego wzrasta z temperaturą aż do ciemnej czerwoności; Wiedemann okazał, że to ma miejsce przy każdej zmianie temperatury, lecz pierwszej tylko, nawet przy oziębieniu; po za temperaturą ciemnej czerwoności czasowy magnetyzm żelaza zmniejsza się i inne metale paramagnetyczne tracą także w gorącu swój magnetyzm czasowy, nikiel we wrzącym oleju migdałowym, kobalt w temperaturze białości; po oziębianiu, wraca własność magnetyczna, często w wyższym stopniu. Trwałe magnesy słabną przy wyższej temperaturze, nawet przy pewnym stopniu gorąca tracą swój magnetyzm zupełnie. Ruda żelazna magnetyczna traci swą siłę w temperaturze czerwoności, sztaby stalowe już przy 350°. Osłabienie wskutek podwyższki temperatury jest częścią przejściowem, częścią trwałem; nie trwała strata jest największą przy pierwszym ogrzaniu; przy następnych, staje się coraz mniejszą i w końcu wcale nie ma miejsca. Strata trwała, według Moser'a i Riess'a (1830) jest większą dla sztab twardych, niż dla miękkich, dla próżnych większą niż dla pełnych, dla krótkich znacznieszą niż dla długich; rośnie ona z grubością sztaby i z wysokością temperatury.

c) *Światło*. Morichini utrzymywał, że igła stalowa staje się magnetyczną jeżeli jedna jej połowa zostanie umieszczoną w niebieskiej lub fioletowej części widma słonecznego. Panna Sommerville podała, że to samo ma miejsce, gdy jedna połowa igły zostanie owiniętą niebieską wstążką i wystawioną na słońce. Moser i Reiss jednak przekonali, że te wskazania polegają na złudzeniu.

d) *Połączenie chemiczne*. Wiedemann (1865—68) robił poszukiwania nad magnetyzmem soli ciał magnetycznych i otrzymał następujące wypadki: Magnetyzm roztworu solnego jest równy sumie magnetyzmów wody i rozpuszczonej soli, a magnetyzm tej ostatniej jest proporcjonalnym do ciężaru soli zawartego w jednostce przestrzeni, a niezależnym od natury środka rozpuszczającego; ponieważ woda jest diamagnetyczną, więc paramagnetyzm roztworu jest mniejszy niż soli. Magnetyzm roztworu zmniejsza się ze wzrostem temperatury i zmiana ta dla wszystkich soli odbywa się podług tegoż samego prawa. Magnetyzm właściwy, t. j. moment magnetyczny wzbudzony, przez jednostkę siły magnetycznej w jednostce ciężaru soli, pomnożony przez wagę atomową soli, daje iloczyn stały, albo inaczej, czasowy magnetyzm atomu metalu, we wszystkich chemicznych połączeniach jest ten sam; przeciwnie, magnetyzm atomu powiększa się jeżeli roztwór zostaje rozcieńczonym. Godny uwagi wyjątek stanowi bromian miedzi, którego obie części składowe są diamagnetyczne, gdy połączenie ich jest paramagnetycznem.

Magnetyzm ziemi. Z faktu, że igła magnesowa, która jest niezależną 458. od innych magnesów, przyjmuje zawsze względem ziemi pewne oznaczone położenie, że sztaby żelaza stają się magnetycznemi, a za odwróceniem ich zmieniają bieguny, podobnie jak mała sztabka żelazna w bliskości wielkiego

magnesu staje się magnetyczną i zmienia biegunowość przy odwróceniu, wypływa oczywiście to, że ziemia jest magnesem. Ponieważ bieguny północne igieł zwracają się ku północy, a bieguny południowe ku południowi, więc północna półkula ziemi musi być południowomagnetyczną i mieć biegun południowy, a południowa półkula ziemi, musi być północnomagnetyczną i mieć biegun północny. Zadaniem nauki o magnetyzmie ziemskim jest zbadanie magnetycznego stanu ziemi i jego wpływu na inne zjawiska natury, jak również poznanie zmian sprawianych w magnetyzmie pojedynczych ciał przez magnetyzm ziemi. W tym celu należy naprzód zbadać wielkość czyli natężenie magnetyzmu ziemskiego i jego kierunek. Ten ostatni oznacza się ze zboczenia i nachylenia swobodnie zawieszonej igły magnesowej, a natężenie znajduje się dzieląc poziomą siłę kierunkową ziemi przez dostawę nachylenia.

1) Zboczenie jestto kąt zawarty między igłą magnesową i południkiem geograficznym. Mierzy się ona za pomocą koła zboczenia. Dawniejsze koła zboczenia były prostemi bussolami, których linija środkowa była równoległą do lunety; luneta była ustawioną na południku przez prostą wizę ku biegunowi północnemu i wtedy odczytywało się zboczenie, czyli kąt między igłą i linią środkową. Większą dokładność otrzymać można używając magnetometru Gauss'a; ustawia się on naprzód dokładnie w południku magnetycznym, a potem zwraca się na południk geograficzny; wielkość obrotu łątwo jest obrachować z drogi przebieżonej przez krzyż niciany na odbitym obrazie skali; ponieważ instrument ten jest stale połączony z dostrzegalnią obserwatorjum magnetycznego, przeto Lamont (1841) zbudował teodolit magnetyczny przenośny.

Składa się on ze srebrnego koła podziałowego, opartego na płacie mosiężnej, a umieszczonego w drugim przewierconym kręgu mosiężnym, przez który przechodzi czop ruchomy, podtrzymujący trzecie koło mosiężne; na jego przedłużeniu bocznem umieszczoną jest luneta mogąca się obracać w płaszczyźnie pionowej tak, że przedłużenie jej osi przecina oś całego przyrządu; opisana dotąd część teodolitu ustawia się naprzód, a oś lunety umieszcza się na południku geograficznym. Dalej ustawia się pudło z magnesem na najwyższej płacie tak, że dwa razy złamane ściany dolnej prostokątnej szkrzynki mosiężnej są prostopadłymi do osi lunety, i że oś górnej, rurkowej części, w której wisi nić kokonu, pada na oś dolnej części przyrządu. Złamanie górne służy do podniesienia sztabki magnesu i otoczone jest z zewnątrz naczyniem szklannem, złamanie dolne pada na przedłużenie lunety i zawiera zwierciadło stale połączone ze sztabką magnesową i prostopadłe do niej. Zamiast skrzyżowanych nici, znajduje się w lunecie płatek szklany z dwiema wzajemnie do siebie prostopadłymi linijami, których obraz odbity widzieć można przez lunetę w zwierciadle. Po zupełnem ustawieniu przyrządu, obraca się trzecią płatkę tak długo, aż krzyż linijowy pokryje swój obraz w zwierciadle; wtedy luneta jest równoległą do magnesu w południku

magnetycznym; liczba stopni obrotu odczytana na kole podziałowym jest zboczeniem.

Zboczenie jest rozmaitem w jednym czasie na różnych miejscach **459.** i w różnych czasach na jednym miejscu. Jednak są miejsca równego zboczenia; linie łączące miejsca równych zboczeń nazywają się *liniami izogonicznymi* (fig. 11). Linie te przechodzą w ogólności przez oba geograficzne i oba magnetyczne bieguny ziemi. Linija, na której zboczenie = 0, gdzie przeto igły kierują się wprost ku północy; nazywa się *agoną*. Zmiany zboczenia z czasem nazywane są *warjacjami*; rozróżniają się warjacje wiekowe, roczne i dzienne, również warjacje nieprawidłowe czyli *perturbacje*; te ostatnie towarzyszą zazwyczaj *zorzy północnej* i znajdują się w niewyjaśnionym jeszcze związku z *plamami na słońcu*.

Agona (bezkałna), linija 0, wychodzi z bieguna południowego, przechodzi przez biegun południowy magnetyczny, dalej na granicy między Europą i Azją przez biegun północny, następnie przez biegun północny magnetyczny, przerzyna Amerykę północną, Brazylię i wraca do bieguna południowego. Rozdziela ona ziemię na 2-ie części, Europa, Afryka i ocean Atlantycki mają zboczenie zachodnie; Azja, ocean Wielki i Ameryka, zboczenie wschodnie. Na figurze izogony zachodniego zboczenia są wyciągnięte linijami, izogony wschodnie są punktowane.

Zboczenie wzrasta coraz wyżej od agony na wschód i na zachód; w Moskwie wynosi ono 3^0 , w Wiedniu 13^0 , nad Renem 17^0 , w Paryżu 20^0 , w Irlandyji 30^0 ; w Azji zboczenie naprzód powiększa się ku wschodowi, potem zmniejsza się i tworzy nawet w Chinach drugą, zamkniętą agonę, wewnątrz której jest znowuż zachodniem. Izogony przecinają się w biegunach geograficznych i magnetycznych; ostatnie nawet, przed ich odkryciem, obrachowanemi zostały z przebiegu izogony i oznaczonemi tak prawie jak to później obaj Ross'owie znaleźli; biegun północny pod 70^0 sz. pół. i 97^0 dł. z., a biegun południowy pod 66^0 sz. poł. i 146^0 dł. ws. od Greenwich. Wiekowe warjacje zboczenia według obserwacji paryzkich są: $1580 = 11^030'$ ws.; $1618 = 8^0$ za., $1663 = 0^0$, $1700 = 8^0$ za., $1785 = 22^0$ za., $1814 = 22^034'$ za., $1842 = 21^025'$ z. $1853 = 20^017'$ z.; zboczenie wzrastało więc przez 150 lat od 0^0 do $22\frac{1}{2}^0$ z.; gdyby dalszy przebieg był podobnym, wypadłoby 600 letnie wachnięcie igły. Z tych liczb widać, że zboczenie zachodnie zmniejsza się teraz, że zmniejszenie to jest bardzo powolne, ale wzrasta pomalą; wynosiło ono początkowo po roku 1814 zaledwie $1'$ na rok, teraz wynosi $4'$.

Następujące warjacje roczne zostały podane przez Cassini'ego dla Paryża: od stycznia do kwietnia zboczenie wzrasta a następnie do początku lipca maleje, potem znów rośnie do kwietnia. Według najnowszych obserwacji ma to miejsce tylko na czas przyrostu zboczenia zachodniego; w naszej ćwiartce 600 letniego wachnięcia, gdy zboczenie zmniejsza się, jest ono mniejszem począwszy od jesienno porównania dnia z nocą aż do zimowego stanowiska słońca, niż w innym czasie. Warjacje dzienne polegają na tem, że koniec północny, od 8-ej rano do 2-ej po południu posuwa się na zachód, a potem wraca się; dzienna oscylacja wynosi przeciwno $9'$, na równiku jest cokolwiek mniejszą i na dwóch półku-

lach ma miejsce w kierunkach przeciwnych. Warjacja dzienna zmienia się w przeciągu roku; powiększa się także w przeciągu 5 lat, a maleje przez następne 5 lat aby po 10 latach przyjść do poprzedniej wielkości (Perjod Lamont'a). Za zmianą zбочzenia z czasem idzie także zmiana linii izogonicznych i biegunów magnetycznych.

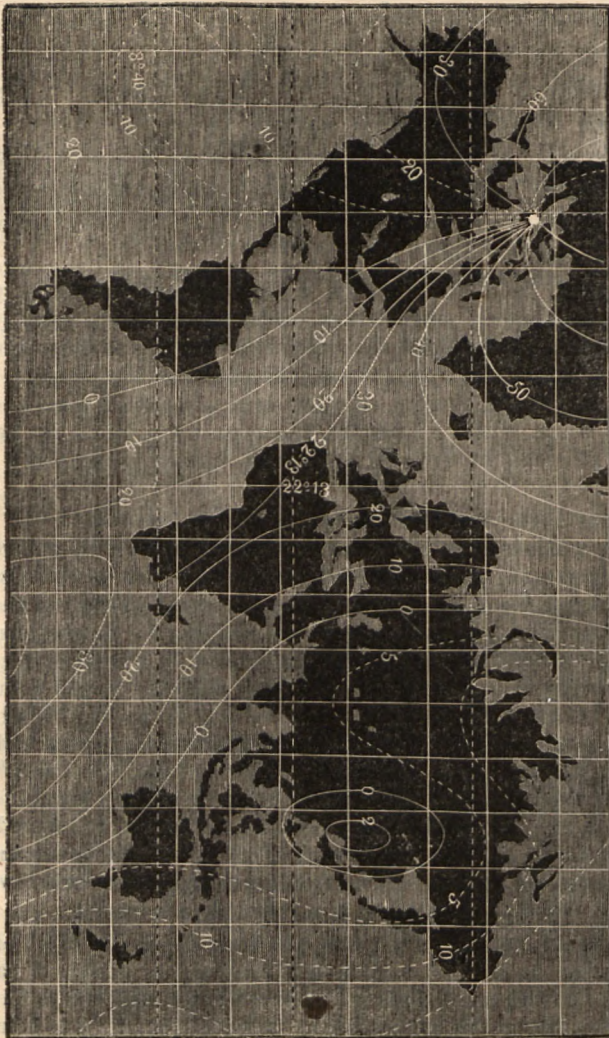


Fig. 11.

Zamieszczona poniżej karta zбочzeń służy na rok 1835. Perturbacje igły zбочzenia pojawiające się współcześnie z zorzą północną, trzęsieniem ziemi i wybuchami wulkanów, polegają na tem, że igła nieprawidłowo, w małych drganiach zwraca się raz na wschód, raz na zachód. Są one współczesnymi i w jednym kierunku dla miejsc o równej szerokości geograficznej, wzrastają ku równikowi, a na południe od niego, zachodzą w kierunku przeciwnym perturbacjom północnym. Podobne perturbacje mają także miejsce na wschód i na zachód tylko zmniejszają swą siłę aż do 0 dla miejsc odległych od siebie na 180° równoleżnika, na drugiej połowie zwiększają się zno-

wuż lecz w kierunku przeciwnym i dochodzą do maximum w miejscu odległym od pierwszego maximum na 180°.

460. 2) Nachylenie (Jerzy Hartmann 1543, Robert Neumann 1576) jestto kąt, który igła magnesowa tworzy z poziomem. Dla oznaczenia nachylenia

igła zawieszona się albo swobodnie w środku ciężkości na nieskręconej nici, albo osadza się na osi poziomej. Przyrząd służący do mierzenia nachyleń, nazywa się kołem nachyleń; w jego budowie musi być dokładnie uwzględnionym warunek, aby oś przechodziła przez środek ciężkości; gdy ten warunek jest spełnionym, to spostrzeżenia nie są jeszcze ściśle, gdyż oś spoczywa na podporach poziomych i powoduje tarcie niszczące pewną część siły kierunkowej. Nowa jeszcze trudność leży w ustawieniu igły z całym przyrządem w południku magnetycznym w tym celu stawia się przyrząd tak, aby igła przyjęła położenie pionowe, a następnie przez obrót na 90° ustawia się go w południku magnetycznym.

Dowód. Jeżeli R oznacza wielkość napięcia magnetycznego ziemi, a i nachylenie, to składowa pozioma $Q = R \cos i$, a pionowa $P = R \sin i$, ząd $\tan g i = \frac{P}{Q}$. Jeżeli igła nie leży w południku magnetycznym, lecz w innej płaszczyźnie wierzchołkowej, czyniącej z południkiem kąt α , to obie składowe w tej płaszczyźnie są równe rzutom składowych południka; pionowa pozostaje tą samą $P' = R \sin i$, gdyż jest równoległą do płaszczyzny wierzchołkowej, lecz pozioma $Q' = R \cos i \cdot \cos \alpha$; nowy więc kąt nachylenia i' dany jest równaniem $\tan g i' = \frac{P'}{Q'} = \frac{R \sin i}{R \cos i \cdot \cos \alpha} = \tan g i : \cos \alpha$. Ząd widać, że i' rośnie z α ; jeżeli $\alpha = 90^{\circ}$, to $\tan g i' = \tan g i : 0 = \infty$, więc $i' = 90^{\circ}$. Igła nachylenia czyni więc kąt najmniejszy z poziomem, gdy znajduje się w południku magnetycznym. Największy kąt nachylenia ma miejsce na kole wierzchołkowym prostopadłym do południka-

Zwyczajne koło nachyleń składa się z długiej igły spoczywającej wraz z poziomą osią na poziomych podkładkach i dokładnie w środku koła pionowego, które może być obracane około swego środka razem z podstawką w kole poziomem podzielonem na stopnie; to ostatnie spoczywa na trójnóżku. Lloyd (1842) i Lamont (1854) wskazali inne metody, przy czem ostatni używa swego teodolitu przenośnego.

Nachylenie równie jak zboczenie jest odmienne w tym samym czasie na różnych miejscach i w różnych czasach na jednym miejscu. Są również miejsca równego nachylenia; linie łączące miejsca jednakowych nachyleń nazywają się *izoklinicznymi* (Fig. 12). Gdy linie izogoniczne mają prawie kierunek południków, linie izokliniczne zbliżają się do równoleżników. Nachylenie jest północnem na półkuli północnej, t. j. biegun północny jest skierowany na dół, na południowej zaś półkuli nachylenie jest południowem. Wynosi ono na biegunach magnetycznych ziemi 90° i zmniejsza się ku równikowi; w okolicy równika nachylenie = zeru, igła jest więc poziomą. Linia łącząca miejsca nachyleń równych zeru nazywa się *równikiem magnetycznym*; przecina on równik geograficzny dwa razy i oddala się od niego do 20° . Nachylenie ma również warjacje wiekowe, roczne i dzienne, podobnież i perturbacje.

Na naszej karcie równik magnetyczny, linija O jest narysowany wyraźniej, a biegun północny około którego przechodzi izokliniczny a 85° jest uwidoczniiony w postaci białego punktu. Nachylenie było w Pryżu 1661 = 75° , 1758 = 22° , 1805 = 69° , 1851 = 68° ; zmniejsza się więc ono; to zmniejszanie się jednak,

przeciwnie jak przy zboczeniu, maleje; podług Lamont'a ubytek ten w Monachium wynosi obecnie przecięciowo 2,3 rocznie. Są jednak miejscowosci, gdzie nachylenie rośnie, np. od 1820 — 30 w ziemi Kapskiej. Bliższych szczegółów o warjacjach rocznych i dziennych jeszcze nie wiemy. Warjacje zostały dopiero odkrytymi w 1722 przez sławnego zegarmistrza Graham'a.

Natężenie magnetyzmu ziemskiego znajduje się z poziomej siły kierunkowej ziemi dzieląc ją przez dostawę kąta nachylenia: gdyż natężenie działa w kierunku swobodnie zawieszonej igły magnetycznej a więc w kierunku igły

nachylenia. Ponieważ ona czyni z poziomem kąt i , więc składowa pozioma natężenia $P = R \cdot \cos i$, z kąd $R = P : \cos i$. Dla oznaczenia poziomej siły kierunkowej służy wzór $P = \pi^2 k : t^2$ i magnetometr Gaussa (455). Przy

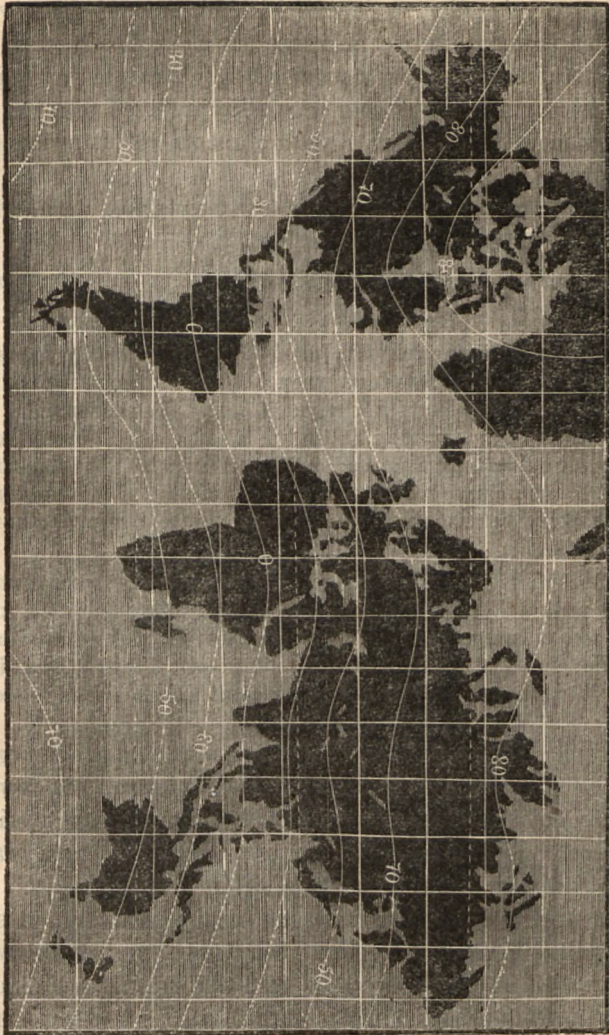


Fig. 12.

ściślejszem postępowaniu, metoda ta daje także średnie miejsce za pewien czas. Do obserwowania zaś chwilowych zmian poziomej siły kierunkowej służy bifilarmagnetometr Gauss'a (1836). Napięcia magnetyczne, oznaczone dla różnych miejsc, podług metody Gauss'a, pozwalają na najdokładniejsze porównanie ich między sobą; prostsza, lecz mniej ścisła metoda (używana przez Aleksandra Humboldt'a w jego amerykańskiej wyprawie) posiłkuje się twierdzeniem (456), że poziome siły kierunkowe mają się do siebie jak kwadraty z liczby wachnięć. Wprawia się w wachania jedną i tę samą igłą na różnych miejscach, pod wpływem magnetyzmu ziemskiego, wtedy $P:P, = n^2:n^2$, a ztąd $R:R, = n^2 \cos i, : n^2 \cos i$.

Magnetometr dwufilarowy składa się ze sztabki magnezowej, spoczywającej w naczynku, utrzymywanej za pomocą dwóch długich drutów przyczepionych do nakrycia; sztabka ma kierunek prostopadły do igły zboczenia i najmniejsza zmiana w napięciu sprawia obrót sztabki, który jest obserwowany, jak przy magnetometrze jednofilarowym, za pomocą lunety i zwierciadła.

Siła magnetyczna ziemi jest według Gaussa, równą sile sztabki magnezowej, ważącej 8464 tryljony funtów; jest ona najmniejszą prawie na równiku magnetycznym i wzrasta z oddaleniem od niego; *linijam izodynamicznemi* nazywamy linije łączące miejsca równego napięcia; mają one prawie ten sam przebieg, co i linije izokliniczne. Punkta największego napięcia, nie wypadają jednak w biegunach; na półkuli północnej znajdują się dwa punkta maximum, jeden w Ameryce Półn., a drugi w Półn. Azji; napięcie w nich jest prawie dwa razy tak wielkie jak na równiku.

Zadania: 658. Okazać, że działanie wspólne magnesów molekularnych 462. nie może się objawiać we wszystkich kierunkach?

659. Objąsnić działanie przyciągające biegunów różnoimiennych i odpychające jednoimiennych, za pomocą jednakowego skierowania magnesów molekularnych?

660. Objąsnić działanie pojedynczego pocierania biegunem północnym na magnesy molekularne?

661. Działanie pocierania rozdzielonego dla posuwającego się naprzód południowego bieguna?

662. Działanie bieguna północnego przy pocieraniu podwójnem?

663. Działanie bieguna południowego przy pocieraniu kołowem?

664. Objąsnić wpływ wstrząsania przy magnesowaniu i na magne gotowy?

665. Porównać skręcenie i magnesowanie i wyprowadzić ztąd niektóre twierdzenia Wiedemann'a?

666. Wyjąsnić wpływ ciepła uwzględniając sprawioec przezeń zmniejszenie atrakcyi magnesów molekularnych?

667. Jakie położenia przyjmuje igła, oprowadzana około pewnego bieguna?

668. Dla czego magnes wolny traci na sile unoszącej?

669. Objaśnić siłę magnetyczną między biegunami podkowy magnesowej?
670. Zanurzając podkowę magnesową w proszek żelaza, tworzy się rodzaj mostu, który zapalony w jednym końcu, przepala się w masę zbitą magnetyczną; dla czego?
671. Jaka jest siła unosząca magnesu ważącego 1 kil., podług wzoru Hacker'a? Rozw. $T=10,33\sqrt{1^2}=10,33$ kil.
672. Jaki jest według wzoru Hacker'a, ciężar magnesu, mogącego unieść swój własny ciężar? Rozw. $P=a^3=1104$ kil.
673. Jaka jest siła kierunkowa igły czyniącej kąt α z położeniem zбочenia, gdy ta siła w położeniu prostopadłym $=P$. Rozw. $P \sin \alpha$.
674. Jak wielką jest siła kierunkowa przy 30° ? Rozw. $\frac{1}{2}P$.
675. Jak się mają do siebie napięcia magnetyzmu ziemskiego na dwóch miejscach, w których też sama igła dokonywa 70 i 80 wachnięć na minutę? Pozw. 49:64.
676. Ile wachnięć wykonywa igła w punkcie maximum, jeżeli na równiku magnetycznym czyni ich 50 w minucie? Rozw. 200.
677. Jak znaleźć zбочenie magnetyczne za pomocą koła nachyleń? Rozw. Przez minimum nachylenia do poziomu.
678. Ustawiając igłę nachyleń, naprzód w południku magnetycznym, a potem w płaszczyźnie do niego prostopadłej, i wprawiając w obu razach igłę w wachania, z liczb wachnięć n i n' można obliczyć nachylenie; jak? Rozw. Na południku magnetycznym działa cała siła R , w płaszczyźnie do niego prostopadłej, tylko składowa pionowa $R \sin i$; wypada ztąd $\sin i = n^2 : n',^2$.
679. Niech liczba wachnięć na południku, w minucie wynosi 15, a na płaszczyźnie doń prostopadłej 14; jakie jest nachylenie? Rozw. $87,1^\circ$.

ODDZIAŁ DZIEWIĄTY.

Elektryczność.

1. Elektryczność przez tarcie.

Zasadnicze zjawiska elektryczności. (Gilbert, de magnete 1600). Po- 463.
cierając sztabkę szklaną kawałkiem kauczuku, albo sztabką żywiczną kawałkiem futra, sztabki te i kawałki nabywają własności przyciągania, a po dotknięciu odpychania lekkich ciałek, jak również wydawania trzeszczących, kolących iskier za zbliżeniem palca. Ciała posiadające tę własność nazywają się *elektrycznemi*, a nie znana nam w swej istocie siła, którą te ciała posiadają, nazywa się *elektrycznością*.

Starożytnym Grekom znaną już była własność bursztynu przyciągania i odpychania lekkich ciał, (*ἤλεκτρον*, elektron, bursztyn), i od nich pochodzi nazwa elektryczności. Można spostrzedz przyciąganie na lasce laku, pocieranej materją wełnianą, na obsadkach z twardego kauczuku potartych chustką; odpychanie jednak zachodzi rzadziej, z przyczyny która później zostanie wyjaśnioną. Dobrze zauważyć można odpychanie na kulkach rdzenia bżowego, które żywo skaczą pod sztabką szklaną pocieraną kauczukiem, lub kawałkiem skóry, mającej na sobie warstewkę amalgamu cyny i cynku, rozartego z łojem. Trzeszczenie i przyskanie iskier daje się zauważyć często już przytarcu szczególniej dużej rurki szklanej o skórę kocią. Gilbert okazał pierwszy, że przez tarcie wiele ciał staje się elektrycznemi; nazwał on takie ciała elektrycznemi, także idioelektrycznemi, gdy metale i inne ciała, na których nie udało mu się dostrzedz śladów elektryczności nazwał nieelektrycznemi, albo anelektrycznemi ciałami.

Udzielanie się elektryczności. Wachadło elektryczne składa się z kulki 464.
z rdzenia bżowego zawieszonej na słupku za pomocą nici jedwabnej. Zbliżając do tej kulki potartą pałeczkę szklaną albo żywiczną, kulka naprzód zostanie przyciągniętą, dotknie pałeczki szklanej i odskoczy od niej żywo. Ponieważ kulka była przyciąganą przed zetknięciem, a po zetknięciu została

odepchniętą, musiała więc, wskutek zetknięcia zajść w niej pewna zmiana. Dla zbadania tej zmiany zbliżmy do kulki, drugą, mniejszą, zawieszoną również na nici jedwabnej; znajdziemy, że ta druga kulka będzie przez pierwszą naprzód przyciągniętą, a po dotknięciu odepchniętą. Pierwsza więc kulka, wskutek zetknięcia z pałeczką została naelektryzowaną. Elektryczność więc może być udzielaną, przez dotknięcie, drugiemu ciału.

Tem objaśnia się zjawisko, że pierwsza kulka, po wzięciu jej w rękę nie jest więcej odpychaną, lecz przyciąganą; utraciła ona bowiem przez dotknięcie ręki swą elektryczność; dalej objaśnia się to, że dotknięta kulka, powoli coraz mniej i nakoniec wcale nie jest odpychaną; w powietrzu, wraca ona bowiem powoli do pierwotnego stanu i staje się nieelektryczną, gdyż oddala swą elektryczność otaczającemu powietrzu. Używając do wachadła elektrycznego nici metalowej lub lnianej zawieszanej na słupku metalowym, kulka będzie wprawdzie przyciągniętą ale pomimo dotknięcia nie odpychaną; utraci ona swą elektryczność przez ciała, których dotyka.

O ciele, które przez tarcie albo udzielanie albo innym sposobem stało się elektrycznem, mówi się, że jest naładowane elektrycznością; jeżeli ciało utraciło swą elektryczność przez dotknięcie lub innym sposobem, mówi się, że ono jest wyładowanem.

465. **Dobre i złe przewodniki.** (Gray 1727). Zawieszając na wachadle elektrycznem drugie wachadło na nici metalowej lub lnianej i udzielając pierwszej kulce elektryczność przez dotknięcie potartą pałeczką szklaną, druga kulka będzie także odpychaną przez pałeczkę, a przyciągnie trzecią, mniejszą kulkę i odepchnie ją następnie.

Kulka dotknięta sztabką żywiczną zostaje przez nią odepchniętą, przez kawałek futra, i przez sztabkę szklaną przyciągniętą, przez kauczuk odepchniętą; więc szkło i futro wywierają jednakowe działania, żywica zaś i kawałek gumy również jednakowe lecz poprzedniemu wprost przeciwne. Żywica, kauczuk szkło i futro są wszystkie elektrycznemi, przyciągają bowiem lekkie ciała i odpychają je po dotknięciu, przedstawiają jednak istotną różnicę: to co jest przyciąganem przez szkło i futro, zostaje odepchniętem przez żywicę i kauczuk, i odwrotnie; szkło i futro zachowują się zupełnie jednakowo również kauczuk i żywica. Wszystkie inne ciała elektryczne zachowują się albo tak jak szkło i futro, to jest odpychają kulkę dotkniętą szkłem, a przyciągają kulkę dotkniętą żywicą; albo zachowują się jak żywica i kauczuk, to jest odpychają kulkę po zetknięciu jej z żywicą, a przyciągają dotkniętą szkłem. Ztąd wypływają następujące twierdzenia: 1) Są dwa tylko rodzaje elektryczności, elektryczność szklanna i elektryczność żywiczna. 2) Te dwie elektryczności mają działanie przeciwne; co jedna przyciąga, to druga odpycha; Franklin (1747) nazwał je dla tego dodatną i ujemną. 3) Przy

tarcia powstają zawsze oba rodzaje elektryczności; na ciałach pocierających szkło i żywicy, jedna, na ciałach pocieranych, kauczuku i futrze, druga; na pierwszym ciele pocierającym i drugim ciele pocieranem, dodatna, na drugim pocierającym i pierwszym pocieranem, odjemna.

Wyrazom: dodatna i odjemna nie należy nadawać w całej zupełności matematycznego znaczenia, nie należy rozumieć, że elektryczność odjemna oznacza brak tego co wyraża dodatna, jak to miało miejsce np. przy ciepłe i zimnie, z których drugie można było uważać za ciepło odjemne. Elektryczność odjemna jest również elektrycznością jak i dodatna, a obie te nazwy znaczną tylko, że rzeczy nimi nazwane są w pewnym do siebie przeciwieństwie, i jako wielkości przeciwnie znoszą się w całości lub częściowo, co dopiero później wyjaśnionem zostanie. Pogląd ten obecnie przyjęty przez wszystkich fizyków, pochodzi od Symmerra (1759). Franklin i Aepinus podali pogląd inny; uważali oni elekt. dod. za zwiększenie, a odjem. za zmniejszenie pewnego rodzaju elektryczności; pogląd ten jednak prowadził do przyjęć niemożliwych. Zwolennicy pierwszego poglądu nazywają się dualistami, drugiego unitarjuszami; wszyscy fizycy są obecnie dualistami.

Jakość elektryczności wywiązującej się w ciałach przez tarcie zależy od różnicy w ich materji, a często od własności ich powierzchni; możnaby więc powątpiewać o rodzaju elektryczności; stałe rozdzielenie otrzymuje się, przez potarcie suchego czystego szkła o skórę amalgamowaną; szkło wtedy zawsze staje się dodatnem, skóra odjemną. Young (1807) i Faraday (1843) uporządkowali wzbudzacze elektryczne w taki szereg że każde ciało przez potarcie następnymi elektryzuje się dodatnio, a odjemnie przez potarcie ciałami poprzedzającymi. Szereg Faradaya jest następujący: skóra kocia i niedźwiedzia, flanela, kość sioniowa, biel pióra, kryształ górny, flintglas, bawełna, płótno, biały jedwab, ręka, drzewo, lak, żelazo i inne metale, siarka. Szereg Young'a zgadza się z tym szeregiem tylko w ogólności, lecz nie w szczegółach, zkąd już widać działanie innych wpływów jako to: powierzchni, temperatury i sposobu pocierania. Świeże powierzchnie szklane stają się przez tarcie elektrycznymi daleko słabiej, niż stare, wiele używane; nabierają one elektryczności odjemnej przy skórach zwierząt drapieżnych i niektórych kryształach, przy wszystkich innych ciałach, elekt. dod.; przeciwnie szkło matowe staje się także odjemnem przy wełnie, piórach, drzewie, papierze i ręce; szkło pocierane lub uderzane włosami w kierunku długości staje się odjemnem, a w kierunku szerokości dodatnem; nawet jednorodne ciała stają się przez tarcie przeciwnie elektrycznymi.

Nietylko tarcie, ale także i inne mechaniczne działania wzbudzają elekt.; opiłki i ostrużki są elektrycznymi, przetrzymany korek, odłupane płatki miki i gipsu, złamana laska laku wskazują el.; minerały jak spat podwójny, arragonit, fluspat, kryształ górny stają się elektrycznymi przy ściskaniu ich między palcami a kilka razy złożona cerata kitajkowa, przez ściśnienia. Niektóre kryształy, jak turmalin, palaryżują się przez ogrzanie, to jest, stają się dod. elekt. na jednym, a odjem. elekt. na drugim końcu; przy oziębianiu polaryzacja odbywa się przeciwnie. Płomienie wodoru, alkoholu, wosku, eteru, oleju i tłuszczu są elekt.; płomienie jednak, albo przynajmniej wytworzone z nich strumienie pary, są dobrmi

przewodnikami, tak, że można sztabkę elekt. odelektryzować przez dotknięcie jej do płomienia spirytusowego.

466. Zasadnicze prawa elektryczności. (Du Fay 1773). 1) Dwie kulki z rdzenia bżowego, zawieszona na niciach jedwabnych i dotknięte potartą sztabką szklaną, odpychają się wzajemnie. 2) Też same dwie kulki dotknięte potartą sztabką żywiczną, również odpychają się wzajemnie. 3) Jeżeli jedna z kulek będzie dotknięta sztabką szklaną, a druga żywiczną, to kulki będą się przyciągać; po dotknięciu się kulek, nie zajdzie ani przyciąganie ani odpychanie; obie kulki jakkolwiek posiadać będą dwie pomieszane elektryczności, staną się nieelektrycznymi. 4) Kulka dotknięta sztabką szklaną, będzie od niej odepchnięta, lecz przyciągnięta przez sztabkę żywiczną i po zetknięciu z nią stanie się znowu nieelekt. 5) Kulka dotknięta sztabką żywiczną, zostanie od niej odepchnięta, a przyciągnięta przez sztabkę szklaną i po tem zetknięciu stanie się znowu nieelekt. Z tego wypływają następujące zasadnicze prawa:

1) *Jednoimienne elektryczności odpychają się wzajemnie.* 2) *Elektryczności różnoimienne przyciągają się wzajemnie.* 3) *Elektryczności różnoimienne w jednym ciele wzajemnie się zobojeniają.*

Zobojeźnienie ma tylko wtenczas miejsce, gdy elekt. są równo silne; jeżeli jedna z nich jest silniejszą od drugiej, to przewyżka objawia działanie; tak np. w doświadczeniu 4, jeżeli dotknięte miejsce sztabki żywicznej jest silniej elekt. niż kulka, to ta nie zachowa się jak nieelekt., lecz zostanie po zetknięciu odepchnięta, ale słabiej, niż gdyby będąc nieelekt. dotknęła sztabki. Do poznania tych ważnych, zasadniczych praw, służy wiele doświadczeń. Na nieskręconej nici jedwabnej zawieszona jest oprawa drewniana, w którą wkłada się potarta sztabka szklana; będzie ona odpychana przez drugą potartą sztabką szklaną, a przyciągana przez sztabkę żywiczną. Dwa baloniki kolloidjum, wiszące na niciach i dotykające się, oddalają się znacznie od siebie za potarciem ich ręką.

Tych praw używa się do zbadania czy i jak dane ciało jest naelekt.; ciało jest dod. elekt., jeżeli odpycha kulkę dotkniętą sztabką szklaną, albo gdy samo jest odpychanem od sztabki szklanej; ciało jest odj. elekt. gdy odpycha kulkę dotkniętą sztabką żywiczną, albo gdy jest odpychane przez sztabkę żywiczną. I tu także przyciąganie nie rozstrzyga z przyczyn, które dalej będą wyjaśnione. Do tych doświadczeń używa się często krążka próbnego, szczególnie gdy do miejsca badanego nie można zbliżyć elekt. wachadła; krążek próbnny Coulomb'a składa się z foljowego kręgu osadzonego na sztabce szellaku; miejsce badane dotyka się krążkiem i udziela mu swą elekt., ten zaś zbliża się potem do wach. elekt. Zbadanie elekt. odbywa się dokładniej za pomocą *elektroskopu*. Składa się on z dwóch obok siebie wiszących wachadeł elekt. przymocowanych do odosobnionej sztabki metalowej, przewodzącej do nich elekt. i zakończonej u góry guzikiem A (Fig. 13); wachadła te są pomieszczone w balonie szklanym, dla ochrony ich od przewiewu powietrza i innych wpływów. W elektroskopie Franklina wachadłami były dwie nitki lniane, Canton naprężył je kulkami z korka, Saussure użył dwóch drutów srebrnych z kulkami rdzenia

bzowego, Volta zastąpił je dwiema słómkami, a Bennet dwoma wążkami paskami złota płatkowego. Carl używa dwóch drutów z aluminium z kulkami rdzenia bzowego. Za dotknięciem kulki metalowej z ciałem elektr., elekt. przechodzi na oba wachadła, i te wzajemnie się odpychają; dowiadujemy się więc tym sposobem czy ciało badane jest elekt., i mamy zarazem niedokładne wprowadzić pojęcie o sile elekt. z wielkości odchylenia się wachadeł; niektóre elektroskopy są opatrzone łukami podzielonemi na stopnie i służą za (bardzo niedokładne) *elektrometry*. Rodzaj elekt. poznaje się w następujący sposób, dotyka się guzika potartą sztabką szklaną, a potem ciałem badanem albo krążkiem próbnym; jeżeli wachadła jeszcze bardziej się oddalają to ciało jest dod., gdy się schodzą, to ciało jest odjem. Można więc używać elektroskopu do sprawdzenia zasadniczych twierdzeń: 1 i 3. Zamiast dotknięcia guzika elektroskopu, można działać przez samo zbliżenie; to działanie jest od wskazanego dotąd, odmiennem i dopiero później wyjaśnionem zostanie.



Fig. 13.

Wielkość przyciągania i odpychania elektrycznego. Dwa elekt. mater- 468.
jalne punkta przyciągają lub odpychają się proporcjonalnie do iloczynu znajdujących się w nich ilości elektryczności, a odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu z odległości. To prawo zostało wykryte przez Coulomb'a za pomocą elekt. szalki skręceń.

Elekt. szalka skręceń Coulomb'a urządzona była tak samo jak magnetyczna; składowe jej części jednak musiały być o wiele czulsze, z przyczyny małości sił elekt.; nie musi być cienką i lekką, drążek cienkim kawałeczkiem szellaku, albo nitką szklaną powleczoną szellakiem; drążek ten ma na jednym końcu połączoną kulkę rdzenia bzowego, a na drugim, jako przeciwwagę, kołową blaszkę miki. Nakrywka ma dwa otwory boczne, jeden służący do wprowadzenia kulki stałej, zupełnie równej kulce drążka, i której ona dotyka gdy niema skręcania nici, a drugi do wprowadzenia elektryczności za pomocą krążka próbnego, albo podobnie urządzonej kulki próbnej, i którą dotyka się chwilowo kulką stałą. W jednym z doświadczeń Coulomb'a, kulka drążka została odepchniętą o 36° ; obracano wtedy u góry guzikiem skręcania tak długo, w kierunku przeciwnym, aż zboczenie wyniosło tylko 18° , na co potrzebnym był obrót 126° ; odpychanie więc równoważy teraz to skręcenie i jeszcze odchylenie na 18° , a więc razem, skręcenie na 144° , gdy toż odpychanie, na dwa razy większej odległości 36° , równoważyło skręcenie 36° , co sprawdza właśnie drugą część poprzedniego prawa Coulomb stwierdził ją również i dla przyciągania, a także sprawdził ją za pomocą metody drgań. Dowód pierwszej części powyższego prawa jest bardzo prostym: naelektryzujmy duże kulki jak poprzednio i skreśmy wtedy drut w kierunku przeciwnym tak, aby odchylenie sztabki wynosiło 30° ; potrzebne na to skręcenie niech będzie 120° więc odpychanie równa się skręceniu 150° . Wprowadźmy teraz przez drugi otwór kulkę nieelekt., zupełnie równą kulce stałej, i dotknijmy nią tej ostatniej, to elekt. rozejdzie po obu kulkach w jednaki sposób, i kulka stała mieć będzie tylko połowę elekt.; kulka ruchoma zbliży się wtedy

do stałej; dla sprowadzenia jej w dawne położenie, trzeba zmniejszyć skręcenie wsteczne; wyniesie ono wtedy tylko 45° ; więc obecnie odpychanie jest równe skręceniu na 75° . Ponieważ odległość w obu razach jest jednaka, i ponieważ odpychania mają się jak $150 : 75$, a ilość elektryczności jak $1 : \frac{1}{2}$, więc odpychania mają się do siebie jak ilości elektryczności, co sprawdza pierwszą część prawa.

469. **Oznaczenie miary elektryczności.** Weber (1846) proponował używać za bezwzględną miarę elekt. tę ilość elekt., którą małej kulce udziela inna kulka, równa pierwszej, posiadająca też samą ilość elektryczności, tegoż rodzaju, i której środek od środka pierwszej jest odległy na 1^{mm} , z siłą odpychającą, któraby massie 1^{mgr} w 1 sek. udzieliła prędkość 1^{mm} . Ta jednostka elekt. podobna do jednostki magnetyzmu, rzadko się dotąd używa, gdyż prawie zawsze działania elekt. porównują się tylko, a związek między elektrycznością i pracą mechaniczną jest jeszcze nieznanym. Reiss zalecał jako jednostkę, ilość elekt. powstającą przy oznaczonej wielkości tarcia na oznaczonej sztabce szklanej i służącą za skalę do porównania ilości elekt. przez to, że przy rozszerzaniu się elekt. na 2, 3, 4 razy większej powierzchni, elekt. każdej z równych części staje się mniejszą 2, 3, 4 razy. Ilość elekt. na jednostce powierzchni, czyli całkowitą ilość elekt. podzieloną przez wielkość powierzchni nazywamy zagęszczeniem elekt.. Do przybliżonego porównania ilości elekt. służą: kwadrantelektrometr Henley'a (1774) Behrens'a (1806) i elektrometr [kolumnowy Bohnenberger'a (1815), zdolne wskazywać bardzo małe ilości elekt.; do ściślejszych porównań i bezwzględnych mierzeń służą: szalka skręceń Coulomb'a, szczególnie w formie ulepszonej przez Dellmann'a (1842) i Kohlrausch'a (1847), jak również wstawo-elektrometr Kohlrausch'a (1853).

Kwadrantelektrometr Henley'a składa się ze sztabki metalowej podtrzymującej półkole z podziałami; około środka tego półkola obraca się wachadło elekt.; sztabka wstawia się w otwór ciała elekt., wskutek czego staje się, razem z wachadłem, elektryczną i odpycha je od siebie; wielkość kąta wyniesienia pozwala sądzić o sile elekt., szczególnie w porównaniu z siłą elekt. tegoż samego przyrządu w innym czasie, albo też innych aparatów, w których zostaje umieszczony ten sam przyrząd. Elektrometr kolumnowy Bohnenberga jest zastosowaniem kolumny Zamboni'ego, przyrządu, który później opisanym zostanie, i którego oba końce przez lata całe pozostają elekt. dodatnio i odjemnie; kolumna ta mieści się w skrzynce szklanej, a od końców jej idą druty kończące się mosiężnymi krążkami naprzeciw siebie umieszczonemi, które za pomocą szrub mogą być z zewnątrz więcej lub mniej zbliżonemi. Między temi dwoma krążkami wisi listek złota w naczynku szklannem pomieszczonem na skrzynce; listek ten przechodzi na kulę metalową albo płytę, za pomocą sztabki metalowej, przez szyjkę dzwonka szklanego. Gdy kuli udzieloną zostanie choćby bardzo słaba elekt., to ta ostatnia przejdzie na listek złota, który zostanie przyciąganym przez jeden, a od-

Pychanym przez drugi krążek, gdyż te są różnoimiennie elekt., i powstanie wskutek tego ruch listka; gdy on zbliżać się będzie do krążka dodatniego, to będzie znakiem, że udzielona elekt. była odjemną, i przeciwnie. Z odległości krążków od siebie i z siły poruszania się listka można wnosić o sile elekt. Chcąc za pomocą szalki skręceń Coulomb'a zrobić dokładniejsze porównanie elekt. udziela się kulkom stałej i ruchomej ten sam rodzaj elekt., wskutek czego kulki oddalają się od siebie; przez skręcenie np. 70° zmniejsza się odchylenie np. do 20° , wtedy odpychanie = 90° skręcenia. Udziela się następnie kulce stałej elekt. badaną, wtedy kulka ruchoma zostanie dalej odepchniętą; niech będzie potrzeba oprócz 70° skręcenia jeszcze 180° na to, aby kulka ruchoma znowu powróciła do odchylenia 20° , to teraz odpychanie = 270° skręcenia. Ponieważ odległość w obu razach była tąż samą, więc odpychania mają się do siebie jak ilości elekt. a więc odwrotnie te ilości do odpychań, jak $90 : 279$, jak $1 : 3$. Szalka skręceń Coulomb'a służy tylko do porównania małych ilości elekt., nie używa się zatem do elektryczności o małym zagęszczeniu. Elektrometr Dellmann'a składa się z cienkiej igły magnesowej wiszącej na nitce kokonu; igła środkiem swym po- grąża się w wycięcie zrobione w pasku z blachy srebrnej, której obie połowy są zgięte cokolwiek w lewo i w prawo od wycięcia, tak że igła jedną swą połową opiera się na jednej części, a drugą na drugiej części wygięcia. Wygięcie to podtrzymywanem jest przez drut mosiężny, który przechodzi przez ścianę boczną oprawy szklanej i kończy się na zewnątrz guzikiem albo płatką. Kohlrausch przemienił ten przyrząd w najdelikatniejszy elektrometr. Wstawoelektrometr Kohlrausch'a, dogodny szczególnie do szybkich porównań składa się z igły magnesowej kołyszącej się swobodnie na ostrzu, w oprawie; igła odgrywa tu tęż samą rolę względem mosiężnego wygięcia co igła srebrna, w przyrządzie Dellman'a. Po wprowadzeniu elekt. igła zostaje odepchniętą, a ponieważ jej moment obrotu = $m P \sin \varphi$, gdzie φ oznacza kąt odchylenia; więc z wielkości wstawy kąta odchylenia wnosi się o zagęszczeniu elekt.

Słabnięcie stanu elektrycznego z czasem. (Coulumb 1785).

470.

Nawet najsuchsze powietrze nie jest bezwzględny nieprzewodnikiem; powietrze otaczające ciało naelekt. staje się powoli elekt. jednoimiennie, wskutek czego zostaje odepchniętem od ciała elekt. unosząc z sobą część elekt.; działanie to powtarza się ciągle; to zjawisko nazywa się *rozpraszaniem* przez powietrze, a przez współczynnik rozpraszania rozumie się ułamek wskazujący, jaką część swej elektryczności, ciało traci w 1 min. Według Biot'a współczynnik rozpraszania jest niezależnym od rodzaju elekt., podług Coulumb'a nie zależy także od formy i materji ciała elekt., ale zależy od ilości pary wody i od stosunku jej do ilości pary, którą powietrze przy odpowiedniej temperaturze przyjąć może. Te prawa przestają mieć miejsce, gdy zagęszczanie el. przechodzi pewną granicę; wtedy zachodzi wpływ albo wyskakiwanie elekt. Oprócz rozpraszania elekt. przez powietrze, ma jeszcze miejsce strata elekt. przez odosobniacze, podtrzymujące lub ochraniające ciała elekt.; elekt. oddana odosobniaczowi, tworzy na nim warstwę, której zagęszczanie, zmniejsza się z odległością, i w końcu staje się równem zeru; jeżeli przewodniki znajdują się dopiero po za tym punktem zera, to oprócz wspomnianej warstwy, ciało nie traci

więcej elekt.; jeżeli jednak jest jaki przewodnik, np. warstwa wody lub kurzu, i łączy się z ziemią, wtedy zachodzi wypływ nieustanny; często przez niedostrzegalną zmianę w powierzchni, powstaje taka odprowadzająca warstwa; dla tego powlekanie szellakiem ochraniaczy jest bardzo korzystnem. Bardzo dogodnymi są ochraniacze z gumy twardej, która w ostatnich czasach znalazła liczne zastosowania, nad którą jednak pożądanymi są więcej szczegółowe badania.

471. Wpływ elektryczny. (Canton 1735, Wilcke 1757, Aepinus 1759). Do objaśnienia wpływu służy najodpowiedniej przyrząd Riess'a (nauka o elektr. przez tarcie, Piotra Teofila Riess'a, 1853, dzieło klassyczne). Przyrząd

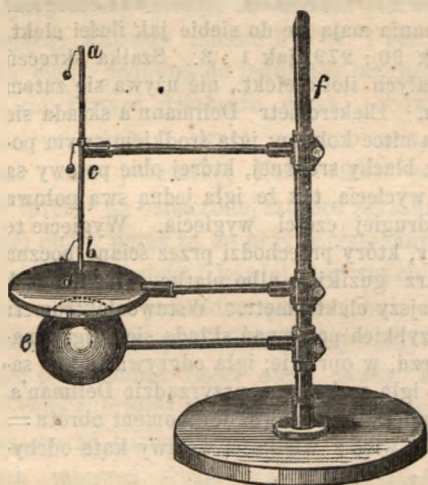


Fig. 14.

ten jest przedstawiony na Fig. 14. Sztabka mosiężna, walcowa, *ab* utrzymywana jest przez ramię szklanne, które za pomocą oprawy metalowej może być przytwierdzonem do sztabki szklanej *f*, lub wzdłuż niej posuwaniem. Podobny ruch i umocowanie mają: krążek szklany *d* i próżna kula metalowa *e*. Na walcu mosiężnym znajdują się trzy kulki rdzenia bżowego zawieszono na nitkach lnianych; dwie skrajne kulki są przytwierdzone do sztabki, a środkowa wisi na wycinku pierścieniowym, który daje się podnosić lub zniżać. Dajmy, że kula posiada elekt. dod.

i że jest oddaloną od walca na 2°. Elektryczność kuli z przyczyny odległości i szklanego krążka, nie może przejść na walec; jednakże ten został naelektryczony, gdyż kulki rdzenia zostały od niego odepchnięte. Łatwo się przekonać, że skrajne kulki są na elekt. różnoimiennie, a jak w przypadku rozbieranym, wachadło dolne *b* jest odjem. a górne przy *a* dod.; gdyż szkło potarte odpycha wachadło przy *a*, a potarty lak pieczętarski odpycha wachadło przy *b*. Gdyby kula posiadała elekt. odjemną, to wachadło dolne byłoby dod., górne odjem.

Ponieważ kula jest oddzielona od walca przez nieprzewodniki, powietrze i szkło, przeto elekt. walca nie może być elekt. rozdziálu; wynika to także i ztąd, że elekt. kuli nie słabnie wcale przy powtarzaniu doświadczenia; wreszcie, gdyby miało miejsce proste udzielenie elekt. to oba końce cylindra miałyby jeden rodzaj elekt., ten sam, który posiada kula, gdy tymczasem w naszym

doświadczeniu koniec do kuli zwrócony posiada elekt. różnoimienną. Walec więc stał się ele., nie otrzymawszy elekt., i to tak, że posiada oba jej rodzaje. Ztąd wypływa, że te oba rodzaje, musiały się już znajdować w walcu przed doświadczeniem. Ponieważ jednak o ich istnieniu, przed doświadczeniem nie mogliśmy się przekonać, przeto musiały one we wszystkich punktach znajdować się w równej ilości, i działać na zewnątrz równie silnie przyciągająco jak odpychająco, czyli znosić się wzajemnie. Takie zjawiska mogą być wywołane w każdym ciele; wypada ztąd, że we wszystkich ciałach znajdują się zawsze oba rodzaje elekt.; w równych ilościach i w stanie zubożenia. Ten ważny wniosek zgadza się z trzecim zasadniczym prawem, według którego równe ilości elekt. dod. i odjem., w jednym ciele znoszą się. Działanie zachodzące w przyrządzie objaśnia się w następujący sposób: walec zawiera dod. i odjem. elekt. w równych ilościach w każdym punkcie; podług dwóch pierwszych zasadniczych praw, kula dod. przyciągnie elekt. odjem. w koniec bliższy cylindra, a odepchnie elekt. dod. w koniec drugi. To działanie ciała elekt. na inne nieelekt. nazywa się *wplywem*. Prawa wpływu są zatem:

1. *W każdym ciele nieelektrycznym znajdują się obie elektryczności na ka-* 472.
żdem miejscu, w równych ilościach i wzajemnie się zubożniają.
2. *Za zbliżeniem ciała nieelektrycznego do innego elektrycznego, to ostatnie przyciągnie różnoimienną elektryczność pierwszego w koniec ku sobie zwrócony, a odepchnie jednoimienną elektryczność w koniec odleglejszy.*

Obie elekt. przyciągnięta i odepchnięta działają jak zwyczajna elekt., lecz przyciągnięta nie może odpływać; nazwano ją przeto *związaną*, a odepchniętą, *wolną* elekt.; ponieważ jednak z wyrażeniem „związana“ łączyć się może łatwo błędne pojęcie, że elekt. ta nie posiada właściwych cech, lub że jest tak zubożniona jak w ciele nieelekt., przeto Riess nie używa tego wyrażenia; nazywa on elekt. przyciągniętą przez ciało wzbudzające, *elektrycznością wpływu pierwszego rodzaju*, a odepchniętą, *elektrycznością wpływu drugiego rodzaju*.

Gdy kula wzbudzająca zostanie oddaloną, albo wyładowaną przez dobre przewodzące połączenie z ziemią, obie elekt. znikają dla nas; tu spoczywa jeszcze jeden dowód wykazujący słuszność powyższego objaśnienia; to znikanie bowiem może się dziać tylko w ten sposób, że równe ilości elekt. mieszają się; przeto musiały być one także w równych ilościach przed doświadczeniem. Można jednak uchronić się znikania elektryczności, czyli zatrzymać ją. 1. Zamiast walca używa się dwóch kul stykających się z sobą, poddaje się je wpływowi, a następnie oddala się jedną od drugiej i od kuli wzbudzającej; w kuli bliższej będzie elekt. wpływu, pierwszego rodzaju, w odleglejszej ele-

tryczność wpływu, drugiego rodzaju. 2. Ciało poddane wpływowi łączy się końcem odleglejszym z ziemią za pomocą dobrego przewodnika, np. ręki; elekt. odepchnięta, jako wolna, a nawet odpychana, uchodzi do ziemi, a pozostaje tylko elekt. przyciągnięta, wprawdzie nie zupełnie wolna, lecz przyciąganiem zatrzymywana na miejscu; staje się jednak zupełnie wolną po oddaleniu ciała wzbudzającego albo po dotknięciu go dobrym przewodnikiem. Mamy więc oprócz tarcia i udzielania, jeszcze trzecią metodę elektryzowania, przez wpływ.

Wpływ różni się od udzielania tem, że ciało wpływające zatrzymuje swoją elekt., a udzielające traci ją w części, że przy udzielaniu, ciało wzbudzone otrzymuje tylko tę samą elekt. co wzbudzające, przy wpływie zaś obie elekt., i nakoniec, że oddzielanie odbywa się tylko przez przewodniki, a wpływ zazwyczaj za pośrednictwem nieprzewodników. Jednakże wpływ ma miejsce także i przez przewodniki; w tym razie i sam przewodnik ulega zarówno wpływowi, a wytworzone w nim elekt. działają odmiennie na wzbudzone ciało. Ciało poddane wpływowi jest zwykle dobrym przewodnikiem, ale wpływ odbywa się także i na nieprzewodnikach. Zbliżając sztabkę szellaku, lub dotykając ją (o udzielaniu mowy tu być nie może) do kuli elekt., sztabka po dotknięciu staje się różnoimiennie elekt., według Riessa dla tego, że odepchnięta elekt. jednoimienna rozprasza się w powietrzu, wskutek odepchnięcia silniej, niż przyciągnięta związana elekt. pierwszego rodzaju i wskutek tego sztabka szellaku, po dotknięciu objawia tę swobodną elekt. w większej ilości.

Dwie elekt. wpływu zgadzają się zupełnie ze zwyczajnymi elekt.; jak te, działają odpychająco co widać już z odpychania małego wachadła; działają przyciągająco, o czem się przekonać można zbliżając obojętne lub przeciwnie wachadła do zwróconej lub odwróconej części. Działają one także przez wpływ; elekt. wpływu np. drugiego rodzaju działa wpływowo, o czem się przekonać można umieszczając za odwróconym końcem pierwszego walca, mającego w tym razie położenie poziome, drugi i trzeci walec w jednej linii poziomej; końce bliższe walców drugiego i trzeciego będą elekt. różnoimiennie, a końce odleglejsze jednoimiennie względem odwróconej części pierwszego walca. Doświadczenia Faraday'a (1839) i Fechner'a (1841) przekonywają także o działaniu wpływowym, przyciągniętej, związanej elekt. wpływu pierwszego rodzaju. Kładąc na walec szellaku naelekt., kule połączone przewodnio z ziemią, te stają się przeciwnie elektrycznymi; kładąc je jednak w środku krążka umieszczonego na walcu szellaku, który to krążek może być od walca więcej lub mniej oddalonym przez podnoszenie i zniżanie, to w pewnej odległości, kule, pomimo zetknięcia odprowadzającego, będą nieelekt.; gdyż wskutek przewodnictwa pozostaje tylko elekt. wpływu, pierwszego rodzaju; ta, o ile pochodzi od szellaku jest dod. w krążku i kulkach, ponieważ jednak ta dod. elekt. nie objawia się na kulach, więc dodatnia elektryczność wpływu pierwszego rodzaju będąca w krążku musiała na kule podziać wpływowo i wywołać w nich skutkiem tego elekt. odjemną. To tłumaczenie zostanie lepiej stwierdzonem, przy zmianie warunków zjawiska, przy nadaniu kulom innej odległości od krążka, przypuszczając zawsze że elekt. wpływu, pierwszego rodzaju działa wpływowo;

Fechner znalazł że za pomocą tego przypuszczenia dadzą się objaśnić wszystkie objawy rozbiieranego zjawiska, okazał więc że tak zwana związana elekt. działa przez wpływ. Jedyna różnica między dwiema elektr. wpływami i zwyczajnymi leży w tcm, że elekt. wpływu pierwszego rodzaju nie może odpywać a przeciwnie elekt. wpływu drugiego rodzaju, jako odpychana przez ciało wzbudzające, ma wielką zdolność rozchodzenia się.

Różne są przyrządy do okazania elekt. wpływu; przed Riess'em używano pospolicie długiego metalowego walca, stojącego pionowo na nóżkach szklanych i opatrzonego w różnych miejscach wachadłami podwójnymi; rozejście się ich wskazywało wpływ zbliżonego elekt. ciała; z wielkości tego rozejścia się, wnieść można, że elekt. wzbudzona zmniejsza się od końców walca ku środkowi, podług prawa Coulomb'a, to jest w stosunku odwrotnym kwadratów z odległości. Ztąd wypada, że na wzbudzonem ciele musi być miejsce, gdzie dwie elekt. znajdując się w równym zageszczeniu wzajemnie się zobojetniają; ten *pas obojętny*, leży cokolwiek po za środkiem, bliżej ciała wpływającego; im bardziej ono się oddala, tem pas obojętny jest bliższym środka, (Fechner 1841). Ilość elektryczności wpływu jest proporcjonalną do ilości elektryczności ciała wpływającego; na krążku jest ona odwrotnie proporcjonalną do kwadratu z odległości; forma, wymiary i położenie zmieniają to prawo dla innych ciał (Coulomb 1788).

Elekt. wpływu gra główną rolę we wszystkich zjawiskach i przyrządach. które rozważać mamy, i ona tylko wyjaśnia wiele z powyżej wymienionych zjawisk.

Objaśnienie zjawisk elekt. przez wpływ. 1. *Przyciąganie ciała obojętne-473.*
go przez ciało elekt. Elekt. tego drugiego działa wpływowo na obie znoszące się elekt. pierwszego, różnoimienna zostaje przyciągniętą do bliższego końca, jednoimienna odepchniętą w koniec odleglejszy. Jeżeli odległość między ciałami jest małą, to ciało elekt. jest znacznie bliżej końca zwróconego, niż odwróconego, przyciąganie przeważa i ciała zbliżają się. Lekkie ciała są łatwiej przyciąganymi gdy spoczywają na przedmiotach dobrze odprowadzających, gdyż wtedy odpywa jednoimienna elekt. Kulka szellaku nie jest przyciąganą, gdyż z trudnością ulega wpływowi. Lekkie ruchome ciała, przyciągnięte, przylegają dłuższym wymiarem, wzdłuż ciała elekt., gdyż wtedy odległość obu elekt. wpływu jest największą. 2. *Udzielanie się elekt.* Przewodnik zbliżony do ciała elekt. otrzymuje różnoimienną elekt. na końcu zwróconym, a też samą na odwróconym; gdy oba ciała przyjdą w zetknięcie, różnoimienna elekt. wyrówna takiej że ilości elekt. pierwszego ciała, zatem elekt. te znikną pozornie, gdy tymczasem ujawni się swobodna, jednoimienna elekt. na ciele zbliżonem. Jeżeli jedno ciało jest silniej naelekt. niż drugie, to trzeba jeszcze wziąć pod uwagę i to, że każde z nich zawiera oprócz własnej, wolnej jeszcze zobojętnioną ilość obu elekt. Na tę obojętną ilość ciała słabszego, wpływa także silniej ciało silniejszeta, że ostatecznie pozostanie na pierwszym większa ilość elekt. jednoimiennej. Przy udzieleniu więc, pozornie udzielona elekt. znajdowała się w ciele już dawniej, a istotnie udzielona elekt. znika w niem przez zobojętnienie. 3. *Przyciąganie ciał jednoimiennych.* Jeżeli dwa ciała są jednoimiennie elekt., jedno z nich bardzo silnie a drugie bardzo słabo, to, przy pewnej odległości, może się zdarzyć, że różnoimienna elekt. przyciągnięta przez ciało pierwsze, przewyższy w sile jednoimienną, zobojętni ją i pozostanie jeszcze w nadmiarze, wskutek czego nastąpi przyciąganie. 4. *Przy*

powstawaniu elektr. przez tarcie zachodzi także pierwsze prawo wpływu, mianowicie, że w każdym ciele obie elektr. znajdują się w równych ilościach; tarcie wywiera w nieznanym dotąd sposób ten skutek, że zbiera dodatnią elekt. w jednym a ujemną elekt. w drugim ciele. 5. *Działanie wpływu w elektroskopach.* Do wytłumaczenia zjawisk tu zachodzących niektórzy z fizyków używają przeważnie działania przez wpływ gdyż przy zbliżeniu ciała elekt. do elektroskopu, na mocy powyższego wpływ musi mieć miejsce i zmieniać działanie prostego udzielenia. Za zbliżeniem ciała elekt. do guzika lub platki elektroskopu i po połączeniu ich z ziemią, elekt., różnoimienna uchodzi do ziemi, a jednoimienna pozostaje na platce, związana, i wskutek tego nie może działać na listki elektroskopu, które też wcale się nie poruszają; oddalając palec i ciało, elekt. różnoimienna rozchodzi się po listkach i sprawia ich rozjeście się. Jeżeli teraz zbliżemy ciało posiadające tę samą elekt. co listki elektroskopu, to kąt rozjeścia powiększy się, gdyż swobodna jeszcze jednoimienna elekt. znajdująca się w guziku, będzie odepchnięta do listków. Jeżeli zaś zbliżemy ciało przeciwnie elekt., to ono ściagnie elekt. z listków, kąt rozjeścia zmniejszy się; oprócz tego popędzi ono elektryczność jednoimienną na dół, odchylenie zniknie i listki padną na siebie; przy większym jeszcze zbliżeniu, jednoimienna elekt. listków przewyższy poprzednią różnoimienną i listki znowu się odchylią. Można więc przekonać się o ciele el. bez dotykania go.

474. Maszyna elektryczna. (Fig. 15). (Otto von Geuricke, ur. 1602 um. 1680), służy pospolicie do nagromadzenia większej ilości elekt. jednego rodzaju; to nagromadzenie odbywa się na blasze mosiężnej kulistej lub walcowo półkulowej C, która spoczywa na nodze szklanej i nazywa się konduktorem; elekt. zostaje najczęściej wzbudzoną przez tarcie kręgu szklanego gg, o poduszkę r, pociągniętą amalgamą i przyciskaną do kręgu za pomocą sprężyn. Machina elektryczna zatem składa się z trzech głównych części: tafli szklanej, poduszki i konduktora. Od konduktora wychodzi metalowe połączenie s do obu powierzchni tafli szklanej i kończy się zwróconemi ku niej ostrzami metalowemi, (wciągaczami). Tafla przez tarcie otrzymuje elekt. dodatnią; ta dod. elekt. wciąga (za pomocą wciągaczy) elekt. ujemną z konduktora, zobojętnia ją i sama jest przez nią zobojętniona i zostawia na konduktorze taką ilość elekt. dod. Przez powtarzanie tego postępowania zbiera się na konduktorze coraz więcej elektr. dod.; jednak następuje granica tego nagromadzenia, gdyż im więcej elekt. się zagęszcza, tem więcej konduktor rozprasza jej w powietrze, z całej swej powierzchni. Jeżeli ilość rozproszonej elekt. równa się ilości elekt. wytworzonej przez taflę, to zwiększanie się zagęszczenia elekt. ustaje.

Najczęściej używaną jest obecnie konstrukcja Wintera z Wiednia; maszyna jego ma konduktor kulisty C, który przy brzegu kręgu i blisko niego stoi na nodze szklanej; konduktor jest w połączeniu z dwoma drewnianemi pierścieniami; w pierścieniach tych są porobione rynienki pokryte staniolem, z których wychodzi szereg kołowy ostrzy metalicznych, a te znowu za pomocą przedłużenia paska

staniolu są w przewodnim połączeniu z konduktorem. W konduktor wstawiona jest sztaba drewniana z wielkim drewnianym pierścieniem, zamykającym drut. Poduszki l są podtrzymywane przez podstawek widełkowy r, umieszczony na nóżce szklanej i zaopatrzone małym konduktorem do zbierania elektryczności odjemnej; poduszki są deszczkami pokrytymi amalgamowaną skórą lub jedwabiem; pokrycie to przedłuża się w kołowe paski z ceraty kitajkowej, które odosobniają taflę między poduszkami i wciągaczami i chronią ją od strat przez powietrze. Konduktor ma jeszcze jeden lub dwa otwory do wstawiania małych kulek lub guzików. Na ogólnej podstawie znajduje się pospolicie także iskrociąg, składający się z opatrzonej guzikiem sztaby metalowej, podtrzymywanej przez słupek szklany i mogący być połączonym, za pomocą przytwierdzonego łańcuszka, z konduktorem odjemnym. Krąg szklany gg jest wszrubowany między dwie podłużne sztabki drewniane, podtrzymujące długą oś szklaną aa, która wprawia się w obrót za pomocą korby k. Chcąc zebrać elekt. dodat. należy połączyć przewodnio konduktor odjemny z ziemią za pomocą łańcuszka, i odwrotnie. Amalgama Kienmayer'a składająca się z dwóch części merkurjuszu, 1 cz. cyny i 1 cz. cynku proszkuje się i rozciera z tłuszczem na skórce. Armstrong odkrył (1840), że para wychodząca z kotła parowego jest na elekt. dod., kocioł zaś odjemnie i że ta elekt. powstaje wskutek tarcia przy wyjściu pary; Faraday (1844) okazał, że to ma miejsce tylko dla pary wilgotnej, unoszącej z sobą cząstki wody. Na tej zasadzie Armstrong zbudował swoją maszynę hydroelektryczną.

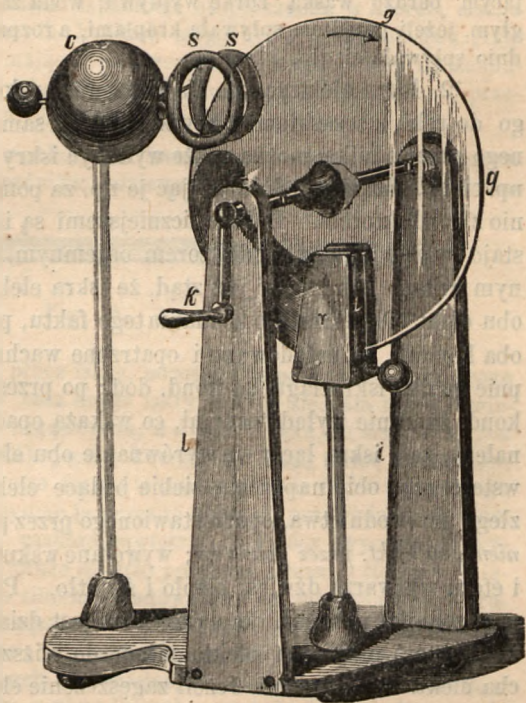


Fig. 15.

475.

Doświadczenia z maszyną elektryczną.

1. Przyciąganie i odpychanie elektryczne sprawiają:
a. Podskakiwanie kulek z korka; naczynie szklane o dnie i nakrywce metalicznej, zawierające kulki korkowe, stawia się na przewodniej podstawie, a nakrywka łączy się z konduktorem za pomocą drążka metalowego; wtedy kulki podskakują i opadają. Niech czytelnik stara się to wyjaśnić. Podobnie wytłumaczyć się dają: taniec lalek, deszcz elekt. i inne zabawki. *b.* Dzwonki elekt. Sztabka szklana utrzymuje sztabę mosiężną, poziomą, do której przyczepiony jest dzwonek za pomocą druta metalowego i dwa inne dzwonki za pomocą sznur-

ków jedwabnych; od tych dwóch dzwonek idą przewodnie łańcuszki do ziemi, a między dzwonekami wiszą na nitkach jedwabnych małe młoteczki, które uderzają kolejno w sąsiednie dzwoneki gdy sztabka mosiężna zostanie połączoną z konduktorem; niech czytelnik objaśni to zjawisko. *c.* Pęczek elekt.; na sztabce przewodniej znajduje się krążek z paskami papieru; gdy krążek ten zostanie umieszczonym za pomocą korka na konduktorze, to paski rozejdą się wytwarzając niży tarczę; pióro puszyste strószy się na konduktorze; włosy człowieka stojącego na podstawie odosobnionej, lub będącego w trzewikach gumowych, jeżą się za położeniem ręki na naładowany konduktor. Uczucie niży dotknięcia pajęczyną za zbliżeniem do konduktora twarzy lub tylnej powierzchni ręki. *d.* Elekt. promień wodny A. Fuchs'a. Łącząc naładowany konduktor, z wodą w lejku, mającym bardzo wąską rurkę wypływu, woda znacznie wypływać strumieniem ciągłym, jeżeli przedtem spływała kroplami, a rozpadnie się na krople, jeżeli poprzednio spływała ciągiem.

476. 2. *Iskra elektryczna.* Za zbliżeniem ręki do konduktora wypadają z niego do ręki, z trzaskiem, iskry kołące; toż samo ma miejsce przy zbliżaniu innego przewodnika; można także wydobyć iskry z każdego innego przewodnika, np. ciała ludzkiego, odosobniając je np. za pomocą podnóżka i łącząc przewodnik z konduktorem. Daleko liczniejszemi są iskry wtedy, gdy iskrociąg zostaje w połączeniu z konduktorem odjemnym, a guzik iskrociagu będzie zbliżonym do tego kon.; widać już ztąd, że iskra elekt., jest wzajemnem działaniem obu elekt. Dla bliższego zbadania tego faktu, przerwijmy obrót maszyny, gdy oba konduk. są naładowane i opatrzone wachadłami elekt., i zbliżmy następnie guzik iskrociagu do kond. dod.; po przeskoczeniu iskry znajdziemy oba kond. znacznie wyładowanemi, co wskażą opadające wachadła. Ztąd wnieść należy, że z iskrą łączy się wyrównanie obu elekt. przez powietrze; iskra powstaje, gdy obie naprzeciw siebie będące elekt. są dosyć silne do zwyciężenia złego przewodnictwa, oporu stawionego przez powietrze; *iskra elekt. jest połączeniem obu elekt. przez powietrze*; wywołane wskutek tego wstrząśnienie powietrza i eteru wytwarza dźwięk, ciepło i światło. Powstawanie iskry przy zbliżeniu przewodnika nieelekt. do ciała elekt. jest działaniem wpływu; np. dod. elekt. konduktora przyciąga elekt. odjem. do bliższego końca przewodnika a odpycha elekt. dod. do ziemi. Jeżeli zageszczenie elekt. będących naprzeciw siebie jest tak wielkie, że wzajemne ich przyciąganie zdoła zwyciężyć opór powietrza, to następuje połączenie się ich przez powietrze. Odległość, przy której iskra przeskakuje nazywa się dalekością uderzenia; jest ona także równa długości iskry. Oprócz dalekości uderzenia są także godnymi uwagi: kształt, kolor, trwanie i widmo iskry.

Na zasadzie, że iskra elekt. powstaje w każdym miejscu przerwy przewodnika, który z jednej strony jest połączony z konduktorem a z drugiej z ziemią, można robić świetne doświadczenia za pomocą małych czworokątów z cynfolii worzących przerwane przewodniki na powierzchniach szklanych (Fig. 16); tak

powstają zjawiska: *rukki błyskającej, taflii błyskającej, imion świecących* i t. d. *Dalekość uderzenia*, przy tych samych zresztą innych okolicznościach, jest proporcjonalną do elekt. zagęszczenia kondensatora; ponieważ jak zobaczymy później zagęszczanie elekt. rośnie z krzywizną, przeto otrzymujemy najdłuższe iskry z najcięższych części konduktora, albo z osadzonych na nim guzików o wielkiej krzywiznie. Maszyna Wintera z kręgiem o 40" średn. daje iskry długie na 24"; Winter podaje, że maszyna zbudowana przez niego dla szkoły politechnicznej w Wiedniu może wydawać iskry na 40" długie. Długość iskry czyli dalekość uderzenia zależy także od natury i gęstości powietrza, i jest tem większą, im powietrze jest rzadsze, a różną dla różnych gazów.

Jako elektryczne jest naczyniem szklannem eliptycznem, w którem można rozrzedzić powietrze; w wypuklejszych końcach mogą być przesuwane dwa przewodzące na zewnątrz guziki; trzymając drut przewodni jednego guzika na konduktorze, przy wyładowywaniu, powstaje wspaniały snop światła fioletowego, przechodzący od jednego guzika do drugiego (iskrzenie się próżni Toricelli'ego).

Kształt iskry elekt., samej w sobie, jest świecącym punktem wyszukującym drogi od kon. do zbliżonego przewodnika; ponieważ wrażenie odebrane przez oko



Fig. 16.

na początku drogi przebieganej przez iskrę, pozostaje jeszcze wtedy, gdy droga ta już ukończoną została, przeto cała droga iskry wydaje się nam naraz oświetloną; jeżeli elekt. jest bardzo zagęszczoną, a droga krótką, to ślad iskry jest prostolinijny; dłuższe iskry wyskakujące z konduktora mają formę gzygzaków; niektórzy wyjaśniają te gzygzakowe formy w ten sposób, że iskra w przebiegu zagęszcza powietrze przed sobą, czyniąc je przez to gorszym przewodnikiem, obiera zatem drogę przez obok leżące, rzadsze powietrze. Oprócz zwyczajnych wyładowań przez iskry, rozróżnia się także *światło pęczkowe* i *światło tlejące*. Światło pęczkowe powstaje przy bardzo silnem naładowaniu, np. maszyną Van Marum'a, w miejscach największego zagęszczenia elekt., albo na końcu zaostrego kawałka drzewa osadzonego na kon., lub zaokrąglonego druta; światło pęczkowe jest ostrokągiem promieni fioletowych, zmieniających swój kształt i przedłużających się za zbliżeniem przewodnika; z powodu małego natężenia, światło to może być widzianem tylko w ciemności. Światło tlejące, albo ostrzowe jest gwiazdką lub świetlnym punktem, kołyszącym się lekko na ostrzu konduktora. W powietrzu rozrzedzonym zamienia się światło tlejące w pęczkowe; przeciwnie, za podmuchem, pęczek staje się gwiazdą. Zawieszając cienki drut żelazny na bardzo mocno naładowanym kon., drut ten, w ciemności, za każdym wyładowaniem będzie świecić i wydawać iskry; doświadczenie lepiej się udaje w powietrzu rozrzedzonym.

Czas trwania iskry elekt. wynosi podług Wheatstone'a (1834) mniej niż milionową część sekundy; ciała poruszające się, struna drgająca, strumień wody, podziały na kręgu szybko się obracającym, zdają się być w spoczynku w czasie

oświetlenia przez iskrę. Barwa i jasność iskry elekt. bywa rozmaita; najjaśniejszą jest krótka, prostoliniowa iskra z butelki elekt.; zresztą barwa zależy od natury metalów użytych za przewodniki, między którymi iskra przeskakuje, jak również od natury szkła przez które iskra przechodzi; im szkło jest gęstsze, tem barwa bliższą jest białej, w rozrzedzonym powietrzu iskra jest niebieskawo biała, w azocie fioletową, w wodrze mocno czerwona, w kwasie węglowym zieloną. Oświetlenie to uważa się za żar wyrwanych cząstek metalu i gazu; to przypuszczenia stwierdzają nierówności powoli powstające w miejscu wydającym iskry, a także pokrywanie się przewodników cienką warstwą metalu i innych przewodników i t. d.

477. 3. *Działania cieplikowe.* Ciepło zawarte w iskrze elekt. sprawia nietylko żarzenie się cząstek gazowych i metalicznych, ale także wywołać może zapalenie się ich. Eter siarczynny, alkohol ciepły, fosfor i pył żywiczny, zbliżane w metalowem naczynku do kond., zapalają się przy przejściu iskry. Napelniwszy małą rurkę blaszaną gazem piorunującym, i przepuszczając przezeń iskrę, następuje huk; *pistolet elekt.* Na tem polega eudiometr Wolty i dawniejsze maszyny do zapalania. Tego rodzaju działania, również jak fizjologiczne i chemiczne są wydatniejszymi przy użyciu butelki elekt., i dla tego też przy jej opisie rozważaniami będą. Uczynimy tu tylko wzmiankę o powstawaniu ozonu, którego zapach charakterystyczny, przy dłuższem działaniu maszyny elekt., powoli się rozchodzi i szczególnie mocno uczuć się daje przy ostrzu osadzonym na kond.

478. 4. *Siedlisko elektryczności.* Obie części składowe elekt. obojętnej mogą być rozmieszczonemi jednostajnie we wnętrzu przewodnika; swobodna elekt. zaś, znajduje się tylko na powierzchni przewodników, gdyż pojedyncze cząsteczki siły elekt., pobudzane, będą się z wnętrza wypierać dotąd, aż trafią na opór złego przewodnika; to ma miejsce tylko na powierzchni przewodnika, gdyż tu opór powietrza stawia tamę dalszemu rozchodzeniu się; swobodna zatem elekt. znajduje się tylko na powierzchni przewodników. Doświadczenia Coulomb'a (1788) i Faraday'a (1839), potwierdziły ten wniosek.

Umieściwszy kulę metalową na odosobnionym podstawku, otacza się ją dwiema przystającemi do niej półkulami z blachy, trzymanemi za rękojeści odosobniające, a następnie elektryzuje się wszystko przez dotknięcie do konduktora; po odjęciu półkul, one będą naelekt., kula zaś nie; nawet gdyby kula wprzód naelektryzowana została, a potem półkulami okryta, te ostatnie tylko okazałyby elektryczność; elektryczność zatem przechodzi w całości na półkule. Kula wydrążona, posiadająca otwory, naelekt. i badana krążkiem próbnym, wskazuje silną elektryczność na zewnętrznej powierzchni, wewnątrz ani śladu. Faraday urządził wielką izbę ze sztab drewnianych pokrytych drucianną siatką; izba ta otoczona była papierem i cynfolją; przy silnem elektryzowaniu izby na zewnątrz, Faraday nie mógł odkryć w jej wnętrzu, nawet używając najdelikatniejszych elektroskopów, śladu elekt. Faraday elektryzował siatkę drucianną, kształtu stożkowego; fig. 17) za pomocą krążka próbnego przekonał się, że powierzchnia zewnętrzna była silnie, wewnętrzna zaś wcale nie naelekt.; wywracając następnie siatkę za pomocą nici umocowanej w wierzchołku ostrokręgu, na drugą stronę, przekonał się, że terazniejsza zewnętrzna powierzchnia, przedtem wcale nieelekt., była mocno naelekt.

dawna zaś powierzchnia zewnętrzna, wcale nie. Magnus zawiesił wałek mosiężny z dwiema rączkami na niciach jedwabnych i nawinał nań cienki arkusz metalowy, mający na wolnym końcu wachadło podwójne i rączkę odosobnienia; gdy wałek został naelektryzowanym, to przy rozwijaniu arkusza oba wachadła mocno opadały, rozchodziły się zaś przy zwijaniu.

5. **Rozmieszczanie się elektryczności na przewodnikach: działanie ostrzów.** (Coulomb 1787, Poisson 1811, Riess 1853). Odpychanie pojedynczych cząstek siły elekt. na równej powierzchni, nie może wypychać ich wprost, gdyż na to potrzebaby siły prostopadłej do powierzchni, kierunek zaś odpychania zgadza się z kierunkiem powierzchni; tylko około granic powierzchni, elekt. może być poruszona przez własne odpychanie; z równych zatem powierzchni, elekt. nie wychodzi, lecz tylko z granic powierzchni; zagęszczenie elekt. jest najmniejsze w środku, a na brzegach największe. Na powierzchniach krzywych powstaje wskutek odpychania się pewnej liczby cząstek el. wypadkowa prostopadła do pewnego elementu jednej z tych cząstek, zawierająca składową prostopadłą do powierzchni, i dla tego cząstka ta stara się wyjść z powierzchni; prosty rysunek wskazuje, że cząstki te są tem bliżej cząstki wzmiankowanej, im większą jest krzywizna; sąsiednie cząstki będą również od otaczających je tem silniej przypychane do pierwszej, im krzywizna jest większą. Zagęszczenie elekt. zatem jest wielkie na powierzchniach krzywych; na kuli zagęszczenie elekt. jest wszędzie jednakowe; na ciałach eliptycznych lub jajowatych zagęszczenie jest największe na końcach wypukłych: na walcu zakończonym półkulami jest ono największem na tych półkulach.

Ostrz ma promienie krzywizn nieskończenie małe, przeto zagęszczenie elekt. i zdolność wypływu, na ostrzach matematycznych jest nieskończenie wielką, na ostrzach zaś naturalnych tylko bardzo wielką; ze wszystkich elementów powierzchni, elekt. jest napędzoną do ostrza. Krawędzie mają tylko w jednym kierunku promienie krzywizn nieskończenie małe, zdolność wypływu na nich zatem, jest wprawdzie wielką, ale mniejszą niż na ostrzach.

Te twierdzenia zostały udowodnione przez Coulomb'a, dla kul, ellipsoid i innych ciał, za pomocą krążka próbnego i elekt. szalki skręceń; Riess używał do tego parami umieszczonych krążków próbnych i podał przyrost zagęszczania w do-



Fig. 17.

kładnych liczbach. Poisson starał się zbadać tę kwestję matematycznie, przyjąwszy za zasadę, że działanie powierzchni pewnego ciała, albo pewnej liczby ciał na punkt wewnętrzny, jest równem zeru. Powyżej przytoczone twierdzenia wyjaśniają, dla czego używa się za konduktory kul albo walców zakończonych półkulami, i dla czego unika się wszelkich ostrzów lub krawędzi. Niemożliwą jest rzeczą naładować maszynę elekt., umieściwszy ostrz na jej konduktorze, cała elekt. wypływa z ostrza sprawiając światło tlejące; ponieważ otaczające powietrze staje się jednoimiennie elekt., jest więc przez ostrz odpychanem, powstaje strumień powietrza, *wiatr elekt.*, który uwidocznia się najlepiej za zbliżeniem płomienia świecy. Łącząc konduktor z przewodnikiem pionowym, na ostrzu którego spoczywa łatwo ruchoma płatka formy litery S, zaostrożona na końcach, albo kółko z zaostrozonymi i zakrzywionymi na jego obwodzie drutami, to wskutek odpychania zachodzącego między ostrzami i odpływającym powietrzem, płatka i kółko obracać się będą podobnie, jak koło wodne Segnera; jest to tak zwane *kółko elekt.* (fig. 18). Umieściwszy ostrz na odwróconem końcu ciała będącego pod wpływem, elekt. wpływu, drugiego rodzaju, będzie uchodził ostrzem, a elekt. wpływu pierwszego rodzaju, pozostanie; jeżeli zaś ostrz znajdować się będzie na końcu zwróconym to wypływać będzie elekt. wpływu pierwszego rodzaju; cząstki powietrza tak na elekt. zbliżyć się będą do ciała wpływającego i zobojętniać część jego elekt.,



Fig. 18.

gdy tymczasem jednoimienna elekt. wpływu, drugiego rodzaju pozostaje na ciele poddanem wpływowi. Podczas gdy na ciele wpływającym znika część elekt., na ciele poddanem wpływowi pojawia się prawie takąż ilość jednoimienną elekt.; zdaje się jakoby ostrz tę elekt. wciągnął i przeniósł na to drugie ciało. Na tem polega *wciągające działanie* ostrzów, które np. w maszynie elektrycznej, odgrywają ważną rolę. Zbliżywszy ostrzem do konduktora przyrząd składający się z osobnionego metalowego drążka, zakrzywionego u góry w ostrz boczny, a u dołu zakończony kula, iskry z kuli przeskakiwać będą do innej, naprzeciw niej umieszczonej kuli albo na naczynko z alkoholem, który zapala. Działania podobne do wpływu ostrzów wywierają także tlejące i płonące ciała, gdyż te ostatnie tworzą również ostrza nawet delikatniejsze od zwyczajnych; dla uczynienia nieprzewodnika zupełnie nieelekt., wystarcza przeprowadzić go parę razy nad płomieniem lampy alkoholowej.

Jeżeli elekt. z równych powierzchni wychodzi z trudnością, to też z trudnością w nie wchodzi; dotykając skrawkiem papieru, sztabki szklanej, ta rzadko udziela mu swą elekt. i rzadko też go odpycha; tem objaśniają się liczne niepowodzenia przy najpierwszem doświadczeniu.

480. 6. *Różnice między obiema elekt.* o ile ocenić się dają za pomocą maszyny elekt. są bardzo małe. Trzymając ostrz naprzeciw kond. odjem., tworzy się pęczek, a naprzeciw dod., gwiazda; przy wypływie elekt. z silnie naładowanej maszyny elekt. ukazuje się pęczek na kond. dod., a gwiazda na odjem. Tym doświadczeniom odpowiadają figury Lichtenberga (1778). Puszczając iskrę dod. na tafelkę szellaku lub smoły, pokrytą nasieniem widłaka powstaną figury z pyłku rozgałęziające się na podobieństwo drzewa; przy iskrze odj. powstają tylko pla-

ny okrągłe. Niektórzy, zgodnie z tem, uważają iskry dod. za mocniej bijące, a odjem. za więcej kłujące.

Elektrofor (Wilcke 1862, Volta 1775) składa się z pozbawionego ba- 481.
belków krążka żywicznego *k* (fig. 19) (ulanego ze smoły czarnej i kalafonii
w równych ilościach), spoczywającego w misce metalicznej, w formie *f*, i z plat-
ki metalowej *d*, czyli tarczy opatrzonej rączką odosabniającą *A*. Przez ude-
rzenie lisim ogonem, krążek elektryzuje się odjem. Kładąc tarczę na krą-
żek w ten sposób naelekt. i podnosząc ją następnie, bez dotknięcia jej, tarcza
nie wskaże elekt. Dotykając jej jednak przed podniesieniem, tarcza okaże
elekt. dod.; dotykając tarczy
spoczywającej na krążku
i formy, współcześnie, dozna-
my wstrząśnienia, uderzenia
elekt. Krążek żywiczny za-
chowuje swą elekt. miesiąca-
mi jeżeli jest przykryty tar-
czą; własność ta nazywa się
wytrzymałością krążka.

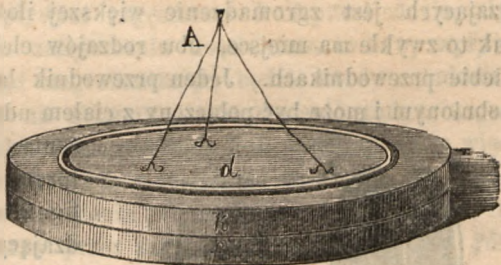


Fig. 19.

Te zjawiska są pełnym
nauki wynikiem wpływu. Krą-
żek odjem. przyciąga elekt. dodatnią., jako elekt. wpływu pierwszego rodzaju,
na dolną powierzchnię tarczy, i utrzymuje ją, odpycha zaś elekt. wpływu dru-
giego rodzaju, czyli elekt. odjem. w górną powierzchnię krążka. Podnosząc tar-
czę za rączkę odosabniającą, bez poprzedniego dotknięcia tarczy, obie elekt.
znowuż się łączą, tarcza staje się nieelekt. Dotykając zaś tarczy przed podnie-
sieniem, odepchnięta elekt. odjem. przejdzie do ziemi, a zostanie elekt. dod. lecz
związana. Za podniesieniem tarczy, ta związana elekt. dod. staje się wolną, wy-
daje iskry, i może być użyta, przy częstem powtarzaniu poprzedniego postępowania,
do naładowania konduktora, i t. d., przyczem elekt. krążka wcale się nie
zmniejsza. Przyrząd Wilcke'a pozwala stwierdzić, że wyjaśnienie tego ważnego
zjawiska jest prawdziwem; przyrząd ten składa się z dwóch cienkich platek me-
talowych, złączonych i podtrzymywanych jedwabnymi sznurkami. Kładąc ten
przyrząd na krążek żywiczny, zamiast tarczy i podnosząc następnie bez dotknięcia,
okaże się, że wyższa z zaraz rozdzielonych platek mieć będzie el. od., niższa zaś
dod. a obie, położone na sobie nie wskażą wcale elekt.; dotykając zaś przed pod-
niesieniem, platki górnej, po podniesieniu, tylko dolna platka będzie naelekt.,
i to dod.

Różne okoliczności warunkują wytrzymałość krążka; powierzchnia jego
jest równą, a więc elekt. z trudnością z niej wychodzi; niebytność powietrza
wskutek położonej nakrywki; nakoniec, działanie wpływowe odjem. powierzchni
krążka. Odjem. elekt. krążka ściąga elekt. dod. do siebie, a odpycha odjem. na
dół, do formy. Jeżeli forma jest odosabniona, to wskazuje rzeczywiście elekt.
odjem. jeżeli zaś nie jest odosabniona, to elekt. przechodzi do ziemi i cała

dolna połowa krążka razem z formą staje się dod. elekt.; ta elektryczność; dod. dolnej połowy krążka wstrzymuje odjemną górnej części i sama jest przez nią zatrzymywana. Dotykając jednym palcem formy, a drugim tarczy, elekt. dod. przechodzi z formy do tarczy, a odjem. z tarczy do formy, za pośrednictwem ręki, która też otrzymuje wstrząśnienie; ten ruch przeciwny dwóch elekt. w jednym przewodniku nazywa się strumieniem.

482. Przyrządy nagromadzające (Riess 1853). Za pomocą maszyny elekt. i elektroforu można udzielać przewodnikowi elektryczność tylko do pewnej granicy; granica ta jest osiągniętą, gdy zagęszczanie elekt. przewodnika równa się zagęszczeniu ciała udzielającego. Zadaniem przyrządów nagromadzających jest zgromadzenie większej ilości elekt. na przewodniku, albo, jak to zwykle ma miejsce, obu rodzajów elekt., na dwóch odosobnionych od siebie przewodnikach. Jeden przewodnik łączy się z ziemią, drugi jest odosobniony i może być połączony z ciałem udzielającym, za pomocą przedłu-

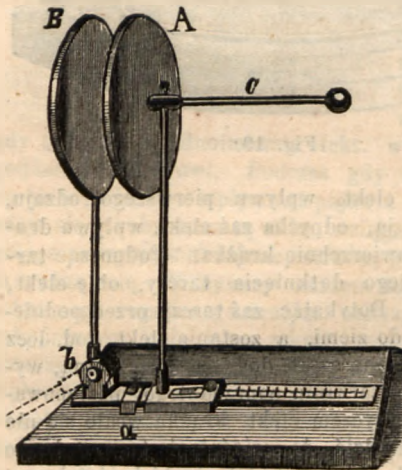


Fig. 20.

żenia; pierwszy nazywa się kondensatorem; drugi zbieraczem (collector); fig. 20 przedstawia aparat nagromadzający Riess'a w formie do mierzeń dogodnej; A jest zbieracz, B kondensator, A ma przedłużenie C. Jeżeli B zostanie odchylnym około stawu b, a C połączone z konduktorem maszyny elektrycznej to zbieracz otrzyma elekt. dod. o zagęszczeniu konduktora. Jeżeli połączenie z tym ostatnim zostanie przerwane, a B powrócony do położenia równoległego, to powierzchnia przednia B, zwrócona ku A stanie się odjemną a powierzchnia tylna, odwrócona od A, dodatnią; w obecnym przypadku elekt. powierzchni tylnej przechodzi do zie-

mi, a powierzchnia przednia zostaje naelekt. jeszcze silniej, gdyż zubożniająca elekt. dod. została odprowadzona. Odjem. elekt. powierzchni przedniej B, wywiera tu ważne działanie; ściąga ona elekt. dod., poprzednio jednostajnie rozłożoną na A i C, ku tylnej powierzchni zbieracza zwróconej do kondensatora, wskutek czego zagęszczanie tej elekt. dod. na pow. przedniej i na przedłużeniu, znacznie się zmniejsza. Zagęszczenie zatem kuli przedłużenia staje się mniejszem od zagęszczenia konduktora, gdy więc nastąpi nowe pomiędzy niemi zetknięcie, to nowa ilość elekt. dod. wpłynie na zbie-

racz; elekt. ta opisanym poprzednio sposobem, nagromadzi przez wpływ elekt. odjem. w kondensatorze, i zostanie przez nią znowuż w znacznej części ściągniętą na tylną ścianę zbieracza, a zagęszczenie elekt. powierzchni przedniej i przedłużenia znowu się zmniejszy. Nowa więc ilość elekt. dod. z konduktora może wejść na zbieracz, po przedłużeniu; podziela ona też przez wpływ na kondensator i udzieli mu elekt. odjem. Takim sposobem elekt. dod. coraz bardziej gromadzić się będzie na zbieraczu a elekt. odjem. na kondensatorze. To nagromadzanie jednak nie odbywa się bez końca, gdyż przy każdym nowym wpływie nie cała elekt. dod. przechodzi na tylną stronę zbieracza, część jej pozostaje także i w innych jego częściach i w przedłużeniu, zatem ta elekt. zwiększa za każdym wpływem zagęszczenie kuli przedłużenia; gdy to zagęszczenie stanie się równem zagęszczeniu konduktora to nowy wpływ miejsca mieć nie będzie, przyrząd nagromadzający będzie wtedy naładowanym. Zagęszczenie elekt. dod. na zbieraczu, można ocenić ztąd, że zagęszczenie to jest w takim stosunku do zagęszczenia kuli przedłużenia, a więc i konduktora, jak przy pierwszym wpływie zagęszczenie zbieracza do zagęszczenia przedłużenia. Liczba wzmocnienia przyrządu nagromadzającego, to jest iloraz z zagęszczenia zbieracza przez zagęszczenie konduktora, jest równa ilorazowi zagęszczeń kuli przedłużenia przed i po doprowadzeniu kondensatora do położenia równoległego, przy pierwszym wpływie. Tę liczbę otrzymamy zatem, dzieląc zagęszczenie kuli przedłużenia przy odchyleniu kondensatora, przez zagęszczenie tejże kuli po doprowadzeniu kondensatora do położenia wskazanego na figurze. Riess znalazł, że przy zwiększającej się odległości liczba wzmocnienia zmniejsza się, i że przy małych odległościach jest do nich odwrotnie proporcjonalną, wielkość kręgów nie jest też bez wpływu; liczba wzmocnień wzrasta dla większych kręgów; liczba ta w ostatnim przypadku cokolwiek się zwiększa gdy długość doprowadzacza mocno maleje; jest także większą wtedy, gdy odrowadzający drut kondensatora, jest równoległym do jego powierzchni, niż wtedy, gdy jest do niej prostopadłym; nakoniec jest większą przy umieszczeniu doprowadzacza w środku zbieracza, niż na jego brzegu.

Riess znalazł, że przy odległości krążków $4,5^{\text{mm}}$ zagęszczenie na końcu doprowadzacza wynosiło $0,155$ pierwotnego zagęszczenia; a więc liczba wzmocnienia była $1 : 0,155 = 6,4$; przy odległości 9^{mm} była ona $= 1 : 0,274 = 3,6$. Średnica krążka wynosiła w pierwszym razie 184^{mm} ; gdy zaś wynosiła tylko 117^{mm} , to liczba wzmocnienia była tylko $4,3$, przeciw poprzedniej $6,4$. Długość druta doprowadzającego była przy $6,4$, równą $7,8^{\text{mm}}$; gdy drut był długi na 225^{mm} , to liczba wzmocnienia wynosiła $5,8$. Na naszej figurze, odosabniaczem oddzielającym zbieracz od kondensatora, jest warstwa powietrza; stały odosabniacz nie zmniejsza lecz owszem zwiększa działanie, gdyż przy nim niema miejsca rozpraszanie przez powietrze, obie elekt. odpychają się z krążków metalowych,

(podług Franklina) aż do najbardziej zewnętrznych warstw odosobniacza, a przeto przystępują do siebie bliżej i zwiększają liczbę wzmocnienia; a nakoniec stały odosobniacz pozwala na silniejsze niż powietrzny, naładowanie, gdyż powietrze przedstawia mały opór łączeniu się elekt. przez iskry. Aparat nagromadzający przedstawia się zwykle w trzech głównych formach: kondensatora, butelki elekt. i tablicy Franklina. Przez kondensator jednak nie rozumie się tu platki poprzednio rozważanego przyrządu, lecz inne urządzenie, którego zasadniczym elementem jest rzeczywiście ta platka,

483. 1. **Kondensator** (Volta 1783, Kohlrausch 1849) ma za zadanie zwiększyć bardzo małe zagęszczenia elektryczności, w celu przekonania się o ich istnieniu, poznania ich i zmierzenia. Składa się on z platek: kondensatora i zbieracza, powleczonej z jednej strony pokostem, a z drugiej opatrzonej rączkami szklanymi; platka kondensatora może być wyszrubowana lub naszrubowana na doprowadzający drążek elektroskopu.

Dotyka się ciałem badanym platki zbieracza trzymając palec, jako odprowadzacz, na płacie kondensatora. Warstwa pokostu tworzy odosobniacz; platka zbieracza naładowywała się jednoimienną elekt., a platka kondensatora przeciwnomienną; dotykając zbieracza gałką elektroskopu przekonywamy się czy ciało posiada elekt. Jeżeli platka kondensatora jest naszrubowana, to należy na niej umieścić płatkę zbieracza, dotknąć jej ciałem, a platka kondensatora winna być w połączeniu odprowadzającym; wtedy podnosi się płatkę zbieracza i uważa z listków elektroskopu, czyli ciało było elekt. czy nie; w ostatnim razie elektroskop otrzymuje elekt. przeciwnomienną względem badanego ciała. Gdy to nie ma miejsca, to należy dotknąć górnej platki odprowadzającą, a dolnej ciałem. Do wydania sądu o rodzaju elekt. wystarcza zbliżenie sztabki szklanej; jeżeli listki elektroskopu rozejdą się, to będzie ona dodatnią, a gdy się zjedną odjemną. Kohlrausch zbudował kondensator pozwalający mierzyć słabe elekt. Obie platki metalowe, położone na powierzchniach przednich są umocowane za pomocą mosiężnych drążków przedłużenia, w podstawkach drewnianych, które, jeden stałe, drugi ruchomo, są przytwierdzone do podstawy przyrządu; platki zostają do siebie zbliżone, naładowane, i wtedy przez pociągnięcie nitki, znacznie oddalone od siebie, ponieważ tu zachodzą zawsze jedne i te same: doprowadzanie; odprowadzanie przeto i liczbą wzmocnienia pozostaje zawsze tą samą; z wpływu zatem platki zbieracza na elektroskop można wydać sąd o sile elekt.

484. 2. **Butelka elektryczna** (Klejst w Kamin 1745, Cuneus w Leyden) służy do nagromadzenia ilości elekt. większej od tej, jaką przewodnik nabrać może. Składa się (fig. 21) ona z walca szklanego który wewnątrz i zewnątrz jest wyłożony cynfolją do $\frac{2}{3}$ swej wysokości, a którego reszta powierzchni jest pociągnięta pokostem z laku pieczętarskiego. Szkło jest opatrzone nakrywką z drzewa suchego, przez którą przechodzi drążek mosiężny, kończący się na zewnątrz gałką, a wewnątrz łańcuszkami dotykającymi wewnętrznego wyłożenia. Chcąc naładować butelkę, łączy się obłożenie zewnętrzne przewodnio z ziemią, trzymając butelkę w ręku, lub stawiając ją na podstawie

przewodniej, a gałkę wyłożenia wewnętrznego łączy się, także przewodnio, z konduktorem maszyny elekt. lub dotyka się nią bezpośrednio konduktora, albo też przykłada się do niej często tarczę elektroforu. Wyłożenie wewnętrzne jest zbieraczem, drążek z gałką przedłużeniem, a obłożenie zewnętrzne kondensatorem. Elekt. dod. wyłożenia odpycha do ziemi elekt. dod. obłożenia, a przyciąga jego elekt. odjemną, zatrzymuje ją i sama jest przez nią zatrzymywana, przeto zagęszczenie elekt. drążka zmniejsza się coraz bardziej ku górze i na samej gałce jest bardzo nieznaczne; wskutek tego wpływ trwać będzie dotąd aż zagęszczenie gałki zrówna się z zagęszczeniem konduktora; wtedy zagęszczenie na wyłożeniach: wewnętrznym i zewnętrznym, będzie tyle razy większem od zagęszczania konduktora, ile wynosi liczba wzmocnienia, spowodowana wymiarami. Przez powiększenie butelki i wyłożeń można zwiększyć liczbę wzmocnienia; ponieważ jednak to zwiększenie, w pojedynczej butelce, ma miejsce tylko do pewnej granicy, przeto łączy się kilka butelek w *baterję elektryczną*, ustawiając je na wspólnej odprowadzającej podstawie, a wyłożenie wewnętrzne jednocząc drążkami, schodzącymi się w jednej gałce głównej. Inną formą tego przyrządu jest tablica Franklina (1751), czyli tafła szklanna ustawiona na podstawku, wyłożona po obu stronach, w części cynfolją, a w części powleczone pokostem. Baterja i tablica ładują się tak samo jak butelka. Wyładowanie następuje przy połączeniu obłożenia zewnętrznego z wewnętrznym, za pomocą excyt.; elekt. dod. wewnętrznego wyłożenia przechodzi do zewnętrznego a odjem. z zewnętrznego na wewnętrzne, przez co równe ilości obydwóch zostają zubożnione. Ten ruch przeciwny, to łączenie się obu elekt. w jednym przewodniku, nazywa się jak wyżej wzmiankowano, *strumieniem elektrycznym*, który, gdy trwa krótko, jak w butelce elekt. przyjmuje nazwę *uderzenia elektrycznego*. Przy dosyć silnych elektrycznościach uderzenie to następuje także i przez nieprzewodniki, jak np. przez powietrze, przy czem powstaje *iskra elektryczna*; iskra więc elekt. jest uderzeniem elekt. przez powietrze.

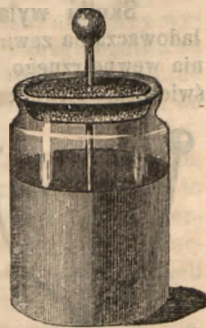


Fig. 21.

W łuk excytatora wprowadza się rozmaite ciała i obserwuje wpływy na nie wywarte przy wyładowywaniu: używa się do tego rozmaitych wyładowaczy. Ogólny wyładowacz Henley'a (1760), składa się z dwóch sztabek metalowych opatrzonych gałkami i pierścieniami, które za pomocą połączeń stawowatych mogą być obracane i przesuwane, wskutek czego gałki mogą być zbliżone do małego stoliczka; w pierścieniach wiszą druty idące od wyłożeń, a na stoliczku, między gałkami, umieszczają się przedmioty, które mają być poddane uderzeniu el. Inne wyładowacze składają się zwykle (fig. 22) z ruchomych lub zginac się dających,

sztabek metalowych, zakończonych gąłkami i opatrzonych jedną lub dwiema rączkami szklannymi, albo osadzonych na guttaperce; gąłki łączą się z wyłożeniami wewnętrznem i zewnętrznem.

Ilość naładowania mierzy się za pomocą butelki mierniczej Lances'a (1757).

Na wysokości guzika butelki Lejdejskiej jest umieszczona przesuwalna sztabka mosiężna z podziałami, opatrzona gąłką w pobliżu gąłki butelki, a na drugim końcu pierścieniem przyjmującym drut od obłożenia zewnętrznego. Gąłka tej butelki mierniczej łączy się z zewnętrznem obłożeniem butelki mającej być wymierzona, i ta ostatnia naładowywa się; elekt. dod. zewnętrznego obłożenia, odepchnięta, płynie do gąłki butelki mierniczej naładowywa ją, i przy oznaczonym ładunku wytwarza iskrę, między tą gąłką a gąłką sztabki; liczba iskier przy oznaczonej odległości gąłek pozwala sądzić o sile ładunku pierwszej butelki. Naładowania są równe, gdy przy jednakowej odległości gąłek wywołują z butelki mierniczej tęż samą liczbę iskier.

483. Skutki wyładowania. Iskra elektryczna. Umieszczając jedną gąłkę wyładowacza na zewnętrznem obłożeniu butelki, i zbliżając drugą do gąłki wyłożenia wewnętrznego, na odległość dalekości uderzenia, wypadnie iskra jasna, biało świecąca, biegnąca w kierunku prostolinijnym, sprawiająca dosyć silny trzask; jestto wyładowanie przez powietrze. Znaczna liczba własności iskry była już rozbieraną poprzednio. Dalekość uderzenia mierzył Riess za pomocą *mikrometru do iskier*; ten ostatni składa się z gąłki umocowanej stale na płatce za pomocą słupka szklanego, i opatrzonej szrubą ściskającą i z drugiej takiejże gąłki, dającej się przesuwac wzdłuż płatki z dokładnymi podziałami. Podług Riess'a, nie siła iskry, lecz dalekość uderzenia jest niezależną od natury łuku zamykającego. Bateria z 5 butelek, wyładowana przez krótki, gruby drut miedziany przy dalekości uderzenia $1\frac{1}{2}''$, wydaje jasną, błyszczącą iskrę z trzeszczącym hałasem, wyładowaną zaś przez długi, cienki drut platynowy daje iskrę słabą, a przy wprowadzeniu rurki z wodą, iskrę zaledwie dostrzegalną. Ilość elekt. wyładowana przy dalekości uderzenia, wynosi, podług Riess'a, zawsze $\frac{1}{13}$ całego ładunku, tak że pozostają tylko $\frac{2}{13}$; zbliżając gąłki na $\frac{2}{13}$ dalekości uderzenia powstaje druga, słabsza iskra, która wyładowuje znowu tylko $\frac{1}{13}$ pozostałego ładunku, tak, że jeszcze zostanie mała reszta, do której wyładowania już jest potrzebnem dotknięcie; wyładowanie zatem rozpada się na wiele wyładowań cząstkowych. Po upływie pewnego czasu od pierwszego dotknięcia, może mieć nawet miejsce 2-gie 3-cie nawet 4-te wyładowanie, a więc przy pierwszym wyładowaniu nawet przez dotknięcie, nie cała elekt. została zobojętnioną; pozostała w butelce reszta, elektryczne residuum. Zazwyczaj objaśnia się to zjawisko w ten sposób, że część obu elektryczności, odpychana z wyłożeń wchodzi we wnętrze szkła, i dopiero powoli powraca do wyłożeń po pierwszym wyładowaniu gdy odpychanie ustaje; ta więc elektryczność jest przyczyną następnych wyłado-

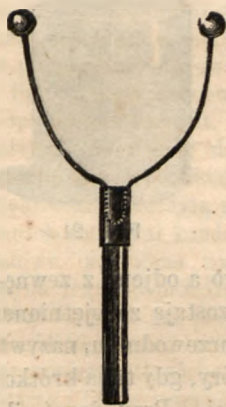


Fig. 22.

wań. Kohlrausch jednak, który badał ściśle te zjawiska, za pomocą swego wstaoelektrometru, zaprzecza temu objaśnieniu.

Butelka rozkładana popiera je; składa się ona z naczynia szklanego, wchodzącego w naczynie metalowe; w pierwszym z tych naczyń daje się zamknąć forma metalowa opatrzona gałką. Te części, złożone, tworzą butelkę elekt.; po naładowaniu jej, rozłożeniu po pewnym czasie i zobojętnieniu metalicznych jej części, złożona, na nowo, okazuje, jednak po pewnym czasie, słabe naładowanie. Tak samo się zachowuje *tafla rozkładana*. Butelka może być także wyładowana przez liczne kolejne iskry; ilość elekt. dod. wyłóżenia wewnętrznego jest oczywiście większą niż odjemnej na obłożeniu zewnętrznem; jeżeli więc postawimy butelkę na podstawku odosabiającym i ściagniemy iskrę dod. z gałki przez zbliżenie palca, to zmniejszona obecnie elekt. odjem. nie będzie w stanie zatrzymać całej elekt. odjem. obłożenia zewnętrznego, będzie więc zeń można ściągnąć iskrę, poczem poprzednia przewaga wewnętrznego wyłóżenia powtórnie nastąpi, i znowu będzie można wydobyć iskrę z gałki i t. d. *Wyładowania boczne* są także skutkiem przewyżki elekt. na jednym wyłożeniu; można je zauważyć przy wyładowaniu butelki za pomocą łańcuszka z delikatnego drutu, którego ogniwa są opatrzone kolcami; na kolcach tych powstają pęczki światła; wyładowania boczne mają także miejsce przy przeprowadzeniu drutu bocznego od łuku zamknięcia do elektroskopu.

2. **Działania mechaniczne.** Iskra butelki rozmiata silnie powietrze, 486. a proch rozrzuca na strony; jeżeli iskra przechodzi przez naczynie zamknięte, to wskutek uderzenia powietrza korek zostaje wyrzuconym (moździerz elekt.). Termometr Kinnersley'a składa się z naczynia szklanego, połączonego z cienką rurką, w którą, u góry i u dołu wchodzą kulki kończące łuk zamknięcia. Jeżeli iskra przeskoczy pomiędzy kulami, to powietrze zostanie wstrząśniętem tak silnie, że wepchnie ciecz znajdującą się u dołu naczynia, w rurkę; z wysokości wzniesienia się cieczy w rurce sądzić można o sile iskry. Nieprzewodnik twardy, np. karta, tektura, zostaje przedziurawionym; szkło jednak musi być oczyszczone starannie. W przedziurawionych karcie i tekturze, brzegi otworu są wywinęte w obie strony, tak jakby siła rzeczywiście w obie strony działała. Jeżeli końce łuku zamknięcia, między które karta została włożona nie leżą dokładnie naprzeciw siebie, to otwór jest zawsze zwrócony brzegami do końca odjem. (Doświadczenie Lullin'a). Daleko łatwiej jest wywołać figury Lichtenberg'a, za pomocą butelki. Wstawiając drut cienki w łuk połączenia, powstaje nawet przy niewielkiem naładowaniu, para szarawa, z wyrwanych i rozprysniętych przez iskrę cząstek; przy silniejszych wyładowaniach drut zostaje wygiętym, a liczba i wielkość wygięć zwiększa się z liczbą wyładowań; przy silniejszych jeszcze wyładowaniach druty żarzą się rozrywają i rozpadają na stopione kawałki, a przy najwyższej sile wyładowania druty z wielkim hałasem zamieniają się w pył, powodując wspaniałe zjawisko świetlne. Nitkę jedwabną, złotem przeplecioną i rozciągniętą najasnej podstawie, można zamienić w smużki brunatne, nie niszcząc samego jedwabiu. Jeżeli końce przerwy zostaną zanurzone w płynie nieprzewodnym, zamkniętym w naczyniu, to iskra rozłoży płyn, a naczynie zawyyczaj w tym razie zostaje uszkodzonym. Cynfolja może być zamienioną w parę, złoto gąbczaste topi się między płatkami szklanymi. Do wielu doświadczeń bardzo jest dogodny ogólny wyładowacz Henley'a. Umieszczając na małym jego stoliczku cukier, spat ciężki, fluspat, po przepuszczeniu licznych iskiek, ciała te pozyskają nową własność świecenia w ciemności.

487. 3. Działania ciepłikowe. Ciała łatwo zapalane łatwiej goreją od iskry butelki lub baterji, niż od iskry maszyny elekt.; proch także może być zapalonym (fig. 23); w tym celu umieszcza się proch w małej skrzynce drewnianej, w której wewnątrz wchodzi z zewnątrz, metalowe sztyfty; na tych sztyftach umieszcza się obie części łuku połączenia, lecz końce sztyftów muszą być owinięte mokremi niciami gdyż inaczej iskra, przechodząc zaszybko rozrzuci tylko proch, lecz go nie zapali. To doświadczenie pewniej się udaje, gdy końce sztyftów są pokryte srebrem piorunującym, albo jeszcze lepiej chloranem potażu i siarkiem antymonu. Łatwiej udaje się zapalenie bawełny strzelniczej. Riess studjował ogrzanie drutów za pomocą swego powietrznego termometru; ten ostatni składa się z kuli szklanej napełnionej powietrzem; przez nią przechodzi spiralna platynowa podtrzymywana z obu stron zewnątrz szrubami ściskającymi i połączona z pochyłą, na przodzie zakrzywioną rurką, mającą pod sobą podziały i zawierającą ciecz. Końce łuku połączenia ściskają się szrubami; wskutek przejścia strumienia drut się rozgrzewa, powietrze się rozszerza i wypycha ciecz. Wielkość wysunięcia cieczy pozwala sądzić o powstałym cieple. Co do wpływu wyładowania elekt. i wymiarów druta, Riess znalazł, że rozgrzanie drutu jest wprost proporcjonalne do iloczynu z zagęszczenia przez ilość elekt. lecz niezależne od długości druta, a odwrotnie proporcjonalne do 4-tej potęgi z jego promienia; swobodna zaś ilość ciepła jest wprost proporcjonalną do długości druta, a odwrotnie do kwadratu z jego promienia. Riess zauważył także, że czas trwania wyładowania przez drut cienki jest krótszy lub dłuższy, stosownie do jego zdolności przewodnich, i że zdolność ogrzania drutu jest wprost proporcjonalną do siły opóźniającej metalu, a odwrotnie proporcjonalną do jego gęstości i ciepła właściwego. Vosselmann de Heer (1840) wyprowadził ztąd wniosek, że wyładowanie baterji naładowanej tąż samą elekt. wytwarza toż samo ciepło w każdym łuku połączenia; z tego wniosku i z zasady zachowania sił, wniośł Helmholtz że wyładowanie jest oscyllującym.

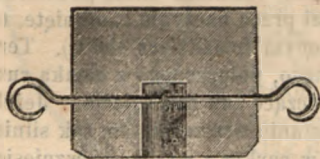


Fig. 23.

488. 4. Działania fizjologiczne, magnetyczne, chemiczne i elektryczne. Biorąc jedną ręką obłożenie zewnętrzne, a drugą dotykając galki, doświadczają się bolesnego wstrząśnienia w zgięciach rąk, przy słabych uderzeniach, a przy silniejszych także i w przedramieniu; przy bardzo silnych wyładowaniach daje się czuć także boleść w piersiach, spowodować mogąca płucie krwią, a nawet sparaliżowanie; można wystawiać pewne części ciała na działanie iskry wprowadzając je w łuk zamknięcia. Pewna liczba osób może czuć uderzenie współcześnie, jeżeli tworzy łańcuch, w którym pierwsza osoba dotyka się obłożenia zewnętrznego, a ostatnia galki. Za pomocą butelki elekt. można zabijać małe zwierzątka; baterja pozwala zabijać większe, przy sekcji ich jednak nie można dostrzedz żadnego wewnętrznego obrażenia. Znajdując się w pobliżu ciała silnie naładowanego elekt., nie dotykając ani ciała, ani wyładowacza, w chwili wyładowania doświadczamy pomimo to wstrząśnienia elekt. zwanego *uderzeniem zwrotnem*; zjawisko to objaśnia się w ten sposób, że konduktor działa wpływowo na bliskie niego ciało

ludzkie (lub inne), wciąga elekt. różnoimienną w część ku sobie zwróconą, a jednoimienną odpycha do części odwróconej; przy wyładowaniu znika przyczyna wpływu, i obie elekt. rozdzielone, napowrót się łączą, stając się przyczyną uderzenia. Uderzenie elekt. zbacza igłę magnesową, rozkłada połączenia chemiczne, wytwarza w sąsiednich nawiniętych przewodnikach strumienie elekt.; te działania jednak, przy ciągłym strumieniu elekt. są daleko wydatniejszymi, niż przy uderzeniu, które jest tylko chwilowym lub bardzo krótko trwającym strumieniem.

5. **Trwanie wyładowania, prędkość elektryczności.** (Wheatstone 1835, Feddersen 1860, Watson 1748). Jeżeli przed punktem świecącym obraca się zwierciadło, to i obraz punktu również się obraca, i to dwa razy prędzej niż zwierciadło; jeżeli obrót jest powolny to można rozróżnić pojedyncze obrazy punktu, które przy szybkim obrocie z powodu trwałości wrażeń świetlnych, tworzą jedną linię ciągłą. Długość linii zależy od długości istnienia punktu świetlnego i od prędkości obrotu; im dłużej trwa iskra i im prędzej zwierciadło się obraca, tem linija jest dłuższą, zawiera ona podwójną liczbę stopni, względnie do liczby stopni przebieżonych przez zwierciadło; można więc długość jej obrachować z prędkości zwierciadła i czasu trwania iskry. Jeżeli zwierciadło odbywa w sek. n obrotów, to droga jego w sekundzie $= n \cdot 360^{\circ}$, a w czasie trwania x , droga ta $= nx \cdot 360^{\circ}$; droga więc obrazu iskry wynosi $2nx \cdot 360^{\circ}$. Z obserwacji otrzymujemy wielkość tej drogi; niech będzie ona np. a , to $x = a : 720 n$. Wheatstone, wprawiając w obrót zwierciadło umieszczone w bliskości iskry wypadającej z maszyny elekt., zauważył przedłużenie obrazu iskry dopiero przy 800 obrotach na sekundę, i to przedłużenie wynosiło mniej niż $\frac{1}{2}^{\circ}$; więc trwanie iskry krótsze jest niż $\frac{1}{2} : (720 \cdot 800)$, czyli trwa krócej niż $\frac{1}{1152000}$ sek. Dłużej trwa iskra z butelki elekt. Wheatstone znalazł, że trwanie iskry, która przeskakiwała między końcami metalowego łuku zamknięcia, opatrzonemi dwiema kulami, było równem 0,000042 sek. Feddersen znalazł czasy trwania jeszcze dłuższemi przy wprowadzeniu większych oporów; przy wprowadzeniu rurki wodnej długiej na 9^{mm}, czas trwania był 0,0014; przy rurce wodnej na 180^{mm}, 0,0183 sek.; znalazł także, że przyrost trwania zwiększa się z dalekością uderzenia i z wielkością materiału. Z dokładniejszych doświadczeń okazało się, że trwanie wzrasta także przy oznaczonej małości oporów. Z długości czasu wyładowania butelki wypada, że każde wyładowanie cząstkowe składa się z szeregu mniejszych wyładowań cząstkowych; naprzód wyładowywa się łuk zamknięcia, co szczególnie tem się wyjaśnia, że po naładowaniu, łuk zamknięcia sprawia wyładowania po oddzieleniu go od butelki; po tem pierwszym wyładowaniu, powietrze zostaje rozrzuconem na strony, rozrzedzonym i zdolnem do wyładowania elekt. płynącej z wewnętrznego wyłożenia, i tym to sposobem następują po sobie coraz słabsze wyładowania. Zgodnie z tem, w ulepszonym przyrządzie Feddersen'a, obraz iskry przedstawiał się w postaci szeregu linii, równoległych, stających się coraz delikatniejszymi i coraz siebie bliższymi. Na zasadzie tego, można łatwo objaśnić przyrost trwania iskry z przyrostu oporu; dla objaśnienia zaś przyrostu przy bardzo małych oporach Feddersen przyjmuje, że w tym razie wyładowanie jest oscylującym, złożonym z wyładowań przeciwnych; podług tego, wyływałyby obie elekt. z rodzajem opóźnienia ku punktowi złączenia się

potem wracały się i wytwarzały wyładowanie przeciwne, kolejno się powtarzające. Oscylacje te mogą tylko mieć miejsce przy małych oporach, gdyż wtedy tylko możebnym jest przepływ elekt. Obserwacja rozciągniętego na długość obrazu iskry, przy użyciu tafli matowej, potwierdziła tę teorię, obraz ten bowiem składał się z jasnych pasków rozdzielonych przestrzeniami ciemnymi; Helmholtz (1846) przypuszczał istnienie wyładowania oscylującego; Thosmon (1853) i Kirchhoff (1857) wykazali je na drodze teoretycznej, a von Oettingen (1862) znalazł nowe dlań poparcia przy badaniu uderzeń wstecznych z bateryj, gdyż znalazł stany wsteczne zgodnie z teorią oscylacyj, raz dodatnimi, raz odjemnymi.

Już Watson zauważył, że człowiek wprowadzony w łuk zamknięcia długi na 400^m, doświadcza uderzenia w chwili ujrzenia iskry, że zatem droga ta zostaje przebieżoną w czasie nie dającym się wymierzyć. Wheatstone'owi udało się za pomocą metody szkieł obracających się, zmierzyć prędkość elektr. w drucie miedzianym. Od zewnętrznego obłożenia butelki był przeprowadzony krótki drut zakończony kulą, do tak zwanej deski iskiej; w bliskości pierwszej kuli umieszczoną była druga, od której szedł drut, 402^m długi, w skrętach odosobnionych, do kuli trzeciej, która od drugiej była znacznie oddaloną, lecz blisko kuli czwartej; z tej ostatniej wychodził znowu drut na 402^m długi do kuli piątej, która będąc dosyć daleko od 4-tej znajdowała się w pobliżu szóstej kuli, opatrzonej krótkim drutem z gałką służącą do połączenia z wyłożeniem wewnętrznym. 6 kul leżących w jednej linii prostej przy połączeniu ich z wyłożeniami: wewnętrznym i zewnętrznym, tworzyło 3 miejsca przerwy w łuku zamknięcia; przy wyładowaniu butelki zatem, wydawało 3 iskry leżące na jednej prostej; od iskry 1—2 do iskry 3—4, elekt. musiała przebieść 402^m, jak również od iskry 3—4 do iskry 5—6. Przed deską iskiej umieszczone było zwierciadło mogące się obracać; przy mniejszej liczbie obrotów widziano zawsze w zwierciadle trzy iskry, leżące w jednej linii prostej, z czego wypadło, że w czasie w którym elekt. przebiegła 402^m obrót zwierciadła był prawie żaden; przy 800 obrotach na sek., pojawiły się 3 obrazy iskiej, w postaci linii prostych, równej długości; dwie boczne były dokładnie w jednej wysokości; średnia zaś od tamtych cokolwiek odsunięta i w kierunkach przeciwnych przy przeciwnych kierunkach obrotu. Ztąd wypadło, że dwie zewnętrzne iskry powstały współcześnie, co potwierdzało wyjście elekt. z obu wyłożeń i przeciwodpływ ich w strumieniu elekt.; dalej wypadło, że iskra średnia powstała później i to o tyle, o ile zwierciadło potrzebowало czasu do obrotu równego połowie odsunięcia obrazu średniego. Ponieważ zaś to odsunięcie wynosiło $\frac{1}{2}^{\circ}$, więc czas obrotu zwierciadła wynosił $\frac{1}{2} : (2.800.360) = 1 : 1152000$ w sek.; w tym to czasie elekt. przebyła drogę 402^m, więc w sekundzie przebywa drogę $402.1152000 : 7420 = 62500$ mil. Podług tego prędkość elekt. w drucie miedzianym byłaby 62500 mil; jestto prędkość największa ze znanych na ziemi. Prędkość ele. w drucie żelaznym, podług Walker'a wynosi tylko 4000 mil., a Fizeau i Gounelle znaleźli dla miedzi 24200, dla żelaza zaś 13500 mil. Według Faraday'a, te różne wypadki pochodzą ztąd, że elekt. doznaje rozmaitych opóźnień w otaczających ją ośrodkach; działa ona bowiem wpływowo na ośrodek, ładuje go przeciwnie i zostaje przezeń wstrzymywana, co opóźnia bieg jej po drucie. Ponieważ wpływ jest różnym dla różnych ciał, przeto i opóźnienie musi być odmiennem dla rozmaitych ośrodków.

Teorytyczne badania Kirchhoff'a wskazały jednak, że prędkość elekt. w drucie nie przedstawiającym oporu wynosi tylko 41950 mil. czyli jest równą prędkości światła, i że zatem dla drutów oporowych jeszcze mniejszą być musi.

Maszyna elektryczna Holtz'a, maszyna wpływu, maszyna elektroforowa. (Holtz 1865, Töpler 1865). Maszyna wpływu daje strumień stały z pęczkiem świetlnym, lub słabemi iskrami, albo też szereg mocnych isker prawidłowo po sobie następujących i przeskakujących między dwiema przeciwiennymi kulami konduktora. Urządzenie Holtz'a widać na fig. 24 w perspektywnym widoku z przodu, a fig. 25 przedstawia przecięcie poziome. W skład maszyny wchodzi dwa cienkie krążki szklane blisko siebie umieszczone, z których jeden cd może być obracany bardzo szybko za pomocą korby, wałka i sznurów, na wale ab; drugi zaś ef jest stały, wsparty na 4-ch podporach z twardego kauczuku i opatrzony dużym otworem w punkcie przejścia wału. Krążek stały ef ma na obu końcach średnicy dwie nakładki z papieru g i h; nad g i pod h są zrobione w tym krążku wycięcia, przez które wystają zębki papierowe k i n, w bliskości krążka ruchomego. Po drugiej stronie krążka ruchomego

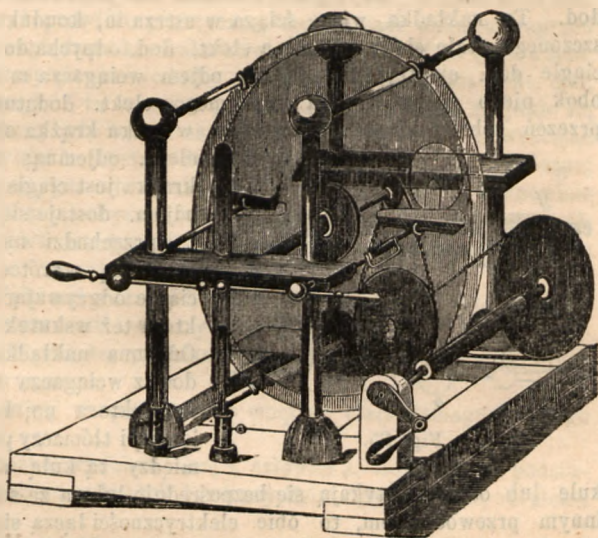


Fig. 24.

naprzeciw nakładek z papieru, znajdują się dwa wciągacze l i m, od nich zaś idą sztaby mosiężne do konduktorów no i pq, których kule q i o mogą być do siebie zbliżone lub oddalone za pomocą przesunięcia i obrotu rękolejści p i n.

Chcąc z pomocą tej maszyny wykonać doświadczenie, zbliża się obie kule konduktorów aż do zetknięcia, następnie pociera się kawałek gummy twardej skórą kocią, i gummę tę trzyma się po za nakładką g, dalej wprawia się w obrót krążek cd; gdy hałas trzeszczący da się słyszeć, wtedy oddala się konduktory, a między kulami pojawia się pęczek wygiętych fioletowych ni-

tek, trwających dotąd, dopóki obrót ma miejsce; zdejmując kule i stawiając ostrza naprzeciw siebie, tworzy się wiązka niezliczonych iskier. Umieszczając na sztabkach wciągaczy mały konduktor, otrzymujemy stały strumień iskier, tem hałaśliwszych i większych im bardziej kule czyli bieguny są od siebie oddalone. Hałas wyrównywa wystrzałowi z pistoletu, gdy konduktory są w połączeniu z wyłożeniami butelki elekt.

Riess wyjaśnia działanie tej maszyny w następujący sposób. Elektr. odjem. płatki z twardego kauczuku działa wpływowo na wciągacz i konduktor, wciąga elekt. dodatnią w ostrza l, a odpycha odjem. do konduktora no; elekt. dod. ostrzów ściąga odjemną z krążka, obracanego z tej strony ku górze, i spływając, łączy się z nią; na każdym więc miejscu krążka obrotowego pozostaje elekt. dod. tak, że cała górna część krążka jest dod. elekt. Każdy punkt tej połowy, wskutek obrotu zbliża się do zęba k i udziela mu jak również nakładce h, stale elekt. dod. Ta nakładka więc, ściąga w ostrza m, konduktora naprzeciw niej umieszczonego, stale elekt. odjem. a elekt. dod. odpycha do kuli q; kula q jest zatem ciągle dod. elektryczną. Elekt. odjem. wciągacza m zabiera z przechodzącego obok niego paska krążka ruchomego elekt. dodatnią, zobojętnia ją i zostaje przezeń zobojętnioną, a pozostawia w pasku krążka obracającego się ku dołowi elekt. odjemną; cała więc dolna połowa krążka jest ciągle elektroodjemną, ta elekt. odjem. dostaje się wskutek obrotu, do zęba i, i przechodzi na nakładkę g; ta ostatnia staje się wkrótce odjem. i pozostaje nią ciągle odgrywając rolę płatki kauczukowej która też wskutek tego odjęta być może. Odjemna nakładka g przyciąga stale elekt. dod. z wciągacza l, a odpycha odjemną do konduktora no; kula zatem o jest stale odjemną i tłómaczy powstanie strumienia iskier między tą kulą a kulą q, dodatnią. Gdy

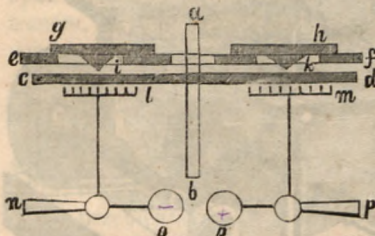


Fig. 25.

kule lub ostrza dotykają się bezpośrednio lub są ze sobą złączone drutem, albo innym przewodnikiem, to obie elektryczności łączą się w chwili ich powstania; te połączenia następują więc po nader małych przestankach, z których każdy jest równy czasowi potrzebnemu do przejścia elekt. z ostrzów na krążek ruchomy; przestanki są tem krótsze, im ostrza są bliższymi punktów matematycznych.

Za pomocą tej maszyny można wykonać większą część doświadczeń elektrycznych i wywołać nawet działania magnetyczne i chemiczne, które są niewyraźnymi przy silnej nawet bateryi. Wprowadzając między ostrza termometr powietrzny Riess'a, ciecz opadnie szybko; przepuszczając iskry przez wążką rurkę szklaną, rozgrzeje się ona tak, że zapalą, przez samo dotknięcie do rurki, zapali się. Fosfor i bawełna strzelnicza zapalają się między ostrzami w tej chwili, węgiel drobno sproszkowany żarzy się, hubka zapala się z trudnością, proch strzelniczy wcale nie. Wprowadzając w boczne połączenie dotykających się konduktorów, rurkę napełnioną rozrzedzoną parą lub gazem, tak zwaną rurkę Geissler'a, i umieściwszy po odsunięciu od siebie konduktorów, kondensatory, — powsta-

nie strumień jasnego światła, rozdzielonego na warstwy. Puszczając bezpośrednio strumień iskier na skórę, doznajemy uczucia palącego i kłującego; przy wprowadzeniu ciała między kule doświadczamy, szczególnie za użyciem butelki, mocnych wstrząszeń; niezbędną jednak do tego jest warstwa powietrza w łuku zamknięcia. Rozłożenie wody udało się Holtz'owi, jedynie przy użyciu w szkło wtopionych drutów, z których wywiązują się kuleczki strumieniem ciągłym i wązkim, w ilości 2 razy większej na konduktorze odjemnym, niż na dodatnym; ponieważ woda składa się z dwóch objętości H i jednej objętości O, wypada więc że H otrzymuje się z odjemnego konduktora, a O z dodatnego. Wprowadzając w łuk zamknięcia cewkę, owiniętą wielokrotnie drutem przewodnim, i zawieszając w niej igłę magnesową łatwo ruchomą, przy przejściu strumienia iskier, igła wyprowadzona zostanie z południka magnetycznego i ustawi się prostopadle do kierunku zwojów. Biegun północny w tym razie przyjmować będzie zawsze toż samo położenie, przy przeciwnym zaś kierunku strumienia, położenie wprost przeciwne. Ampère wykrył prawidło praktyczne, pozwalające wskazać naprzód położenie bieguna pół: względem kierunku strumienia. Prawidło to powiada: Wystawmy sobie, że płyniemy po przewodniku strumienia w kierunku elekt. dod. (a więc naprzeciw odjemnej), i to w takim położeniu ciała, że igła znajduje się przed nami; biegun północny igły będzie zawsze po lewej stronie. Odwracając to prawidło, można go używać korzystnie do oznaczenia kierunku elekt. dodatniej w przewodniku sprowadzającym zboczenie igły; wystawiamy sobie mianowicie że płyniemy ze strumieniem tak, abyśmy widzieli igłę przed sobą, a biegun północny po stronie lewej; głowa wtedy będzie zwrócona do dodatniego, a nogi do odjemnego konduktora.

Zadania: 680. Wykazać różnice i wspólności zachodzące między zasa- 491.
dniczemi zjawiskami magnetycznymi i elektrycznymi?

681. Wskazać różnicę między pojęciami naszymi o stanach wewnętrznych ciała: magnetycznego i elektrycznego.

682. Wykazać różnicę w pojęciach o wnętrzu ciała: niemagnetycznego i nieelektrycznego?

683. Dla czego można wydobyć iskrę z człowieka, stojącego na podstawie odosobnionej, i uderzającego w krążek żywiczny lisim ogonem; jaką on elekt. posiada?

684. Dla czego nie można rozpoznać rodzaju elekt., z przyciągania ciała elekt. przez potartą sztabkę? Patrz 473.3.

685. Doświadczenie Coulomb'a służące do sprawdzenia prawa odległości składało się także z trzeciej części; gałka skręcenia została obrócona jeszcze na $8,5^{\circ}$; jakie skręcenie było do tego potrzebne? Rozw. $575,5^{\circ}$.

686. Niech odpychanie na l odległości będzie F, połowa długości beleczki szalkir.; jakie będzie odpychanie przy odchyl. α ? Rozw. $F \cdot \cos \frac{1}{2} \alpha : (4r^2 \cdot \sin^2 \frac{1}{2} \alpha)$.

687. Dwie ilości elektryczności e i e' dają odchylenia α i α' przy skręceniach t i t'; jak się mają do siebie elektryczności? Rozw. $e' : e = (t' + \alpha') \sin \frac{1}{2} \alpha'$.
 $\text{tang } \frac{1}{2} \alpha' : (t + \alpha) \cdot \sin \frac{1}{2} \alpha \cdot \text{tang } \frac{1}{2} \alpha$.

688. Jakim będzie ten stosunek, gdy skręcenie w obu razach będzie doprowadzonym do odchylenia α ? Rozw. $e' : e = (t' + \alpha) : (t + \alpha)$.

689. Jakim będzie powyższy stosunek jeżeli odchylenie α już miało miejsce przed doświadczeniem? Rozw. $e' : e = t' : t$.

690. Jakie jest działanie wpływu, ciała dod. elektrycznego i odjem. elekt.?
691. Objaśnić przyciąganie elekt. wywarte przez ciało dod. na ciało nieelekt.; również przez ciało odjem.
692. Za pomocą szalki skręceń, wykryć prawo Coulomb'a co do ilości elektryczności wpływu?
693. Objaśnić działanie zachodzące przy podskokach kulek z korka?
694. Objaśnić dzwonki elekt.?
695. Wyprowadzić z prawa Poisson'a (480), że elekt. na kuli jest rozłożoną jednostajnie a na elipsoidzie największa jej ilość znajduje się na końcach wypuklejszych?
696. Objaśnić działanie elekt. w kołowrotku Magnus'a?
697. Dla czego kurz na konduktorach jest bardzo szkodliwym?
698. Ryba elekt. kołysząca się swobodnie w bliskości konduktora, zachowuje się inaczej zwracając ku niemu ostry lub tępny koniec; jak i dla czego? Rozw. W pierwszym razie przyciągana w drugim odpychana; działanie ostrzów.
699. Dla czego, chcąc otrzymać uderzenie elekt. z elektroforu, wprzód trzeba dotknąć formy, a potem tarczy? Rozw. Odjemna elekt. tarczy jest odpychana.
700. Ile razy się zwiększy odpychające działanie kuli, jeżeli ta zawierać będzie 8 razy więcej elekt., i 3 razy bliżej będzie umieszczoną? Rozw. 72.
701. Jaka jest ilość elekt. sprawiąca przyciąganie dwa razy większe, w odległości 5 razy większej i na 7 razy większą masę? Rozw. 350.
702. Jakie jest zagęszczenie powierzchni 5, zawierającej elekt. 10? Rozw. 2.
703. Dwie kule o promieniach jak 7 : 11, zawierają jednakowe ilości elekt.; jak się mają do siebie zagęszczenia? Rozw. 121 : 49.
704. Dwie równe kule mają elekt. 7 : 12; jak się mają do siebie zagęszczenia? Rozw. 7 : 12.
705. Dwie kule o promieniach 3 : 5, zawierają elekt. 7 : 10; w jakim stosunku są zagęszczenia? Rozw. 63 : 250.

2. Strumień elektryczny; Galwanizm.

1. Powstawanie strumienia elektrycznego.

- 492.** I. Powstawanie strumienia elektrycznego wskutek chemicznego procesu. (Galvani 1789, Volta 1794, Dalarive 1836). Strumień el. jest nieustannym wytwarzaniem i łączeniem się obu el. w jednym przewodniku. Krótkotrwałe czyli chwilowe strumienie były już rozważane w nauce elektryczności przez tarcie: dotykając formy elektroforu jednym, a tarcz y drugim palcem, przechodzi strumień el. przez rękę, gdyż w nich łączy się odjemna el. tarczy z dodatnią el. formy. Łuk zamknięcia butelki elek.,

w czasie jój wyładowania, jest przebieganym przez strumień el., gdyż dod. el. wyłożenia wewnętrznego z odjemną el. zewnętrznego, łączą się w drucie zamknięcia. Strumień el. może być także wywołany zwyczajną maszyną el., przy połączeniu naładowanych konduktorów, jednym przewodnikiem. Te wszystkie strumienie jednak, trwają bardzo krótko, są chwilowe i nazywaliśmy je wskutek tego, dla jaśniejszego rozróżnienia, uderzeniami el. Maszyna wpływu daje wprawdzie strumień uderzeń el., strumień iskier; czasy upływające między pojedynczemi uderzeniami są większe przy wprowadzeniu butelki, mniejsze, przy wprowadzeniu małego kondensatora, jeszcze mniejsze przy umieszczeniu naprzeciw siebie kul lub ostrzów konduktorów, bez wprowadzenia, a najmniejsze, przy bezpośredniem zetknięciu konduktorów, lub bezpośrednio ich połączeniu przewodnikiem. Lecz przerwy jakkolwiek niezmiernie małe, zachodzą i tutaj, gdyż wyładowanie następuje dopiero po wypływie el. na ostrza wciągaczy, a ponieważ ten wypływ byłby ciągłym tylko przy ostrzach matematycznych, przy zwyczajnych więc musi być przerywanym. We wszystkich tych przypadkach zachodzą przeto strumienie chwilowe, czyli uderzenia elekt. następujące po sobie w przerwach mniej więcej długich. Powyższe urządzenie nie pozwala otrzymać nieprzerwanego przeciwwypływu obu elekt., niustającego wytwarzania i łączenia się ich, ciągłego strumienia elekt. Strumień właściwy otrzymać można przez zanurzenie dwóch różnych metalów w cieczy; np. cynku i miedzi w wodzie, zaostrożonej cokolwiek kwasem siarczanym.

Za połączeniem wystających końców obu kawałków metalów, drutem, przebiega ciągły strumień elekt. po tym łuku zamknięcia. Przekonywamy się o nieprzerwanem istnieniu tego strumienia, umieszczając pod drutem igłę magnesową; igła przyjmie wtedy stały kierunek prostopadły do kierunku druta. Z położenia bieguna północnego można wnieść, na zasadzie prawa Ampere'a, w jakim kierunku płynie elekt. dod., a w jakim odj. Wystawiamy sobie że leżemy w kierunku druta tak, że widzimy odchyloną igłę, i biegun jej półn. mamy po stronie lewej; głowa wtedy będzie zwrócona do cynku, a nogi do miedzi ztąd wynika, że elekt. dod. wychodzi z miedzi, a odjemna z cynku. Połączenie dwóch metalów z cieczą, wydające strumień elekt., nazywa się *elementem galwanicznym* albo *łańcuchem galwanicznym*; koniec cynku nazywa się *biegunem odjemnym*, koniec miedzi *biegunem dodatnym* łańcucha, gdyż z pierwszego wypływa elekt. odj., a z drugiego dod. Jeżeli oba bieguny są złączone łukiem zamknięcia tak, że strumień elekt. ma miejsce, to mówi się, że *strumień jest zamknięty*; jeżeli połączenie to, w któremkolwiek miejscu zostanie przerwaniem, mówi się: *strumień jest otwarty*. Elektryczność ciągle płynąca w zam-

knętym strumieniu, nazywa się także *elektrycznością galwaniczną*, albo *galwanizmem*. Strumień elekt. przebiega nie tylko w samym łuku zamknięcia, lecz także i w cieczy; przy zamknięciu bowiem strumienia, następuje szybki rozkład cieczy, co jak wiadomo ma miejsce przy przejściu strumienia elekt. przez ciecz. Gdyby buleczki gazów podnoszących się z obu metalów, zostały zebrane, to przekonalibyśmy się, że tlen przechodził na cynk, a wodór na miedź, że zanurzona część cynku jest dod., a zanurzona część miedzi odjemną. Wyływa to także i ztąd, że koniec wystający cynku dostarcza elekt. odj., ponieważ ta elekt. mogła powstać z rozkładu obojętnej elekt. cynku na dod. i od., i ponieważ odjem. zawsze się znajduje na końcu wystającym, więc dod. musi się znajdować w części cynku pogrążonej; z tej samej przyczyny zanurzona część miedzi musi być odj. elekt. Obie elektryczności części zanurzonych płyną ku sobie przez ciecz, łączą się, rozkładając ją przytem; strumień więc elekt. jest właściwie strumieniem kołowym, mającym w zewnętrznym, metalicznym łuku zamknięcia, kierunek przeciwny temu, jaki przybiera w łuku płynnym, wewnętrznym. Dla utrwalenia pojęcia, przyjęto oznaczać zawsze tylko kierunek elekt. dod. Mówiąc np. że strumień przechodzi w łuku zamknięcia od miedzi do cynku, ma się na myśli strumień elekt. dod. a ztąd się wnosi, że strumień elekt. odj. biegnie w kierunku wprost przeciwnym.

Fizycy nie zgadzają się co do powstawania strumienia elekt., i spór o przyczynę powstawania sięga aż do odkrycia strumienia elekt. Luigi Galvani, professor anatomii w Bolonii (1789), położył nogę żaby na stole, w bliskości maszyny elekt. i zauważył wstrząśnienia nogi żabiej, przy każdym przeskoku iskry z konduktora. Ponieważ nie znał on jeszcze uderzeń zwrotnych, przypisał więc te wstrząśnienia elekt. zwierzęcej, pobudzonej przez iskry. Dla zbadania czy elekt. atmosferyczna wywiera podobny wpływ na elekt. zwierzęcą, zawiesił on wiele nóżek żabich, na żelaznej kracie swego ogrodu, za pomocą haka miedzianego; gdy nóżki dotknęły przypadkowo żelaza, doznawały silnych wstrząśnień, i te ostatnie przypisał Galvani objawom elekt. zwierzęcej; podług niego jeden jej rodzaj miał się znajdować w mięśniach, a przeciwny w nerwach, oba zaś rodzaje miały się łączyć za pomocą metalów i sprawiać kurczenie się mięśni. Jakkolwiek to tłumaczenie przy szczegółowych badaniach, zostało odrzuconem, jednakże całą nauką biorącą początek w tem małym pojedynczym dostrzeżeniu, uwieczniła imię Galwaniego. Aleksander Volta, professor w Pawii (1794) zajął się badaniem powyższego zjawiska. Powtórzył on doświadczenie Galvani'ego, z tą małą zmianą, że zamiast dwóch metalów: miedzi i żelaza, użył z nich tylko jednego. Gdy w tym razie drgań nie było, albo gdy były one nader nieznaczne, Volta powziął myśl, że działająca tu elekt., powstaje wskutek zetknięcia się dwóch metalów, poszukiwał zatem starannie czy elekt. pojawi się wskutek zetknięcia się obu metalów, bez użycia nóżki żabiej. Jego i jego następców liczne doświadczenia potwierdziły to przypuszczenie; wytworzył się więc pogląd, że *strumień elekt. powstaje przez zetknięcie*; pogląd ten, *teoria zetknięcia*, który tak wielkie znalazł uznanie, że

dziś jeszcze w niektórych książkach rozdział o strumieniu elekt. nosi tytuł: elektryczność przez zetknięcie, opiera się na szeregu doświadczeń Volty, znanych pod nazwą zasadniczych doświadczeń Volty.

Doświadczenia zasadnicze Volty wymagają bardzo czułego elektrometru, np. Bohnenberger'a, w połączeniu z kondensatorem. Bierze się dwie równe platki cynku i miedzi, za pomocą rękojeści odosabiających, kładzie się jedną na drugą, następnie zdejmuje się jedną z nich, w położeniu do drugiej równoległym, i płatką zdjętą dotyka się zbieracza wsrubowanego na elektrometr, a ręką dotyka się przewodnio kondensatora. Powtórzywszy to kilkakrotnie i uniosłszy kondensator, listek złota zwróci się do jednego z biegunów, co będzie znakiem, że platka była naelekt. Doświadczenie to można robić także, używając platki podwójnej składającej się z tafelek cynku i miedzi, zlutowanych krawędzią, albo jeszcze prościej wsrubowując płatkę cynkową na miejsce zbieracza, a platki miedzianej używając zamiast kondensatora. Cynk w tych wszystkich doświadczeniach, okazuje się najsilniej elekt. dodatnio, i to przy zetknięciu ze wszystkimi metalami; miedź zaś odj.; przy zetknięciu się innych metalów między sobą jeden jest odj., drugi dod. I pod tym także względem uporządkowano metale w szereg, w którym metal poprzedzający, w zetknięciu z następującymi staje się dod., a następujące odj. Szereg Volty jest: cynk, ołów, cyna, żelazo, miedź, srebro, złoto, węgiel. Inni badacze podają szeregi cokolwiek odmienne, jak również różnice zagęszczeń elekt. na pojedynczych parach tafelek. Kohlrausch (1851), przyjmując różnicę napięcia dla pary pletek: cynkowej i miedzianej ($Zn \ 1 \ Cu$) = 100, znalazł, że różnica ($Zn \ 1 \ Au$) = 113, ($Zn \ 1 \ Ag$) = 106, $Zn \ 1 \ Pt$ = 107, $Zn \ 1 \ Fe$ = 75, $Fe \ 1 \ Cu$ = 32, $Fe \ 1 \ Pt$ = 32, $Fe \ 1 \ Au$ = 40, $Fe \ 1 \ Ag$ = 30.

Przyczyna rozdzielenia elekt. obojętnej, w parze pletek na dodatnią jednej, a ujemną drugiej platki, nazywa się *siłą elektromotorną*, a metale stające się elektrycznymi wskutek zetknięcia, *elektromotorami pierwszej klasy*. Te ostatnie podlegają następującym prawom: *Im przedział między metalami, w szeregu napięć jest większym, tem większą jest ich różnica elekt. Różnica elekt. dwóch metalów z szeregu napięć jest równą summie różnic elekt. wszystkich metalów pośrednich, jest więc niezmienną, czy dwa metale dotykają się bezpośrednio, czy też są przegrodzone dowolną liczbą innych metalów; jest ona nie zależną od czasu trwania zetknięcia, od wielkości dotykających się ciał i od liczby punktów dotknięcia; bezpośrednio więc zetknięcie 2-ch pletek wcale nie jest potrzebem jeżeli tylko one są złączone ze sobą za pomocą metalu; nawet przy samem zbliżeniu zachodzi różnica elekt.* (Zasadnicze prawa Volty 1797, Fechner 1838.)

Zwolennicy teorii zetknięcia objaśniają powstawanie strumienia elekt. w następujący sposób: Po zanurzeniu w cieczy dwóch kawałków metalów połączonych drutem, siła elektromotoryczna zaczyna działać; ponieważ cynk elektryzuje się dodatnio a miedź ujemnie, musi więc zachodzić taki rozdział elekt. przy połączeniu przez metal, i być skutkiem siły elektrycznej wywołującej przechodnie elekt. dod. od miedzi do cynku, a odj. od cynku do miedzi; ten przeciw wpływ jest właśnie strumieniem elekt.

Oprócz zetknięcia się dwóch metalów, znaleziono jednak nowe źródło elekt. zetknięcia, mianowicie zetknięcie się metalów z cieczami, które nazwano *elektromotorami drugiej klasy*. Becquerel (1824), Pfaff (1840), Buff (1842),

i inni badacze znaleźli, że metale w zetknięciu z cieczami stają się najczęściej odj., ostatnie zaś dod.; jednak i przeciwne rozmieszczenie elekt. nie jest rzadkiem. Buff wszrubował platkę metalową na elektroskop, położył na nią cokolwiek większą platkę szklaną, a na tę jeszcze krążek papierowy napojony cieczą, zostający w zetknięciu z wygiętym drutem idącym od platki metalowej i zrobionym z tego samego metalu. Pomiary Pécelet'a (1841), wskazały dla cynku w zetknięciu z rozcieńczonym kwasem siarczanym, ilość elekt. — 27, z rozcieńczonym kwasem saletrzanym — 26, z ługiem potażowym — 30, z siarkiem potassu—30; dla ołowiu z temiż czterema cieczami: —14,—13,—24,—17, dla żelaza: —13,—8,—19,—17; dla miedzi:—2, (z kw. saletrz. nie),—11,—22; dla platyny: +6, +4,—5,—17. Ztąd widać, że metale, które w szeregu napięć mieszczą się najwyżej, stają się najsilniej elekt. i to odjemnie; są to metale podlegające najwięcej wpływowi cieczy; przeciwnie metale stojące przy końcu w szeregu napięć (platyna np. między złotem i węglem), stają się mało odj. lub całkiem dodatnemi. Przy zwyczajnych okolicznościach, elektryczności powstające przy zetknięciu się metalów z cieczami, są o wiele słabsze od elektryczności wytworzonych zetknięciem samych metali między sobą; w niektórych razach jednak pierwsze przewyższają drugie, Kohlraush np. podaje, że przyjmując el. Zn i Cu=100, to przy zetknięciu cynku amalgamowanego z kwasem siarczanym 149, cynku z kw. siarcz. 115, platyny z kw. salet. 149, miedzi i wiotriolu miedzianego 21. I tę także elekt. uważają za skutek zetknięcia, a powstanie strumienia objaśniają w ten sposób: Gdy miedź i cynk z osobna zostaną zanurzone w kwasie siarczanym, to wystający koniec cynku będzie silniej odj., a koniec pogrążony i ciecz mocniej dodatnemi; również wystający koniec miedzi, będzie słabiej odjemnym, a zanurzony koniec miedzi i płyn równie słabo dodatnemi. Gdy zaś miedź i cynk zostaną razem zanurzone w kwas siarczany; to pogrążony koniec cynku będzie odpychać silniejszą elekt. dodatną cieczy otaczającej, do miedzi, aż do wystającego jej końca; tu znajduje się wprowadzić mała ilość elekt. odj., która zobojętni cokolwiek przyplływającą elekt. dod.; pozostanie jednak na wystającym końcu miedzi przewyżka elekt. dodatnej; ten więc koniec miedzi będzie biegunem dodatnym łańcucha. W podobny sposób, miedź zanurzona odepchnie słabą elekt. dodatną otaczającej cieczy do cynku, w koniec wystający, gdzie już znajduje się silniejsza elekt. odjemna; ta ostatnia zostanie wskutek tego cokolwiek osłabioną, pozostanie jednak na wystającym cynku, przewyżka elekt. dod.; koniec cynku zatem będzie biegunem odj. łańcucha. Przy połączeniu obu biegunów drutem zamknięcia, obie elekt. będą się łączyć i powstanie strumień; będzie on nieprzerwanym, gdyż źródłem jego jest ciągle trwające zetknięcie się metalów z cieczą; strumień ten zostanie jeszcze wzmocnionym przez połączenie dwóch metalów następujące przy wprowadzeniu druta zamknięcia, połączenie to bowiem wytwarza, jak objaśniono wyżej, strumień o tym samym co poprzedni kierunku. Według tej teoryi, strumień elekt. bierze początek w dwóch źródłach, w zetknięciu się obu metalów z sobą i w zetknięciu się ich z cieczą.

Przeciwno tej teoryi wystąpili: Delarive (1836) i Faraday; podali oni teorię chemiczną, uważającą strumień elekt. za wynik procesu chemicznego. Opiera się ona na tem, że w każdym łańcuchu wytwarzającym strumień elekt., zachodzą silne działania chemiczne, że siła strumienia rośnie wraz z siłą tego

działania, i że bez niego nie ma strumienia. Uważa ona poprzednie doświadczenia za wyniki chemicznych działań zachodzących przy zetknięciu się metalów między sobą lub z cieczami; łatwo wyjaśnić istnienie tych działań przy zetknięciu się metalu i cieczy; co zaś do bezpośrednich zetknięć metalów, to w tym razie warstewka powietrza lub plynu, a wreszcie i dotknięcie wilgotnym palcem, są dostatecznymi do wywołania processów chemicznych. Ilości elektryczności, które pozornie powstały wskutek zetknięcia były za małe do wytłumaczenia siły strumienia elekt.; mogły jednak wystarczać do wzbudzenia chemicznych działań, gdyż przez zamknięcie tych słabych elektryczności, wzmagają się znacznie w łańcuchu process chemiczny. Czystej teorii dotknięcia sprzeciwia się najsilniej zasada zachowania sił; według tego prawa, siła nie może być wytworzona z niczego, a w tym właśnie razie działoby się przeciwnie, gdyż siła strumienia elekt. powstałaby z prostego zetknięcia, przy którym praca jest równą zeru. Ten ostatni wzgląd skłonił zwolenników teorii zetknięcia do uważania procesu chemicznego za warunek pojawiania się strumienia; Wüllner np. mówi (Dośw. fiz. II, str. 1044): wtedy tylko strumień elekt. może powstać, gdyż płyny rozkładając się nie pozwalają na stan równowagi między dwiema elektrycznościami powstającymi przez zetknięcie. Zgodnie ze zwolennikami obu teorii przyjmujemy że trwały strumień elekt. nie powstaje nigdy bez chemicznego działania; że siła strumienia wyrównywa wytworzonemu ciepłu pracy zużytej przy połączeniu chemicznem. Tworzenie się strumienia elekt. można sobie wystawiać tak samo, jak powstawanie ciepła; jak przy połączeniu chemicznem, cząstki zostają wprawiane w ruch drgający, wytwarzający ciepło, tak samo może powstawać przy tem połączeniu inny, nieznanym nam jeszcze ruch molekularny, którego objawy nazywamy elektrycznością.

Baterje galwaniczne składają się z wielu połączonych ze sobą łań- 494.
 cuchów galwanicznych; miedź pierwszego łańcucha łączy się metalicznie z cynkiem drugiego, miedź drugiego z cynkiem trzeciego, i t. d. Ponieważ, jak to już wyżej wspomniano, zanurzony w cieczy cynk odpycha elekt. dod. cieczy otaczającej, do wystającego końca miedzi, ta więc el. przejść musi przez połączenie metaliczne do drugiego cynku i zostać odepchniętą do drugiej miedzi, przez ten cynk i przez ciecz, tak że ta druga miedź posiadać będzie podwójną dozę elekt. dodatnią; ta ostatnia znowuż przepłynie po łączniku metalicznym, przez trzeci cynk i ciecz do trzeciego końca miedzi, będzie więc on zawierać potrójną dozę elekt. Zupełnie tak samo zanurzona część ostatniej miedzi odpycha swą odj. elekt. na ostatni cynk, potem znów płynie przez łącznik, przedostatnią miedź i ciecz na przedostatni cynk, zawierający już elekt. odj., a więc posiadający jej teraz podwójną dozę; ta ostatnia płynie dalej, jednoczy się z odj. elekt. trzeciego końca cynku i potraja ją; tak więc pierwszy koniec cynku posiada n razy większą el. odj., a ostatni koniec miedzi n razy większy elekt. dod. Elekt. odjemna wzrasta ku początkowi baterji, dodatna zaś ku końcowi baterji; w środku obie elekt. są równo silne, ku początkowi przeważa coraz więcej

elekt. odj., ku końcowi zaś dod. Baterje galwaniczne bywają rozmaicie urządzone.

1. Stos Volty (1800), składa się pospolicie z platek podwójnych, z których każda jest zlutowaniem cynkowej i miedzianej. Na płacie służącej za podstawę, umieszcza się między dwoma lub trzema słupami szklanymi odosabniającymi, płatka podwójna obrócona cynkiem na dół, na nią kładzie się kawałek sukna zmokrzzonego wodą kwaśną, na to kładzie się znów płatka podwójna, cynkiem na dół, potem znowu krążek sukienny i t. d., aż do ostatnich platki podwójnej; wkłada się wtenczas pokrywkę szrubową na słupki szklane, i wzmacnia się cokolwiek stos za pomocą szrub. Dolny cynk i górna miedź nie mają żadnego znaczenia; pierwszym elementem jest cynk platki górnej, mokry kawałek sukna i miedź drugiej platki; cynk wspomniany jest odj. biegunem stosu. Ostatnim elementem jest cynk przedostatniej platki podwójnej, ostatni kawałek sukna i miedź ostatniej platki podwójnej. Jest to biegun stosu dodatny.

Przy połączeniu obu biegunów drutem pojawia się strumień elekt. sprawiający silne objawy fizjologiczne. Za pomocą elektroskopu można się przekonać o istnieniu na końcu górnym stosu elekt. odj., a na dolnym elekt. dodatnej; siła tych elektryczności zmniejsza się ku środkowi, a w samym środku jest równa 0; pod tym względem stos przedstawia podobieństwo do magnesu; można się także przekonać o maleniu ilości elekt. w miarę zbliżania się do środka; dotykając rękoma miejsc coraz bliższych środka stosu, doznawane wstrząśnienia będą bowiem coraz mniejsze. Łącząc przewodnio elekt. jednego bieguna z ziemią, to ilość swobodnej elekt. na drugim biegunie podwoi się, odchylenie elektroskopu na tym biegunie stanie się większem, i ten rodzaj elekt. rozłoży się na całej długości stosu w postępie malejącym aż do pierwszego bieguna. Stos Volty wkrótce po urządzeniu go słabnie wskutek tego, że ciężar platek wyciska ciecz z platek sukiennych, sprawia ściekanie boczne, które pozwala na łączenie się, a więc na zubożenie pewnych ilości elekt.

2. **Stos suchy Zamboni'ego.** (Behrens 1806, Zamboni 1812.) Skleja się arkusz papieru połączanego z arkuszem papieru posrebrzanego, stronami odwrotnemi; z takiego sklejonego arkusza wycinają się małe, równej wielkości krążki, i układają się na sobie tak, aby każdy metal był zwrócony zawsze w tę samą stronę; stos taki umieszcza się w odosabniającem otoczeniu szkłem i zamyka się dwiema nakrywkami mosiężnemi. Mokrym przewodnikiem jest tu zlepiony papier higroskopijny, dwoma metalami są miedź i cyna; jedna z nakrywek mosiężnych jest dod., a druga odjemnym biegunem; różnica elekt. utrzymuje się przez lata całe; może być nawet dosyć znaczna, nie wywołując jednak działań strumienia; papier bowiem przewodzi powoli. Najważniejszymi zastosowaniami tego stosu są elektroskopy Behrens'a i Bohnenberger'a. Można także urządzić za pomocą niego, elekt. perpetuum mobile.

495. 3. **Kubkowy przyrząd Volty (1800), przyrząd korytkowy Cruickshank'a (1802), Stos Wollaston'a i spiralna Hare'go** starają się usunąć niedogodność stosu Volty. Volta w tym celu ustawił pojedyncze kubki; umieszczając w każdym z nich płatkę cynkową i płatkę miedzianą, i łącząc zawsze miedź kubka poprzedzającego z cynkiem następującego. Cruickshank użył

zamiast znacznej liczby kubków, pojedynczego drewnianego z fugami bocznemi koryta, w którym umieścił płatkę podwójną; po wylaniu wody z koryta, przyrząd działać przestaje. Wollaston ulepszył przyrząd kubkowy Volty w ten sposób, że wszystkie platki połączył ramami drewnianymi, i tak połączone umieścił w podstawionym, odpowiedniej wielkości pucharze, lub korycie; forma tego przyrządu uległa wielu zmianom. Hare nawinał na walec drewniany, dwie blachy, miedzianą i cynkową, oddzielone od siebie paskiem sukna; walec ten zanurza się w naczyniu z cieczą.

Stosy stałe. Wszystkie stosy składające się z dwóch metalów i cieczy, tracą prędko swą siłę. Przyczyną tego zjawiska jest to, że strumień el. przechodzi nie tylko przez łuk połączenia, lecz także i przez ciecz. Woda rozkłada się więc na tlen i wodór; tlen, zawsze elektroodjemny, udaje się do dod. metalu w cieczy, do cynku, a wodór, elektrododatny, przepływa do odj. metalu w cieczy pogrążonego, do miedzi. Cynk łączy się z tlenem, wydając tlenek cynku, będący masą białą, ziemistą i nieprzewodnią, która pokrywając cynk tamowałaby przewodnictwo i działanie cieczy, gdyby w roztworze nie znajdował się kwas siarczany, tworzący z tlenkiem cynku, witriol cynkowy, sól łatwo rozpuszczalną w wodzie i pozwalającą na metaliczne zetknięcie cynku z cieczą; w tem leży potrzeba użycia kwasu siarczanego. Po usunięciu szkodliwego działania tlenu, pozostaje jeszcze wpływ wodoru; ten ostatni wskutek przyciągania miedzi tworzy na niej powłokę niedozwalającą cieczy działać na miedź, powłokę, która jako zły przewodnik uniemożliwia stały wypływ el. i która nakoniec sama wywołuje strumień przeciwny. Wskutek tego działanie stosu słabnie wkrótce; dla otrzymania więc niesłabnących, stałych stosów należy usunąć działanie wodoru. Odbywa się to najczęściej przez wprowadzenie ciała, oddającego łatwo tlen i utleniającego wodór na wodę; dla oddzielenia tego ciała utleniającego od zakwaszonej wody, umieszcza się je zwykle w nac. glinianem, dziurkowanym, którego pory wystarczają na przejście atomów gazu, lecz nie pozwalają na przepływ cieczy. Za środek utleniający można użyć cieczy, w której znajduje się drugi metal stosu na wystającym końcu dod., lub słabiej odj. niż miedź; tym sposobem stos zyskuje na sile. Ostatnia myśl znalazła zastosowanie w stosach Grove'go i Bunzen'a.

Stos Grove'go. (1839) (Fig. 26). Cynk zanurza się w rozcieńczony kwas siarczany, a platynę w kwas saletrzan, umieszczony w naczyniu glinianem, które stoi w naczyniu z kwasem siarczanym. Stos ten jest bardzo silny, gdyż platyna w kwasie saletrzanym, elektryzuje się silnie dodatnio na końcu zanurzonego, a więc sama w sobie jest odjemną, przeto el. odepchnięta od zanurzonego końca platyny, nie zmniejsza el. cynku, jak to miało miejsce w stosie miedziocynkowym, lecz owszem zwiększa; podobnie, zanurzony koniec cynku odpycha el., wzmacniającą dodatnią el. platyny. Podług Kohlrausch'a, cynk przez zetknięcie się z kwasem siarczanym otrzymuje el. = — 149 (p. 493), otrzymuje od platyny zanu-

rzanej w kwasie saletrzanym, również — 149, a wskutek połączenia z platyną—107; razem więc, el. cynku wynosi—405. Stałość stosu otrzymuje się wskutek zachodzących działań chemicznych; oswobodzony bowiem wodór, pochodzący z rozkładu wody, zabiera tlen kwasowi saletrzanemu i utlenia się na wodę, która powoli rozcieńcza kwas saletrzany, podczas gdy tlenek azotu powstający z redukcji kwasu saletrzanego rozpuszcza się w części, w kwasie saletrzanym i zabarwia go na zielono, w części zaś, uchodzi w powietrze i łącząc się z tlenem wydaje pary pomarańczowe kwasu podsaletrzanego. Pary te są jedną ze słabych stron tego wybornego, dla swój siły, stosu; są one szkodliwe dla zdrowia i niszczą przyrządy metalowe. Należy więc stos ten ustawiać w miejscu odosobnionem, przewiewnem, lub szczelnie zamykać. Beetz (1871) nakrył walec gliniany pokrywką serpentynową; w walcu tym znajdowały się stale umieszczone platki platynowe, odlane przy użyciu mieszaniny siarki i proszku pumeksu; sześć takich elementów otacza się płaszczem szklannym z nakryciem drewnianem, w którym są porobione w dwóch kołach współśrodkowych, otwory w liczbie 6, zwrócone na dół stółkowatemi rozszerzeniami; przy nakrywaniu, wsuwa się w otwory wewnętrzne 6 czarek merkurjalnych przytwierdzonych do tafelek platynowych a w otwory zewnętrzne 6 czarek przytwierdzonych do walców z cynku; połączenie zewnętrzne tych czarek odbywa się za pomocą *pachytropu*. Nakrycie, podstawa i walec mogą być wzmocnione w swych położeniach za pomocą szrub. Na około draga służącego za podporę dla przyrządu, rozciąga się naczynie pierścieniowe napełnione wapnem palonem, pochłaniającem pary kwaśne. Pachytrop składa się z 7 zakrzywionych drutów, przystosowanych do odległości między czarkami, i które przez obrót około osi, mogą być w nie zanurzone, lub z nich wyjmowane. Przy takim urządzeniu można pracować w pokoju przez godziny całe, nie doznając szkodliwego wpływu par. Drugą słabą stroną stosu Grove'go jest wysoka cena platyny. Pod tym względem jest dostępniejszym:

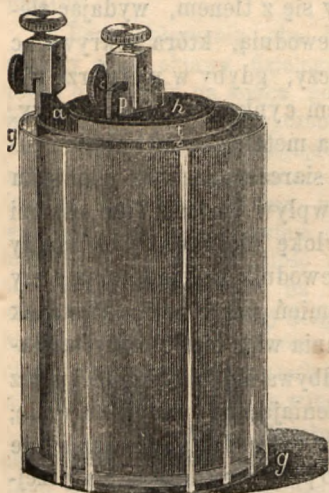


Fig. 26.

2. Stos Bunzen'a (1842). Cynk jest zanurzony w kwasie siarczanym, a węgiel w kwasie saletrzanym. Ponieważ z węgla łatwo dają się przyrządzić duże, próżne walce, przeto urządzenie bywa najczęściej takie, że kwas saletrzany znajduje się w naczyniu szklanem, w które pogrąża się walec z węgla, a w ten znowu wlewa się kwas siarczany otaczający naczynioko gliniane zawierające cynk. Stałość stosu powstaje w skutku tych samych przyczyn, co i w stosie Grove'go; niedogodność par kwasu podsaletrzanego i tu ma miejsce. Używany na walce węgiel jest dźwięczny, dobrze przewodzący i w szeregu napięć stoi za platyną, daje więc stosy bardzo silne. Pary szkodliwe są usunięte w stosie:

3. Daniel'a (1836). Cynk jest zanurzony w kwasie siarczanym, a miedź w roztworze witiolu miedzianego. Oprócz rozkładu wody na O i H zachodzi

jeszcze rozkład wotriolu miedzianego na SO_4 i Cu; Cu przechodzi na miedź; jeden atom O z SO_4 , łączy się z H na wodę. Stos ten jest mniej silnym od poprzedzających; jego różnica elekt. jest tylko: $100 + 149 - 22 = 227$, gdy w stosie Grove'go wynosiła 405; jednak wystarcza on najczęściej do celów galwanicznych i ma rozległe zastosowanie, gdyż nie jest tak droгим i szkodliwym jak stos Grove'go, może być zatem stale umieszczony w pokoju. Po dłuższym czasie jednak, miedź osiada na naczynku glinianem i osłabia działanie; stos ten więc uległ rozmaitym modyfikacyom, z których najkorzystniejszą jest:

4. Stos Mejdingerera (1859). Cynk zanurza się w roztworze soli gorzkiej, miedź albo ołów w roztworze wotriolu miedzianego, bez dziurkowatego oddzielenia. Najnowsze urządzenie jest przedstawionem na figurze 27. Na rozszerzeniu bc wielkiego naczynia szklanego abcd umieszcza się rolka cynkowa; na podstawie a stoi małe naczynie szklane, zawierające roztwór wotriolu miedzianego; na ścianach tego naczynka wspiera się rolka k, miedziana lub ołowiana, z której wychodzi drut miedziany, pokryty guttaperką, g, i stanowiący biegun stosu dodatny. Nakryciem całego przyrządu jest trzecie naczynie szklane hil, napełnione kawałkami wotriolu miedzianego, i zwrócone otworem l do naczynka; w tem ostatniem więc, rozbiór siarczanu miedzi pozostaje ciągle stężonym. Pozostała część wielkiego naczynia szklanego jest napełniona roztworem soli gorzkiej. Gdy stos znajduje się w spoczynku, to roztwór ciężki tak mało udziela się lżejszemu u góry, że nawet po upływie miesięcy, cynk nie przedstawia na sobie śladów miedzi. Stałość stosu trwa przez lata całe, lecz siła jego nie jest wielką. Mechanicy przekładają rolę ołowianą nad miedzianą, ponieważ z pierwszej łatwiej jest zdejmować miedź.

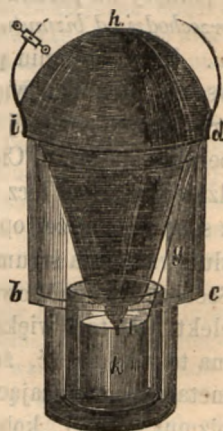


Fig. 27.

5. Stos Leclanche'a (1866). Węgiel z braunszteinem mieści się w doniczce glinianej, a sztaba cynkowa pogrąża się w roztworze salmijaku. Stałość otrzymuje się przez oddawanie tlenu przez braunsztein wodorowi, który utlenia się na wodę. Stos ten nie słabnie nawet po upływie lat i jest zachwalanym ze względu na siłę; według Müllera we Frejburgu (1870), siła tego stosu wynosi 0,896 siły stosu Daniela.

6. W ostatnich latach urządzono wiele nowych stosów: cynk i miedź w siarczanie tlenu rtęci (Marié-Davy); cynk w roztworze salmijaku, z miedzią w węglanie miedzi (Ney); cynk w roztworze soli kuchennej z antymonem w rozcieńczonym kwasie siarczanym (Bottger); cynk w roztworze soli kuchennej i chlorek srebra (Pinkus). Bardzo praktycznym jest stos Buffa i Bunzena: cynk i węgiel w mieszaninie kwasu siarczanego z roztworem czerwonego chromianu potażu. Oba motory są przytwierdzone do nakrywki; cynk może być podnoszony w górę za pomocą sztabki mosiężnej, wtedy stos działać przestaje; za opuszczeniem cynku stos działa na nowo.

496. 2. Powstawanie strumienia elektrycznego wskutek różnicy temperatur, termoelektryczność, ciepłostrumienie. Seebeck (1821) zlutował w ramę sztabkę bizmutu ze zgiętym paskiem miedzi; wewnątrz tej ramy kołysała się na ostrzu igła magnesowa. Po ustawieniu ramy w południku magnetycznym i po ogrzaniu, *plamieniem lampy spirytusowej*, miejsca zlutowania obróconego na północ, igła została odchyloną tak, że jej biegun północny był obrócony ku wschodowi; ztąd wniesiono, że ogrzanie wywołuje strumień elekt. Strumień ten nazwano *ciepłostrumieniem*, a opisane urządzenie, *stosem termoelektrycznym*. Kierunek strumienia znajdziemy, umieszczając się myślą w pasku miedzianym tak, abyśmy widzieli igłę, i aby biegun północny igły był po stronie lewej; w tem położeniu głowa będzie zwrócona na południe; strumień dodatny ma wtedy kierunek od nóg do głowy, a więc z północy na południe. Przeto, *w ogrzanem miejscu zlutowania, ciepłostrumień przechodzi od bizmutu do miedzi, a w zimniejszym zlutowaniu, od miedzi do bizmutu*. Przy ogrzaniu południowego zlutowania, biegun północny zwróci się na wschód, strumień więc posiada w tym razie kierunek przeciwny i stwierdza przytoczoną powyżej regułę. Odchylenie igły trwa tak długo, jak różnica temperatur zlutowań. Ciepłostrumienie powstają nie tylko przy zetknięciu się miedzi z bizmutem lecz przy zetknięciu się jakichkolwiek metalów złączonych z sobą w powyżej opisany sposób, i za ogrzaniem lub oziębieniem jednego ze zlutowań; siła strumienia jednak jest bardzo rozmaita dla różnych połączeń. Seebeck uporządkował metale w szereg termoelektryczny, w którym różnica elekt. jest tem większą, im metale są bardziej od siebie odległe, i który ma tę właściwość, że strumień w rozgrzanem zlutowaniu idzie zawsze od metalu poprzedzającego do następującego. Szereg ten jest następujący: bizmut, nikiel, kobalt, platyna, miedź, ołów, cyna, złoto, srebro, cynk, żelazo, arsen, antymon.

Szeregowi Seebeck'a służy też samo prawo, które ma miejsce w szeregu Volty, mianowicie, że wzbudzenie termoel. jakichkolwiek dwóch ciał składowych szeregu, jest równe summie wzbudzeń wszystkich ciał pośrednich; wzbudzenie to jest zatem największem dla bizmutu i antymonu. Siła stosu cieplikowego nie dosięga nigdy siły stosu galwanicznego. Tak np. siła stosu z bizmutu i antymonu jest tylko 0,0059 siły stosu Daniela. Dla małych różnic między temperaturami siły elekt. są proporcjonalne do tych różnic; przy różnicach większych siły te rosną wolniej; szereg termoelektryczny zmienia się przy temperaturze wyższej. Ciepłostrumień może być wzmocnionym przez złożenie kilku ciepłostosów na jeden słupek cieplikowy.

Słupek ciepłokowy (ciepłosłupek) Nobili'ego składa się ze sztabek bizmutu i antymonu długich na 3—4 cent., zlutowanych tak, że wszystkie zlutowania parzyste znajdują się na jednej stronie, a nieparzyste na drugiej, i że wszystkie sztabki są między sobą równoległe i oddzielone substancją odosobniającą, tworząc mały równoległoscian zamknięty w oprawie i mający na niej swój biegun; są jednak ciepłosłupki, których zlutowania tworzą linię zamiast płaszczyzny; są to tak zwane ciepłosłupki linijne: boczne zlutowania mogą być przymykane zasówką; częściej znajdują się na nich lejki pozwalające dochodzić większej ilości promieni ciepłokowych. Ciepłosłupek w połączeniu z termomultiplikatorem zastosowanym do ciepłostrumieni, jest najczulszym ze znanych termometrów, gdyż według Melloni'ego, można nim ocenić różnicę temperatur na $\frac{1}{5000}^{\circ}$.

Jak miejsce metalu w szeregu Seebeck'a zależy od twardości, składu, czystości i t. d. tegoż metalu, tak samo i miejsce aljażów w tym szeregu, nie da się ściśle oznaczyć. Aljaże bowiem, równie jak metale zawierające w stanie rodzimym siarkę, objawiają najczęściej silniejsze działania termoelektryczne między sobą i z metalami, niż same metale. Marcus (1860) zastosował tę własność aljażów do przyrządzania silniejszych ciepłosłupków. Aljaż składający się z 10 miedzi, 6 cynku i 6 niklu i drugi składający się z 12 antymonu, 5 cynku i 1 bizmutu, połączone w jeden element Marcus'a, mają siłę wyrównującą $\frac{1}{25}$ siły elementu Bunzen'a. Za pomocą *baterji Marcus'a* można sprawdzić pewną liczbę słabszych działań galwanicznych. Bateria ta składa się z długich sztab podwójnych, spotykających się z sobą pod kątem i położonych na sobie tak, że miejsce wierzchołków kątów może być ogrzanem, długim płomieniem gazowym, a miejsca końców, ochładzanemi wodą podstawionych koryt. Prostsze urządzenia wywołują także termoelektryczność. Ogrzany do żarzenia się koniec druta multiplikatora, dotknięty końcem drugiego druta, sprawia zboczenie igły magnesowej; igła zbacza także, gdy końce druta multiplikatora zostaną zlutowane z końcami innego druta, a jedno z miejsc zlutowań ogrzane, jak również i wtedy, gdy do końców druta multiplikatora zostaną przylutowane dwa druty, i gdy jeden z nich, ogrzany, dotknie drugiego, zimnego; w tym przypadku strumień przechodzi od druta ogrzanego do zimnego. Zachowanie się pod względem termoelektrycznym druta żelaznego, przylutowanego końcami do dwóch drutów miedzianych, jest następujące: Siła strumienia rośnie, gdy jedno zlutowanie ma temp. 0° , a drugie zostaje ogrzanem do 140° , następnie siła ta zmniejsza się do 300° , lecz przy odwrotnym kierunku strumienia, znowuż wzrasta.

Wzmiankowaliśmy, że w miejscach zlutowań elektryczność zostaje wytworzona przez ciepło; odwrotnie, na zlutowaniach, zimno i ciepło może być wywołane elektrycznością (Peltier 1834). Umieszczając sztabkę bizmutu-antymonową tak, aby przechodziła przez kulę termometru różnicowego, przy przejściu strumienia od antymonu do bizmutu, ciecz, po stronie tej kuli, obniży się, co oznacza rozgrzanie; przeciwnie ciecz się podniesie i wskaże oziębienie, gdy strumień przyjmie kierunek od bizmutu do antymonu. *Krzyż Peltier'a* składa się z dwóch sztabek bizmutu i antymonu, skrzyżowanych ze sobą pod kątem prostym; z dwóch różnych końców wychodzą druty otaczające igłę, a do dwóch drugich końców idą druty strumienia; ten ostatni, po zamknięciu, przebiega miejsce skrzyżowania i porusza igłę, która, przy jednym kierunku strumienia, okazuje rozgrzanie,—

przy kierunku przeciwnym, oziębienie. Quintus Icilius (1857) i Frankenheim (1858) znaleźli, że zmiana temperatury miejsca zlutowania jest proporcjonalną do natężenia strumienia wzbudzającego. Quintus Icilius przeprowadził strumień przez 30 elementów antymono-bizmutowych, złączonych w ciepłosłupek; okazało się, że nieparzyste zlutowania były ogrzane silniej, a parzyste słabiej, niżby, same w sobie, zostały ogrzane przez strumień galwaniczny; gdy strumień wzbudzający został przerwany, różnice te, same przez się wytwarzały ciepłostrumień, a wpływy jego na galwanometr wykazały prawo powyższe. Frankenteim używał w tym samym celu krzyża Peltier'a. Inne źródła strumienia elekt. nie mogą być jeszcze tu rozbiegane.

2. Siła strumienia elektrycznego.

497. Działaniami galwanicznymi używanymi do mierzenia siły strumienia są: wpływ strumienia na igłę magnesową i rozkład chemiczny; działania te aczkolwiek niewyraźnie, pojawiały się już przy strumieniu z maszyny elektrycznej, łatwiej jednak i szczegółowiej rozpoznaniem być mogą za pomocą łańcucha galwanicznego. Działanie na igłę magnesową wypowiedzianem zostało przez Oersted'a (1820): Jeżeli strumień elekt. przechodzi obok igły magnesowej, to ta ostatnia zbacza z południka magnetycznego i przyjmuje kierunek prostopadły do kierunku strumienia. Położenie bieguna północnego oznacza się za pomocą reguły Ampère'a (1820); wystawiamy sobie, że płyniemy w łuku zamknięcia w kierunku strumienia dod., i że widzimy igłę; biegun północny będzie po stronie lewej. Siła działania odpychającego jest odwrotnie proporcjonalną do odległości punktu obrotu igły od przewodnika strumienia (Prawo Biot'a i Savart'a 1820). Przy słabym nawet strumieniu, odchylenie objawia się wyraźniej używając *igły podwójnej astatycznej*, składającej się z dwóch igieł, zupełnie sobie równych, stale z sobą połączonych, równoległych od siebie i których bieguny są skierowane w strony wprost przeciwnie; igły te doświadczają od magnetyzmu ziemi działań równych i wprost przeciwnych, które wzajemnie się znoszą. Działanie jest jeszcze wyraźniejszym, gdy drut zamknięcia otacza kilkakrotnie igłę, gdyż wtedy każda 4-ta część zwoju, działa w ten sam sposób na igłę, Igła opatrzona zwojami nazywa się *multiplikatorem* (Schweigger 1821), gdyż działanie na igłę jest uwielokrotnionem w tem urządzeniu. Połączenie igły astatycznej, zawieszonej i łatwo ruchomej z multiplikatorem stanowi tak zwany *Galwanometr* (Nobili 1830).

Prawa Oersted'a i Ampère'a mogą być okazane na przyrządach złożonych ze sztab idących w różnych kierunkach, na których, swobodnie zawieszona igła magnesowa, może przybierać rozmaite położenia; do końców tych sztab mogą być przytwierdzone za pomocą szrub końce drutów idących od biegunów baterji, czyli końce tak zwanych drutów biegunowych. Jeden z tych drutów łączy się zwykle z przyrządem, służącym do łatwego otworzenia, zamknięcia, lub odwrócenia strumienia, zwanym przerywaczem strumienia, kierownikiem strumienia, lub *Gyrotropem*; przy obrocie tego przyrządu igła podlega zawsze obu przytoczonym powyżej prawom. Najprostsza konstrukcja (fig. 28) składa się z małego, obracanego korbą, drewnianego walca, którego oba końce otoczone są pierścieniami mosiężnymi g i h; z każdego pierścienia wychodzą przedłużenia mosiężne, zaokrąglone, sięgające do środka walca i umieszczone na końcach jednej średnicy. Za podporę dla walca służą dwie deseczki, jedna pozioma druga pionowa; na pierwszej znajduje się szruba ściskająca m, a na drugiej trzy takie szruby a, n, b, z których wychodzą sprężyny; z tych ostatnich druga i czwarta łączą się z pierścieniami a sprężyna 3-cia, znajdująca się w środku dotyka albo drzewa, albo przedłużenia. W szrubę a, wprowadza się biegun dodatni druta, w b, biegun odjem.; jeżeli sprężyna 1 dotyka przedłużenia, to strumień dodatni przechodzi z 2 na 1 i m i jeżeli między tę ostatnią szrubę, m i szrubę n zostanie wprowadzony łuk zamknięcia, to strumień dodatni przebiegnie go w kierunku mn a następnie przez 3, f i 4 do b. Obróciwszy

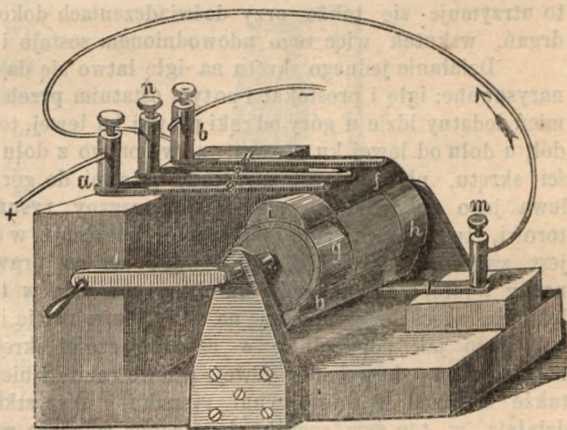


Fig. 28.

korbę tak, aby sprężyna 3 dotykała drzewa, strumień zostanie przerwany; zrobivszy zaś korbą pół obrotu tak, aby sprężyna 3 dotykała k, strumień przyjmie kierunek nm, wprost poprzedniemu przeciwny.

Prawo Savart'a i Biot'a zostało wykrytem za pomocą metody drgań; daje się ono jednak wyprowadzić z zasadniczego prawa dla wszystkich sił natury przyciągających i odpychających, które to prawo, Laplace dla tego przypadku wyraża w następujący sposób: siła wywarta na biegun magnesu przez każdy element przewodnika, jest odwrotnie proporcjonalną do kwadratu z odległości bieguna od elementu. Ampère objaśnia to prawo w następujący sposób: niech a b i a, b, oznaczają dwa strumienie nieskończenie długie i równoległe do siebie, a m igłą magnesową; poprowadziwszy dwie proste m c c, i m d d, od m do stru-

mienił ab i a, b , tworzące bardzo mały kąt cmd , działanie odciętych elementów cd i c, d , na biegun jest wprost proporcjonalne do ich długości i odwrotnie proporcjonalnie do kwadratów z odległości (według prawa zasadniczego); siły te więc mają się do siebie jak:

$$\frac{cd}{cm^2} = \frac{c, d}{c, m^2}$$

Z podobieństwa trójkątów cmd i c, m, d , wypada:

$$\frac{cd}{cm} = \frac{c, d}{c, m}$$

Niech odległości bieguna od strumieni będą $= a$ i a , to ma miejsce proporcja:

$$\frac{cm}{c, m} = \frac{a}{a}$$

Podstawienie tych wartości wykazuje, że stosunek sił równa się stosunkowi $a, : a$, czyli stwierdza prawo Biot'a i Savart'a. Ponieważ odwrotnie, prawo to utrzymuje się także przy doświadczeniach dokonywanych za pomocą metody drgań, wskutek więc tego udowodnionem zostaje i zasadnicze prawo Laplace'a.

Działanie jednego skrętu na igłę łatwo się daje wyjaśnić wystawiając sobie narysowane: igłę i prostokąt i potym ostatnim przebiegający strumień; jeżeli strumień dodatni idzie u góry od ręki prawej ku lewej, to będzie iść w lewo z góry na dół, u dołu od lewej ku prawej, a w prawo z dołu do góry. W pierwszej części skrętu, pływak jest zwrócony plecami do góry, a nogami w prawą stronę; lewa jego ręka oddala się od płaszczyzny rysunku i zbliża się ku obserwatorowi, tu więc kieruje się biegun północny; w drugiej części skrętu pływak jest zwrócony głową na dół, twarz ma po prawej, lewe ramię i biegun północny występują więc znów ku obserwatorowi; w trzeciej części skrętu pływak leży na plecach, z nogami na lewo, lewe ramię i biegun północny kierują się tak samo jak poprzednio; w czwartej części skrętu pływak stoi prosto, twarz ma zwróconą ku stronie lewej, a lewe ramię i biegun północny wychodzą i tu także naprzód z powierzchni rysunku. Wszystkie więc cztery części skrętu działają w ten sam sposób, skręt zatem wywiera większy skutek, niż drut umieszczony obok igły. Działanie wywarte przez strumień na igłę magnesową zwiększa się z liczbą zwojów, jak najbliższych sobie, leżących jedne na drugich, jeżeli tylko zwoje zewnętrzne nie są zbyt odległe od igły. Drut więc musi być o ile można cienki, a odosobnienie jedwabne jak najdelikatniejsze. Cienkość drutu jest ograniczoną jednak okolicznościami, o których później będzie mowa. Ponieważ słaba termoelektryczność drutu o małej zdolności przewodnictwa, mocno słabnie i staje się nieczynną, przeto termomultiplikator składa się z małej liczby zwojów grubego drutu, co będzie później wyjaśnionem. Podwójna igła astatyczna nie doznaje żadnego wpływu od magnetyzmu ziemi, gdyż po obu jej końcach znajdują się obadwa bieguny różnoimienne, z których jeden jest przyciąganym z taką siłą przez północny biegun ziemi, jak drugi jest przezeń odpychany; naturalnie przypuszcza się, że magnetyzmy obu igieł składowych są jednakie. Ponieważ ten warunek nie daje się wypełnić z bezwzględną dokładnością, przeto igła ostatecznie ma zawsze pewną

siłę kierunkową; ta jednak jest tak małą w dobrych igłach, że słaby nawet strumień, przy użyciu multiplikatora, stawia igłą w położeniu prostopadłym. Jest rzeczą widoczną, że obie składowe części igły nie mogą się znajdować po tej samej stronie multiplikatora, gdyż działania jego na każdą z nich byłyby wprost przeciwne i znosiłyby się. Lecz jeżeli jedna część igły zostanie umieszczoną wewnątrz zwojów, a druga na zewnątrz, to działanie przeciwne na przeciwną igłą zewnętrzną, co do kierunku, będzie toż samo, co i na igłą wewnętrzną, tak że oba te wpływy wzajemnie się wzmocnią.

Rozkład wody elektryczny (Carlisle 1800) jest drugim działaniem **489.** galwanicznym używanem do mierzenia natężeń strumieni. Najbardziej rozpowszechniony przyrząd do rozkładu wody (fig. 29), składa się z naczynia lejkowatego, podtrzymywanego przez podpórę; przez dno naczynia przechodzą 2 druty platynowe, wtopione w szkło, lub przeprowadzone przez korki; druty te kończą się pionowymi blaszkami platynowymi, nad nimi zaś wiszą, na przedłużeniu podpory dwie rurki szklane, zalutowane u góry i podzielone na stopnie, gg, i rurki te, równie jak i naczynie samo, są napełnione wodą. Po połączeniu drutów z baterją, blaszki platynowe stają się jej biegunami; od chwili zamknięcia strumienia, ukazują się na blaszkach platynowych strumienie gazów, wznoszących się w rurki szklane i wypełniających je powoli; na biegunie dod. zbiera się dwa razy tyle gazu, co na odjemnym; gaz w jednej rurce zebrany jest wodorem, w drugiej tlenem; woda więc rozkłada się na tlen i wodór w tych samych objętościach, w jakich z nich powstaje. Gdyby oba bieguny były umieszczone w jednym naczyniu, otrzymalibyśmy w niem powietrze piorunujące.

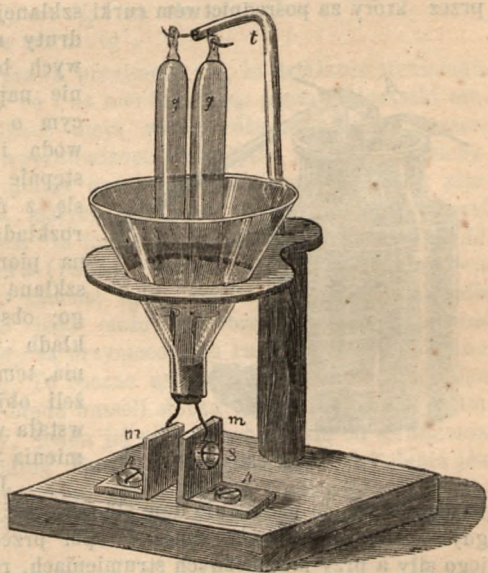


Fig. 29.

Przyrządy miernicze galwaniczne. 1. *Voltametr* (Jacobi 1839). Po- **499.** nieważ elekt. przepływająca przez wodę, rozkłada jej tem więcej, im

dłużej strumień przechodził, ponieważ rozłożone ilości wody, przy jednostajnej sile strumienia są proporcjonalne do czasu, a więc rosną z ilością elektryczności, ponieważ nadto, według poszukiwań Faradaya działalność chemiczna dotrzymuje kroku magnetycznej, przeto ilość wody rozłożonej w oznaczonym czasie jest miarą przeszłej przez wodę w tymże czasie elekt., miarą siły strumienia. Ilość rozłożonej wody poznaje się z ilości powstałych gazów; ponieważ dokładne oddzielenie od siebie obu gazów przedstawia niedogodności, przeto przyrządowi do rozkładu wody daje się takie urządzenie, że oba gazy zbierają się razem jako powietrze piorunujące; urządzenie to nazywa się voltametrem. Za jednostkę siły strumienia proponował Jacobi ten strumień, który wytwarza 1 c^k mieszaniny piorunującej, przy temperaturze 0^o i przy ciśnieniu 760^{mm}.

Voltametr (fig. 30) składa się z naczynia szklanego z ołowianym korkiem, przez który za pośrednictwem rurki szklanej, przechodzą 2 dobrze odosobnione druty miedziane idące do blaszek platynowych blisko siebie umieszczonych. Naczynie napelnia się kwasem siarczanym będącym o wiele lepszym przewodnikiem niż woda i zawierającym znaczną jej ilość; następnie końce drutów miedzianych, łączą się z dwoma drutami biegunów. Woda rozkłada się wtedy, a powstająca mieszanina piorunująca, dostaje się przez rurkę szklaną do naczynia dokładnie podzielonego; obserwuje się czas rozpoczęcia się rozkładu wody, jak również czas jego ustania, temperaturę t i stan barometru b. Jeżeli objętość mieszaniny piorunującej, powstała w n minutach = $\sqrt{k^c}$, to siła strumienia = \sqrt{b} : [760 (1 + 0,003665t)n].



Fig. 30.

Jakkolwiek użycie Voltamtru jest bardzo łatwe, to jednak nie daje się stosować do mierzenia siły strumienia słabych, gdyż ciecz przedstawia znaczny opór przechodzeniu strumienia, zużywa część jego siły a przy nieznacznych strumieniach, rozkład wcale niezachodzi. Przyrządy magnetyczne dają wypadki dokładniejsze.

Bussola stycznych (Pouillet 1837) składa z mosiężnego, naciętego w jednym miejscu pierścienia, średnicy 3^d, umieszczonego pionowo na trójnożku tak, że końce nacięcia są w połączeniu ze szrubami, przeznaczonemi do przyjęcia strumienia i przeprowadzenia go po pierścieniu. W środku pierścienia znajduje się podział kołowy, którego środek pada na środek pierścienia, i nad którym wacha się igła magnesowa, zawieszona na ostrzu lub lepiej na nitce kokonu. Jeżeli pierścień zostanie

ustawionym w południku magnetycznym, to przy przejściu strumienia igła zbcoczy z południka; to zbcoczenie będzie tem większe, im strumień będzie silniejszy; związek zachodzący między siłą strumienia, a zbcoczeniem igły wyraża się następującem prawem: *siła strumienia jest wprost proporcjonalną do styczney kąta odchylenia.*

Dowód. Na igłę działają dwie siły: magnetyzm ziemi m , i siła strumienia e ; pierwsza siła stara się sprowadzić igłę na południk, a druga, nadać jej położenie prostopadłe do płaszczyzny południka; igła zatrzymuje się przy takim zbcoczeniu α , przy którym momenta obrotu obu sił są sobie równe. Te ostatnie działają tylko swemi składowemi prostopadłemi do igły. Ponieważ m działa na południku przeto jego składowa do igły prostopadła jest $m \cdot \sin \alpha$. Strumień działa w kierunku prostopadłym do południka, składowa więc jego $= e \cdot \sin (90 - \alpha) = e \cos \alpha$. Mnożąc te składowe przez połowę długości igły, otrzymamy momenta obrotu; przeto:

$$\begin{array}{l} \text{zkąd} \quad \frac{1}{2} l \cdot e \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} l \cdot m \cdot \sin \alpha \\ \qquad \qquad \qquad e = m \cdot \operatorname{tg} \alpha \end{array}$$

Przy wyprowadzeniu tego prawa przyjmuje się, że działanie strumienia na igłę odchyłoną, jest takie samo co i na nieodchyłoną; ponieważ cząstki magnetyczne w tych dwóch przypadkach mają wcale różne położenie przeto przypuszczenie powyższe i prawo wyprowadzone służą tylko dla małych odchyłeń i dla małych igieł; te ostatnie muszą być 5 razy mniejsze od średnicy pierścienia; dla dokładnego mierzenia małych odchyłeń używa się odczytywań Gauss'a w zwierciadle, zastosowanych tu przez Poggendorff'a. Ścisłe wypadki daje bussola stycznych Wiedemann'a (1854). Składa się ona z krótkiej, grubej, miedzianej oprawy, w której, zamiast igły, wacha się grube zwierciadło stalowe, namagnesowane; położenie jego może być obserwowanem za pomocą lunety i skali; do obu stron oprawy są przymocowane ruchome druty spiralne, mogące być wysuwane nad oprawę. To boczne ustawienie strumienia względem igły magnesowej pozwala unikać błędowi bussoli stycznych, jak to okazał Helmholtz (1849); gdyż przy obrocie igły, jedna jej połowa oddala się od strumienia, a druga się doń przybliża. Według Gaugain'a styczną kąta odchylenia jest ściśle proporcjonalną do siły strumienia, gdy odległość środka igły od środka pierścienia wynosi $\frac{1}{4}$ średnicy pierścienia; tak jest urządzona bussola stycznych Gaugain'a (1853).

3. *Bussola wstaw* (Pouillet 1837) posiada ruchome, przebiegane przez strumień koło, którym się dotąd przy doświadczeniu obraca, aż igła i strumień znajdą się w jednej płaszczyźnie. Siła strumienia jest wtedy proporcjonalną do wstawy kąta odchylenia.

Ponieważ pierścień przebiegany przez strumień i igła leżą na jednej płaszczyźnie, przeto siła odchylająca strumienia jest już prostopadłą do igły, zbiega się więc ze swą składową prostopadłą, moment obrotu pierścienia równa się więc $\frac{1}{2} l \cdot e$; a ponieważ on jest także równy momentowi magnetyzmu ziemi, $\frac{1}{2} l \cdot m \cdot \sin \alpha$, przeto $e = m \cdot \sin \alpha$ Poggendorf ulepszył bussolę wstaw, szczególnie przez zawieszenie igły na nici kokonu. Siemens i Halske nadali jej

konstrukcję zastosowaną do celów telegraficznych, a przez urządzenie dwóch kół podziałowych uczynili ją także i bussolą stycznych; bussola ta nazywa się: *bussolą wstaw i stycznych*.

4. *Galwanometr* służy właściwie nie do mierzenia siły strumieni, lecz do wykazania istnienia strumieni słabych. Może być jednak używany wprost do mierzenia słabych natężeń, gdyż zasada jego budowy jest tą samą co i bussoli stycznych. Tylko do 10, najdalej do 20⁰ galwanometru siła strumienia jest proporcjonalną do stycznej odchylenia; dla większych odchyień, koło galwanometru musi być podzielone sposobem praktycznym, przez użycie strumieni silniejszych, mierzonych innym przyrządem. Galwanometr Buff'a (1853) jest najstosowniejszym do mierzeń; ma on do 20000 zwojów drutu miedzianego, grubego na 0,168^{mm} otaczających ramę walcową długą na 60^{mm}, o średnicy 25^{mm}; w ramie tej kołszy się igła 5^{mm} długa i 2,5^{mm} szeroka; równolegle od niej, posuwa się po podziałach niemagnetyczna wskazówka. Galwanometr ten może być używany jako bussola stycznych.

Przyrządy miernicze magnetyczne są o wiele wyższemi od chemicznych; są one nietylko czulszemi, lecz dają także siłę strumienia w oznaczonej chwili, gdy przeciwie woltametr pozwala oceniać tylko przeciętną siłę strumienia podczas rozkładu. Słabą stroną przyrządów magnetycznych jest to, że dają siłę strumienia w jednostkach nie dających się łatwo określić; można jednak wskazania np. bussoli stycznych wyrazić w miarze chemicznej. Niech będą i i A siły strumienia wyrażone w miarze chemicznej; niech te strumienie w bussoli stycznych wywołują zboczenia α i 45⁰, to będzie: $i : A = \operatorname{tg} \alpha : \operatorname{tg} 45^{\circ} = \operatorname{tg} \alpha : 1$; ztąd $i = A \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Dla wyrażenia zatem w miarze chemicznej, siły strumienia, wywołującej w bussoli zboczenie α , należy styczną tego odchylenia pomnożyć przez czynnik A , stały dla danego przyrządu, przez tak zwany *współczynnik zamiany*. Dla oznaczenia tego współczynnika używa się także równania: $i = A \cdot \operatorname{tg} \alpha$, ztąd $A = i : \operatorname{tg} \alpha$. Wprowadza się w ten sam strumień: woltametr i bussolę stycznych; pierwszy daje licznik i , to jest ilość gazu wytworzonego w 1 minucie; druga, zboczenie α .

500.

Prawo Ohm'a (1827). *Siła strumienia jest wprost proporcjonalną do siły elektromotrycznej łańcucha, a odwrotnie proporcjonalną do oporu przewodnika. Opór przewodnika jest proporcjonalny do jego długości i do oporu jego materiału, a odwrotnie proporcjonalny do przecięcia poprzecznego.*

Dowód. Przez siłę strumienia w oznaczonym miejscu przewodnika, rozumiemy ilość elektryczności, przepływającej przez przecięcie poprzeczne tego miejsca, w jednostce czasu; przyjmuje się przytem, że przez każde przecięcie przepływa też sama ilość elekt., że na jednym biegunie zbiera się pewna ilość swobodnej elekt. dod. e , a na drugim równa ilość swobodnej elekt. odjem. — e , odpływających wzajemnie ku sobie. Odpływ ten jest możliwym tylko wtedy, jeżeli miejsce o większem zagęszczeniu znajduje się obok miejsca posiadającego

zagęszczenie mniejsze, czyli gdy zagęszczenia elekt. od biegunów ku środkowi łuku zamknięcia, maleją. Niech ab (fig. 31) przedstawia koło strumienia, a a i b jego bieguny; wielkości swobodnych elekt. przedstawmy za pomocą rzędnych y , i końce tych rzędnych połączmy krzywą ciągłą gf ; przebieg tej krzywej przedstawi nam przebieg wolnej elekt. w przewodniku. Pochylenie elementu tej krzywej w punkcie odpowiadającym punktowi m , oddalonemu od bieguna a na odciętą x przedstawia ubytek zagęszczenia elekt. od tego punktu m do bardzo bliskiego punktu n , przedstawia, tak zwany przez Ohm'a, spadek. Ten ostatni jest tem większy, im linija pq jest większą w stosunku do oq , czyli im większym jest stosunek $pq : oq$, t. j. im większą jest styczna trygonometryczna kąta poq . Oznaczmy małe cząstki odciętej x i rzędnej y przez dx i dy , to spadek wyrazi się przez $dy : dx$. Ponieważ przyjęliśmy, że ilość elekt., przepływającej przez nieskończenie małą cząstkę mn , czyli siła strumienia, albo natężenie i , jest proporcjonalnem do spadku, więc możemy napisać: $i = C(dy : dx)$, gdzie C oznacza współczynnik zawarunkowany okolicznościami, który możemy oznaczyć w ten sposób. Nazwijmy elekt. przepływającą w jednostce czasu, przez jednostkę powierzchni przecięcia poprzecznego ze spadkiem l , przez k i wstawmy tę wartość w powyższe równanie, uważając że i płynie przez inne przecięcie poprzeczne q i że zatem równe jest kq ; równanie więc przejdzie na $kq = C$. Wstawiając w wyrażenie na i wartość na C wypadnie $i = k \cdot q (dy : dx)$. Zwracając uwagę na dwa inne bardzo bliskie sobie przecięcia poprzeczne przewodnika, r i s , wypadnie dla nich $i' = kq (dy' : dx)$, gdyż dx , t. j. odległość między poprzecznymi przecięciami, q przecięcie samo, i k jako elekt. przepływająca przez jednostkę przecięcia poprzecznego, pozostały niezmiennie. Lecz jedna i taż sama ilość elekt. musi przebiegać przez wszystkie przecięcia poprzeczne, więc musi być $i = i'$, a więc musi być także:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy'}{dx}$$

czyli styczne trygonometryczne kątów nachylenia pojedynczych elementów krzywe muszą być sobie równe. Tylko linija prosta posiada tę własność, przeto linija spadków jest liniją prostą. Niech kąt jaki ona czyni z ab wynosi α to

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{gd}{od} = \frac{e-y}{x}$$

$$\text{z tąd} \quad y = e - x \operatorname{tg} \alpha$$

Kładąc w tem równaniu, zamiast x , całą długość l przewodnika, to y przedstawia zagęszczenie elekt. w punkcie b , równe $-e$. Podstawienie to daje:

$$-e = e - l \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ czyli,} \\ \operatorname{tg} \alpha = 2e : l.$$

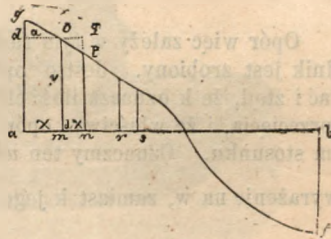


Fig. 31.

Podstawmy tę wartość stycznę α , za $dy:dx$ w poprzednie równanie na i , otrzymamy:

$$i = kq \frac{2e}{1} = \left(\frac{1}{kq} \right)$$

Dzielnik $\frac{1}{kq}$ odnosi się do koła strumienia; wskazuje on że siła strumienia jest w odwrotnym stosunku do długości koła, a w prostym do przecięcia poprzecznego i do ilości k . Wpływ koła strumienia na siłę strumienia nie jest wzmacniającym lecz przeciwnie, osłabiającym, gdyż przewodnik przeprowadza tylko strumień, lecz go nie wytwarza, a oprócz tego część siły strumienia musi być obróconą na utworzenie drogi w przewodniku. Ten osłabiający wpływ nazywa się oporem koła strumienia; oznaczywszy go przez w , będzie:

$$i = \frac{2e}{w}$$

co udawadnia pierwszą część twierdzenia. Jeżeli we wzorze $w = \frac{1}{kq}$ i q są równe jedności, to wypada:

$$w = \frac{1}{k}$$

Opór więc zależy w tym razie tylko od własności materiału, z którego przewodnik jest zrobiony. Jestto opór właściwy przewodnictwa materiału, co także widać i ztąd, że k oznacza ilość elekt. przepływającej przez jednostkę poprzecznego przecięcia, i że właściwy opór przewodnictwa musi być do tej ilości w odwrotnym stosunku. Oznaczmy ten *właściwy opór przewodnictwa* przez r , i wstawmy w wyrażenie na w , zamiast k jego wartość $\frac{1}{r}$, to będzie:

$$w = \frac{lr}{q}$$

Wzór ten udawadnia drugą część prawa Ohm'a. Opór w koła strumienia składa się w łańcuchu galwanicznym z 2-ch części: z oporu w łuku zamknięcia i z oporu w samym łańcuchu, gdyż w tym ostatnim strumień odbywa drogę przez ciecz. Jeżeli łuk zamknięcia jest jednostajnym drutem, to jego opór $= lr : q$; jeżeli zaś opór łańcucha $= w$, to całkowity opór wynosi:

$$w + \frac{lr}{q}$$

i wyrażenie matematyczne prawa Ohm'a, dla łańcucha galwanicznego jest:

$$i = \frac{e}{w + \frac{lr}{q}}$$

Często i opór łańcucha przedstawia się w tej drugiej formie; wystawiamy sobie drut o przecięciu q (pospolicie 1 \square mm) i o właściwym oporze przewodnictwa r (zazwyczaj $= 1$), a długości takiej, aby opór jego był równy oporowi łańcucha. Tę długość druta, która przedstawia ten

sam opór co i inny przewodnik, nazywają *zredukowaną długością przewodnika*. Przedstawiając sobie w ten sposób opór łańcucha i oznaczając przez l summe długości: łuku zamknięcia i długości zredukowanej, wypadnie poprostu:

$$i = \frac{e}{\left(\frac{lr}{q}\right)}$$

Taż sama forma otrzymuje się i w przypadku, gdy opór łańcucha niknie w porównaniu z oporem łuku, jak to ma miejsce przy ciepłoprądach. — Mnożnik 2 w liczniku może być opuszczony, jeżeli przez e rozumieć będziemy całkowitą ilość el., dostarczonej przez łańcuch,

Stwierdzenie prawa Ohm'a. Używa się w tym celu przyrządów, służących do wprowadzenia oporów do przewodników. Temi przyrządami są: 1. *Rheostat* (Fig. 32) *Jacobi'ego i Wheatstone'a* (1843): Na ruchomym walcu drewnianym, serpentynowym lub marmurowym jest nawinięty w nacięcia szrubowe drut z nowego srebra, którego jeden koniec odosobniony jest przytwierdzony do walca, a drugi łączy się ze szrubą r . Obok walca spoczywa poziomo drażek mosię-

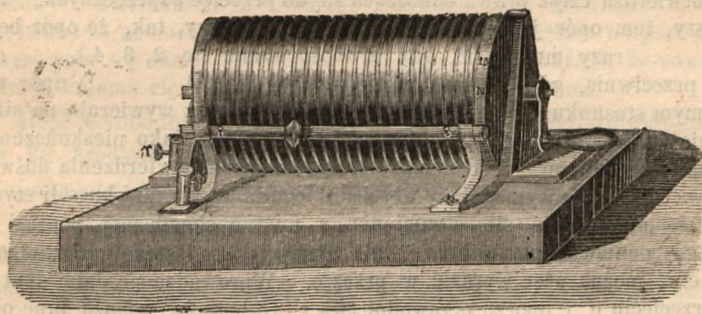


Fig. 32.

żny ss, na którym wolno osadzony krążek chwytka zwój drutu wyłobionym brzegiem i przez obrót walca posuwa się tam i napowrót po drażku. Strumień idzie od pierwszego druta biegunowego przez wzmiankowaną szrubę i przez wszystkie zwoje drutu na walcu aż do krążka, a następnie po drażku schodzi do drugiej szruby ściskającej k i do drugiego druta biegunowego. Liczba wprowadzonych skrętów może być odczytaną na podziałkach drażka, a ułamki skrętu na podziale walca. Stosowniejszym do mierzeń dokładnych jest *Rheochard Poggendorff'a* (1841). Szruby ściskające znajdują się na dwóch obok siebie umieszczonych łożyskach miedzianych; z tych wychodzą druty platynowe przez ruchome, napełnione merkurjuszem pudełeczko, do dwóch nici jedwabnych, które przeprowadzone przez rolki i opatrzone ciężarkami, natężają druty platynowe. Pod drutami znajduje się podziałka milimetrowa, na której można robić dokładne odczytania za pomocą nonijusza przytwierdzonego do pudełeczka merkurjalnego. Strumień przechodzi od jednej szruby przez drut platynowy i pudełeczko z merkurjuszem do drugiego platynowego druta. Przyrząd ten pozwala tylko na wprowadzanie

małych oporów. Za pomocą *słupka oporowego Ejsenlohra* (1845?) można wprowadzać do 12000 zwojów drutu rheostatu Wheatstone'a. Na pionowym słupku drewnianym znajdują się w coraz mniejszych od siebie odległościach, pierścienie mosiężne umocowane równoległe do siebie i mogące być połączone z sobą przewodnio, za pomocą małych, ruchomych mostków mosiężnych. Jeżeli mostki są pozamykane, to strumień przechodzi przez nie i przez pierścienie mosiężne od szruby górnej do dolnej, a więc po krótkim przewodniku. Jeżeli zaś wszystkie mostki są otwarte, to strumień jest zmuszony przechodzić po cienkim drucie z argantanu, grubości 0,01", nawiniętym na zagłębieniach między pierścieniami.— Przez zamknięcie jednego lub kilku mostków można wprowadzać dowolne długości druta.

Sam Ohm stwierdził doświadczeniem swe prawo za pomocą ciepłańcucha, którego końce pograżone były w topniejącym lodzie i w wodzie wrzącej. Wprowadzając w łuk zamknięcia takiego łańcucha pewną liczbę zwojów rheostatu i bussolę stycznymi czyniąc drut 2, 3, 4... razy dłuższym, okaże się, że styczne kąty zбочenia będą 2, 3, 4... razy mniejsze, co wskazuje na wpływ długości.— Wprowadzając w każdym przypadku drut o podwójnem przecięciu poprzecznem, lecz tej samej długości, styczna kąta zбочenia stanie się 2 razy większą, a wyznik ten potwierdza część prawa odnosząca się do przecięci poprzecznych. Im drut jest grubszy, tem opór jego przewodnictwa jest mniejszy, tak, że opór będzie 4, 9, 16... razy mniejszym, gdy grubość stanie się 2, 3, 4... razy większą; przeciwnie, gdy długość powiększa się 2, 3, 4... opór wzrasta w tym samym stosunku; długość zatem i grubość druta wywierają na siłę strumienia działania przeciwne. Opór przewodnictwa ziemi, jako nieskończenie grubego druta, jest żadnym. Fechner (1831) podał sposób stwierdzenia doświadczeniem prawa Ohm'a, nie wymagający użycia stałego łańcucha, ani bussoli stycznych. Oznacza się mianowicie siłę strumienia w miarze chemicznej podług wzoru: $i = A \cdot \operatorname{tg} \alpha$; ponieważ znane teraz i, gdy drut nie jest jeszcze wprowadzony, równe jest $e \cdot w$, można więc wyrazić w przez e . Wprowadza się dalej drut długości l , o przecięciu q i oporze przewodnictwa r , to bussola wskaże inne odchylenie, przez które siła strumienia i' wyrazi się w następujący sposób: $i' = A \cdot \operatorname{tg} \beta$.

Ponieważ to znane i' wyraża się: $i' = \frac{e}{w + \frac{rl}{q}}$, przeto znowuż można wyrazić w

przez e . Wprowadza się następnie inny drut długości l' , o przecięciu q' i oporze r ; otrzymamy znowuż równania:

$$i'' = A \cdot \operatorname{tg} \gamma; \quad i'' = \frac{e}{w + \frac{rl'}{q}}$$

z których będzie można także wyrazić w przez e . Z jakiegokolwiek liczby doświadczeń otrzymuje się zawsze tę samą wartość na w , ztąd wypada, że prawo Ohm'a wyraża istotny wpływ długości i poprzecznego przecięcia druta na siłę strumienia. Dla zbadania wpływu siły elektromagnetycznej i oporu łańcucha, łączy się razem n elementów Bunzena i wprowadza się bezpośrednio bussolę stycznymi. Siła elektromotryczna jest teraz ne , opór łańcucha również powiększył

się n razy i jest równy nw , a opór łańcucha zamknięcia niknie w porównaniu z nw . W tym więc razie:

$$i = \frac{ne}{nw} = \frac{e}{w}$$

Siła połączenia równa się więc sile pojedynczego elementu. Bussola stycznych stwierdza ten wypadek, jak również inne części prawa. Wprowadzając najprzód drut $= l$, a potem drut: $l+l'+l'' \dots$, znajdziemy:

$$i' = \frac{ne}{nw + \frac{rl}{q}}; \quad i'' = \frac{ne}{nw + \frac{rl}{q} + \frac{rl'}{q} + \dots}$$

zgodne ze wskazaniem bussoli stycznych, potwierdzające zatem wszystkie części prawa Ohm'a.

Dwanaście wyników z prawa Ohm'a. 1. Napięcie strumienia galwa- 502.

nicznego jest toż samo we wszystkich miejscach przewodnika.

Wynik ten leży już w dowodzie prawa Ohm'a; tam bowiem okazało się, że krzywa napięcie jest linią prostą, że spadek we wszystkich miejscach przewodnika jest jednakowy. Twierdzenie to było już udowodnionem doświadczalnie przez Barlow'a (1825) za pomocą igły magnesowej, która na każdym miejscu przewodnika wskazywała toż samo odchylenie. Fechner (1831) okazał, że nawet przy wprowadzeniu kolumn cieczy, siła strumienia pozostaje tą samą.

2. Ilość swobodnej elektryczności na przewodniku zmniejsza się od biegunów ku środkowi, a w środku jest równa zeru. Jeżeli jeden biegun zostanie dotknięty przewodnio, swobodna elektryczność drugiego bieguna otrzyma zagęszczenie podwójne, i maleć będzie aż do pierwszego bieguna. Jeżeli pośrednie miejsce przewodnika zostanie przewodnio dotknięte, to zagęszczenie tego miejsca stanie się równem zeru; po obu stronach tego miejsca, w równych odstępach, będą zagęszczenia równe lecz przeciwne; na biegunie jednoimiennym elektryczność zmniejszy się o zagęszczenie miejsca dotknięcia, a na różnoimiennym zwiększy się o tę samą ilość.

Wszystkie te twierdzenia wypływają ztąd, że linija spadków jest prostą, oddaloną w końcach na $+e$ i $-e$ od linii przyjętej za oś odciętych; pojedyncze rzędne przedstawiające swobodne el. zmniejszają się od $+e$ i $-e$ tak, że w środku schodzą na zera, a w równych odległościach od środka są tej samej wielkości lecz różnoimiennie. Spadek pozostaje ten sam, gdy nastąpi dotknięcie odprowadzające, a zatem i różnice el. nie ulegną zmianie. Różnica biegunów była przed dotknięciem $e - (-e) = 2e$, przeto i po dotknięciu będzie także $2e$. Jeżeli więc zagęszczenie na jednym biegunie jest równe zeru, to na drugim musi być $2e$, i zmniejszać się do zera ku drugiemu biegunowi. Jeżeli zostanie dotknięciem jakie inne miejsce, np. na $\frac{1}{4}$ długości przewodnika, to zagęszczenie jego stanie się zero, a po obu stronach tego punktu wzrastać będzie jednakowo lecz różnoimiennie tak, że na bliższym biegunie będzie $\frac{1}{2}e$, na odleglejszym $\frac{3}{2}e$. Kohlrausch (1849) uzasadnił doświadczalnie te twierdzenia za pomocą swego dokładnego kondensatora i czutej szalki skręceń.

3. Przy użyciu łuku zamknięcia o bardzo małym oporze, siła strumienia nie daje się zwiększyć przez powiększenie liczby elementów.

Oznaczmy opór łuku zamknięcia, tak zwany opór zewnętrzny, przez w' , a opór łańcucha, czyli wewnętrzny, albo istotny opór, przez w , to podług prawa Ohm'a

$$i = \frac{e}{w + w'}$$

Ponieważ w' ginie w porównaniu z w , przeto:

$$i = \frac{e}{w}$$

Jeżeli zamiast jednego elementu użyjemy ich n , to siła elektromotryczna będzie $= ne$, opór istotny $= nw$, a w' nie ulegnie zmianie, przeto:

$$i' = \frac{ne}{nw + w'}$$

Ponieważ w' jest bardzo małe, gnie więc przy nw , a zatem

$$i' = \frac{ne}{nw} = \frac{e}{w} = i$$

Siła strumienia nie zwiększy się wcale, gdy zamiast jednego łańcucha użyjemy baterji. Łatwo to stwierdzić doświadczeniem za pomocą bussoli.

4. Przy użyciu łuku zamknięcia o bardzo małym oporze siła strumienia rośnie ze zwiększeniem platek elektromotrycznych.

Siła elektromotryczna sama w sobie, podług zasadniczych doświadczeń Galvani'ego, jest niezależną od wielkości stykających się powierzchni. Łącząc więc razem wszystkie platki cynkowe stosu Bunzena, jak również wszystkie platki miedziane, e pozostanie toż samo, ale w stanie się n razy mniejsze, gdyż przecięcie poprzeczne przebieganej cieczy będzie n razy większem; w tym więc razie

$$i' = \frac{e}{\frac{w}{n} + w'}$$

Ponieważ w' z przyczyny małości może być pominiętem, przeto

$$i' = \frac{e}{\left(\frac{w}{n}\right)} = \frac{ne}{w}$$

A że było $i = \frac{e}{w}$, przeto $i' = ni$. To znaczy, że siła strumienia przez n -te powiększenie platek, staje się, przy małym oporze zewnętrznym, n razy większą. Do magnetyzmych działań galwanizmu używa się krótkiego i grubego drutu zamknięcia; baterja składa się z wielkich elementów w małej liczbie.

5. Natężenie strumienia nie może się powiększać do nieskończoności, przez powiększanie platek.

Licznik wyrażenia $\frac{e}{\frac{w}{n} + w'}$ nie zmienia się przy powiększaniu platek;

w mianowniku zaś pierwszy wyraz $\frac{w}{n}$ coraz się zmniejsza w miarę zwiększania się n i w końcu znika w porównaniu z w' ; największe zatem natężenie osiągnąć się dające przez powiększanie platek jest równe $e:w'$.

6. Przy użyciu łuku zamknięcia o bardzo wielkim oporze siła strumienia rośnie z liczbą elementów.

Dla jednego elementu służy wzór: $i = \frac{e}{w+w'}$, a dla n elementów wzór: $i' = \frac{ne}{nw+w'}$. Jeżeli nw jest bardzo małe w porównaniu z w' , to $i = \frac{e}{w}$, $i' = \frac{ne}{w'}$, czyli $i' = ni$. Jeżeli więc opór istotny znika w porównaniu z zewnętrznym, to natężenie strumienia rośnie z liczbą elementów.

7. Natężenie strumienia nie może jednak stać się nieskończenie wielkiem, przez powiększenie liczby elementów,

Gdyż wzór $i' = \frac{ne}{nw+w'}$ daje się jeszcze napisać tak: $i' = \frac{e}{w + \frac{w'}{n}}$. Jeżeli w tym wyrażeniu n będzie się zwiększać, to licznik się nie zmieni, a w mianowniku drugi wyraz $\frac{w'}{n}$ stawać się będzie coraz mniejszym i w końcu zniknie w porównaniu z w . Największe zatem natężenie osiągnąć się dające przez powiększenie liczby elementów $= \frac{e}{w}$.

8. Przy użyciu łuku zamknięcia o bardzo wielkim oporze, siła strumienia nie wzrasta ze zwiększaniem platek.

Dla jednego elementu w tym razie $i = \frac{e}{w'}$. Jeżeli n platek cynkowych zostanie połączonych ze sobą, jak również n platek węglowych, e nie zwiększy się, lecz w stanie się n razy mniejszem; więc $i' = \frac{e}{\frac{w}{n} + w'} = \frac{ne}{w+nw'}$. Ponieważ w znika przy nw' , przeto $i' = \frac{ne}{nw'} = \frac{e}{w'}$. Ząd wypada, że $i' = i$.

Przy wielkich zatem oporach zewnętrznych, powiększanie platek nie ma wpływu na zwiększenie działań, np. chemicznych lub fizyologicznych, a natomiast, zwiększenie liczby elementów wzmacnia te działania. Używa się więc w tych razach wiele, lecz małych elementów.

9. Maximum siły strumienia osiągniętem zostaje wtedy, gdy opór wewnętrzny jest równy zewnętrznemu, czyli gdy opór istotny równa się oporowi łuku zamknięcia.

Dowód. Niech każde x piatek baterji z n elementów, będzie połączonych w jedną, to liczba elementów zachodzących istotnie w tym razie, wyraża się przez $\frac{n}{x}$, a siła elektromotryczna przez $\frac{ne}{x}$. Opór istotny jednego elementu, który był poprzednio w , teraz jest $\frac{w}{x}$, więc dla wszystkich elementów wyniesie $\frac{nw}{x^2}$; jeżeli opór zewnętrzny jest w' , to

$$i = \frac{\frac{n}{x} e}{\frac{nw}{x^2} + w'} = \frac{nx e}{nw + x^2 w'}$$

Przy innej wartości x , np. x_1 , większej lub mniejszej od x , znajdziemy

$$i' = \frac{n x_1 e}{nw + x_1^2 w'}$$

Jeżeli przy x siła strumienia ma być maximum, to przy każdym x_1 , większem lub mniejszem od x , siła strumienia i winna być większą od i' , czyli różnica $i - i'$ powinna być dodatnią. Różnica ta wynosi

$$i - i' = \frac{ne(nxw + xx_1^2 w' - nx_1 w - x_1 x^2 w')}{(nw + x^2 w')(nw + x_1^2 w')} = \frac{ne(x - x_1)(nw - xx_1 w')}{(nw + x^2 w')(nw + x_1^2 w')}$$

Ponieważ w ostatniem wyrażeniu czynnik $(x - x_1)$ zmienia znak przy przejściu x_1 od mniejszej do większej wartości niż x , przeto i drugi czynnik musi też zmieniać swój znak współcześnie, jeżeli wyrażenie różnicy ma być stale dodatnem. Ten drugi czynnik musi się stawać zerem, jeżeli wyrażenie różnicy ma być zerem, czyli jeżeli $x - x_1 = 0$, czyli gdy $x = x_1$. Drugi czynnik stanie się zerem, jeżeli jego licznik będzie $= 0$, t. j. gdy $\frac{nw}{x^2} = w'$. Lecz $\frac{nw}{x^2}$ jest oporem elementów, czyli oporem istotnym, a w' zewnętrznym oporem, przeto powyższe twierdzenie zostało udowodnionem.

10. Liczba, podług której łączyć należy n elementów pewnej baterji dla osiągnięcia największej siły strumienia, jest równą pierwiastkowi kwadratowemu ze stosunku oporu istotnego do oporu łuku zamknięcia.

Dowód. Z powyżej znalezionej równania $nw : x^2 = w'$, wypada:

$$x^2 = \frac{nw}{w'}; \text{ ztąd } x = \sqrt{\frac{nw}{w'}}$$

11. Jeżeli w koło strumienia zostanie wprowadzony nowy opór, to natężenie nie wiele się zmniejszy jeżeli ten opór. w stosunku do pierwotnego, jest małym.

Przez dodanie nowego oporu w' do poprzedniego w , siła strumienia, która była poprzednio $i = \frac{e}{w}$, przejdzie teraz na $i' = \frac{e}{w+w'}$; więc $\frac{i}{i'} = \frac{w+w'}{w}$

$= \frac{1 + \frac{w'}{w}}{1}$. Druga strona tego wyrażenia jest tem bliższą 1-ej, im ułamek $\frac{w'}{w}$ jest mniejszy.

12. Jeżeli w łuk zamknięcia zostanie wprowadzony opór wielki stosunkowo do oporu pierwotnego, to natężenie zmniejszy się znacznie.

Wypada to z poprzedniej proporcji.

Rozgałęzienia strumienia. (Ohm 1827, Kirchhoff 1849). Znane są: **503.** siła elektromotryczna e łańcucha, jak również długości, przecięcia poprzeczne i opory właściwe przewodnictwa drutów, rozgałęziających się od druta łuku zamknięcia, a następnie z nim się łączących; trzeba oznaczyć siłę strumienia w gałęziach i w drucie głównym. Najprostszy przypadek jest ten gdy wiele drutów wychodzi z jednego punktu druta głównego i znowu się z nim łączy w innym punkcie. Dla tego przypadku służy prawo: siła strumienia w gałęzi jest w stosunku prostym do iloczynu zredukowanych długości przewodników, przebieganych wspólnie.

Niech długościami drutów, zredukowanymi na jednostkę przecięcia poprzecznego i oporu przewodnictwa, będą: l_1, l_2, l_3 ; zamiast tych drutów można wystawić sobie inne posiadające też same opory, o długości wspólnej $= 1$, a o przecięciach poprzecznych $\frac{1}{l_1}, \frac{1}{l_2}, \frac{1}{l_3}$. Ponieważ te druty działają tak samo, jak jeden drut o przecięciu poprzecznym równem summie ich przecięć, przeto przecięcie poprzeczne tego pojedynczego druta wynosiłoby:

$$\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} + \frac{1}{l_3} = \frac{l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3}{l_1 l_2 l_3}$$

Gdyby ten drut wprowadzonym został na miejsce trzech poprzednich, to natężenie w nim byłoby e , równe natężeniu w drucie głównym, a natężenia i_1, i_2, i_3 byłyby w tym stosunku do i , jak ich przecięcia poprzeczne. Natężenia więc w trzech gałęziach będą:

$$i_1 = \frac{i \cdot l_1 l_2 l_3}{l_1 (l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3)} = \frac{i \cdot l_2 l_3}{l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3}$$

$$i_2 = \frac{i \cdot l_1 l_3}{l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3}$$

$$i_3 = \frac{i \cdot l_1 l_2}{l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3}$$

Wzory te udowadniają przytoczone powyżej prawo. Dla oznaczenia natężenia druta głównego, trzeba oznaczyć naprzód opór drutów rozgałęzień. Ponieważ opór ten jest równy oporowi druta pomyślanego o oporze właściwym i , i przecięciu poprzecznym $\frac{l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3}{l_1 l_2 l_3}$, przeto wynosi on $\frac{l_1 l_2 l_3}{l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3}$

Jeżeli opór druta głównego i łańcucha oznaczymy przez w , to

$$i = \frac{e}{w + \frac{l_1 l_2 l_3}{l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3}} = \frac{e(l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3)}{w(l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3) + l_1 l_2 l_3}$$

Podstawienie tej wartości w 3 powyższe natężenia, pozwala je wyrazić w funkcji ilości danych.

Liczne zadania odnoszące się do rozgałęzień strumieni, dają się rozwiązać za pomocą dwóch praw zasadniczych, wykrytych przez Kirchhoff'a za pomocą analizy wyższej. Prawa te są: 1. Summa sił strumieni wszystkich drutów schodzących się w jednym punkcie jest równa zeru. 2. Summa iloczynów z sił strumieni przez opory, drutów tworzących figurę zamkniętą jest równą summie sił elektromotorycznych znajdujących się w każdym z tych drutów.

Twierdzenia te znajdują ważne zastosowanie przy oznaczeniu natężenia w czworoboku Wheatstone'a. W drut przewodnika wprowadzony jest ostremi końcami długi czworobok; w jego środku umieszczony jest galwanometr, którego drut idzie do końców tępych. Niech opór w drucie nierozdzielonym będzie w , a w 4-ch bokach czworoboku: l_1, l_2, l_3, l_4 , w krótszej przekątnej l_5 , niech siły strumieni będą: i, \dots, i_5 . Podług pierwszego prawa Kirchhoff'a $i = i_1 + i_3$, $i = i_2 + i_4$, $i_5 = i_1 - i_2$, $i_5 = i_4 - i_3$. Podług prawa drugiego $i_5 l_5 = i_3 l_3 - i_1 l_1$ i $i_5 l_5 = i_2 l_2 - i_4 l_4$. Z 4-ch pierwszych równań wypada $i_3 = i_4 - i_5$; $i_4 = i - i_3 = i - i_4 + i_5$; $i_2 = i - i_4$. Wprowadzając te wartości w dwa ostatnie równania, wypadnie: $i_5 l_5 = l_3(i_4 - i_5) - l_1(i - i_4 + i_5)$, oraz $i_5 l_5 = l_2(i - i_4) - i_4 l_4$, albo $i_5 l_5 + i_5 l_3 + i l_1 + i_5 l_4 + i_5 l_4 = i_4(l_3 + l_4)$, i $i_5 l_5 + i l_2 = i_4(l_2 + l_4)$. Z tych dwóch równań nakoniec wypada natężenie w drucie galwanometru

$$i_5 = \frac{i(l_2 l_3 - l_1 l_4)}{l_5(l_1 + l_2 + l_3 + l_4) + (l_1 + l_3)(l_2 + l_4)}$$

Jeżeli strumień w galwanometrze = 0, wypada $l_2 l_3 = l_3 l_4$, albo $l_3 = \frac{l_1 l_4}{l_2}$.

504. **Opór właściwy przewodnictwa.** Dla zmierzenia oporów przewodnictwa różnych ciał, dla porównania ich między sobą, potrzeba przyjąć jednostkę oporu. Niestety, przyjęto rozmaite jednostki oporu. Jacobi (1848) za jednostkę przyjął opór druta miedzianego długiego na 1^m o średnicy 1^{mm} . Simens (1849) proponował za jednostkę opór przyzmatu merkurjalnego, długości 1^m a średnicy 1^{mm} przy $0^\circ C$. Podług Langsdorff'a (1853)

najłatwiej jest otrzymać druty, przedstawiające jednaki opór, z chemicznie czystego srebra. Ponieważ oprócz tego srebro ma najmniejszy opór przewodnictwa, przeto w ostatnich czasach używa się zwykle jednostki srebrnej. Drut przedstawiający jednostkę oporu nazywa się drutem normalnym; jeżeli inny opór zostanie zamieniony w długość druta normalną, t. j. jeżeli wskazanem zostanie, przy jakiej długości drut normalny wyrówna temu oporowi to długość ta nazywa się zredukowaną. Metodami służącymi do oznaczenia oporów ciał stałych są: metoda podstawienia, metoda równoważenia, i użycie czworoboku Wheatstone'a.

Metoda podstawienia polega na tem, że opór mający być zmierzonym, wraz z bussolą wprowadza się w koło strumienia, odczytuje się zboczenie, a potem w miejsce oporu wprowadza się rheostat, który regulowanym jest dotąd, aż wyda też samo zboczenie. Dowiadujemy się przez to, ilu zwojom rheostatu równa się opór nieznan, a ponieważ wiadomem jest, ile drutów normalnych odpowiada jednemu zwojowi rheostatu, przeto opór mierzony można wyrazić w drutach normalnych. *Metoda równoważenia* polega na porównaniu za pomocą bussoli wstaw, sił strumieni wytworzonych przez jedną i tę samą baterję w dwóch kołach strumieni, z których pierwsze przedstawia opór znany, a drugie opór do zmierzenia. Niech przy wprowadzeniu rheostatu bussola wskazuje zboczenie α , a przy wprowadzeniu oporu zboczenie α_1 ; ma więc miejsce proporcya: $i : i_1 = \sin \alpha : \sin \alpha_1$. Oznaczmy opór rheostatu przez r , opór nieznan przez x , opór łańcucha przez w , to będzie także

$$i : i_1 = \frac{e}{w+r} : \frac{e}{w+x} = \frac{w+x}{w+r}$$

Z połączenia tych 2-ch równań wypada:

$$\begin{aligned} \sin \alpha : \sin \alpha_1 &= (w+x) : (w+r) \\ x &= \frac{(w+r) \sin \alpha}{\sin \alpha_1 - w} \end{aligned}$$

Przy użyciu czworoboku Wheatstone'a wprowadza się także rheostat w jeden z boków, a w drugi bok wprowadza się opór nieznan. Jeżeli początkowo galwanometr był na zerze, to po wprowadzeniu pokręca się rheostatem dotąd, dopóki znowu galwanometr nie wskaże zera; wtedy opór nieznan równa się oporowi rheostatu. Ta metoda służy tylko dla małych oporów. Chcąc ją zastosować i do większych, wprowadza się w jeden z boków czworoboku opór nieznan, w inne zaś, opory zmienne mogące być odczytywanemi; jak np. rheochord albo słupek oporowy, i zmienia się je aż do odchylenia 0. Wtedy, podług teoryi czworoboku (503), opór nieznan jest równy iloczynowi oporów wprowadzonych w drugi kąt rozwarty, podzielonemu przez opór znajdujący się w tym kącie rozwartym, w którym jest opór mierzony. Przyjmując opór przewodnictwa miedzi równym 1, znaleziono za pomocą tych metod: dla srebra 0,73, dla złota 0,97, mosiądzu 3,57, platyny 4,54, żelaza 5,88, nowego srebra 15,47, merkuryusza 38,46. Dla oznaczenia oporu przewodnictwa cieczy, zamyka się ją w rurkę do mierzenia, między platyną okrytem dnem rurki i ruchomym tłokiem również pla-

tyną pokrytym; urządzenie jest tego rodzaju, że przesunięcie się tłoka może być dokładnie zmierzonym. Ta rurka miernicza, za pomocą słupka oporowego, wprowadza się w koło strumienia wraz z rheostatem i galwanometrem. Tłok wtedy zostaje cokolwiek wyciągniętym, a część próżna wypełniona cieczą; galwanometr wtedy zbcoczy cokolwiek, a zbcoczenie to będzie skutkiem oporu wprowadzonej cieczy. Za pomocą słupka oporowego i rheostatu zmniejsza się opór aż do poprzedniego stanowiska galwanometru. Długość wyprowadzonego druta przedstawia opór szukany. W ten sposób znaleziono, że opór kwasu siarczanego, o cięż. włas. 1,1 do 1,4, wynosi 938500 do 1023400, nasyconego roztworu soli kuchennej = 18450000, kwasu saletrzanego handlowego = 1606000, względnie jednostki srebrnej. Ztąd widać, jak wielkim jest opór cieczy w porównaniu z oporem ciał stałych; opór ciała ludzkiego = 90000 jednostek Jacobi'ego, w tym razie, gdy ręce są zwilżone wodą kwaśną. Dla ciał stałych podaje się zwykle *zdolność przewodnictwa* będąca odwrotnością oporu przewodnictwa; dla uniknięcia zbyt małych liczb mnoży się tę odwrotną wartość przez 100 i zdolność przewodnictwa srebra przyjmuje się równą 100. W tem przyjęciu, podług Mathiessen'a (1857), zdolność miedzi = 77, złota 56, sodium 37, aluminium 34, cynku 27, żelaza 14, platyny 11, ołowiu 8, nowego srebra 8, bizmutu 1, grafitu 0,07. Tablice różnych badaczy nie są z sobą zgodne, gdyż chemiczna czystość ciał wywiera wielki wpływ; oprócz tego zachodzą także zmiany wskutek różnej twardości, gęstości i temperatury. Zwiększenie napięcia zdaje się zmniejszać przewodnictwo; zwiększenie gęstości raz je zmniejsza, drugi raz powiększa. Zdolność przewodnictwa maleje przy wzrastającej temperaturze; opór przewodnictwa druta żelaznego zwiększa się od 690 przy 21° do 4880 przy temperaturze białości. Wiedemann znalazł przeciwnie, że opór przewodnictwa roztworu wotriolu miedzianego zmniejsza się o połowę przy podwyżce temperatury o 55°. Przyjmuje się, że zdolność przewodnictwa, przy wzrastającej temperaturze, maleje dla przewodników nierozkładalnych, dla rozkładalnych zaś, rośnie. Nader małą jest zdolność przewodnictwa wody; podług Pouillet'a ma ona wynosić tylko 0,0025 zdolności stężonego roztworu wotriolu miedzianego.

505.

Ilości stałe elementu galwanicznego. Do obliczenia siły strumienia potrzeba, według prawa Ohm'a, oprócz oporu przewodnika, znać jeszcze siłę elektromotryczną i opór istotny; ilości te, w przeciwstawieniu do zmiennego oporu łuku zamknięcia, zowią się ilościami stałymi elementu. Do oznaczenia ich używa się metod: 1. Ohm'a (1830). 2. Poggendorff'a (1845) 3. Metody porównawczej.

Podług Ohm'a wprowadza się łańcuch z bussolą i rheochordem, którego wskazówka znajduje się na 0; znając stałą redukcji, wynajduje się z odchylenia, natężenie i w miarze chemicznej, Ponieważ także $i = e:w$, przeto $e = i \cdot w$.— Wprowadza się następnie oznaczony opór rheochordu, w_1 , i ze zbcoczenia oznacza się siłę strumienia i_1 , to także $e = i_1(w + w_0)$. Z dwóch równań na e wypada opór istotny $w = i_1 w_1 (i - i_1)$ i siła elektromotryczna $e = i_1 w_1 : (i - i_1)$. Ponieważ łańcuchy niestałe zmieniają natężenie między dwoma doświadczeniami, przeto metoda ta służy tylko dla łańcuchów stałych. Dla pierwszych jak również i dla stałych dobrą jest metoda kompensacji Poggendorff'a. Posiłkuje się

ona łańcuchem stałym, którego ilości stałe są już oznaczone według metody Ohm'a, i który jest połączony z łańcuchem badanym za pomocą rozgałęzienia; działanie rozgałęzienia może być obliczonym za pomocą praw Ohm'a lub Kirchhoff'a, a z tych wiadomych oznaczyć można siłę elektromotryczną i opór istotny. (Patrz zad. 739 i 740). Z pomiędzy licznych metod porównawczych opiszemy tu metodę Fechner'a (1830). Elementa do porównania wprowadzają się w koło strumienia jeden za drugim raz tak, że oba wytworzone strumienie wzmacniają, czyli sumują swe działania, drugi raz tak, że są skierowane przeciwnie i działanie jednego zmniejsza działanie drugiego. Niech siły strumieni w tych dwóch razach będą i i i' , siły elektromotryczne e i e' , a opór całego koła strumienia w , to

$$i = \frac{e+e'}{w}; i' = \frac{e-e'}{w}; \text{z\k{t}\k{a}d } e = \frac{1}{2}w(i+i'), e' = \frac{1}{2}w(i-i') = e \frac{i-i'}{i+i'}$$

Znając stałe jednego elementu, można podług praw Ohm'a i Kirchhoff'a, oznaczyć siłę strumienia dla każdej kombinacji takichże elementów.

Obliczenie siły strumienia ze stałych. Poszukiwania Müllera wyka-**306.** zały, że opór elementu z cynku i węgla, stosownie do stężenia kwasu siarczanego wynosi od 6 do 30 jednostek srebrnych, a opór elementu Daniell'a 12 — 25. Siła elektromotryczna elementu Daniell'a, również według Müllera, wynosi 520 jednostek, gdzie za jednostkę przyjęto tę siłę elektromotryczną, która w kole strumienia o jednostce oporu (srebrnej) wytwarza w jednej min. 1k° mieszaniny piorunującej. Siła elektromotr. elementu Daniell'a może zatem wydać 520 k° mieszaniny piorunującej, w minucie, przypuszczając, że ma do zwyciężenia tylko jednostkę oporu. Ponieważ element zwykle ma do pokonania opór od 12—15 jednostek, do czego jeszcze przyłącza się opór zewnętrzny, wyrażony także w jednostkach srebrnych, przeto w rzeczywistości, siła elementu Daniell'a jest o wiele mniejszą. Dla zredukowania oporu zewnętrznego na jednostki srebrne, trzeba zdolność przewodnictwa podaną w 504., podzielić przez 100 i wziąć jej odwrotność; tak otrzymany opór właściwy przewodnictwa w jednostkach srebrnych należy, według prawa Ohm'a, pomnożyć przez długość odpowiedniego oporu w metrach, a podzielić przez przecięcie poprzeczne wyrażone w milimetrach kwadratowych. Tak znalezione wartości obu oporów wstawiają się we wzór Ohm'a, który pozwoli wtedy obliczyć siłę strumienia. Siła elementu Grove'go i elementu Bunzena, podług różnych badaczy, jest 1,6 do 1,9 siły elementu Daniell'a.

Godnemi są uwagi następujące szczególności: największe siły elektromotryczne dotąd znane, wykrył Beetz w łańcuchu: platyna = potassium w kwasie siarczanym i w łańcuchu: braunsztajn = amalgamat potassium w nadmanganjanie potażu i w ługu potażowym. Siła elektromotryczna elementu Grove'go podnosi się do 2,5 elementu Daniell'a, jeżeli kwas siarczanym zostaje zastąpiony ługiem potażu. Element Grove'go słabnie do $\frac{2}{3}$, gdy zamiast kwasu saletrzanego użyty zostanie kwas chromny; element Bunzen'a, nie.

- 507.** *Zadania:* 706. Dla czego maszyna wpływu nie daje właściwego strumienia el.?
707. W czym elektryczność przez dotknięcie sprzeciwia się zasadzie zachowania siły?
708. W jakim razie elektryczność przez dotknięcie mogłaby zgadzać się z zasadą zachowania siły?
709. Objasnić podwajanie się el. swobodnej na jednym biegunie stosu Volty, wskutek dotknięcia drugiego jego bieguna.
710. Jakie niedogodności przedstawia kubkowy stos Volty, przyrząd korytkowy i stos komórkowy Wollaston'a?
711. Wytłumaczyć stałość stosów: Bunzen'a, Mejdingera, Leclanche'a i innych opisanych w 495, za pomocą zachodzących w nich processów chemicznych.
712. Zjawiska krzyża Peltier'a objaśnić na zasadzie zachowania siły (p. 496).
713. Płatka podwójna, cynkowo-miedziana, o różnicy elektrycznej $2d$, zostaje połączona, przez płatkę miedzianą, z przewodnikiem o n razy większej powierzchni; jakie będzie wtedy zagęszczenie el.? Rozw. Zagęszczenie el. dod. $= 2d(n+1):(n+2)$, el. odj. $= 2d:(n+2)$.
714. Jak się ustawia igła magnesowa względem strumienia prostopadłego do południka magnetycznego?
715. Jakie jest działanie strumienia na igłę, jeżeli strumień znajduje się w południku magnetycznym i sprawia zboczenie igły o 45^0 ? Rozw. Równe działaniu magnetyzmu ziemskiego.
716. Wystawmy sobie, że działanie magnetyzmu ziemi jest także działaniem strumienia, mającego swe siedlisko w północnym biegunie magnetycznym; ile razy większą byłaby jego siła od siły takiego strumienia, który w odległości 1^d od igły, zbacza ją na 45^0 , na miejscu odległym od bieguna północnego o n^0 ? Rozw. $n.15.7420.10$ podług prawa Biot'a i Savart'a (497).
717. Biot i Savart wykryli swe prawo za pomocą metody drgań; w odległości 3^c igła wykonywała w minucie 12 drgań; ile więc ich wykonywała w odległości 5^c ? Rozw. 9,2 drgań.
718. Jakie zwoje multiplikatora i na którą część igły astatycznej wywierają działania przeciwne; czy te zwoje nie wywierają żadnego działania?
719. Jak się ustawia igła podwójna astatyczna, której części nie są do siebie równoległe? Rozw. Południk przepoławia kąt między igłami.
720. Jaka jest siła strumienia, który w 12 min., przy 20^0 ciepła i 750^{mm} ciśnienia dostarczy $4000k^c$ mieszaniny piorunującej? Rozw. $(4000:12)(750:760):(1+0,003665.20) = 306.67$.
721. Jaka jest stała redukcji bussoli stycznych, wprowadzonej w ten strumień, jeżeli wskazuje odchylenie 35^0 ? Rozw. $A = i:tg.\alpha = 438,1$.
722. Jaka jest siła strumienia, jeżeli po wprowadzeniu łańcucha, tego rodzaju odchylenie wzrośnie na 49^0 ? Rozw. 503,98.
723. Okazać, że w kole strumienia z różnych przewodników, spadki są odwrotnie proporcjonalne do przecięć poprzecznych, a wprost proporcjonalne do oporów właściwych.
724. Okazać, że spadki są odwrotnie proporcjonalne do długości zredukowanych.

725. Okazać, że spadki są proporcjonalne do różnic zagęszczeń elektrycznych obu stron miejsca wzbudzenia. Rozw. Należy narysować krzywe spadków i użyć prawa Ohm'a.

726. Jakie powinien mieć przecięcie poprzeczne drut długi na 150° , aby przedstawił ten sam opór, co drut długi na 80° o przecięciu $1 \square^{\text{mm}}$ i z tego samego materiału? Rozw. $1,875 \square^{\text{mm}}$.

727. Jaką długość mieć powinien drut żelazny na 3^{mm} gruby, dla przedstawienia tegoż samego oporu, co drut długi na 1000^{m} i na 2^{mm} gruby? Rozwiązanie. 2250.

728. Niech siła elektromotryczna jednego elementu Bunzen'a wynosi e , opór istotny $w=1$; jakie będą: siła elektromotryczna i opór baterji z 8-u takich elementów, przy połączeniu cynku każdego elementu z węglem następującego?—Rozw. $8e$ i 8 .

729. Jakie one będą przy połączeniu cynków i węgli parami? Rozwiązanie. $4e$ i 2 .

730. Jakie, gdy każde 4 cynki i każde 4 węgle zostaną razem połączone? Rozw. $2e$ i $\frac{1}{2}$.

731. Jakie, gdy zostanie złączonych razem 8 cynków i 8 węgli? Rozwiązanie. e i $\frac{1}{8}$.

732. Jaką jest w tych 4-ch przypadkach siła strumienia, jeżeli opór zewnętrzny = długości zredukowanej l ? Rozw. $8e:(8+l)$; $4e:(2+l)$; $2e:(\frac{1}{8}+l)$; $e:(\frac{1}{9}+l)$.

733. Jakie będą siły strumieni w tych 4-ch przypadkach, gdy $l = 8, 2, \frac{1}{2}$ i $\frac{1}{8}$? Rozw. $\frac{1}{2}e, \frac{2}{5}e, \frac{4}{17}e, \frac{8}{65}e$; $\frac{4}{5}e, e, \frac{4}{5}e, \frac{8}{17}e$; $\frac{16}{17}e, \frac{8}{5}e, 8e, \frac{8}{5}e$; $\frac{64}{65}e, \frac{32}{17}e, \frac{16}{5}e, 4e$.

734. Jakie prawo stwierdzają te liczby? Rozw. Wniosek 9 z prawa Ohm'a.

735. Opór wewnętrzny jednego z n elementów jest w ; na jakie grupy trzeba podzielić te n elementów, łącząc pojedyncze, jednoimienne platki ze sobą, aby otrzymać maximum siły strumienia, przy oporze zewnętrznym = l ? Rozw.

$$x = \sqrt{\frac{nl}{w}}$$

736. Jakie nadać ugruppowanie, gdy $n=20$, a $l=40$?

737. Przy tych danych, jaka będzie siła strumienia w 4-ch powyższych ugruppowaniach 8-u elementów Bunzen'a; zad. 729? Rozwiązanie. $\frac{1}{25}e, \frac{1}{20}e, \frac{1}{25}e, \frac{1}{45}e$.

738. Dwa elementa zostały wprowadzone w 2 przewodniki a i b , łączące się z sobą w trzeci c ; jakie będą napięcia i, i', i'' w tych trzech przewodnikach, jeżeli opory ich = $w, w' i w''$, a siły el. e i e' ? Rozwiąz. Podług prawa Kirchhoff'a $i-i'-i'' = 0$; dalej $iw+i'w' = e$; $iw+i''+w'' = e'$; $i'w'-i''-w'' = e-e'$. Ztąd wypada:

$$i = \frac{e'w'+ew''}{ww'+ww''+w'w''}$$

$$i' = \frac{e(w+w'')-e'w}{ww''+ww'+w'w''}$$

$$i'' = \frac{e'(w+w') - ew}{ww' + ww'' + w'w'}$$

739. W metodzie kompensacyjnej Poggendorff'a, służącej do oznaczania siły elektromotrycznej, rozgałęzienie zadania poprzedniego jest urządzone tak, że $i''=0$; w jakim są do siebie stosunku siły elektromotryczne obu łańcuchów? Rozw. $e'=ew/(w+w')$.

740. Bateria z n elementów zostaje zmodyfikowaną w ten sposób, że platki zostają 8 razy powiększone, lecz elementów samych jest s razy mniej; jaka będzie po modyfikacji siła strumienia, jeżeli opór wewnętrzny jest w , zewnętrzny l , a siła el. jednego elementu e ? Rozw. $(ne:s) : [(nw:s^2)+1]$.

741. Jaka będzie siła strumienia przed i po modyfikacji, jeżeli pierwotnie było 12 elementów, których siła elektromotryczna wynosiła 500, opór istotny 20, zewnętrzny 30 jednostek srebrnych, i jeżeli $s=3$? Rozw. $i=24$ i 35,3.

742. Jaka długość ma mieć drut żelazny, aby sprawił ten sam opór, co takież grubości drut miedziany, długi na 1^m ? Rozw. 17^c .

743. Jak gruby być powinien drut platynowy na 80^c długi, a przedstawiający ten sam opór, co drut srebrny długości 1^m , grubości 3^{mm} ? Rozw. $6,7^c$.

744. Bussola stycznych wprowadzona wspólnie z rheostatem wskazuje zboczenie 36^0 ; po odkręceniu 3^m druta argenta, grubego na $1,2^{mm}$, igła cofnęła się na 10^0 ; jaki jest opór istotny w i siła elektromotryczna? Rozw. Zredukowana długość druta argenta jest 26; więc

$$A. \operatorname{tg} 36 = \frac{e}{w}$$

$$A. \operatorname{tg} 10 = \frac{e}{w+26}$$

$$\text{ztd } w = \frac{26. \operatorname{tg} 10}{\operatorname{tg} 36 - \operatorname{tg} 10} = 8,332; \quad e = \frac{26. A \operatorname{tg} 10. \operatorname{tg} 36}{\operatorname{tg} 36 - \operatorname{tg} 10} = 6,0535 A.$$

745. Niech siła elektromotryczna elementu będzie 600, opór istotny = 15 j. s., łuk zamknięcia — drutem miedzianym 5^m długim i 2^{mm} grubym. Jaka jest siła strumienia? Rozw. Długość druta zredukowana = 1,62; $i = 600 : (15+1,62) = 36,1$.

746. 12 elementów Bunzen'a, o oporze wewnętrznym = 15, i zewnętrznym = 20, mają być połączone w jedną baterię; jakie ustawienie będzie najdogodniejsze? Rozw. 12-kowe daje $i = 6.800 : (12.15+20) = 48$; przy ustawieniu 6-ciu podwójnych $i = 12.800 : (6.15/2+20) = 74$; przy 4-ch potrójnych $i = 4.800 : (4.5+20) = 80$; przy 3-ch poczwórnych $i = 3.800 (3.15/4+20) = 77$; przy 2-ch poszóstnych $i = 2.800 : (2.15/6+20) = 64$; przy jednym z 12-tu $i = 800 : (15/12 + 20) = 38$; więc najkorzystniej ustawić 4 potrójne elementy.

747. Przypuśćmy, że został wprowadzony drut żelazny na 20^m długi i 2^{mm} gruby; jaka będzie w pierwszym przypadku siła strumienia z 6-ciu elementów o sile el. = 900 i oporze właściwym = 10? Rozw. 56 .

4. Działania strumienia elektrycznego.

a. W kole strumienia.

Działania strumienia elektrycznego na ciała, rozpadają się na 2 rodzaje, na działania w kole strumienia i zewnątrz koła strumienia. Do pierwszych na leżą: 1. Fizjologiczne. 2. Ciepłikowe. 3. Świetlne. 4. Chemiczne. 5: Mechaniczne. 507.

I. **Działaniem fizjologicznem strumienia elektrycznego**, nazywa się jego działanie na ciała: ludzkie, zwierzęce lub roślinne, jeżeli te, albo części ich, zostaną wprowadzone w koło strumienia. Ponieważ ciało ludzkie jest niezbyt dobrym przewodnikiem, przeto do wywarcia nań wpływów tego rodzaju, według prawa Ohm'a, użyć należy baterji wielopłatkowej, np. stosu Volty. Gdy strumień elektryczny przechodzi przez ciało lub jego część, to przy otwieraniu i zamykaniu doświadcza się bolesnych drgnień; przy przejściu słabego strumienia albo nie doznaje się wcale wrażenia, albo co najwięcej uczuwa się niby palenie w częściach nadwężonych, dotykających bieguna, które to palenie przy strumieniu silniejszym zamienia się w ciągłe wstrząśnienia, a przy dłuższem jego trwaniu w ogólne przykre wrażenie. Nawet na trupach, wkrótce po śmierci, można zauważyć kurczenie się mięśni często w przerażający sposób, jak również i na czułych roślinach pewne ruchy drgające, przy otwieraniu i zamykaniu strumienia. Słaby strumień przy otwieraniu go i zamykaniu wytwarza wyrażenie świetlne na oku umieszczonem blisko części przebieganych; w pobliżu ucha, sprawia szelest; biegun dodatny na języku sprawia uczucie kwaśne, odjemny alkaliczne, jeżeli strumień przechodzi przez usta.

Najłatwiej można zauważyć wstrząśnienia kładąc palce zwilżone wodą zakwaszoną na obu biegunach stosu Volty; chcąc doznawać częstych wstrząśnień dotyka się ręką, szybko i wielokrotnie łuku zamknięcia, lub też wprowadza się w ten celu *kółko błyskawiczne*: najprostszą jego formą jest koło zębate, po ząbkach którego przesuwają się sprężyna metalowa połączona z jednym drutem biegunowym; drugi takiż drut łączy się z osią kółka. Człowiek wprowadzony w jeden z drutów trzyma jego końce w zwilżonych rękach za pomocą walcowych rękojeści. Jeżeli przy obrocie kółka sprężyna dotyka zęba, to strumień jest zamknięty, jeżeli zaś trafia na przedział między zębami to strumień jest wtedy otwarty; tym sposobem można przesyłać wstrząśnienia całemu szeregowi ludzi. Wstrząśnień tych jak również stałego przebiegu strumienia medycyna używa w celach leczniczych. *Ure* połączył głowę i nogi godzinę już wiszącego człowieka, z dwoma biegunami i z kurczów nabrał pojęcia o zmieniającym się wciąż przebiegu najrozmaitszych uczuć i namiejętności, nawet zdołał zauważyć głęboki wysiłony oddech; na małych zwierzątkach, równie jak

i na pojedynczych mięśniach robiono podobne doświadczenia. Za przewodnika elekt. w tych wypadkach uważają się nerwy; stan nerwu wywołany strumieniem stałym nazywa się *elektrotonus* a nerw przebiegany przez stałe zrywany strumień nerwem *tetanizowanym*, gdyż nerw taki w odpowiednich mu mięśniach powoduje trwałe skurczenie (tetenus). Uczuwa się wrażenie w oku dotykając jednym drutem twarzy, w bliskości oka, a drugi trzymając w rękę; dla doświadczenia wpływu strumienia na słuch dotyka się jednym drutem ucha, na smak — języka. Stos *Pulvermachera* składa się z kawałków drzewa, na których są nawinięte druty: miedziany i cynkowy, nie dotykające siebie; druty są w połączeniu z odpowiednimi drutami następnego kawałka, i t. d.

Jak strumień elekt. wywołuje zjawiska życia, tak też naodwrot, wiele życiowych zjawisk wydaje strumienie elekt. Jest to widocznem na drętewiku, rai drętewikowej i sumie drętewikowym: dotykając tych zwierząt obiema rękami, otrzymuje się uderzenie, a przy użyciu druta, według Davy'ego, nawet zjawiska chemiczne, magnetyczne, ciepłikowe i iskry. W drętewiku (węgorz drętewikowy) organ elektryczny leży w części ogona i składa się z 400 komórkowych stosów, obok siebie umieszczonych w wielu szeregach. Łącząc końce czułego mutliplikatora z miednicą i nogą żaby, igła wskaże strumień zwany strumieniem *żabim*. Jest on tylko objawem strumienia nerwo mięśniowego, wykrytego przez Dubois-Reymond; strumień nerwo mięśniowy może być okazany na każdym mięśniu i na każdym nerwie, przez połączenie punktu przecięcia podłużnego z jakimkolwiek punktem przecięcia poprzecznego, drutem przechodzącym obok czułego galwanometru; według wspomnianego badacza strumień ten ulega zmianie przy każdym zachodzącym zjawisku życia w nerwie i mięśniu. Objawem tego strumienia jest także godne uwagi zjawisko odchylenia igły galwanometru przez zakrzywienie palca; galwanometr musi być bardzo czułym, składa się z więcej niż 6000 zwojów a końce druta nurzają się w dwóch naczyniach szklanych napełnionych wodą słoną; igła także urządza się odpowiednio do tego doświadczenia; trzymając palce w obu naczyniach i skrzywiając jeden na krótką chwilę, można zauważyć zбочzenie igły.

309. 2. Działania ciepłikowe strumienia elektrycznego. Zamykając baterję o wielkiej powierzchni, a więc o małym oporze istotnym, za pomocą cienkiego, metalowego druta, ten ostatni zostanie rozgrzany, czasem do żarzenia się, a niekiedy nawet do stopienia. Ciepło w ten sposób wytworzone, w czasie oznaczonym, jest (prawo Joule'a 1841) proporcjonalne do oporu przewodnictwa druta i do kwadratu z siły strumienia. Prawo to zostało wykrytem teorytycznie a sprawdzonem doświadczalnie dla ciał stałych, przez Joule'a, Ed. Becquerel (1848) i Lenz'a (1844) dla ciał zaś ciekłych przez samego Joule'a. Prawo to służy nie tylko dla druta lecz także dla całego koła strumienia. Jeżeli zatem ilość ciepła wytworzoną w jednostce długości zredukowaną koła strumienia oznaczymy przez q , całkowity opór przez w , siłę strumienia = i , to ciepło powstałe w czasie t ,

$$Q = qwi^2t$$

Ponieważ siła elektromotryczna e , według prawa Ohm'a $= iw$, przeto:

$$Q = qeit$$

co wskazuje, że ilość ciepła jest proporcjonalną do iloczynu z siły elektromotrycznej przez siłę strumienia. Ta forma prawa Joule'a zgadza się z prawem Riess'a podanem dla ilości ciepła dostarczonego przez drut metalowy przy uderzeniu elektrycznem. Wypada też także, że przy tej samej sile elektromotrycznej ilość ciepła rośnie proporcjonalnie do siły strumienia i do czasu; ponieważ ilość cynku zużytego w bateryi jest także proporcjonalną do siły strumienia i do czasu, przeto wypada ztąd ciekawe twierdzenie, że wytworzone ciepło jest proporcjonalne do ilości zużytego cynku. Favre (1854) rozszerzył to twierdzenie okazując, że całkowita ilość ciepła jest równa tej, która powstaje przy przejściu cynku w siarczan cynku, że zatem ilość ta powstaje wskutek spalania się cynku.

Lenz do swych doświadczeń używał flaszki przewróconej do góry dnem i przytwierdzonej zatyczką do deski; przez zatyczkę przechodziły 2 druty bieguowe do 2-ch platynowych klocków, od których szedł do wnętrza flaszki napełnionej spirytusem, zwinięty drut platynowy utrzymujący się prosto, swą własną sprężystością; przez zatyczkę umieszczoną w zwróconem ku górze dnie flaszki był przeprowadzony termometr w ciecz. W kole strumienia znajdował się rheostat i bussola stycznych; każda więc zmiana w sile strumienia mogła być dostrzeżoną na bussoli i usuniętą za pomocą rheostatu. Przy poszukiwaniach nad cieczami, Joule musiał usuwać wpływ rozkładający strumienia; w roztworze wotriolu miedzianego zdołał to osiągnąć zastąpieniem klocków platynowych przez blaszki miedziane; ile siły zużytej zostało przez rozkład wotriolu miedzianego, tyle też się wytworzyło wskutek łączenia się, przechodzącego na biegun dodatny SO_4 z miedzią. Favre otrzymał przez zażycie 1-go równ. $= 33$ kil. cynku 18160 jed. ciep.; ponieważ przez spalanie 1-go równ. cynku otrzymuje się 42451 jed. c., a przy łączeniu się tlenku cynku z kwasem siarczanym powstaje 10292, więc całkowita ilość ciepła $= 52743$ j. c.; odliczając 34462 j. c. potrzebnych do wywiązania 1 kil. H, pozostanie 18281 j. c., która to liczba stwierdza właśnie prawo Favre'a. W stosie Daniell'a powstaje zamiast H 1 równ. Cu na co potrzeba 29645 j.; pozostaje więc z siły spalonego cynku 52743 — 29645 $= 23098$ j.; w stosie Grove'go 1 równ. kwasu saletrzanego redukuje się na kwas podsalerzany, na co potrzeba 6900 j. c.; pozostaje więc z siły cynku 52743 — 6900 $= 45843$ j. c. Siła ta ma się do siły elementu Daniell'a jak 1,9 : 1, co zgadza się ze stosunkiem sił elektromotrycznych obu stosów, i jak wszystkie poprzednie prawa, przemawia silnie za chemiczną naturą strumienia.

Podwyżka temperatury druta, ogrzanego galwanicznie, jest wprost **510.** proporcjonalną do jego właściwego oporu przewodnictwa i do kwadratu z siły strumienia, a odwrotnie proporcjonalną do zdolności wyrzucania i do sześcianu ze średnicy druta.

Dowód. Niech będą d , l i ϵ średnica, długość i zdolność wyrzucania drutu, a u przewyżką jego temperatury nad temp. otaczającego ośrodka, to ciepło wypromieniowane w jednostce czasu $= \pi d l \epsilon u$; ciepło wytworzone przez strumień w tym że czasie $= q w i^2$. Temperatura druta pozostaje stała, gdy ciepło dostarczone mu w jednostce czasu, równa się ciepłu wypromieniowanemu, gdy zatem $\pi d l \epsilon u = q w i^2$. Jeżeli właściwy opór przewodnictwa drutu oznaczymy przez

s , to podług prawa Ohm'a w $= \frac{4sl}{(\pi d)^2}$. Przez podstawienie tej wartości w poprzednie równanie wypada $u = \frac{4qsi^2}{\pi^2 d^3}$ wzór, który uzasadnia powyższe twierdzenie.

Doświadczenia wykonywane w tym kierunku przez Muller'a we Frejburgu i Zöllner'a potwierdziły wprawdzie wniosek płynący z podanego wzoru, że temperatura, przy równych siłach strumieni, nie zależy od długości druta, lecz odnośnie wykazały, że siły strumieni doprowadzające druty różnych średnic do żarzenia się mają się do siebie jak średnice a nie jak pierwiastki kwadratowe z sześciątów tych średnic; w tym więc kierunku pożądanymi są nowe jeszcze prace. Gdy się mówi, że temperatury przy równej sile strumienia, nie zależą od długości druta, to nie należy przez to rozumieć, aby też sama bateria doprowadzała do żarzenia się najrozmaitszej długości druty; tak nie jest, gdyż według prawa Ohm'a, siła strumienia zmienia się z długością druta, przy dłuższym drucie staje się mniejszą, i dla utrzymania jej w tem samym natężeniu potrzeba zmniejszenia innych oporów, lub wzmocnienia baterji. Wpływ oporu zewnętrznego, długości druta, jest tem wydatniejszy, że do doświadczeń nad ciepłem drutów, potrzeba według prawa Ohm'a baterji o wielkich platkach, a o nieznacznym oporze istotnym.

Na elemencie składającym się z kawałków drutów: srebrnego i platynowego, wprowadzonym w koło strumienia, można przekonać się bardzo wyraźnie, że wzrost temperatury jest odwrotnie proporcjonalnym do oporu przewodnictwa; druty bowiem srebrne są jeszcze zupełnie ciemnymi, gdyż platynowe żarzą się jasno, (prawo Draper'a). Otoczenie wywiera także znaczny wpływ na żarzenie się drutów (Grove 1847); umieszczając żarzący się drut w atmosferze wodoru, żarzenie ustaje; przeprowadzając jednakowe druty przez wodór i powietrze, drugi zaczyna się już żarzyć, gdy pierwszy pozostaje jeszcze ciemnym; objaśnia się to w ten sposób, że wodór posiada daleko większą prędkość oziębiania, niż powietrze (Clausius 1853).

Rozżarzanie się galwaniczne znalazło zastosowanie w rozsadzaniu minami w znacznych odległościach i pod wodą. Przy rozsadzaniu skał, używa się dwóch drutów miedzianych, dobrze od siebie odosobnionych, wychodzących z odległej baterji i tkwiących w zatyczce ładunku znajdującego się w minie; w tem miejscu druty rozchodzą się cokolwiek i łączą się za pomocą, cienkiego żelaznego druta; po zamknięciu strumienia rozżarzający się drut żelazny, zapala proch. Zamiast prochu używa się innych ciał zapalnych, np. mieszaniny chloranu potażu i siarku antymonu. Ponieważ żarzenie się galwaniczne nie następuje tak prawidłowo, aby liczne ładunki naraz zostały zapalonymi, na co właśnie pozwala iskra indukcyjna, przeto rozsadzanie sposobem galwanicznym rzadko się teraz używa.

3. Działania świetlne strumienia elektrycznego. Przerywając w pewnym **544.** miejscu metaliczne koło zamknięcia silnego strumienia galwanicznego, między punktami przerwy, elektrodami, przeskakuje iskra. Barwa iskry galwanicznej zmienia się z naturą metalów elektrodów; jest ona tem żywszą, im łatwiej metale dają się zamienić w parę, lub spalić, najżywszą, gdy oba końce druta są pogrążone w merkuryuszu, a jeden zostaje z niego wydobyty. Iskra galwaniczna nie jest, tak jak iskra elektryczna, połączeniem się obu el. w powietrzu, lecz zjawiskiem świetlnem, spalaniem wyrzuconych ostatnich cząsteczek elektrodów.

Jacobi (1847) zbliżał końce drutu zamknięcia stosu, składającego się z 12-u platyno-cynkowych elementów, na odległość $0,00127^{\text{mm}}$, lecz nie otrzymał przeskoku iskry; ztąd wypada, że zwyczajna iskra galwaniczna nie jest tożsamą z iskrą elektryczną; pierwsza powstaje tylko przy zetknięciu się elektrodów, druga i bez ich zetknięcia. W chwili zerwania strumienia, ostatnie cząsteczki elektrodów jeszcze są przebiegane przez strumień el., któremu, wskutek nader małego poprzecznego przecięcia, przedstawiają bardzo wielki opór, wchodzą więc w stan żarzenia się (prawo Joule'a) i spalania. Mimo to, z silnych baterij można otrzymać zwyczajne iskry el. Gassiot (1844) urządził baterję z 3500 elementów, składających się z miedzi, cynku i wody deszczowej, i otrzymywał, przy zbliżeniu elektrodów aż na $0,25^{\text{mm}}$, iskry, przeskakujące nieustannie w przeciągu 5-ciu tygodni; el. swobodna elektrodów była tak silną, że elektroskop rozchodził się już przy $6-8^{\circ}$. Silne działanie tej baterji, jak i innych podobnych urządzeń, przemawia za teorią zetknięcia, a więc przeciwko teorii chemicznej.

Łuk świetlny, galwaniczny (Davy 1821) powstaje przy oddalaniu od siebie końców drutów opatrzonych ostrzami z węgla, zostającymi poprzednio ze sobą w zetknięciu; między ostrzami węglowymi powstaje wtedy trwały łuk olśniewającego światła. Istnienie jego objaśnia się w ten sposób, że przy rozdzielaniu dotykających się ostrzów, maleńkie ich cząstki zaczynają się żarzyć galwanicznie, zostają wyrwane przez krążący w nich jeszcze strumień i przebiegając od bieguna do bieguna, tworzą niby most dla przechodzenia strumienia el. Z powodu wielkiego oporu przewodnictwa tego łukowego mostu, następuje żywe rozżarzenie i palenie się, a wskutek tego nadzwyczajne podwyższenie temperatury. Po powstaniu mostu można elektrody i więcej od siebie oddalić; oddalenie to rośnie z siłą strumienia, z rozrzedzeniem powietrza, a szczególnie z lotnością elektrodów; łuk jest najkrótszy między ostrzami platynowymi, najdłuższy między ostrzami z węgla napojonego solą glauberską lub potażem gryzącym. Elektrod dod. szybko maleje i przedstawia zagłębienie, a odj. wzrasta; zachodzi jednak często i ubywanie odjemnego; temperatura elektrodu dod. jest wyższą niż odjemnego, za to zjawisko świetlne na tym drugim objawia się daleko żywiej. Fizeau i Foucault znaleźli natężenie światła = $0,235$ natężenia światła słonecznego, przy użyciu

46 elementów Bunzen'a, gdy światła Drummond'a było tylko 0,006. Poszukiwania spektralne nad łukiem świetlnym wykazują linie odpowiadające ciążu elektrodów, a oprócz tego wielką ilość promieni chemicznych.

Do wytworzenia łuku świetlnego galwanicznego potrzeba najmniej 10—12 elementów Grove'go lub Bunzen'a. Davy (1821) użył w tym celu stosu Volty z 2000 elementów i mógł oddalić ciektrorody na 10°; gdy rozrzedził powietrze do 6^{mm} ciśnienia, odległość ta dochodziła do 17°. Cząstki węgla w łuku świetlnym nie tylko żarzą, lecz i palą się, o czem wnosić można z mniejszej świetności łuku w gazach niepodtrzymujących palenia. Zużycie węgla powiększa odległość między ostrzami i łuk gaśnie wkrótce, jeżeli ta odległość nie jest stale utrzymywana za pomocą regulatora (Foucault 1849); zadaniem tego przyrządu jest nie tylko nadanie stałości światłu i wytworzenie punktu świetlnego, nieporuszającego się z miejsca, lecz także udzielenie możności dowolnego kierowania tym punktem świetlnym. Doskonale regulatory są bardzo kosztownymi przyrządami, połączonymi z mechanizmami zegarowymi, elektromagnesami i t. d. Opiszemy tu tylko prostą konstrukcję, pozwalającą zrozumieć, jak strumień elektryczny, sam przez się, reguluje odległość między ostrzami węgla, umieszczonych na jednej pionowej. Górny ostrz jest osadzony w ręczce słupka, połączonego z jednym biegunem;— dolny zaś w podporze ruchomej z miękkiego żelaza, która może być podnoszona za pomocą nici, przechodzącej przez rolkę i opatrzonej ciężarkiem, i która otoczona jest cewką wysyłającą drut do drugiego bieguna. Jeżeli węgle stykają się, a bateria uporządkowana, to strumień jest zamknięty; wskutek tego podpora z miękkiego żelaza staje się magnesem i jest przyciągana przez cewkę ku dołowi, łuk świetlny więc przedłuża się; jeżeli on jest za długi, to traci swą zdolność przewodnictwa, strumień się otwiera, a ciężarek pociąga podporę do góry. Jeżeli przeciwciężarek jest dobrany stosownie do siły strumienia, to odległość, a więc i łuk świetlny, zostają niezmiennie. Łuk świetlny w połączeniu z regulatorem stanowi tak zwaną *lampę elektryczną*, mającą liczne zastosowania. Wielka liczba doświadczeń fizycznych osiąga, przy jej użyciu, wysoki stopień doskonałości (p. Tyndall, on sound i jego Heat considered as a mode of motion); szczególnie doświadczenia nad fosforescencją i fluorescencją dobrze się przy niej udają, gdyż zawiera wiele ultrafioletowych promieni; zjawiska polaryzacji, uginania się promieni, interferencji i wiele innych, dają się, przy jej użyciu, przedstawić obiektywnie. Oświetlając tą lampą mikroskop słoneczny otrzymujemy mikroskop fotoelektryczny. W latarniach morskich, w których światło el. znajduje liczne zastosowania, światło to wytwarza się nie za pomocą baterji galwanicznej, lecz za pomocą maszyn elektromagnesowych, wytwarzających strumień el. przez obrót. Światło el. znajduje także ważne zastosowanie przy budowach podwodnych. Używa się ono również przy uroczystościach i widowiskach. W operze „Prorok“ wschodzi słońce el., w operze „Mojżesz“ prawodawca jest otoczony światłością, ile razy ukazuje się ludowi; pojawiania się duchów są teraz wywołwane za pomocą zwierciadeł ukośnie ustawionych, w których odbijają się postacie, oświetlone pod sceną silnym światłem el.; któż sobie nie przypomina cudownych zjawisk, znanych pod śmieszniemi nazwiskami: „kalospintchromokrene“ i chromatykekataraktapoikile,“ wzbudzających nawet na jarmarkach poszanowane dla światła el.? Węgiel, używany do lamp el. jest tak zwanym węglem re-

tortowym, osiadającym grubymi warstwami, w najwyższych miejscach retort gazowych, jako w miejscach najsilniej ogrzanych; jest on czarny, z blaskiem metalicznym, bardzo twardy, a jednak dziurkowany i trudny do krajania. Cząsteczki tego węgla w łuku świetlnym rozpalają się do białości, która ma prawdopodobnie najwyższą, jaką dotąd osiągnąć można, temperaturę, gdyż najtrudniej topliwe metale, jak srebro, złoto, platyna, topią się w niej i ulatniają; Despretz'owi udało się nawet, za pomocą baterji z 600 elementów Bunzen'a, stopić nader trudno topliwe materje ziemiste: ostrza węgla przy tem doświadczeniu ulotniły się i utworzyły krystaliczny osad; dwa kawałki węgla zlutowały się w jedną całość. Wspomnieliśmy już, że metale lotniejsze przechodzą w parę w łuku świetlnym, i że światło ich pary może być badane za pomocą spektroskopu; w tym celu robi się wgłębienie w elektrodzie dod., kładzie się w nie mały kawałeczek metalu i zamyka się strumień; łuk świetlny przy użyciu miedzi ma kolor niebieski, przy cynku—fioletowy, przy litium—czerwony, i daje widmo ciągłe, o liniach szczególnie jasnych w miejscach odpowiadających metalom, lub odwrotnie o liniach ciemnych w tychże miejscach, gdy pary metalu otaczają światło w kształcie obłoczku (p. 324).

Działania świetlne strumienia el. następują przy wielkim oporze, wymagają więc baterji wielopłatkowej; iskry najłatwiej otrzymać można za pomocą stosu Volty; łączy się jeden drut biegunowy z pilnikiem, po którym pociąga się koniec drugiego biegunowego druta; następuje wtedy ciągłe wypadanie isker.

4. Działania chemiczne strumienia galwanicznego. Elektroliza. Jeżeli ciało, złożone pod względem chemicznym, będące przewodnikiem, płynne lub przynajmniej rozmiękczone, zostanie wprowadzonym w koło strumienia, ciało takie ulega rozkładowi; produkta rozkładu rozdzielają się, ukazują się one częścią w miejscu złączenia się ciała z kołem strumienia, częścią w drugim takim miejscu, a część ciała między temi miejscami będąca, pozostaje niezmienioną. Faraday (1835) nazywa to zjawisko *elektrolizą*, a ciało jej poddane—*elektrolitem*. Druty lub inne formy metalów, przez które strumień wchodzi w elektrolit, nazywają się *elektrodami*; elektrod strumienia dod. nazywa się elektrodem dodatnym albo *anodem*, a elektrod, z którego strumień dod. wychodzi, czyli przez który wchodzi strumień odjemny, elektrodem odj. albo *katodem*. Produkta rozkładu noszą nazwę *jonów*; produkt występujący przy anodzie zowie się *jonem odj.* albo *anionem*, a występujący przy katodzie—*jonem dod.* albo *kationem*. Najprostszą z elektroliz jest elektroliza wody, rozważana w 498, przy której tlen, jako anion, zbiera się na anodzie, a wodór, jako kation—na katodzie. Oba gazy wywiązują się w takim stosunku, w jakim wchodzi do składu wody, a mianowicie 1 obj. tlenu i 2 obj. wodoru. Tlen pojawia się jednak często w mniejszej ilości, gdyż jest silniej pochłanianym przez wodę i zagęszczanym na elektrodach, niż wodór, a także z powodu, że część tlenu ozonizuje się, a powstawanie ozonu, jak wiadomo, łączy się z pewnem zmniejszeniem objętości; oprócz tego tworzy

się także na katodzie nadtlenek wodoru, zabierający część tlenu. Pomiarы voltametryczne są najdokładniejsze wtedy, gdy tylko uwzględnianym jest wodór, wywiązujący się na małym elektrodzie.

Grotthuss objaśnia elektrolizę w następujący sposób: Przyjmuje się, że części składowe elektrolitu są przeciwne el., że np. w każdej cząsteczce wody, wodór jest dod., a tlen odj. Cząsteczki, w zwykłym stanie, mogą przyjmować wszelkie względem siebie położenia, lecz jeżeli zostaną złączone ze strumieniem el., to układają się tak, że atomy dod. kierują się ku katodowi, odjemne ku anodowi. Tak np., gdy w koło strumienia zostanie wprowadzoną wodą, cząsteczki jej przyjmą taki kierunek, że odjemny O każdej cząsteczki zwróci się do elektrodu dod., a dodatny H do elektrodu odj. W szeregu zatem cząsteczek znajdujących się między elektrodami, tlen pierwszej cząsteczki, stykający się z elektrodem dod., zostanie przezeń przyciągniętym, a wodór tej cząsteczki odepchniętym; cząsteczka ta więc zostanie rozłożoną, tlen zatrzyma się na elektrodzie, a wodór zostanie odepchniętym do drugiej cząsteczki i przypartym do jej tlenu, który wskutek przyciągania i odpychania elektrodów przeciwnych, oddzieli się od owej cząsteczki wody i z wodorem pierwszej cząsteczki połączy się na nową cząsteczkę wody. Takie działanie zachodzi w całym szeregu; wodór cząsteczki poprzedzającej łączy się na wodę z tlenem następnej cząsteczki, tak, że woda istnieje ciągle w całym szeregu, gdy wodór ostatniej cząsteczki nie znajdując żadnego tlenu, pozostaje na elektrodzie odj., który swem przyciąganiem i odpychaniem, na tym końcu szeregu, działa w kierunku przeciwnym, lecz z tą samą siłą, co i elektrod dodatny na drugim końcu, wskutek czego działania ich wzmacniają się wzajemnie. Ponieważ zachodzi przy tem wyrównywanie się el., przeto z rozkładem łączy się strumień el. i tu leży nieodzowność przewodnictwa dla istnienia elektrolizy. Tylko ciecz przewodnicząca doznają elektrolizy, a z elektrolizą zachodzi współcześnie i przewodnictwo; ciecz przeprowadzają elektrolitycznie strumień wtedy tylko, gdy się rozkładają. Po pierwszym działaniu elektrolizy, t. j. po pierwszym skierowaniu, rozdzeniu i połączeniu cząsteczek, czyli po pierwszym wydzieleniu się na elektrodach, powtarza się ciągle toż samo przejście. Clausius (1857) zwrócił uwagę na to, że do ciągłego kierowania i rozrywania przeciwie el., a więc silnie przyciągających się atomów, potrzebną jest wielka siła, że zatem elektroliza, podług tej teoryi, powinna dopiero następować przy pewnej sile strumienia, gdy tymczasem doświadczenie pokazuje, że elektroliza jest proporcjonalną do siły strumienia. Dla usunięcia tej sprzeczności, używa Clausius hipotezy ruchów molekularnych, dosyć ogólnie teraz przyjętej, według której, atomy w cząsteczkach, więc i różnoimienne el. jony, znajdują się w ciągłym, względem siebie, ruchu i przyciągają się wzajemnie z wielką siłą, tak, że właściwie w każdej cieczy następuje nieustanna wymiana, we wszystkich kierunkach poruszających się jonów. Strumień el. reguluje ten ruch atomów, zmusza je do skierowania się ku elektrodom i to tak, że jony dodatne zwracają się do katodu, odjemne do anodu, nie przestając odbywać wciąż swych ruchów molekularnych; więcej od elektrodów oddalone atomy spotykają w tym ruchu jony przeciwne, łączą się z niemi, gdy dla atomu oddzielnego przy elektrodzie, spotkanie takie nie jest możliwem.

Ponieważ przy elektrolizie strumień ma do pokonania wielki opór zewnętrzny, przeto używa się w tym razie, według prawa Ohm'a, baterii wielo-

platkowej; szczególnie jest ona niezbędną przy rozkładzie wody. Wzmocnionszy zdolność przewodnictwa wody małą ilością kwasu siarczanego, dwa elementa Grove'go wystarczą. Opór byłby za wielkim, gdyby elektrody miały formę drutów, gdyż ciecz służąca im za przewodnią przyjęłaby także formę druta, o bardzo małym przecięciu poprzecznym; zazwyczaj końce drutów są opatrzone szerokiemi paskami z blachy platynowej, i to jest najpospolitsza forma elektrodów.— Przy jej użyciu strumień ma wielkie przecięcie poprzeczne i małe zagęszczenie; są jednak wypadki, w których daje się pierwszeństwo wielkiemu zagęszczeniu strumienia, a więc małowemu przecięciu poprzecznemu; tak np. niedogodności przy rozkładzie wody są tem nieznaczniejsze, im elektrody są cieńszymi.

Elektrolizy; prawo elektrolityczne (Faraday 1835). Kwasy wodoru 313.
rozkładają się na solokształtniki i wodór; solokształtnik przechodzi na anod, jest więc odj., a wodór na katod. Tak zwane sole haloidalne rozkładają się również na solokształtniki zbierające się przy elektrodzie dod. i na metal wydzielający się przy elektrodzie odjemnym. Zwyczajne sole doznają takiego rozkładu: na metal idący do katodu i na rodnik złożony, elektroodjemny, wydzielający się przy anodzie. Jeżeli anod jest metalem silnie dodatnym, to łączy się z rodnikiem w sól, która rozkłada się w podobny sposób i przeprowadza metal elektrodu dod. na odjemny. Jeżeli zaś anod jest słabo dodatnym, to rodnik łączy się z wodorem, obecnej zazwyczaj wody, na wodan kwaśny, a tlen się oswobadza. Jeżeli wydzielony metal, przechodzący na katod, jest silnie dod., to z obecną zwykle wodą tworzy wodan pewnej zasady, a wodór zostaje uwolnionym; w innych razach metal wydziela się na katodzie. Zwyczajne zasady wodne rozkładają się na metal i wodór przy biegunie odj. i na tlen przy biegunie dod. Działania osiągnane nie wprost przez elektrolizę, lecz po niej, przez chemiczne własności jonów, nazywają się *działaniami drugorzędnymi*; do nich należą: wpływ jonów na elektrody, najczęściej anionu na anod, dalej wpływ jonów na elektrolity, i nakoniec działanie jonów na siebie.

Elektroliza jednego i tego samego ciała jest proporcjonalną do siły strumienia; elektrolizy różnych ciał, wykonane przez ten sam strumień, mają się do siebie jak liczby równoważników.

Prawo to zostało wykrytem przez Faraday'a; wprowadzał on w jeden i ten sam strumień voltometr i ciało do rozkładu, i porównywał ilości powstałych jonów z ilością otrzymanej mieszaniny piorunującej; przy równych ilościach tej ostatniej, tworzyły się zawsze ilości jonów, zostające do siebie i do mieszaniny w stosunku wag atomowych; przy rozkładzie kwasów wodoru, wywiązywała się zawsze objętość wodoru, odpowiadająca równym ilościom mieszaniny. Dla soli rozpuszczalnych, prawo to zostało później stwierdzonem przez Daniell'a, Buff'a i innych.

Przy elektrolizie stężonych kwasów wodoru, rozkładają się tylko te kwasy, nie zaś woda; z kwasu solnego otrzymujemy na katodzie wodór, na anodzie—

chlor, lecz w małej ilości, gdyż jest silnie pochłanianym przez wodę. Dla wydzielenia silnie dodatnich metalów, jak: potassium, sodium, calcium, z ich połączeń z chlorem, topi się te ostatnie w tyglu z węgla Bunzen'a, odgrywającym rolę anodu, i trzyma się drut żelazny jako katod w stopionej massie; metal zredukowany osadza się na drucie żelaznym; zresztą, udało się Bunzen'owi wydzielić te metale ze stężonych roztworów soli haloidalnych. Oba te processy udają się także z solami haloidalnymi metalów ciężkich. Witriol miedziany CuSO_4 rozkłada się na Cu i SO_4 ; Cu przechodzi na biegun odj., a SO_4 na dod.; jeżeli tu znajduje się Cu , to tworzy się na nowo witriol miedziany, który się znowu rozkłada, wskutek czego Cu dod. bieguna przechodzi na odj.; lecz jeżeli SO_4 znajduje na anodzie platynę, to rozpada się na SO_3 i O , gdy nie ma wody; gdy zaś takowa znajduje się, jak to zazwyczaj się zdarza, to powstaje H_2SO_4 , wodan kwasu siarczanego, a O staje się wolnym. Siarczan sody albo sól glauberska (Na_2SO_4) rozkłada się na Na i SO_4 , rodnik SO_4 rozkłada się na kwas siarczany i tlen, metal łączy się z tlenem wody na Na_2O , sodę, a wodór się wydziela, wskutek czego na katodzie pojawiają się: soda i wodór. Sól więc pozornie została rozłożoną na kwas i zasadę, co także zachodzi w solach podobnego składu. Okazuje się to za pomocą rurki w kształcie litery U, napełnionej roztworem soli zafarbowanym na niebiesko; blaszki platynowe służą za elektrody; strona elektrodu odj. robi się od zasady zieloną, a elektrodu dod. zabarwia się czerwono. W doświadczeniu z solą glauberską powstają ilości równoważne: H_2SO_4 , O , Na_2O i H , pod działaniem tego samego strumienia, który rozkłada tylko 1 równoważnik wody lub chlorku ołowiu; przedstawiając sobie sól glauberską jako NaO , SO_3 , podług dawniejszego sposobu zapatrywania się chemików, zjawisko przytoczone zaprzeczyłoby prawu elektrolizy, która jest głównym punktem podpory nowej chemji.— Tworzenie się sody i wodoru jest działaniem drugorzędnem; działanie to nie dozwala otrzymać metalów alkalicznych za pomocą elektrolizy stężonych roztworów alkaliów; elektrolizując np. ług potażowy, zdaje się, że woda tylko rozłożyłaby się powinna, gdy tymczasem przechodzące na katod potassium łączy się z tlenem wody i na katodzie wydziela wodór. Jeżeli katod jest merkuryuszem, otrzymujemy amalgamat potassium, z którego wydobywa się potassium, przez oddestylowanie merkuryuszu; w podobny sposób można otrzymać sodium i metale ziem alkalicznych. Występowanie wodoru przy metalach przemawia za nowym wzorem chemicznym alkaliów HKO , HNaO i t. d. Pierwsze sławne elektrolizy alkaliów Davy'ego, nie wydały także czystych metalów; topił on w łyżce platynowej służącej za anod potaż lub sodę i zanurzał w płynną masę drut platynowy, jako katod, na którym zbierał, lecz zaraz spalał się, metal zredukowany. Godnemi uwagi są elektrolizy soli ammoniakalnych; skłoniły one Berzeljus'a do przyjęcia istnienia ammonium (NH_4). Wszystkie te sole wydają na katodzie NH_4 , przechodzące zazwyczaj w ammoniak i wodór; jeżeli zaś katod jest merkuryuszem, to powstaje amalgam ammonium, rozkładający się przez ogrzanie na ammoniak, merkuryusz i wodór. Przy elektrolizie salmjaku, chlor, przechodzący na anod, rozkłada salmjak i wywiązuje naprzód azot, a potem chlorek azotu; jeżeli roztwór salmjaku jest pokryty cienką warstwą olejku terpentynowego, to występujące kropelki chlorku azotu sprawiają eksplozye, przy zetknięciu z olejkami.

Innymi działaniami drugorzędnymi są: Przy elektrolizie chlorniku złota i chlorniku platyny, chlor udający się na anod, łączy się z niemi, nawet wten-

czas, gdy anod jest platyną lub złotem (rozpuszczanie anodu przez anion). Elektroliza chlorku cynku odbywa się jednak przy anodzie z grafitu; łączy się wtedy chlor z chlorkiem cynku na chlornik cynku, ulatniający się w parze (Działanie anionu na elektrolit). Takim działaniem jest powstawanie nadtlenników na anodzie. Elektrolizując roztwór octanu ołowiu, powstają na katodzie kryształy ołowiu, a na anodzie tlen łączy się z tlenikiem ołowiu na nadtlennik ołowiu. W podobny sposób powstają nadtlenniki niklu, srebra i inne. Przy elektrolizie chlorniku miedzi łączy się miedź przechodząca na katod z chlornikiem miedzi na chlorek miedzi. Przy elektrolizie kwasu siarczanego zbiera się na anodzie tlen, a na katodzie: siarka, kwas siarkowy, siarkowódór i cokolwiek wodoru (działanie kationu na elektrolit). Przy rozkładzie siarkonu potażu, na anod przechodzą: kwas siarkowy i tlen, łączące się na kwas siarczany (działanie jonów na siebie).

Że działania drugorzędne są tylko chemicznymi na siebie wpływami jonów, a nie działaniami elektrolizy, wynika to z wielu niezbitych danych, któremi np. są okoliczności towarzyszące rozkładowi soli glauberskiej na kwas siarczany i tlen przy anodzie, i na sodę z wodorem przy katodzie. Gdyby powstawanie wodoru i tlenu było skutkiem działania elektrolizy, to nie zachodziłyby zawsze równoważne ilości wodoru i tlenu, lecz początkowo zbierałyby się małe, a przy końcu większe ich ilości. Przy rozkładzie bowiem stężonych roztworów, woda zawsze na końcu ulega elektrolizie, co Hittorf tak objaśnia, że strumień rozdziela się na części składowe zmieszanego elektrolitu według zdolności ich przewodnictwa (prawa dla rozgałęzień strumieni); zatem, na wielki opór przedstawiającą wodę, przypada mała część siły strumienia, niewystarczająca na doraźny rozkład. Przy solach podobnych musiałby zachodzić tegoż rodzaju rozkład, gdy tymczasem np. przy elektrolizie Cu.SO_4 powstaje tylko O, lecz ani śladu H. Główna przyczyna naszego twierdzenia leży w prawie elektrolitycznym, któremu po większej części zaprzeczałyby działania drugorzędne, gdyby je uważać za działania elektrolityczne; otrzymanoby np. zelektrolizowanymi w poprzednim przypadku 1 równoważnik soli i 1 równ. wody, gdy tymczasem w voltametrze tylko 1 równoważnik wody zostałby rozłożonym. Jest jeszcze jeden wzgląd przemawiający za powyższym twierdzeniem, a mianowicie, że przy elektrolizie soli ziem alkalicznych, strumień o wielkiem zagęszczeniu nie wydziela wodoru, gdy na cienkim drucie katodu nagromadzający się metal, przedstawia wodzie małą tylko powierzchnię i chroni się przez to od utlenienia. Ogólne pojęcie działań elektrolitycznych słabnie jeszcze i przy tej uwadze, że jony rozszerzają się na cały elektrolit, wskutek rozpraszania się i działania strumienia. Dla wyraźniejszego odgraniczenia jonów użył Daniell naczynia w kształcie U związanego przy zakrzywieniach pęcherzem zwierzęcym; jedno ramię zawierało anod, drugie katod, w jednym zbierał się anion, w drugim kation, gdy tymczasem łuk dolny zawierał ciecz niezmienną. Ponieważ pęcherz nie chroni dostatecznie od rozpraszania i przeprowadzania przez strumień, przeto Wiedemann użył 2-ch naczyń połączonych u góry za pomocą wychodzących z nich 2-ch rurek szklanych, opatrzonych kranem i rurką kauczukową, służącemi do podnoszenia cieczy w rurkach szklanych.

Przenoszenie się jonów. Strumień polaryzacyjny. Poszukując za 314. pomocą takich przyrządów, ilości jonów na obu biegunach i porównyując

je ze stężeniem elektrolitu spostrzegamy zjawisko zwane *przenoszeniem się jonów*. Ponieważ mianowicie na anodzie wydziela się 1 równ. anionu, a na katodzie 1 równ. kationu, przeto możnaby sądzić, że z anodu, z jednego równ. elektrolitu, przeszło $\frac{1}{2}$ kationu, a przeto uwolnionem zostało $\frac{1}{2}$ anionu; również że z katodu przeszło $\frac{1}{2}$ równ. anionu, oswabadzając $\frac{1}{2}$ równ. kationu; że do tej połowy kationu dołączyło się $\frac{1}{2}$ kationu przeszłe z anodu, tworząc równ. kationu; i nakoniec, że z katodu przeszłe $\frac{1}{2}$ anionu doszło do oswobodzonej połowy anionu, anodu, i utworzyło równ. anionu. Gdyby przebieg taki zachodził istotnie, to tak na anodzie jak na katodzie znajdowałyby się połowa z każdego równoważnika elektrolitu; stężenie roztworu musiałyby być przy obu elektrodach jednakiem. Lecz doświadczenie nie stwierdza tego wyniku, przeto przebieg powyższy nie może się odbywać w opisany sposób; w jednym kierunku musi przechodzić więcej niż połowa, np. $\frac{2}{3}$ jonu, a więc oswabadzać się na tym samym elektrodzie $\frac{2}{3}$ drugiego jonu tak, że z drugiego elektrodu potrzebuje się poruszać w kierunku przeciwnym tylko $\frac{1}{3}$ tego drugiego jonu, dla utworzenia całego równ., powstającego na elektrodzie, jonu; dla tej samej przyczyny z pierwszego jonu na drugim elektrodzie oswabadza się tylko $\frac{1}{3}$, łącząca się z $\frac{2}{3}$ idącymi od pierwszego elektrodu, na cały równ. pierwszego jonu. Tak np. w chlorku barium przechodzą $\frac{2}{3}$ równoważnika chloru, lecz tylko $\frac{1}{3}$ barium; i zwykle ilość przechodzącego anionu jest większą od ilości kationu.

Oddalając szybko platki platynowe voltamtru lub przyrządu do rozkładu wody, od baterji, i łącząc je z galwanometrem, przekonamy się, że voltamet i przyrząd działają będą jak łańcuchy, sprawią bowiem zboczenie igły i okażą istnienie strumienia el. o kierunku przeciwnym strumieniowi baterji. Zjawisko to objaśnia się w ten sposób, że na powierzchni anodu zbierająca się warstwa odjemnego tlenu, a na powierzchni katodu warstwa dodatnego wodoru, połączone ze sobą cieczą i łukiem zamknięcia, tworzą strumień idący w wodzie, od wodoru katodu do tlenu anodu, mający zatem kierunek przeciwny strumieniowi pierwotnemu. Działanie więc strumienia pierwotnego musi być słabszem o wielkość tego przeciwdziałania. Ponieważ oba elektrody stają się biegunami nowego strumienia, nazywane są przeto spolaryzowanemi, a nowy strumień — *strumieniem polaryzacyjnym*. Słabnięcie strumienia przy wprowadzaniu galwanometru w koło strumienia, zachodzące także i w baterjach niestałych, uważano najpierw jako skutek oporu cieczy voltamtru; musiano jednak odrzucić ten pogląd, gdy za podwojeniem warstwy płynnej, opór nie 2 razy, lecz tylko cokolwiek się powiększył; sądzono więc, że zjawisko opisane jest wynikiem oporu przy przejściu na elektrody, że mianowicie przejście strumienia z ciała stałego w ciekłe i naodwrot, zużywa pewną część siły. Gdy wykryto nakoniec, że wywiązanie się tlenu na katodzie i wodoru na anodzie niszczy istnienie strumienia polaryzacyjnego, gdyż warstwy gazowe wywołujące ten strumień, przechodzą na wodę, wówczas przekonano się, że polaryzacja jest przyczyną słabnięcia strumienia. Możliwym jest za-

pewne inny jeszcze opór przy przejściu, np. gdy jeden z elektrodów pokrywa się warstwą tlenku, albo gdy na elektrodach wywiązują się kwas i zasada, będące elektromotorami strumienia; ale odrzucono zupełnie pojęcie właściwego oporu przy przejściu; gdy bowiem te możliwe, wzmiankowane opory, usuniętemi zostały, wpływ polaryzacji okazał się równym osłabieniu strumienia. Ponieważ trwanie strumienia polaryzacyjnego jest bardzo krótkie, gdyż on sam wytwarza znoszące go gazy, do studyów więc nad nim używa się szybko działającego wprowadzacza, za pomocą którego możnaby wyprowadzić strumień pierwotny, a wprowadzić polaryzacyjny; w tym celu Poggendorff (1844) zbudował swoją huśtawkę, dozwalającą tak szybko skutecznie wprowadzenia, że strumień polaryzacyjny szeregu voltametrów, może nawet wzmocnić strumień główny. Podobne do polaryzacji działanie powstaje w Grove'go: stosie gazowym (1839), wolno działającej galwanicznej baterji, której elektromotorami są tlen i wodór. Stos ten składa się z długiej rurki szklanej, do której u dołu są przyłączone dzwony dla gazów, umieszczone w naczyniach z wodą zakwaszoną i zawierające każdy osobną blaszkę platynową; każda blaszka zostaje w połączeniu z drugą blaszką platynową następnego elementu, do połowy wystającą z cieczy, i otrzymuje z rurki wspólnej wodór, wywiązujący się z właściwego przyrządu, umieszczonego na końcu tej rurki; ponieważ blaszki są w zetknięciu częścią z wodorem, częścią z tlenem, przeto wydają strumień.

Zastosowania elektrolizy. *a. Metale wydzielające się w formie krystalicznej.* Wprowadzając w roztwór soli metalicznej, inny metal, dodatny, ten ostatni często podstawi się i wydzieli na sobie samym maleńkie cząsteczki metalu soli; dwa te metale wskutek zetknięcia się, tworzą łańcuch galwaniczny, w którym metal wydzielony jest odjemnym i stanowi katod; strumień el. przyspiesza rozkład soli, a nakładające się na siebie cząstki metalu soli tworzą rozmaite figury, zwane *wegetacyami metalicznymi*. 545.

Umieszczając sztabkę cynkową w roztworze octanu ołowiu, tworzy się w ten sposób drzewo ołowiane, albo drzewo Saturna; kropla merkuryusza wpuszczona w roztwór kamienia piekielnego, wydaje drzewo srebrne albo drzewo Diany. Sztabka cynku w chlorku cynku pomieszczonym z kwasem solnym, daje cynę krystaliczną, która jeszcze pięknie wygląda, jeżeli w roztwór wprowadzonymi zostaną platynowe elektrody baterji; za zmianą położenia biegunów znikną blaszki krystaliczne, lecz pojawią się wkrótce na drugim elektrodzie. Biały ostrz noża trzymany w roztworze wotriolu miedzianego, przybiera kolor czerwony. Miedź pogrążona w wodę słoną, pokrywa się skorupką utlenioną; przy zetknięciu zaś z kawałkiem cynku, miedź staje się odjemną, odpycha również odjemny tlen, z którym się łączy cynk stający się dodatnym. Do otrzymania wodoru nie koniecznym jest cynk czysty; pospolicie jest on zanieczyszczony węglem, czyniącym cynk silnie dod.; ten ostatni przyciąga odj. tlen i oswobadza wodór; toż samo działanie zachodzi przy dotknięciu cynku innym, więcej odj. metalem, np. srebrem lub miedzią. Ponieważ zetknięcie z cynkiem czyni odjemnymi wszystkie metale, przeto słabe ocynkowanie wystarcza do uchronienia tych metalów od utleniania się; w tym celu okładają się miedziane okucia okrętów listwami cynkowemi, a żelazo powleka się warstwą cynku (żelazo galwanizo-

wane). Żelazo w zetknięciu z miedzią staje się dod. i rdzewieje łatwo; gdy jedna plamka rdzy pojawi się na żelazie, rdzewienie nieustannie postępuje, gdyż żelazo w zetknięciu z rdzą staje się dodatnem. Niektóre wpływy zmieniają tak elektryczną własność żelaza, że ono przestaje zajmować swe miejsce w szeregu napięć, i względem miedzi nie jest dod., lecz odj.; ponieważ żelazo takie nie działa już rozkładająco na kwas saletrzany i witriol miedziany, przeto nazywa się *żelazem biernem*. Bierność w żelazie wywołuje się przez zanurzenie go w stężone kwasy: saletrzany, jedny, chlorny, bromny, przez żarzenie go na powietrzu i przez użycie go za elektrod. dod. do przyrządu rozkładającego wodę; ponieważ te postępowania poddają żelazo wzmocnionemu działaniu tlenu i ponieważ tlenotlennik żelaza nie wywiera wpływu na kwas saletrzany i t. d., Faraday przeto bierność żelaza przypisuje własności cienkiej, często niedostrzegalnej warstewki tlenotleniku, pokrywającej żelazo.

516. *b. Pierścień barony Nobili'ego. Galwanochromja (1826).* Łącząc białą powierzchnię metalową z dod. biegunem stosu, i rozlewając na nią roztwór octanu ołowiu lub siarczanu tlenku manganu, a następnie, bez dotknięcia platki, pogrążając w ten roztwór drut platynowy, połączony z odj. biegunem baterji, utworzą się pod końcem druta pierścienie barw tęczyowych, tożsame, pod względem następstwa po sobie, z pierścieniami barwnymi Newton'a.

Tlen przechodzący na elektrod dod. łączy się z tlenikiem ołowiu na nad-tlennik ołowiu i tworzy warstwę osadu pod ostrzem druta; ponieważ osadzanie się od tego punktu odbywa się jednakowo na wszystkie strony i tworząca się skorupka pokrywa się coraz nowymi warstwami, przeto grubość jej ku obwodowi jednostajnie się zmniejsza, a światło przeszłe tworzy pierścienie barwne Newton'a. Według Becquerel'a, najpiękniejsze barwy otrzymać można za pomocą następującego urządzenia: Głęjta ołowiana dobrze sproszkowana gotuje się w ługu potażowym, o cięż. gat. 1,8; w ciecz tę pogrąża się platka metalowa, jako biegun dod. baterji Daniell'a z 6 elementów, a naprzeciw niej utwierdza się drut platynowy odj. bieguna. Ten rodzaj wydzielania się znajduje zastosowanie przy farbowaniu metalowych przedmiotów, jak dzwonek stółowych, kubków fidibusowych i t. d. Barwy powstają już, za nalaniem na płatkę srebrną octanu lub siarczanu miedzi i za dotknięciem roztworu końcem sztabki cynkowej, gdyż wzajemne na siebie działanie tych metalów i cieczy, wytwarza dostateczny strumień galwaniczny.

517. *c. Galwaniczne: pozłacanie i posrebrzanie.* Pogrążając w roztwór srebra lub złota oba bieguny łańcucha galwanicznego i umieszczając na drucie biegunowym odj., jako katod, przedmiot metalowy, a na anodzie pasek srebra lub złota, roztwór pod działaniem strumienia el. rozkłada się, srebro lub złoto osadza się na przedmiocie tworzącym katod, a srebro i złoto anodu rozpuszcza się pod wpływem anionu i dostarcza nowych osadów katodowi, wskutek czego przedmiot zostaje posrebrzonym lub pozłoconym.

Gdyby osad był czysto elektrolitycznym, to srebro osadzałoby się w postaci krystalicznej, więc nie w formie powłoczki, lecz w formie figur porostowych, drzewiastych; osad więc jest skutkiem działania drugorzędnego. Ciecze używane

do posrebrzania i pozłacania bywają bardzo rozmaite. Najczęściej używa się: cyanku srebra (1 cz.), cyanku potassu (10 cz.) i 100 cz. wody. St rumień el. rozkłada cyanek potassu na potassium i cyan; potassium rozkłada cyanek srebra i tworzy przylegającą warstwę srebra, gdy tymczasem oswołodzony cyan, jako anion, łączy się ze srebrem na anodzie. Jako cieczy przy pozłacaniu używa się mieszaniny chlorniku żelaza z cyankiem potassu. Do platynowania używa się roztworu salmjaku platyny w wodzie. Miedź, srebro, brzozy, mosiądz, nowe srebro, pozłacają się bezpośrednio; żelazo, stal, cynk, ołów, cyna, muszą być wprzód powleczone miedzią lub srebrem, zanim dostaną się do kąpieli złotej. Wreszcie, każdy przedmiot mający być posrebrzonym lub pozłoconym, musi być poprzednio oczyszczonym i pozbawionym powłoczek utlenienia, co wymaga prac bardzo mozolnych. Najślawniejszymi są warsztaty Christofle'a, w których stosują metodę Elkington'a.

d. *Galwanoplastyka* (Jacobi i Spencer 1838) jest naśladowaniem pla-^{518.}styicznych ozdób snycerskich, za pomocą elektrycznie osadzającej się na nich miedzi. Za elektrolit używa się roztworu wotriolu miedzianego: przedmiot kopjowany przytwierdza się do odj. druta biegunowego i tworzy katod, na którym miedź się osadza, i z którego, jeżeli jest pociągnięty dostateczną warstwą tłuszczu, może być zdjęta skorupa osadu dostatecznie twarda. Wklęśłości oryginału odpowiadają wypukłościom kopji i odwrotnie; chcąc więc otrzymać kopję tożsamą z oryginałem, należy wprzód zdjąć maskę z danego przedmiotu, co uskutecznia się albo sposobem galwanicznym, albo za pomocą odlewu gipsowego lub gutaperczanego. Płatka miedziana tworzy anod, łączący się z wydzielonym anionem SO_4 na wotriol miedziany, który utrzymuje stałość roztworu.

Do mniejszych kopij może służyć, zarazem jako stos, zwyczajny przyrząd rozkładowy; forma stanowi metal odjem., a zanurzona płytka cynku, dod. W naczynie gliniane wlewa się roztwór wotriolu miedzianego (roztwór nasycony, $\frac{1}{4}$ obj. wody i cokolwiek kwasu siarczanego): zanurza się w nim walec szklany, opatrzony pęcherzem albo przegródka gliniana zawierająca rozcieńczony kwas siarczany, podtrzymywana ramieniem pierścieniowem, lub przedziurawioną, wprowadzoną w roztwór, deseczką, na której osadzają się kryształy wotriolu. W kwasie siarczanym jest zanurzony kawałek cynku amalgamowanego połączony drutem miedzianym z formą, leżącą pod deseczką, na dnie naczynia; drut ten musi być odosobnionym w części swej stykającej się z cieczą, jak również wszystkie części formy, nie mające być skopijowanemi. Na małe odciskięcia najdogodniejszą jest gutaperka; kładzie się ona na chwilę w wodę gorącą, przez co staje się miękką, i wtedy przyciska się do przedmiotu. Tak otrzymana maska powleka się delikatnym proszkiem grafitowym lub brzożowym, za pomocą cienkiego pędzelka, w celu łatwiejszego zdjecia kopii. Na maski może być także używaną mieszanina wosku i gipsu lub wosku i stearyny. Kopije galwaniczne większych rozmiarów otrzymują się w ten sposób, że naprzód odlewają się pojedyncze części modelu, z gipsu lub stosownej mieszaniny a następnie części te kopijują się galwanicznie i składają. Tak powstały: pomnik dla

Guttenberga we Frankfurcie (L. v. Kress) i naśladowanie kolumny Trajana (Oudry w Auteuil przy Paryżu na zlecenie Napoleona III). W zakładzie tym galwanoplastycznie powlekają się miedzią kandelabry żelazne, fontanny i t. p. Bardzo pożyteczne zastosowanie ma galwanoplastyka przy kopiach miedziorytnicznych i drzeworytnicznych kliszach i t. d.; klisze pierwotne szybko zużywają się przez częste odciskania i dają obrazy niewyraźne, lecz używane tylko do robienia galwanoplastycznych, mogą służyć bardzo długo. W taki sposób oszczędzają się kosztowne platy oryginalne w fabrykach map geograficznych, drukarniach i t. p.; gisserzy liter przygotowują z odlanych już liter, winijet i t. p., formy galwanoplastyczne, służące do odlania tychże liter na nowo. Platy stereotypowe po stronie druku, są opatrzone galwanoplastycznie cienką warstwą miedzi podwyższającą ich trwałość; podobnie utrwalają się polewy zwierciadlane. Osadzająca się miedź uwydatnia formy, z nadzwyczajną dokładnością; galwanoplastyczna kopija daguerotypu przedstawia wiernie wszystkie rysy. Sposobem Kobell'a można przyrządzać galwanoplastycznie platy do odruków tuszem; obraz zostaje wymalowanym na posrebrzonej płacie miedzianej farbą z okry i roztworu wosku w terpentynie; taka naśladuje się galwanicznie, a odlew jej używa się do odruków papierowych. Postępowanie to nosi nazwę galwanografii. Ozann wymyślił także sposób wygryzania galwanicznego, zwany galwanoakustyką.

519. 5. Działania mechaniczne strumienia elektrycznego (Quincke 1863).

Umieszczając w dowolnie nachylonej rurce szklanej nitkę cieczy zawartą między 2-ma wlotowanymi platynowymi drutami i przepuszczając strumień el., nitka ta, gdy strumień dodatny będzie skierowany do góry, zostanie dowolnie podniesiona; niektóre tylko gatunki alkoholu i olejku terpentynowego są pociągane w tych okolicznościach przez strumień odj. Wysokość podniesienia jest proporcjonalną do siły strumienia i do poprzecznego przecięcia rurki, przeto odwrotnie proporcjonalną do oporu przewodnictwa cieczy; dla cieczy dobrze przewodzących jest ona niedostrzegalną. Jeżeli w cieczy są zawieszane drobne cząsteczki, np. krochmalu, to przy silnym strumieniu poruszają się one w kierunku el. odj., przy słabym zaś, po brzegach—w kierunku el. dod., a w środku w kierunku el. odj. Quincke objaśnia te ruchy w ten sposób, że w czystej wodzie małe cząsteczki elektryzują się dod. i są wskutek tego pociągane przez strumień dod., a przeciwnie cząsteczki zawieszane w zetknięciu z wodą nabierają el. ujemnej i dla tego są popychane przez strumień odj. Podobnym zjawiskiem jest *endosmoza el.*, to jest przepływanie cieczy przez ścianę przedziałową, dziurkowatą, za przejściem strumienia przez ciecz; np. w przyrządzie elektrolitycznym Daniell'a, ciecz gromadzi się na katodzie, co znamionuje przepływ w kierunku strumienia dod. Ponieważ prawa tego przepływu zgadzają się zupełnie z prawami mającymi miejsce w rurce Quincke'go, przeto zjawisko to nie jest czem innym, jak tylko przepływem przez wiele rurek kapilarnych. Odwrotnem temu zjaw-

skiem jest powstawanie strumienia elekt. przy przejściu wody czystej przez dziurkowaną ścianę przedziałową; powstawanie tych *diafragmowych strumieni*, odkrytych przez Quincke'go (1858), Wüllner uważa za wynik zetknięcia się cieczy ze ścianą dziurkowaną. Innemi mechanicznemi działaniami strumienia są: zmniejszenie się wytrzymałości i oporu przewodnictwa drutu miedzianego, służącego przez czas długi za przewodnik strumienia, jak również zmniejszanie się jego sprężystości i wytrzymałości podczas przebiegu strumienia.

4. Działania strumienia elektrycznego.

b. W odległości.

Odległościowemi działaniami strumienia są: 1) działania dynamiczne, 520. 2) magnetyczne, 3) elektryczne albo indukcyjne. Strumienie elektryczne na siebie i na magnes wywierają wpływ poruszający; ta część nauki galwanizmu nazywa się *elektrodynamiką*; rozpatruje ona przyciągające i odpychające działania strumieni el. na siebie, działania magnesów na strumienie el., teorię magnetyzmu Ampère'a i działanie strumieni elektrycznych na magnesy.

I. Elektrodynamika. a. *Wzajemne przyciąganie i odpychanie się strumieni elektrycznych* (Ampère 1820). Strumieniom el. służą prawa podobne prawom magnetyzmu i elektryczności. 1. *Strumienie od siebie równoległe, jednokowo skierowane, przyciągają się wzajemnie, a strumienie równoległe, lecz skierowane przeciwnie, odpychają się.* 2. *Strumienie nierównoległe, schodzące się w jednym punkcie lub wychodzące z jednego punktu, wzajemnie się przyciągają; jeżeli zaś jeden strumień idzie do punktu, z którego drugi wychodzi, to takie dwa strumienie odpychają się.*

Do stwierdzenia tych praw służy przyrząd Ampère'a. Szruby do drutów biegunowych baterji, znajdują się na nodze 2-ch sztab metalowych, oddzielonych od siebie, stojącej na placie podstawowej; sztaby metalowe u góry zakrzywiają się poziomo i na końcach są opatrzone naczynkami z merkuryuszem. Jeżeli drut formy prostokąta (Fig. 33) zostanie końcami zanurzony w tych naczynkach, to po tym ruchomym prostokącie I przechodzić będzie strumień el., który za pomocą wprowadzonego w jeden z drutów biegunowych zmienacza, może być podług woli zamykanym, otwieranym lub odwracany. Druty biegunowe drugiej baterji udają się do szrub drugiego nieruchomego, drucianego prostokąta II, który nie jest stale umocowany, lecz może przybierać łatwo różne położenia. Bok stałego prostokąta może być z łatwością ustawionym równoległe do boku prostokąta ruchomego, w pewnej odeń odległości i tak, żeby strumień w obu tych bokach

posiadał ten sam kierunek; wtedy drugi prostokąt obróci się tak, aby boki równoległe były o ile można bliżej siebie; to właśnie sprawdza pierwszą część twierdzenia. Odwracając strumień wtedy, gdy oba druty równoległe są sobie najbliżej, prostokąt ruchomy obróci się nagle i zatrzyma się w tem położeniu, przy którym uważane poprzednio boki będą jak najbardziej od siebie odległe.— Doświadczenia powyższe stają się jeszcze wyraźniejszymi przy użyciu, zamiast prostokąta ruchomego, igły astatycznej zawieszonyj na naczynkach merkuryalnych, ta bowiem, jako nieulegająca wpływowi magnetyzmu ziemi, nie jest przezeń zwracana do oznaczonego położenia. Dla sprawdzenia drugiej części prawa, nadaje się prostokątowi stałemu położenie takie, aby bok jego tworzył z bokiem prostokąta ruchomego kąt dowolny, poczem przepuszcza się strumień przez oba boki ku lub od wierzchołka kąta, a następnie w jednym boku od wierzchołka, a w drugim ku wierzchołkowi. Do studyów nad strumieniami równoległymi służy liczne przyrządy; tak np. *spiralna Buff'a*, mogąca służyć i do doświadczeń

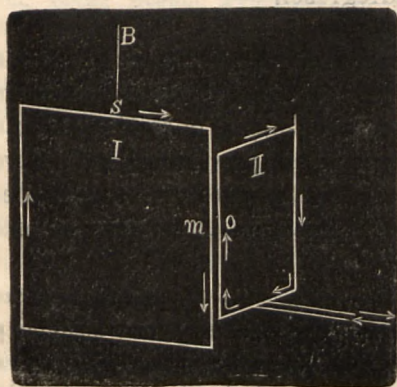


Fig. 33.

z odpychaniem; z dwóch pasków blachy miedzianej, powleczonej ciałem odosabniającem, pozwijane są spiralne, zawieszone końcami wolnymi tak, że strumień może przez nie łatwo przechodzić, i że te 2 krążki spiralne znajdują się w niewielkiej od siebie odległości. Dalej *spiralna Petryń'y*, składająca się z druta miedzianego zwiniętego w spiralną szrubową; jeden jej koniec jest przytwierdzonym do słupka mosiężnego, opatrzonego szrubą ściskającą, drugi zaś koniec zanurza się w naczynku merkuryalnym, mającym drugą taką szrubę.— Równoległość zwojów jest przyczyną wzajemnego ich przyciągania się przy przejściu strumienia, wskutek tego drugi koniec spiralnej zostaje podniesionym i wydobytym z merkuryuszu, a strumień otwartym; wtedy przyciąganie ustaje, zwoje zaczynają się oddalać do chwili, w której dolny koniec dotknie merkuryuszu, czyli do chwili zamknięcia strumienia; łatwo ztąd zrozumieć przyczynę samodzielnego rozciągania się i kurczenia spiralnej.

Przyciąganie i odpychanie się dwóch strumieni jest proporcjonalnem do iloczynu ich napięć i do iloczynu działających na siebie długości tych strumieni a odwrotnie proporcjonalnem do kwadratu z odległości. (Zasadnicze prawo elektrodynamiki).

Prawo to zostało sprawdzonem przez Weber'a (1846) za pomocą *manometru elektrodynamicznego*. Składa się on z rolki dwufilarowej, to jest z jednej cewki zawieszonyj na 2-ch drutach przewodnich, którą okręca drut przewodni kilka tysięcy razy i nad którą jest umieszczonem zwierciadło do odczytań,— i z drugiej stałej rolki multiplikatora, czyli cewki mającej na sobie także kilka tysięcy zwojów drutu. Naprzeciw przyrządu stoi luneta z krzyżem nicianym i skalą.

Strumienie krzyżujące się starają się przyjąć położenie do siebie równoległe: jeżeli oba strumienie biegną ku wierzchołkowi, to w kącie wierzchołkowym odbiegają od niego, przeto według pierwszej części drugiego prawa zasadniczego, strumienie te starają się zbliżyć ramiona kąta do siebie i kąt uczynić równym zeru. W dwóch drugich kątach przyległych rozważanemu, strumień w jednym ramieniu biegnie ku wierzchołkowi, w drugim — od wierzchołka; strumienie więc, według drugiej części drugiego prawa zasadniczego, starają się oddalić od siebie ramiona, uczynić te kąty przyległe równymi 180° , a tem samem kąt pierwszy sprowadzić do zera. Przyrząd Ampère'a pozwala uwidocznic prawie te wyniki.

Sąsiednie części jednego i tego samego strumienia, odpychają się wzajemnie; gdyż części te schodzą się w jednym punkcie, ku któremu jedna zmierza, a z którego druga wychodzi. Doświadczalnie można się o tem przekonać za pomocą kabłąku Ampère'a. Koryto drewniane jest rozdzielone ścianą szklaną na 2 części napełnione merkurjuszem, w którym zanurzają się dwa druty bieguuowe i po którym pływa druciany kabłąk; po zamknięciu strumienia posuwa się on od jednego końca przyrządu do drugiego. *Jeżeli strumień ograniczony zbliża się do strumienia lub odeń się oddala to przewodnik zwraca się wzdłuż strumienia nieograniczonego, w pierwszym razie w kierunku przeciwnym,—w drugim razie w tym samym kierunku.* Gdyż każdy element pierwszego strumienia idącego ku drugiemu, zostaje przyciągany przez każdy jego element do punktu zbiegu, pierwszy więc strumień jest przyciągany przez jedną stronę drugiego, a odpychany przez drugą jego stronę, musi się zatem poruszać ku tej pierwszej stronie. Do sprawdzenia służy przyrząd obrotowy elektrodynamiczny. W środku rynny kołowej napełnionej merkurjuszem stoi słupek zakończony naczynkiem merkurjalnem; o dno jego ostrzem oparty kołysze się zgięty 2 razy prostokątnie, drut miedziany, którego końce nurzają się w rynnie. Strumień przechodzi od szruby po drucie miedzianym, okrążającym wielokrotnie rynnę, następnie przez merkurjusz, drut na ostrzu, znów do merkurjuszu i do drugiej szruby. Drut owijający jest przewodnikiem strumienia nieograniczonego, a wahający się, ograniczonego, który starając się ciągle wzdłuż pierwszego zwracać, wykonywa ruch obrotowy na około słupka. *Dwa se-lenoidy, t. j. wążka zwinięte, długie druty spiralne, odpychają się końcami, w których oba strumienie mają kierunek skazówek zegarowych, albo też kierunki, wprost przeciwne; przyciągają się zaś końcami, z których w jednym strumieniu ma kierunek skazówek zegarowych, a w drugim kierunku przeciwny.* Gdyż jeżeli 2 końce pierwszego rodzaju będą ustawione równoległe do siebie, to strumienie równoległe będą przeciwnymi sobie, jak w 2-ch zegarach, których cyferblaty naprzeciw siebie są równoległe ustawione, a skazówki zakreślają koła w przeciwnych kierunkach; takie zatem końce muszą się wzajem odpychać. Toż samo zjawisko ma miejsce i wtedy, gdy końce, które słuszcie jednoimiennymi nazwać by można są obok siebie; części bowiem strumienia blizkie siebie, posiadają kierunki przeciwne, tak samo, jak przeciwnymi są ruchy skazówek 2-ch obok siebie umieszczonych cyferblatów, w 2-ch sąsiednich półkołach. Rozważając w podobny sposób różnorodne mogące tu zajść przypadki dochodzi się łatwo do udowodnienia przytoczonych wyżej twierdzeń, które także okazanemi być mogą na przyrządzie Ampère'a, za pomocą jednego sele-

noidu ruchomego i zawieszzonego, i drugiego stałego, lecz mogącego przybierać rozmaite położenia. Nazywając jednoimiennymi, końce strumieni o jednakowych kierunkach zwojów, a różnoimiennymi, końce strumieni o przeciwnych kierunkach zwojów, twierdzenie powyższe wyrazi się krótko: Jednoimiennie końce selenoidów odpychają się wzajemnie, a różnoimiennie przyciągają się. Ponieważ selenoid pod tym względem przedstawia podobieństwo do magnesu, przeto wyradza się przedewszystkiem myśl zbadania wpływu magnesów na selenoidy i inne formy strumienia. Zajmiemy się naprzód poznaniem wpływów ziemi, tego największego magnesu, na ruchome przewodniki strumieni.

521. b. *Działanie magnesów na strumienie elektryczne.* Drut przewodni, prostokątny lub kołowy, zawieszony na przyrządzie Ampère'a, a przebiegany przez strumień el., ustawia się prostopadle do południka magnetycznego, czyli w płaszczyźnie wschodnio-zachodniej tak, że strumień dod. w dolnym skrócie idzie od wschodu na zachód, i że w całym przewodniku uważanym z południa, strumień dod. ma kierunek skazówek zegaru.

Najprostszym doświadczeniem tego rodzaju jest baterja pływająca Delarive'a, składająca się z dużego korka, w którym są osadzone dwie platki: miedziana i cynkowa; górne ich końce wystające z korka są połączone licznymi, kołowymi zwojami drutu miedzianego. Po włożeniu korka w wodę powstaje strumień w drucie, który ustawia się od wschodu na zachód, prostopadle do południka magnetycznego. Ponieważ pojedynczy, ruchomy, drut przewodni, jest zatrzymywany przez ziemię, w swem wschodnio-zachodnim położeniu, użyty zatem do przyrządu Ampère'a, nie jest tak łatwo poruszalnym jak *przewodnie druty astatyczne*. Otrzymamy prostokąt tego rodzaju, zginając w środku bok jego dolny ku górze, aż do pierwszego górnego kolana, przeprowadzając go dalej poziomo, potem znów na dół skrywając; następnie drut przeprowadza się dołem ku środkowi, a potem znów zakrzywia się w górę aż pod pierwszy ostrz, gdzie dochodzi także drugi zakrzywiony koniec druta.

Druty przewodnie kołowe, ustawione równolegle jeden za drugim, przytwierdzone do przewodniej podpory, zwracają się od wschodu na zachód, cały więc szereg przyjmuje kierunek południka.

Ruchomy selenoid poziomy zwraca się na południk miejsca jednym końcem ku północy, drugim ku południowi. Nazywając pierwszy koniec biegunem północnym, a drugi południowym, to na ostatnim strumienie zwracają się tak jak skazówki zegaru, a na biegunie północnym, w kierunku przeciwnym. Selenoid poziomy, ruchomy, przyjmuje więc położenie igły zbroczenia; gdy może poruszać się w płaszczyźnie pionowej, to zwraca się na dół biegunem północnym i zachowuje się tak jak igła nachylenia. Selenoid doznaje także wpływu innego magnesu, a mianowicie, bieguny północne selenoidu i magnesu wzajemnie się odpychają, równie jak i ich bieguny południowe, a bieguny różnoimiennie selenoidu i magnesu przyciągają się. Tak samo zachowuje się względem magnesu zwoj pojedynczy, który uważać można za bardzo krótki selenoid; i ten także działaniem magnesu jest przyciągany z jednej, a odpychany z drugiej strony.

Zjawiska te ujawniają się nader wyraźnie przy wprowadzeniu zmieniaacza, gdyż za każdym odwróceniem strumienia stają się wprost przeciwnymi; np. zwój drutu i selenoid wykonywają całkowity obrót i przyjmują położenia przeciwne za odwróceniem strumienia. Selenoid, przyciągany przez biegun północny magnesu, po odwróceniu, zostaje przezeń odpychanym; zmiana kierunku strumienia spowodza w selenoidzie przemianę biegunów. Wielka zgodność między magnesami i selenoidami była przyezyną:

c. *Teoryi magnetyzmu Ampère'a* (Ampère 1826, Weber 1846). Ostatnie uwagi okazały, że selenoidy działają na siebie jak magnesy; działanie to jest nietylko tegoż rodzaju, lecz wyraża się tem samym prawem, gdyż działanie wspomniane, równie jak dla biegunów magnesów, jest wprost proporcjonalnem do iloczynu nateżeń, a odwrotnie proporcjonalnem do kwadratu z odległości. Magnesy działają na selenoidy tak samo jak na magnesy, i podług tegoż samego prawa; a nakoniec, jak to już z poprzedniego wiadomo, zwoje drutów, więc i selenoidy wywierają na igłę magnesową ten sam wpływ, co i magnesy. Selenoidy mają tak wielkie podobieństwo do magnesów, że Ampère wywnioskował ztąd, iż magnesy są selenoidami, a magnetyzm jest parallelizmem strumieni el. Pomimo to Ampère nie mógł przyjąć, że sztabka magnesowa jako całość jest okrążona strumieniami el., gdyż wielki magnes, jak wiadomo, daje się rozłożyć na bardzo wielką liczbę małych, lecz zupełnych magnesów, gdy selenoid daje się rozdzielić tylko na małe kawałki druta, ale nie na małe selenoidy. Oprócz tego selenoid ma bieguny na samych końcach, a magnes w pewnej od końców odległości; selenoid działa tylko na końce powierzchni a nie na strony, gdy tymczasem magnes wywiera i boczne wpływy, których wielkość zmniejsza się ku środkowi. Różnice te nadały teoryi magnetyzmu Ampère'a następującą formę: Magnes składa się z magnesów molekularnych, przyczyną magnetyzmu których są okrążające je strumienie el., równoległe do siebie, tak zwane strumienie elementarne. Dopóki strumienie molekularne nie są od siebie równoległe i jednakowo skierowane, dopóty ciało nie przedstawia własności magnetycznych; dopiero po doprowadzeniu strumieni elementarnych do równoległości i po nadaniu im jednakiego kierunku, ciało staje się dla nas magnesem; biegun jego południowy leży na końcu, na którym strumienie mają kierunek skazówek zegarowych, biegun północny na końcu przeciwnym. Ponieważ magnesy molekularne jedne za drugimi przedstawiają długie selenoidy linijne, utrzymujące się w związku ze sobą przez przyciąganie strumieni równoległych, lecz odpychające się końcami jednoimiennymi, przeto linije te na końcach sztabki skrzywiają się cokolwiek na zewnątrz, wskutek czego część biegunów od powierzchni przednich sztabki magnesowej, zwraca się ku powierzchniom bocznym. Tym sposobem objaśnia się odsunięcie biegunów

magnesu od jego końców, powolne zmniejszanie się siły magnetycznej od biegunów do środka, pas obojętny i silniejsza biegunowość średnich warstw magnesu, wykryta przez van Rees'a.

Przyciągające i odpychające działania dwóch magnesów, są więc tylko przyciąganiem jednakowo skierowanych strumieni, a odpychaniem skierowanych przeciwnie. Dwa swobodne magnesy zwracają się względem siebie tak, aby przypuszczalnie w nich strumienie były od siebie równoległe; figury 34, 35 i 36 przedstawiają: przy A bieguny różnoimienne ze strumieniami równoległymi, przy B bieguny jednoimienne ze strumieniami przeciwnymi, i wszystkie możliwe położenia magnesów względem siebie. Magnes stały stara się w ruchomym zwrócić jednakowo skierowane strumienie, równoległe do swoich i o ile można bliżej.—Magnetyzm ziemi objaśnia się także za pomocą przypuszczenia strumieni el. okrążających ziemię od wschodu na zachód i zgadzających się z równikiem magnetycznym. Według tego zwój strumienia zawieszony swobodnie zwraca się tak, że w jego części dolnej strumień krąży również od wschodu na zachód; ponieważ strumień ziemi jest prawie jednakowo oddalonym od górnej i dolnej strony zwo-

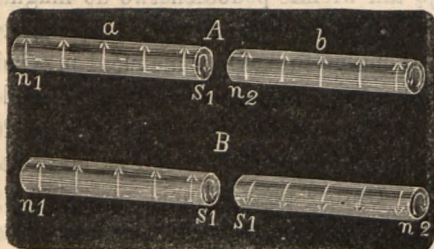


Fig. 34.

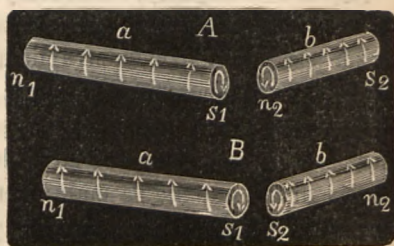


Fig. 35.

ju, a działa na nie w sposób przeciwny, przeto ten wpływ jego jest żaden. Lecz na mocy twierdzenia o strumieniach ograniczonych i nieograniczonych, strumień ziemi udziela strumieniowi wstępującemu ruch na zachód, a zstępującemu ruch na wschód, zwój więc przyjmie położenie zachodnio-wschodnie i takie, że u dołu strumień przebiegać będzie od wschodu na zachód. Działanie strumienia ziemi jest bardzo widocznem na selenoidach; ustawiają się one zwojami w położeniu zachodnio-wschodniem, a osią w kierunku północno-południowym. Przyczyna strumienia ziemskiego zdaje się leżeć w posuwającym się od zachodu ku wschodowi miejscu zetknięcia cieplejszej półkuli ziemi z półkulą zimniejszą, a zmiany magnetyzmu ziemi objaśniają się przez jej zmiany cieplikowe.

523. d. *Działanie strumieni elektrycznych na magnesy* polega, jak wiadomo, na tem, że magnes swobodny ustawia się prostopadle do strumienia i zwraca swój biegun północny na lewo. Zbudowane na tej zasadzie przyrządy, jak galwanometr, bussole i t. d., były już rozważanemi w 449.

Podamy tu tylko objaśnienie tego zjawiska na zasadzie teoryi Ampère'a.—Ponieważ igła magnesowa może być uważaną za selenoid, w którego biegunie północnym strumienie krążą przeciwnie względem skazówek zegaru, trzeba więc roz-

ważyc wpływ strumienia na zwoj, którego strony: zwrócona i odwrócona, nie są w jednakiej odległości; działanie na część zwróconą jest silniejszym, niż na odleglejszą, obie strony więc muszą się ustawić równolegle do strumienia i tak, aby kierunek strumienia strony zwróconej był ten sam, co strumienia działającego. Na zasadzie twierdzenia o strumieniach ograniczonych i nieograniczonych, strumień przyciąga stronę zstępującą, a odpycha wstępującą, obie one zatem starają się od siebie oddalić jak najwięcej w kierunku strumienia, co osiągną, gdy płaszczyzna, na której leżą, przyjmie jego kierunek. Zwoj strumienia ustawia się przeto równolegle do blizkiego mu strumienia i tak, że w stronie zwoju zwróconej strumień ma ten sam kierunek, co i strumień sąsiedni. Zupełnie tak samo względem strumienia zachowują się strumienie elementarne magnesu; ustawiają się one równolegle, a więc osią prostopadle do niego; tem właśnie objaśnia się prawo Oersted'a. Jeżeli np. strumień idzie poziomo od ręki prawej ku lewej, i jeżeli nad nim umieszczony jest zwoj prostokątny, to dolna część jego przyjmuje położenie równoległe, strumień w niej idzie również ku stronie lewej, dalej podnosi się, u góry zwraca się na prawo i t. d., słowem ma względem postrzegacza kierunek skazówek zegaru; postrzegacz ma po swojej stronie biegun południowy, a z przeciwnej strony biegun północny. Dla pływaka strona postrzegacza jest stroną prawą, pływak więc ma biegun południowy po prawej, a północny po lewej, zgodnie z prawidłem Ampère'a.

Obroty elektrodynamiczne. Obrót strumienia ruchomego około stałego strumienia kołowego, był już rozważanym przy doświadczalnym sprawdzeniu twierdzenia o strumieniach ograniczonych i nieograniczonych.— Strumień stały może być zastąpiony magnesem; następuje wtedy *obrót strumienia około magnesu*. Na pionowo umocowanym magnesie znajduje się naczynko z merkuryszem, o dno którego opiera się delikatnym ostrzem kabłąk z drutu miedzianego; końce tego druta schodzą do kołowej rynny napełnionej merkuryszem. Rynna otacza sztabkę magnesową prawie w połowie; jedna szruba prowadzi do rynny, druga do naczynka, strumień więc przechodzi po obu połowach kabłąka, albo nadół do rynny, albo w górę do naczynka. Wystawmy sobie np. strumień wstępujący obok średniego przecięcia magnesu, umieszczając w nim myślą, według teorii Ampère'a, strumień kołowy, to strumień wstępujący będzie przyciąganym przez to półkoło, w którym strumień kołowy wypływa z punktu zbiegu, a odpychanym przez drugie półkoło; obie więc połowy kabłąka, zawierające strumień wstępujący, muszą podążać za strumieniem kołowym magnesu. Gdyby w nim strumień szedł w kierunku przeciwnym, kabłąk obracałby się także w kierunku przeciwnym strumieniowi magnesu. Jak stały strumień kołowy magnesu wprawia w obrót strumień ruchomy, tak też naodwrot, stały strumień może wywołać ruch obrotowy w magnesie ruchomym. Do *obrotu magnesu około strumienia* używa się rynny merkuryalnej, poprzedniego przyrządu, opatrzonej szrubą ściskającą, gdy druga szruba jest w połączeniu ze sztabką metalową, wznoszącą się tylko do punktu środkowego

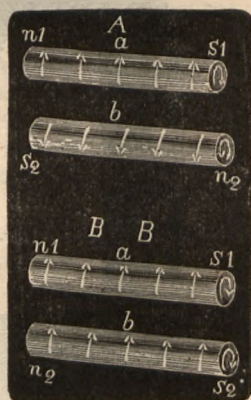


Fig. 36.

rynny kołowej i mającą na wierzchu naczynko z merkuryuszem. Od umieszczonego naprzeciw haczyka schodzi nitka, do której jest przytwierdzone dwuramię mosiężne, podtrzymujące dwa pionowe magnesy; dwuramię to, za pomocą ostrza, łączy się z merkuryuszem naczynka, a za pomocą zgiętego miedzianego druta, z rynną. Strumień więc przechodzi po sztabie metalowej w górę, a przez ostrz i drut do merkuryusza; ponieważ dochodzi on tylko do środka magnesów, przeto połowy ich strumieni kołowych przyciąga z jednej, a odpycha z drugiej strony, zmusza je więc do obrotu. Umieszczając w środku, zamiast sztabki mosiężnej, magnes, przebiegany przez strumień tylko do połowy, strumień ten wprawia w obrót własną swą podpore; w przypadku tym naturalnie znika potrzeba użycia magnesów bocznych. Strumień ziemski może być także zastosowanym do spr-

wiania obrotów; używa się w tym celu przyrządu takiego, jak przy prawie o strumieniach ograniczonych i nieograniczonych, lecz część jego pionową robi się krótką, odrzuca się zwinęty drut miedziany i przez rynnę przeprowadza się silny strumień; ten ostatni obracać się będzie pod wpływem strumienia ziemi.

525.

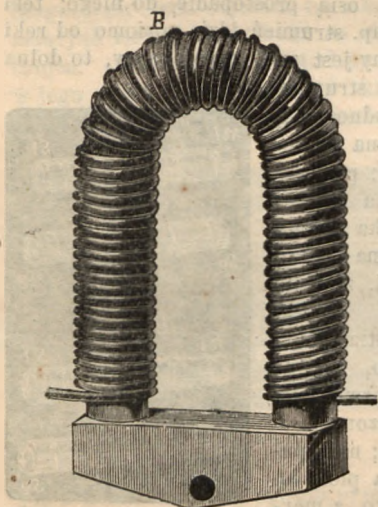


Fig. 37.

2. Elektromagnetyzm. a. Wzbudzenie. Działanie magnetyczne strumienia el. polega na tem, że strumień ten, przeprowadzony przez liczne równoległe zwoje druta około sztabki żelaznej, zamienia ją w magnes (Fig. 37). Położenie biegunów oznacza się albo za pomocą prawidła Ampère'a: wystawiamy sobie, że płyniemy ze strumieniem dod. tak, że widzimy sztabkę, wtedy biegun północny będzie po lewej; albo na zasadzie teoryi

Ampère'a: biegun północny leży na tym końcu, na którym strumień ma kierunek przeciwny kierunkowi obrotu skazówek zegaru. Wzbudzony w ten sposób magnetyzm w sztabach żelaza kutego, jest czasowym; te czasowe magnesy nazywają się *elektromagnesami*; mają one najczęściej formę wielkich podków i osiągają wysoki stopień magnetyzmu.

Za pomocą teoryi Ampère'a łatwo wyjaśnić powstawanie elektromagnetyzmu. Przypuszcza się, że żelazo i inne ciała składają się z magnesów molekularnych, okrążanych strumieniami równoległymi; magnesy te mają wszelkie możliwe położenia, a silne strumienie nadają ich zwojom wzajemną równoległość. Ztąd wypada, że w elektromagnesie strumienie elementarne posiadają ten sam kierunek, co strumień zwojowy, że zatem biegun północny leży tam, gdzie zwoje zwracają się przeciwnie względem skazówek zegaru. Tożsamość kierunków: strumienia zwojowego i strumieni elektromagnesu, sprawia wzajemne ich przy-

ciąganie się i dla tego walec miękkiego żelaza wsunięty w części w spiralną, zostaje całkowicie w nią wciągnięty.

Magnesując elektrycznie sztabę żelazną lub stalową, magnetyzm jej zachowa siłę niezmienną dotąd, dopóki siła strumienia pozostanie tożsamą; za przerwaniem strumienia, magnetyzm w sztabach stalowych zmniejsza się nieznacznie, a w sztabach z miękkiego żelaza znika prawie zupełnie. Za pomocą strumienia el. można uczynić sztaby stalowe magnesami trwałemi; dobrze odpowiadającym temu celowi jest postępowanie Elias'a: drut miedziany owija się na próżnym, krótkim, grubym walcu, i gdy po nim przebiega silny strumień wielopłatkowej baterji, przesuwa się sztaba stalowa wielokrotnie, tam i napowrót wewnątrz walca, a następnie zatrzymuje się w położeniu średnim i strumień zostaje otwartym. W tym celu można też używać korzystnie spiralnej wstęgowej. Ponieważ jednak w wielu razach potrzebnemi są elektromagnesy w formie podków, a pocierane o nie sztaby stalowe magnesują się najsilniej, przeto najczęściej używa się tego postępowania. Do doświadczeń elektromagnetycznych używa się łańcuchów o wielkiej powierzchni, gdyż opór zewnętrzny sprowadza się do oporu druta zwojowego, jest więc zwykle bardzo mały.

Arago (1820) wykonał pierwsze doświadczenie elektromagnetyczne wkrótce po odkryciu Oersted'a; zauważył on, że drut miedziany, posypany opiłkami żelaznemi i przebiegany przez strumień el., przyciąga i zatrzymuje takowe dotąd, dopóki strumień krąży; że igła stalowa nabiera własności magnetycznych, jeżeli zostanie zamkniętą w rurce szklanej i dozna wpływu strumienia okrążającego spiralnie rurkę.

Page (1838) zauważył, że magnesowaniu sztaby żelaznej za pomocą spiralnej galwanicznej, towarzyszy pewien ton, który podług Marrian'a (1844) zgadza się z tonem wydawanym przez sztabę, przy pocieraniu jej w kierunku długości. Wertheim (1848) wykrył, że wysokość tonu nie zależy od grubości sztaby; przerywał często strumień za pomocą kółka błyskawicznego i znalazł, że wysokość tonu nie zależy od liczby przerwań; Reis we Friedrichsdorf otrzymał przeciwnie, gdy przzerwania następowały wskutek drgań samego tonu, w drucie owijającym, ton, posiadający wysokość tonu przerywającego i na tem spostrzeżeniu zbudował swój *telefon* (1860). Wertheim otrzymał nawet ton ze sztaby żelaznej, przy przeprowadzeniu przez nią strumienia; zauważył także, że w chwili magnesowania sztaba ulegała bardzo małemu wydłużeniu się, które poczytywał za przyczynę tonu, i które Joule, w jednym z doświadczeń, znalazł = $\frac{1}{270000}$ długości sztaby. *Brzmienie galwaniczne* było także zaobserwowanem przez Poggendorff'a (1857) na walcu z blachy żelaznej, przesuwanym nad pionową spiralną magnesową, i to nie tylko wtedy, gdy walec był całym, lecz także i wtenczas, gdy został nacięty w kierunku pionowym; w tym ostatnim razie brzmienie było szczególnie silnem, gdy brzegi rozcięcia dotykały się.

b. *Prawa*. Według poszukiwań Lenz'a i Jacobi'ego (1838) *moment elektromagnetyczny*, wzbudzony w tej samej sztabie, *jest niezależnym od długości zwojów, lecz wprost proporcjonalnym do ich liczby i do siły strumienia*. Iloczyn z liczby zwojów przez siłę strumienia, nazywa się *siłą magnesującą*, spiralnej. Według doświadczeń Müller'a (1850) prawo to służy tylko dla sztab o niezbyt małej średnicy, w sztabkach cieńszych, siła magnetyzmu wzrasta wolniej od siły magnesującej spiralnej, i moment magnetyczny sztabki, przy powiększaniu się

siły magnesującej zbliża się do pewnego maximum, po osiągnięciu którego, zwiększanie siły strumienia i liczby zwojów nie ma żadnego wpływu na magnetyzm. Według Webera prawo to służy w ogóle dla wszystkich elektromagnesów; maximum magnetyzmu osiąga się przez nadanie równoległości i jednego kierunku wszystkim strumieniom elementarnym. Względnie do wpływu grubości sztaby Lenz i Jacobi znaleźli, że moment magn. jest wprost proporcjonalnym do grubości sztaby, Dub zaś okazał, że badacze ci wyprowadzili ze swych doświadczeń wynik nieścisły, że *elektromagnetyzm sztaby jest proporcjonalnym do pierwiastku kwadratowego z jej średnicy*. Poszukiwania Müller'a nie zgadzają się jednak z ostatniem prawem; według niego, o ile magnetyzm jest proporcjonalnym do siły strumienia, o tyle też jest proporcjonalnym do pierwiastku kwadratowego, ze średnicy sztaby; gdy zaś założenie powyższe nie ma miejsca to moment magn. różnych sztab mają się do siebie jak pierwiastki kwadratowe z sześciątów średnic, a maximum magnetyczne jest proporcjonalnem do kwadratu średnicy. Odnośnie do wpływu długości: Lenz i Jacobi (1844), jak również Wiedemann (1864) znaleźli, że mom. magn. wzrasta więcej niż kwadrat z długości, a mniej niż pierwiastek z piątej potęgi. Wzbudzony moment mag. zależy także od własności gatunkowych żelaza: w żelazie kuteńm np., moment czasowy okazał się $= 0,49$, w stali wypalanej $= 0,4$, w stali twardej $= 0,26$, w żelazie lanem $= 0,22$; stal jednak ma moment trwały, rosnący z twardością.

Przyciąganie się dwóch biegunów magnesu, czyli co wychodzi na to samo, przyciąganie przez biegun, kawałka zbliżonego doń żelaza, rośnie z iloczynem obu magnetyzmów, jest więc proporcjonalnem do kwadratu z siły strumienia jak to stwierdzają doświadczenia Lenz'a i Jacobie'ego (1838), a także Dub'a (1851). Co do siły unoszącej nie można postawić żadnego ogólnego twierdzenia. Doświadczenia Dub'a wykazały, że siła unosząca bieguna wzrasta wolniej niż kwadrat z siły strumienia, lecz prędzej niż sama siła strumienia. Toż samo odnosi się do podków magnesowych; przyczem okazuje się że siła unosząca podkowy zamkniętej jest większą od summy siły unoszących pojedynczych biegunów. Magnus przyrządził elektromagnes, którego bieguny mogły unosić tylko po jednym kilogramie, który jednak, po założeniu kotwicy utrzymywał 70 kil. Zjawisko to objaśnia się w ten sposób, że przez nałożenie kotwicy, podkowa staje się magneseńm zamkniętym, przez co moment magn. wzrasta do wysokości, którą, podług van Rees'a, osiąga w środku sztaby. Według Dub'a, siła unosząca zależy także od masy i kształtu kotwicy, i rośnie w ogólności z masą kotwicy. Tenże uczoneń znalazł, że przy równej sile strumieni i przy równej długości kotwic, magnes cieńszy często unosi więcej niż grubszy; że równe powierzchnie końców podkowy działają korzystniej niż zwężanie jej lub powiększanie przystawek, i że siła unosząca przy wyższej temperaturze, cokolwiek się zmniejsza. Gdy kotwica jest przyłożoną do elektromagnesu, za przerwaniem strumienia, nie następuje zupełne zniknięcie magnetyzmu, jakby to miało miejsce wtenczas, gdyby kotwicy nie było; ten pozostający magnetyzm w podkowie zamkniętej, nazywa się *pozostałością magnetyzmu* (residuum); niknie on jednak za oderwaniem kotwicy, a jeszcze prędzej za odwróceniem strumienia. Ten pozostały magnetyzm, jest tem mniejszy, im żelazo jest czystsze i miększe i im mniej masy zawiera jądro żelazne; do elektromagnesów, które powinny szybko utracić swój

magnetyzm, używa się zatem, wydrżeń żelaznych, rurek blaszanych i t. d. Elektromagnetyzm nie wkracza jednak głęboko wewnątrz żelaza. Podług Feilitzsch'a (1851), strumienie słabsze, wywierają wpływ tylko na wierzchnie warstwy tak, że żelaza, pełne i wydrżone otrzymują tę samą siłę magn.; silne strumienie dopiero magnesują i warstwy wewnętrzne lecz tak, że na powierzchni poprzecznego przecięcia, siła magn. maleje szybko od obwodu do wnętrza. Co do rozdziału elektromagnetyzmu na długości sztaby, badacze nie zgadzają się z sobą, pomimo to wyprowadzonymi zostały wnioski z prac Lenz'a i Jacobi'ego (1844), a niezgodności w tym kierunku mają za przyczynę swobodny magnetyzm pojedynczych miejsc elektromagnesu jak również biegunowość magn. pojedynczych przecięć poprzecznych. Ta ostatnia, podług van Rees'a, wzrasta w magnesie zwyczajnym, od biegunów ku środkowi: toż samo ma miejsce i dla elektromagnesów, według Dub'a, proporcjonalnie do pierw. kwad. z odległości tego przecięcia poprzecznego od bliższego końca magnesu, gdy tymczasem van Rees wyraża to prawo wzorem: $z = a + b (\mu^x + \mu^{-x})$, gdzie a , b i μ są ilości stałe z mom. magn. przecięcia poprz., a x odległością jego od środka sztaby; wzór ten służy także i dla magnesów zwyczajnych, dla których wyprowadził go van Rees, z wzoru Biot'a na magnetyzm swobodny. Podobną formę ma wzór, wyrażający magnetyzm na długość kotwicy, podany przez Weirich'a (1864); oprócz tego Green (1828) z teorytycznych formuł, odnoszących się do magnesowania ciał, zgodnych z wynikami Poisson'a, wyprowadził wzór na magnetyzm swobodny cienkiej i długiej sztabki; wzór ten ma wiele podobieństwa z przytoczonym, co wskazuje, że formuła Rees'a przedstawia istotne prawo rozdziału, i że twierdzenie Dub'a jest tylko przybliżeniem do prawdy. O wiele silniejszym niż przyrost momentu magn. ku środkowi, jest malenie magnetyzmu swobodnego z odległością od biegunów, wyrażone wzorem Biot'a $y = c (\mu^{-x} - \mu^x)$; gdzie μ jest ułamkiem właściwym.

c. *Diamagnetyzm* (Faraday (1845)). Ciała są zwykle albo paramagnetycznymi, to jest przyciąganymi przez oba bieguny bardzo silnego elektromagnesu, albo diamagnetycznymi, to jest przez oba bieguny odpychanymi. Do doświadczeń tego rodzaju używa się 2-ch mass żelaznych, mających przynajmniej po 400^{mm} długości i po 25^{mm} grubości, opartych na placie żelaznej i połączonych w jedną podkowę, otoczoną na całej długości licznymi zwojami grubego, miedzianego druta. Na równych, skierowanych do góry, żelaznych powierzchniach biegunowych, leżą zaostrome nakładki, których ostrza, będące biegunami, zbliżają się do siebie. Między te ostrza wkładają się ciała badane, spryszkowane, zawieszane na nitce kokonu lub jedwabiu i otoczone pokryciem szklanem dla uchronienia ich od przeciągu powietrza. Sztabki żelaza, niklu, kobaltu ustawiają się w linii łączącej ostrza, czyli, jak mówi Faraday, *osiowo*, gdyż same stają się magnesami, których przeciwne bieguny starają się o ile można zbliżyć do różnoimiennych z nimi ostrzów; sztabka bizmutu zwraca się prostopadle do linii łączącej ostrza, czyli *równikowo*; wypada ztąd, że jej końce są odpychane przez ostrza. 527.

Odpychanie to daje się zauważyć wprost, gdy sztabka nie jest zawieszoną w środku między ostrzami; przy zamykaniu strumienia ustawia się ona nie tylko równikowo, lecz także bocznie względem bliższego lub względem obu biegunów; mały sześcian, lub mała kulka z bizmutu oddalają się od bieguna bliższego, lub zostają odsunięte na bok; przy zawieszeniu sztabki lub kuli na jednym biegunie, dostrzegamy również odsunięcie i kierunek równikowy. W ten sposób paramagnetycznymi są: żelazo, nikiel, kobalt, platyna, palladium, tytan, mangan, chrom, cerium, osmium i sole tych metalów (wyjątek stanowią: żelazo-cyanek potasu, chlornik platyny, kwas chromny, które są diamagnetycznymi); dalej fluspat, turmalin, porcelana, tusz, papier i t. d. Diamagnetycznymi są: bizmut, antymon, cynk, cyna, kadmium, merkurysz, ołów, srebro, miedź, złoto, arsen, uran, rodium, irydium, wolfram i największa liczba soli tych metalów; także fosfor, siarka, tellur, jod, flintglas, tłuszcz, mięso, drzewo, kość słoniowa, lód. Faraday wprowadzał ciecze w cienkie rurki szklane, które zawieszał między ostrzami; zwracały się one osiowo, albo równikowo; Plücker nalewał ciecze w naczynka z miki lub szkła i ustawiał je na biegunach; ciecze paramagnetyczne tworzyły wypukłości nad każdym biegunem, a diamagnetyczne tylko między biegunami; znaleziono diamagnetycznymi: wodę, roztwory soli diamagnetycznych i rozcieńczone roztwory soli paramagnetycznych, alkohol, eter, kwas siarczany, kwas saletrzany, krew, mleko i t. d.; paramagnetycznymi okazały się stężone roztwory soli. Godnem uwagi jest zjawisko, że ciało paramagnetyczne zachowuje się jak diamagnetyczne, gdy jest zawieszonym w cieczy silniej diamagnetycznej, a ciało diamagnetyczne w cieczy silniej diamagnetycznej, staje się paramagnetycznym; rurka szklana, sama w sobie, jest diamagn., lecz w wodzie ustawia się osiowo, nawet z przywieszonym do niej sześciankiem bizmutu; 4-ro procentowy roztwór witiolu żelaznego jest diamagn. w 16-to procentowym, paramagn. w 1-0 procentowym, a obojętnym w 4-ro procentowym. Plücker (1850) ustawił na jednym z biegunów naczynie, na którego mikowym dnie spoczywała kulka bizmutowa, równoważona szalką; po zamknięciu strumienia, dla równowagi, musiał zdejmować z szalki 785, 745, 885 mgr., stosownie do tego czy naczynie zawierało w sobie powietrze, wodę lub chlornik żelaza; ciężarki te pokazują różną wielkość odpychania diamagnetycznego, przy różnych ośrodkach. Zachodzące tu podobieństwo do prawa Archimedes'a jest tak wielkiem, że według Becquerel'a, powiedzieć można, iż ciało w pewnym ośrodku tyle traci ze swej własności magnetycznej, ile jej zawiera wypchnięty ośrodek. Faraday'owi i Plücker'owi udało się (1848) wykazać diamagnetyzm wielkiej liczby gazów w powietrzu, jak również paramagnetyzm tlenu i powietrza. Plücker puszczał między bieguny strumień gazu barwnego i przekonał się, że najczęściej gaz rozchodzi się w kierunku równikowym. Faraday mieszał gaz kwasu solnego z podnoszącymi się gazami, na wysokości zaś biegunów umieścił rurki, mające położenia osiowe i równikowe; rurki te wypełnione były gazem amonijaku; jeżeli biała para salmijaku pojawiała się w rurce równikowej, to gaz był diamagn., a gdy się okazywała w osiowej, to paramagn. Para wodna i merkuryalna, jak również płomienie i dym ze świecy, są diamagn., gdyż rozchodzą się równikowo między biegunami. Plücker (1851) napełniał gazami kulę cienką, szklaną, która wypróżniona, była obojętną, i otrzymał też same wypadki; najslabiej diamagn. gazy, jak tlen i kwas węglowy, nie okazały żadnego wpływu, tlen zaś był silnie przyciąganym, a wódór silnie odpychanym.

Według licznych poszukiwań, odpychanie diam. pochodzi ztąd, że ciało diam., w bliskości bieguna elektromagnesu otrzymuje jednoimienny z nim biegun, a na drugim końcu, różnoimienny; że zatem biegunowość wzbudzona przez biegun magnesu np. w bizmucie jest odwrotną biegunowości żelaza. Reich (1848) zbliżył do kulki bizmutowej, przytwierdzonej do bardzo czulej szalki skręceń, i silnie odpychanej przez biegun północny,—biegun południowy, i znalazł że działanie zostało zrównoważone. Tyndall (1855) okazał, że jego sztabka bizmutu, o 2-ch biegunach jednoimiennych została ustawiona równikowo, położenie to zmieniała za uczynieniem jednego bieguna, równoimiennym. Plücker i Tyndall okazali, że sztabka bizmutu w spiralnej staje się biegunową lecz przeciwnie żelazu, a W. Weber zbudował (1856) swój *diamagnetometr*, za pomocą którego nietylko stwierdził, wprost przeciwną żelazu, biegunowość bizmutu, lecz także znalazł, że moment magn. bizmutu jest $1\frac{1}{2}$ milj. razy mniejszym, niż sztabki żelaza o tej samej massie. Przyrząd jego składał się z 2-ch spiralnych, w których 2-ie sztabki bizmutu mogły być wprowadzone w dowolne położenie za pomocą nitki bez końca, przesuniętej przez 2-ie rolki; przed spiralnemi umieszczoną była mała, ruchoma sztabka magesowa, opatrzona zwierciadłem. Gdy przez spiralne przechodził strumień, bizmut stawał się magnetycznym i zwracał sztabkę magesową, której odchylenie mierzonem było za pomocą lunety i skali; przy zastąpieniu bizmutu sztabką żelazną, odchylenie zachodziło w kierunku przeciwnym i z wielkości tych odchyżeń można było obliczyć moment magn. Biegunowość magnetyczna tłumaczy wpływ ośrodka; biegun podkowy np. polaryzuje nietylko ciało sąsiednie lecz i otaczający ośrodek; oba ostatnie więc zwracają swe bieguny jednoimienne ku biegunowi podkowy; ośrodek przeto jest odpychanym, tam gdzie ciało jest przyciąganem i wywiera na nic pewne ciśnienie; stosownie do tego, czy ciśnienie to jest mniejsze, równe lub większe od owego odpychania, ciało okazuje się paramagn., obojętnem, lub diam. Natężenie siły diam. jest, z wyjątkiem żelaza, proporcjonalne do siły magesującej; tylko przy bardzo silnych strumieniach, Plücker zauważył wzrost powolny. Kulki z substancji magn. nie przyjmują między biegunami oznaczonego położenia; temu prostemu wynikowi nie podlegają jednak kulki z niektórych kryształów, lecz przyjmują położenia stałe, ustawiając się osiowo lub równikowo, swą osią główną lub optyczną. Faraday przypisuje te zjawiska właściwości kryształów, którą nazywa *siłą magnetyczną kryształów*, a Plücker rozróżnia (1858) kryształy dodatne i odjemne, stosownie do tego czy magnetyzm osi zgadza się z magnetyzmem ciała lub nie; tak np., według Plückera, spat żelazny jest dod. param., turmulin — odjem. param.; spat wapienny — dod. diam., a lód — odjem. diam. Jeszcze ciekawszy związek między magnetyzmem a optyką odkrył Faraday (1847), w sprawianym przez magnetyzm *obrocie płaszczyzny polaryzacji* ośrodków przezroczystych. Do cieczy można używać sacharymetru Soleil'a otaczając rurkę, spiralną dla strumienia. Do ciał stałych jest bardzo stosownym przyrząd Ruhmkorff'a; składa się on z 2-ch, w jednej linii, spiralnych z próznięmi, żelaznemi rdzeniami; na jednym końcu, jednej ze spiralnych znajduje się światło i pryzmat Nikola polaryzujący; między spiralnemi leży na stoliczku ciało przezroczyste a na drugim końcu drugiej spiralnej, analizujący pryzmat Nikola z podziałowym łukiem koła. Ustawiając drugi pryzmat tak, aby pole widzenia było ciemnem,

po zamknięciu strumienia, stanie się ono jasnym i z wielkości obrotu pryzmatu analizującego, obrotu potrzebnego do sprawienia napowrót ciemności, ocenia się obrot płaszczyzny polaryzacji. Można także wprowadzać podwójną płatkę Soleil'a i używać wtedy Teinte de passage. Z doświadczeń tego rodzaju wypada, że optycznie obojętne ciała stają się, pod wpływem elektromagnetyzmu polaryzującami kołowo i że zwracają płaszczyznę polaryzacji w kierunku strumieni Ampère'a. Podług Wiedemann'a wielkość obrotu jest proporcjonalną do siły strumienia i długości kolumny cieczy. Jeżeli ciecz zwraca sama z siebie, to obrót ten, wskutek okrążających strumieni zwiększa się, lub zmniejsza, stosownie do zgodności lub niezgodności kierunków. Według Wartmann'a (1846) temuż wpływowi podlegają spolaryzowane promienie ciepła. Według Faraday'a, magnetyzm czyni ciała pojedynczo łamiące, podwójnie łamiąciami.

528.

Indukcja (Faraday 1831). *a. Powstawanie i prawa.* Przez indukcyę rozumiemy wytwarzanie strumieni el. przez strumienie el. i przez magnesy. Wzbudzenie za pomocą strumieni el. nazywa się elektroindukcyą lub Volta-indukcyą, wzbudzenie zaś przez magnesy nazywa się magnetoindukcyą. — Jest 8 różnych rodzajów indukcyi: 1. Zamykając strumień w pobliżu przewodnika, powstaje w przewodniku strumień w kierunku przeciwnym. 2. Otwierając strumień w bliskości przewodnika, powstaje w przewodniku strumień o tym samym kierunku. 3. Za zbliżeniem przewodnika do strumienia, powstaje w przewodniku strumień przeciwny. 4. Przy oddalaniu strumienia od przewodnika, w ostatnim powstaje strumień o takimże kierunku. 5. Wzbudzając magnetyzm w bliskości przewodnika, w przewodniku powstaje strumień o kierunku przeciwnym strumieniom elementarnym magnesu. 6. Znikanie magnetyzmu w bliskości przewodnika, powoduje wytworzenie się strumienia w przewodniku, posiadającego kierunek zgodny ze strumieniami elementarnymi magnesu. 7. Zbliżanie magnesu do przewodnika, sprawia w ostatnim strumień, przeciwny kierunkowi strumieni elementarnych magnesu. 8. Oddalając magnes od przewodnika, w tym ostatnim powstaje strumień posiadający ten sam kierunek co i strumienie elementarne magnesu. Strumienie wzbudzające nazywają się *głównymi*, a wzbudzone *obocznymi* albo *indukcyjnymi*. Na przewodniki dla obu tych rodzajów strumieni używają się zwykle spiralne z drutu miedzianego; drut strumienia głównego musi być gruby, aby nie słabł zbyt szybko wskutek oporu przewodnictwa; strumień zaś oboczny przebiega po drucie cienkim o bardzo wielkiej liczbie zwojów, gdyż drut taki może znosić wielki opór. Strumienie wzmiankowane w 1 i 2 powstają nietylko przy zamykaniu i otwieraniu strumienia, ale także przy każdym jego wzmocnieniu lub osłabieniu; powstają one nietylko w sąsiednim przewodniku, lecz i w samym przewodniku strumienia. W kole strumienia, przy zamykaniu strumienia głównego, tworzy się strumień o kierunku przeciwnym głównemu; strumień ten osłabia działanie; naodwrot

przy otwieraniu, powstaje w kole strumienia nowy strumień, tak samo skierowany, który również wpływa szkodliwie, gdyż przeszkadza osiągnięciu natychmiastowej przerwy, będącej celem otwierania. Strumienie powstające w samym przewodniku strumienia głównego, nazywają się *extra-strumieniami*.

Cechy odróżniające strumienie indukcyjne od głównych są następujące: 1. Strumienie indukcyjne trwają chwilowo, lub gdy powstają wskutek ruchu, trwają tak krótko, jak sam ruch; w nich więc wpływy otwierania i zamykania schodzą się z sobą. 2. Są wolne od extra-strumieni; działanie ich przy otwieraniu i zamykaniu nie słabnie więc, jak to ma miejsce w strumieniach głównych. Z tych przyczyn strumienie indukcyjne są szczególniejszemi do takich działań otwierania i zamykania, które w obu razach są sobie równe, zatem do wpływów fizyologicznych i do wpływów iskier. Siła elektromotryczna strumieni indukcyjnych jest niezależną od długości, grubości i materiału druta obocznego, a proporcjonalną do liczby jego zwojów; przy voltaindukcyi jest proporcjonalną do iloczynu z siły strumienia przez liczbę zwojów druta głównego, przy magnetoindukcyi zaś, do momentu magn. magnesu (Lenz 1835, Weber 1846). Przy ocenianiu siły strumieni indukcyjnych bierze się pod uwagę opór zachodzący wewnątrz i zewnątrz spiralnej obocznej; wykryto, że siła strumienia zwiększa się ze zdolnością przewodnictwa druta obocznego, że przy małym oporze zewnętrznym, siła strumienia nie rośnie z liczbą zwojów, przy wielkim jednak, zachodzącym zwykle w doświadczeniach indukcyjnych, zwiększa się z tą liczbą i dla tego rolki indukcyjne składają się z bardzo wielkiej liczby zwojów. Siła strumienia otwarcia jest odmienną od siły strumienia zamknięcia; przy zamykaniu bowiem, strumień główny rośnie wolno, z powodu przeciwnego extra-strumienia;—strumień zamknięcia trwa cokolwiek dłużej, taż sama siła elektromotryczna rozdziela się na czas dłuższy, wskutek czego siła strumienia staje się mniejszą; przy otwieraniu strumienia głównego, przeciwnie, powstaje wprawdzie extra-strumień, lecz ten, po zniknięciu strumienia głównego, rozdziela się szybko na cały przewodnik, siła więc jego elektromotryczna zostaje niejako skoncentrowaną w czasie krótszym; wstrząśnienia i długości iskier ze strumienia otwarcia są większe, niż ze strumienia zamknięcia. Podobna różnica zachodzi między voltaindukcją a magnetoindukcją; pierwsza wydaje mniejsze ilości o znaczniejszem napięciu, ostatnia—wielkie ilości z małym napięciem, co pochodzi stąd, że strumienie wzbudzające składają się z małej liczby lecz silnych strumieni elementarnych, a wzbudzające magnesy — z nieskończenie wielu nadzwyczajnie słabych takichże strumieni.

b. *Doświadczenia*. Do doświadczeń tego rodzaju służą rolki indukcyjne. 529. Są to dwie próżne rolki drewniane o nierównych średnicach; na jednej rolce jest

nawinięty licznymi zwojami drut cienki, na drugiej zaś drut gruby o niewielkiej liczbie zwojów; rolka indukcyjna łączy się z czułym multiplikatorem, a rolka główna z baterią, opatrzoną zmiennicem. Przed zamknięciem strumienia, głównego wkładając jedną rolkę w drugą i zamykając następnie strumień, igła multiplikatora zostanie odchyłona w tejże chwili, lecz po pewnej liczbie wachnięć, wróci do położenia pierwotnego, pomimo trwania strumienia; zjawisko to jest dowodem powstawania krótkotrwałego strumienia, którego kierunek, przeciwny strumieniowi głównemu, łatwo rozpoznać można za pomocą reguły Ampère'a.— W chwili przerwania strumienia następuje także odchylenie, lecz w stronę przeciwną; odchylenie to jest także krótkotrwałem. Małe odchylenia można łatwo powiększyć zamykając i otwierając strumień w chwilach zwrotów wachnięć. Te doświadczenia są stwierdzeniem 2-ch pierwszych twierdzeń indukcji. Dwa następujące twierdzenia dają się łatwo okazać przez włożenie jednej spiralnej, przy zamkniętym strumieniu głównym, w drugą; powstaje wtedy chwilowe zboczenie igły w tym samym kierunku, co przy zamykaniu strumienia głównego. Pozwoliwszy igłę wrócić do spoczynku, i wyciągając wtedy jedną spiralną z drugiej, nastąpi znowuż chwilowe zboczenie, lecz w stronę przeciwną, czyli w tę samą stronę, co i przy otwieraniu strumienia. I tu także można powiększać odchylenia igły, przez wsuwanie i wysuwanie spiralnej, podług tempa zwrotów wachnięć. Przy zbliżaniu więc i oddalaniu strumienia głównego, powstaje w spiralnej indukcyjnej strumień chwilowy; w pierwszym razie ma on kierunek przeciwny, w drugim—ten sam co strumień główny. Umieszczając w rolce wewnętrznej wiązkę sztabek z żelaza kutego, 4 przytoczone działania indukcji zostaną znacznie wzmocnione; fakt ten stwierdza 5-te i 6-te prawo indukcji, gdyż przy zamknięciu strumienia powstaje w sztabkach magnetyzm, znikający przy otwarciu; przy wzbudzaniu więc i znikaniu magnetyzmu powstają strumienie el. Ponieważ magnetyzm wzbudzony składa się ze strumieni elementarnych, posiadających ten sam kierunek, co strumienie wzbudzające, i ponieważ indukcyjny strumień zamknięcia ma względem tych ostatnich kierunek przeciwny, więc kierunek jego jest także odwrotnym względem kierunku strumieni elementarnych; strumień indukcyjny otwarcia ma ten sam kierunek, co strumienie wzbudzające, przeto taki sam jak strumieni elementarnych magnesu. Jeszcze łatwiej można przekonać się o prawdziwości 2-ch ostatnich magnetoindukcyj. Oddala się spiralną główną, a w spiralną oboczną wprowadza się biegun sztabki magnesowej; z odchylenia igły można wniesić nietylko o powstawaniu chwilowego strumienia, lecz przekonać się zarazem, że jego kierunek jest przeciwnym kierunkowi strumieni elementarnych wprowadzonego bieguna. Wyciąganie bieguna spowoduje odchylenie odwrotnie i wykaże powstawanie strumienia chwilowego o kierunku przeciwnym, a więc tym samym względem strumieni elementarnych. Powstawanie extra-strumienia wynika już ztąd, że bateria, dająca, przy krótkim i grubym drucie zamknięcia, tylko bardzo słabe iskry przy otwieraniu, wytwarza silne iskry po wprowadzeniu spiralnej indukcyjnej w koło strumienia; jeżeli spiralna indukcyjna jest opatrzona dwiema rączkami tak, że w chwili przerwania strumienia, takowy zamyka się ciałem ludzkim, to doświadcza się w ciele silnego wstrząśnienia. Bystrość extra-strumieni można jednak okazać za pomocą galwanometru, wprowadzonego razem ze spiralną w koło strumienia; należy tylko przeszkodzić zboczeniu igły spowodowanemu strumieniem głównym, umieszczając sztyft po

stronie, w którą igła zбочyła; w chwili otwarcia strumienia igła obróci się w kierunku przeciwnym. Dla okazania extra-strumienia zamknięcia, pozwala się strumieniowi głównemu spowodować zбочenie igły i w tem położeniu przytrzymuje się ją za pomocą sztyfta; wtedy strumień otwiera się, a zamykając go powtórnie, przy wprowadzonej spiralnej, igła odchyli się jeszcze dalej, lecz powróci zaraz do sztyfta. Ponieważ zбочenie spowodowane strumieniem głównym rozciąga się tylko do sztyfta, więc dalsze odchylenie się igły jest dowodem powstawania strumienia chwilowego.

c. *Przyrządy indukcyjne: 1. Przyrząd sankowy* (Dubois-Reymond 1848) **530.** (Fig. 38) jest dogodnym szczególnie do celów medycznych, mianowicie do wytwarzania wielkiej liczby drgań w pewnej części ciała. Składa się z rolki głównej R, rolki obocznej czyli indukcyjnej I, wraz urządzeniem służącym do wyłączenia i przerywaczem strumienia. Pierwsza rolka, o mniejszej średnicy, jest przytwierdzoną do deski pionowej, która ją łączy z baterją; rolka ta zawiera w sobie wiązkę sztabek żelaznych; druga rolka, mogąca obejmować pierwszą,

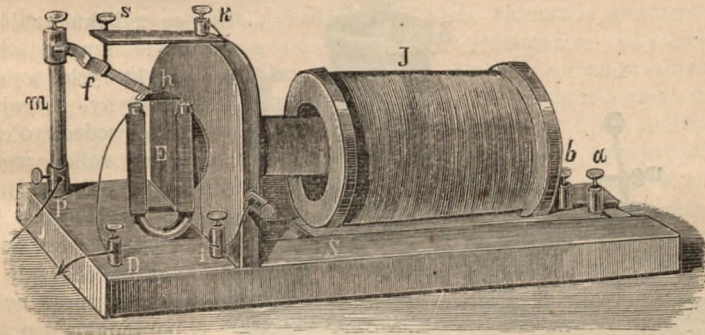


Fig. 38.

jest umieszczona poziomo na saneczkach, przesuwalnych po desce podstawowej S tak, że spiralna indukcyjna może zawierać w sobie dowolną długość spiralnej głównej; do szrub a i b są przytwierdzone dwie rączki lub inne zakończenia strumienia zastosowane do celów terapeutycznych. Młotek Wagnera (1839) służy tu za przerywacz, tamujący ciągłość strumienia głównego własnym działaniem tegoż strumienia. Składa się on z małej podkowy E, owiniętej drutem głównym, zanim takowy uderzy się na rolkę główną; powracający od niej koniec zwraca się do słupka mosiężnego m, opatrzonego poziomym, sprężynowym drążkiem fh, którego żelazne zakończenie h waha się, jako kotwica, nad podkową E.— W miejscu gdzie blaszka platynowa jest przyłutowaną do drążka, takowy jest dotykany, ostrzem platynowym t, szruby s, obracającej się w płacie sk, zostającej w połączeniu z drugim drutem biegunowym, podczas gdy pierwszy łączy się z drutem podkowy. Gdy zachodzą wszystkie wzmiankowane zetknięcia, podkowa E staje się elektromagnesem, przyciąga kotwicę h i uwalnia sprężynowy drążek od zetknięcia się z ostrzem szrubowym t, wskutek czego strumień zostaje otwartym. Teraz podkowa traci swój magnetyzm, kotwica już nie jest przycią-

gana, i drążek siłą swej sprężystości wraca do pierwotnego położenia, które sprowadza zamknięcie strumienia. W miejscu *t*, za każdym przerwaniem, pojawia się iskra, ostrz szrubowy zatem zostałby przyłutowanym do drążka, gdyby nie zapobiegła temu blaszka platynowa. Działanie jest znacznie słabszym, gdy wiązka żelazna zostanie wyjętą z rolki głównej, lub zastąpioną grubą sztabą żelazną; według Magnus'a (1840) wywiązują się w grubej sztabie, przy przerywaniu, strumienie tak samo skierowane, wskutek czego indukcyjne działania sztaby znacznie się zmniejsza; w wiązce drutów strumienie te, przy swem powstawaniu, napotykają więcej przeszkód, niż w jednej massie żelaza, i to jest powodem silniejszego wpływu pierwszej. Wstrząśnienia iskry, powstające przy otwarciu strumienia, są znacznie silniejsze od iskier i wstrząśnień zamknięcia. Można się o tem przekonać za pomocą rozłącznika *Dove'go* (1844). Przyrząd ten składa się z 2-ch krążków metalowych, umieszczonych na wspólnym wale i odosobnionych od siebie sztabką z kości słoniowej; krążki te są opatrzone na brzegach wycinkami nieprzewodzącymi, umieszczonemi odwrotnie względem siebie, z których jeden

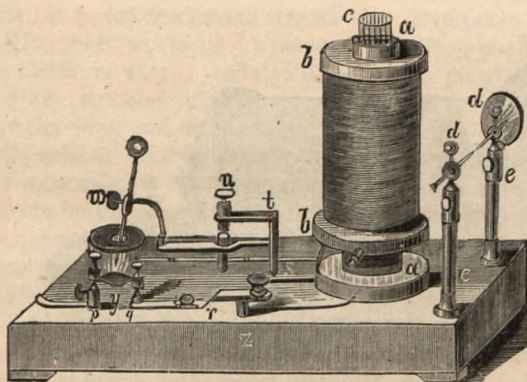


Fig. 39.

jest cokolwiek węższy od drugiego. Na każdej rolce z boku znajdują się dwie szruby ściskające, od których wychodzą sprężyny ślizgające się po obwodach rolek. Pierwsza rolka wprowadza się w spiralną indukcyjną, a druga w spiralną główną. Krążkom można nadać takie położenie, że sprężyny spiralnej indukcyjnej będą się stykać z wycinkami przewodniemi wtedy, gdy sprężyny spiralnej głównej opuszczają też wycinki lub na nie wstępują; w pierwszym razie otrzymamy uderzenia otwarcia, w drugim—zamknięcia; łatwo spostrzedz, że pochodzące od drugiego iskry i wstrząśnienia są o wiele słabsze, niż od pierwszego; można także częściom składowym nadać takie położenie, że oba uderzenia będą zachodzić, jak to miało miejsce przy użyciu młotka Wagner'a. Przeprowadzając uderzenia obu rodzajów przez roztwór wiotriolu miedzianego, nie otrzymamy osadu, gdy tymczasem każdy rodzaj osobno wydzieli tę samą ilość miedzi. Ztąd wypada, że uderzenia przy otwieraniu i zamykaniu zawierają równe ilości el., lecz rozmaitego napięcia. Za pomocą takich przyrządów można okazać, że strumienie indukcyjne wywierają wszystkie też same działania, co i zwyczajne strumienie stałe.

531.

2. *Iskro wzbudzac.* (Ruhmkorff 1851). (Fig. 39). Na próżnym walcu *aa*, o nakrywkach tekturowych, znajduje się pokład drutu miedzianego, grubego na 2^{mm} , i starannie nawiniętego, którego końce mogą być z baterją połączone, rozdzielone i odwrotnie złączone: za pomocą szrub *p* i *q*, listewki

przesuwalnej r, przerywacza swv i zmiennicza. Na tej głównej spiralnej jest nawinięty inny drut gruby od $\frac{1}{3}$ do $\frac{1}{5}$ mm, powleczone pokostem, odgrywający rolę druta obocznego, o długości od 1 — 10 mil; końce tego druta wchodzą w gałki d, umieszczone na sztabkach szklanych e. Do przerywania strumienia używa się w większych przyrządach przerywacza Foucault'a, a w mniejszych, przerywacza Stöhrer'a. Fig. 39 przedstawia ten ostatni. Od wiązki drutu żelaznego c, umieszczonej w rolce, wychodzi hak żelazny st u, utrzymujący na jednym końcu szrubę żelazną u; ta, przy zamknięciu strumienia, staje się magnetyczną i przyciąga wachający się pod nią sprężysty drażek vw, opatrzony na końcu sztyftem pogrążającym się w naczyniu szklanem y, napełnionem merkurjuszem, w które jest wprowadzony jeden drut biegunowy. Przyciągnięcie drażka ma za skutek wydostanie sztyfta z merkurjuszu i umieszczenie go w cieczy źle przewodzącej, pływającej nad merkurjuszem np. w wysokości winnym; wskutek tego strumień otwiera się. Za pomocą więc drgającego ruchu sprężystego drażka osiąga się kolejne otwieranie i zamykanie strumienia. Częścią składową wzmacniającą działanie przyrządu jest kondensator Fizeau (1853). Składa się on z bardzo długiego paska kitajkowego, obłożonego z obu stron cynfolją i owiniętego na wielu deskach jodłowych, równych i ułożonych na sobie; kondensator ten umieszcza się w szufladzie podstawy z. Oba końce cynfolii wchodzą w połączenie, przy zasuwanu skrzyni, z drutem głównym za pomocą sprężyn i sztyftów i przyjmują extra strumień, wskutek czego działanie przerywania zostaje wzmocnionem. Gałki będące biegunami druta indukcyjnego, są przedziurawione, w celu umożliwienia różnych sposobów wyładowań; zakładając ostrza, jak to przedstawia fig. 39, przeskakując będą iskry od 2 do 50° długości, sprawiając silny hałas; *iskrowzbudzacz daje zatem stały strumień iskiei*, przechodzący, przy wprowadzeniu belki elekt., w szereg iskiei krótszych silniejszych, olśniewająco jasnych, trzeszczących i mogących przedziurawiać grube płyty szklane. Przy małej odległości między biegunami, powstają iskry zamknięcia i otwarcia, przy większej, tylko ostatnie. Wzbudzacz iskiei pozwala wykonać wielką liczbę doświadczeń el. Najbardziej charakterystycznymi są: pociąga się pasek papieru roztworem gumy; posypuje się go opiłkami mosiężnymi i zawiesza między biegunami; powstaje wtedy silna błyskawica, której długość można zwiększyć do 5^m. Wprowadzając między bieguny cienkie druty z miedzi, żelaza, złota, otrzymamy, na papierze umieszczonym pod biegunami jeden tylko ślad czarny lub brunatny; druty metalowe zatem zostają nietylko stopione, lecz i zmienione w parę. Wyładowania średniego wzbudzacza mogą człowieka sparaliżować (Quet), a uderzenie silnego wzbudzacza jest w stanie zabić byka. Z bieguną można otrzymać iskrę, za zbliżeniem palca, tak samo jak z konduktora; według Poggendorff'a powstają w ten sposób tylko iskry otwarcia, gdy tymczasem, według Sinsteden'a, elektroskop na biegunie umieszczony staje się naprzemian el. dodatnio i ujemnie, co właśnie odpowiada kolejnemu następstwu uderzeń otwarcia i zamknięcia. Ztąd wynika, że bieguny zawierają el. swobodną, posiadającą małą napięcie przy zamykaniu, przy otwieraniu zaś, wielkie. Dalekość uderzenia bieguną zwiększa się przez połączenie przewodnie drugiego bieguną z ziemią. Z działań chemicznych zasługuje na wzmiankę silne wywiązywanie się ozonu przy przechodzeniu strumienia iskiei przez rurkę napełnioną powietrzem lub tlenem; najprościej przekonać się można o che-

micznym wpływie strumienia indukcyjnego, używając papieru pomazanego klejem z jodkiem potassu; papier ten na biegunie dod. przybiera odcień niebieski. Gdy ostrza biegunów zostaną bardzo do siebie zbliżone, to w przeskakującej iskrze można rozróżnić 2-e części, mianowicie jasną nitkę świetlną i otaczającą ją aureolę. Nitka świetlna jest chwilową i stanowi sam początek zjawiska, aureola zaś ma trwanie cokolwiek dłuższe i powstaje wskutek tego, że iskra rozrzucając wokół siebie powietrze, tak je rozrzedza, iż el. przepływa ciągle w powietrzu rozrzedzonym jako dobrym przewodniku, aż do końca wyładowania. Wyjaśnienie to stwierdza się i tym faktem, że strumień powietrza nie wywiera wpływu na nitkę świetlną, lecz aureolę rozwiewa; iskra między biegunami elektromagnesu, w nitce samej, nie przedstawia żadnej zmiany, lecz aureola przechodzi na półkołowy krążek, zmieniający swe położenie przy zmianie strumienia. Stanowczo rozstrzygającami kwestyę aureoli są zjawiska świetlne zachodzące w rurkach Geissler'a, t. j. naczyniach szklanych, najróżnorodniejszych form rurkowych, w które są wtopione w dwóch odległych od siebie miejscach, druty platynowe; naczynia te są albo prawie zupełnie pozbawione powietrza, albo też są napełnione parami lub gazami o małej liczbie milimetrów ciśnienia, i właściwie przedstawiają urozmaicenie jajka elektrycznego. Umieszczając między biegunami wzbudza jedną z takich rurek, zawierającą powietrze, wypełni się ona światłem nader żywym, ruchliwym i falującym. Na biegunie odj. powstaje powłoka świetlna, koloru lawendowo-niebieskiego, otaczająca elektrod na pewnej odległości; elektrod dod. jest pokryty świecącymi iskrami, z których wychodzą warstwy czerwone, wypełniające całą rurkę falowemi drganiami; między czerwonym światłem bieguna dod. i niebieskiem odj. znajduje się mała, ciemna przestrzeń; pojedyncze warstwy światła są także rozdzielone nielicznymi jasnymi paskami, prostopadłemi do długości rurki. To światło rurek Geissler'a jest aureolą iskry, a brak w niem nitki świetlnej; poszukiwania spektralne okazały, że nitka świetlna składa się z rozżarzonych cząstek elektrodów, aureola zaś — z żarzących się gazów i par; widmo rurek Geissler'a wskazuje tylko linje ostatnich; do badań spektralnych używa się rurek kapilarnych Geissler'a, gdyż te wskutek zagęszczenia dają silniejsze światło. Warstwowanie pochodzi, według Delarive'a, z kolejnych rozrzedzeń i zagęszczeń powietrza, spowodowanych strumieniem el. i odmiennie go przeprowadzających. Barwa światła w różnych gazach jest rozmaita i ulega często zmianie wskutek fluorescencji szkła, gdyż światło el. zawiera wiele promieni fluorescencji; na tem właśnie polegają wspaniałe zjawiska świetlne i barwne, sprawiane wprowadzaniem różnie fluorescujących szkieł; niektóre rurki okazują fosforescencję, co prawdopodobnie pochodzi od pewnej ilości siarki w ich skład wchodzącej. Zboczenie, jakiego doznaje strumień światła pod wpływem magnesu, jak również obrót tego światła około elektromagnesu wprowadzonego w rurkę, świadczą w wymownie, że światło w rurkach Geissler'a jest strumieniem el. przepływającym po dobrym przewodniku, jakim jest rozrzedzone powietrze.

532.

3. *Maszyna magnetoindukcyjna* (Pixii 1830). Maszyna Stöhrer'a (Fig. 40), której konstrukcja jest najużywarszą, składa się z podków żelaznych magn. NS, nałożonych na siebie, między ramionami których znajduje się oś obrotu, podtrzymująca naprzeciw biegunów płytę AA z dwoma rdzeniami żelaza miękkiego, otoczonymi cewkami indukcyjnymi I. Wprawiając w obrót oś, za pomocą koła korbowego Z i sznura, dwie cewki zbliżą się do biegunów magnesu, wsku-

tek czego w cewkach zostaną wzbudzone strumienie tak, jakby magnesy zostały do nich zbliżonemi. Lecz w ten sposób wzbudzone strumienie działają słabo, zbliżenie bowiem jest tylko zewnętrzne, i tu właśnie ujawnia się cała korzyść użycia 2-ch rdzeni żelaznych, które stając się magnesami, wytwarzają nowe strumienie wzmacniające. Spiralna, po dojściu do bieguna, oddala się od niego, wskutek czego magnetyzm rdzenia znika; obie te przyczyny wywołują strumień przeciwny; ten kierunek strumienia trwa aż do ustawienia się spiralnej przed drugim biegunem, gdyż biegun ten działa przez zbliżenie i wzbudzenie, a działa-

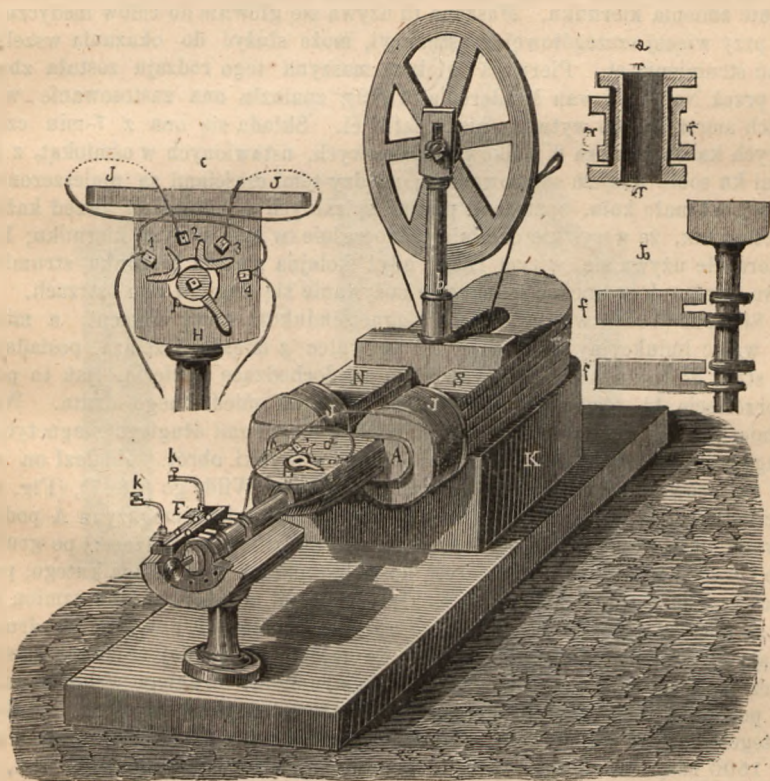


Fig. 40.

nie jego jest przeciwnem działaniu pierwszego. Każda zatem cewka zmienia po półobrocie kierunek strumienia, lecz obie w jednym czasie posiadają ten sam kierunek strumieni, gdyż spiralne są owinięte drutem wspólnym, w kierunkach przeciwnych. Dwa końce drutów, wychodzących każdy z osobnej cewki, dałyby podczas każdego obrotu dwa przeciwne strumienie indukcyjne. Dla ujednostajnienia kierunków, przyrząd jest opatrzony *kommutatorem* F, osadzonym na osi; najbliżej osi, jak wskazuje przecięcie a, osadzona jest rurka mosiężna r,

z dwoma półkołowemi wygięciami, skierowanemi przeciwnie; na tej rurce znajduje się druga mniejsza z kości słoniowej, a na niej znów rurka mosiężna r' z dwoma półkołowemi, odwrotnemi poprzednim, wygięciami; każde dwa sąsiednie wygięcia są wysunięte przeciwnie, tak że z 2-ch cynków widelca z boku przytwierdzonego, zawsze jeden tylko cynk może dotykać wygięcia, jak to wskazuje fig. b. Dwa druty biegunowe są połączone z dwiema rurkami mosiężnemi, a rurki są ustawione tak, że przy zmianie strumienia, jeden cynk opuszcza swe wygięcie, a drugi wchodzi w zetknięcie z sobą odpowiadającym, wskutek czego widelce, przy odwróconym strumieniu, łączy się z drugim końcem spiralnej, a strumień nie zmienia kierunku. Maszyna ta używa się głównie do celów medycznych, lecz, przy więcej szczegółowej konstrukcyi, może służyć do okazania wszelkich działań strumienia el. Pierwsza większa maszyna tego rodzaju została zbudowaną przez Nollet'a i van Malderen'a (1849); znalazła ona zastosowanie w latarniach morskich, do wytwarzania światła el. Składa się ona z 7-miu części, z których każda zawiera 8 podków magnesowych, ustawionych w osmiokąt, z biegunami ku sobie wzajem skierowanemi; między temi częściami są umieszczone na wspólnej osi małe koła, opatrzone parami spiralnych i rdzeniami przed każdym magneselem tak, że wszystkie działają jednocześnie w tym samym kierunku; kommutatora nie używa się w tym razie, gdyż kolejna zmiana kierunku strumienia wpływa bardzo dogodnie na jednakowe zużywanie się węgli w obu ostrzach.

Siemens (1850) wprowadził do magnetoindukcyi nowy element, a mianowicie walec indukcyjny (Fig. 41); jest to walec z miękkiego żelaza, posiadający z obu stron głębokie, szerokie, prawie do osi dochodzące wycięcia, (jak to pokazuje przecięcie A), doskonale wypełnione zwojami miedzianego druta. Walec ten umieszcza się w kierunku długości, między biegunami długiego magnetycznego magazynu podków i zostaje wprawionym w szybki obrót. Znalazł on rozliczne zastosowania w *maszynie magnetoelektrycznej* Wilde'go (1867), (Fig. 42). Walec indukcyjny E obraca się między końcami długiego magazynu A podków stalowych magnetycznych i wytwarza strumienie el., przechodzące: po grubym drucie i dwóch wielkich, równoległych do siebie płytach B, z żelaza kutego, połączonych trzecią płytą, i czyniące je elektromagnesem, między końcami ramion którego, za pomocą sznurów D' obraca się drugi wzbudzacze E'; w jego to drutach powstają strumienie indukcyjne, służące do użytku. W jednej ze swych maszyn, odznaczającej się ogromem, puszczał Wilde strumienie drugiego wzbudzacza na inny, podobnie urządzony elektromagnes, i używał dopiero strumieni indukcyjnych tego trzeciego wzbudzacza. Machina parowa o sile 15 koni obracała wzbudzacze 1500 razy na minutę; światło węglowe tej maszyny olśniewało tak, jak światło słoneczne, a płomień gazu wydawały się matowo-brunatnymi; soczewka przepalała papier na odległości 150'; krótki kawałek żelaza, grubości palca, został stopionym i spalonym, drut platynowy, więcej niż o $\frac{1}{4}$ " średnicy, długi na 2', stopił się, wydając olśniewającą białość. Siemens (1866) trwałe magnesy stalowe uczynił zbytecznemi, przez właściwe zastosowanie magnetyzmu *remanentowego*, pozostającego w żelazie miękkim, przebieżonem raz przez strumień;— maszyny zbudowane według tej myśli nazywają się *maszynami dynamoelektrycznemi*. Płaty miękkiego żelaza, będące biegunami elektromagnesu, są bardzo do siebie zbliżone, lecz opatrzone nacięciami do umieszczenia wzbudzacza. Kommutator (zmieniacz) łączy się z osią korby i z osią wzbudzacza w ten sposób, że

wskutek obrotu wzbudzacza, powstające z początku słabe strumienie, przechodzą po zwojach drutu elektromagnesu i wzmacniają jego magnetyzm, wskutek czego wzmacniają się same, a następnie zostają przeprowadzone do miejsca swego przeznaczenia. Ladd i Siemens zastosowali tę myśl do maszyn o 2-ch walcach indukcyjnych. Nadzieje jednak, otrzymania z takich maszyn strumieni o dowolnej sile, nie spełniły się, gdyż wskutek szybkiej wymiany biegunów rdzenie wzbudzaczy tak się rozgrzewają, że przy długotrwałym obrocie, zwęglają się odsabniacze drutów. Pomimo to, przyrządy takie znalazły liczne zastosowania. *Zapalacz min* Brequet'a jest także użytecznem zastosowaniem magnetoindukcyi

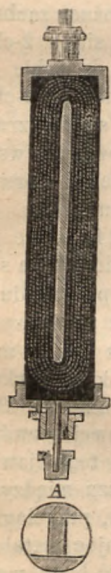


Fig. 41.

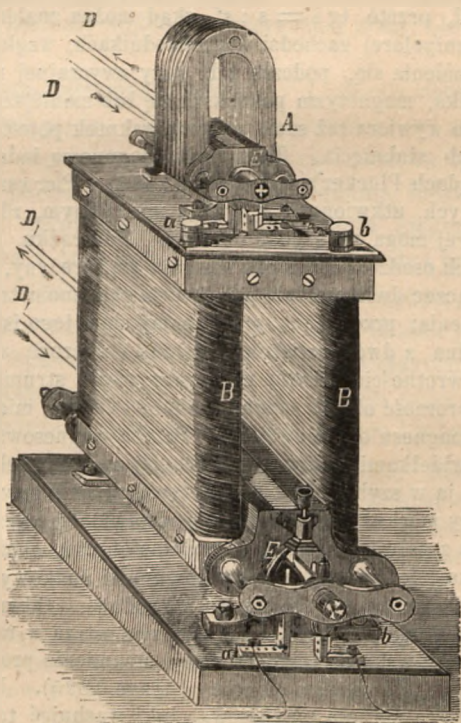


Fig. 42.

(1867). Składa się on z kilku stalowych podków magn., na bieguny których są wsrubowane miękkie rdzenie żelaza, połączone z ładunkami za pomocą drutów. Na miękkich rdzeniach leży kotwica; w chwili zerwania jej, powstają silne iskry indukcyjne. Iskry te otrzymują się łatwiej i pewniej niż za pomocą wzbudzacza Rhumkorff'a, mogą być wytworzone współcześnie w różnych minach, i z tych powodów są stawiane wyżej nad elektryczne rozżarzanie drutów.

Mniej ważnemi zjawiskami indukcyi są: 1. *Strumienie indukcyjne* 533.
wyższych rzędów, t. j. strumienie wytwarzane przez strumienie indukcyjne

w obocznych spiralnych, i o istnieniu których przekonać się można bądź fizyologicznie, bądź za pomocą galwanometru. 2. *Indukcja sprawiona przez magnetyzm ziemski*, którą Faraday (1832) zaobserwował ze zbroczeń igły galwanometru; umieszczając w spiralnej miękki rdzeń żelazny, można otrzymać silne strumienie, zdolne nawet do wprowadzenia w bieg maszyny dynamo-elektrycznej Siemens'a. Weber (1854) użył tych strumieni do dokładnego oznaczenia nachylenia pewnego miejsca; w poziomej spiralnej, zwracanej szybko o 180° , zostaje wzbudzony strumień, składową $R. \sin i$, magnetyzmu ziemskiego, a w spiralnej pionowej, zwracanej szybko o 180° , zostaje wzbudzony siłą $R. \cos i$, poziomą składową magnetyzmu ziemi. Ponieważ natężenia strumieni s i s' są proporcjonalne do tych sił, przeto $\operatorname{tg} i = s : s'$, z kąd można znaleźć i . 3. *Indukcja jednobiegunowa* (unipolare) zachodzi w przewodnikach, względnie których siła magnetyczna nie zmienia się, podczas gdy przy zwyczajnej magnetoindukcji, względnie przewodnika, magnetyzm powiększa się lub zmniejsza, przez zbliżenie lub oddalenie, albo wywiera też same wpływy wskutek powstawania, znikania, wzmocnienia się lub słabnięcia. Taką jednobiegunową indukcyę można zaobserwować w przyrządach Plücker'a i Weber'a (1856). Pierwszy składa się z 2-ch sztabek magnesowych, utkwionych w krążku miedzianym, równolegle do siebie i do osi, około której mogą się szybko obracać. Po krążku, jak również po 2-ch rolkach metalowych osadzonych na osi, ślizgają się sprężyny, udające się do szrub ściskających; łącząc dwie ostatnie sprężyny z galwanometrem, takowy nie wskaże śladu strumienia; przeciwnie, przekonamy się o jego istnieniu, jeżeli pierwsza sprężyna i jedna z dwóch ostatnich zostaną połączone z galwanometrem. Zjawisko to jest odwrotnością obrotu magnesu około strumienia (524); może zachodzić także odwrotność obrotu magnesu około swej osi, mianowicie indukcyja sprawiona obrotem magnesu około swej osi. Sztaba magnesowa jest w połączeniu z jednej strony z widełkami stalowymi, z drugiej zaś — z mechanizmem zegarowym wprawiającym ją w szybki obrót i podtrzymującym w swym środku krążek miedziany, dotykający merkuryusza naczynia podstawionego; jeżeli widełki i merkuryusz są połączone z galwanometrem, to podczas obrotu, okaże się strumień. Przy obrocie krążka miedzianego między biegunami podkowy magnesowej, powstają strumienie skierowane od środka ku obwodowi. Odwrotnością tego zjawiska jest obrót koła Barlow'a; koło to zanurza swe ostrza w merkuryuszu między biegunami magnesu i wskutek tego otrzymuje strumienie promieniowe, przyciągane przez magnes. 4. *Magnetyzm obrotowy* (Arago 1825). Umieszczając metalową płytę pod kołyszącą się igłą magnesową, łuki wachnięć tej ostatniej będą maleć szybciej, niż bez płyty; zjawisko to znajduje zastosowanie w *stłumianiu* drgań igieł galwanometrów; igła magnesowa umieszczona nad krążkiem miedzianym, wprowadzonym w szybki obrót, a oddzielona od krążka taflą szklaną, zbacza, a nawet sama zaczyna się obracać. Podobnie stłumiający wpływ wywiera elektromagnes na obrót kuli metalowej, wachającej się między jego biegunami, krążek zaś miedziany zostaje wprawiony w obrót, między biegunami silnego magnesu, szybko wirującego. Przyczyną tych zjawisk jest to, że magnesy, umieszczone w pobliżu przewodników, wywołują w nich strumienie. Strumienie te mają kierunek zgodny z prawami indukcyi; kierunek ten najprościej oznaczyć można za pomocą prawa Lenz'a (1834): Strumień indukcyjny ma taki kierunek, że działanie elektrodynamiczne jego i strumienia wzbudzającego, udzieliłoby przewodnikowi

kierunek przeciwny temu, który został wzbudzonym przez strumień. Ponieważ prawo to, jak łatwo stwierdzić, służy dla wszystkich 8-u przypadków indukcji, stosuje się więc i tutaj; wprawione w ruch: magnes i krążek, otrzymują więc od wzbudzonych przez nie strumieni pewien zapęd w kierunku przeciwnym, stłumiający wachania igły i zbaczający igłę spokojną; w ostatnim razie igła stara się nadać krążkowi ruch wprost przeciwny własnemu; według tego, wytwarza się odpychanie między częściami zbliżającymi się w biegu do igły, a igłą, i przyciąganie między oddalającymi się cząstkami i tąż igłą, wskutek czego igła zmuszoną zostaje obracać się w kierunku krążka. Szybko przeprowadzany przewodnik przed sztabą magnesową nieruchomą, staje się ciepłym; krążek metalowy wirujący między biegunami magnesu, podwyższa znacznie swą temperaturę i potrzebuje do takiegoż ogrzania znacznie większej równoważnej pracy (Joule 1843, Foucault 1855).

Zastosowania elektromagnetyzmu i indukcji. 1. *Silniki elektro-magnetyczne* (Jacobi 1835). Przyciąganie i odpychanie elektromagnesu zastosowanym zostało jako silnik, do poruszania różnych maszyn. Zasadą tych silników jest zmiana biegunów, powodująca przejście przyciągania bieguna przez inny magnes w odpychanie, sprawiające dalszy obrót tegoż bieguna. Nadzieje pokładane w maszynach tego rodzaju nie ziściły się, gdyż przy ruchu takim powstają strumienie indukcyjne, udzielające poruszającemu się ciału, według prawa Lenz'a, przeciwruch i osłabiające znaczenie skutek maszyny. Oprócz tego cynk, którego spalanie się wyradza siłę rozważanych maszyn, jest znacznie droższym niż węgiel, a spalanie odbywa się nie przez łączenie z tlenem powietrza, lecz z tlenem drogich kwasów: siarczanego i saletrzanego.

Sama zasada jest najwidoczniejszą w konstrukcyi Ritchie'go. Maszyna jego składa się z magnesu stalowego, kształtu U, nad biegunami którego wacha się bardzo krótki elektromagnes, około osi pionowej. Na osi jest umieszczony komutator, składający się z pierścienia drewnianego z dwoma niezupełnie półkolistymi paskami mosiężnymi, po których suwają się dwie sprężyny idące od szrub biegunowych, i na których są utwierdzone końce druta elektromagnesu. W chwili gdy bieguny magnesów stoją naprzeciw siebie, sprężyny dotykają przestrzeni między półpierścieniami, a następnie przechodzą na drugi półpierścień, wskutek czego następuje zmiana biegunów i odpychanie w miejsce dotychczasowego przyciągania, a ós obraca się dalej. Jacobi za pomocą 4-ch magnesów stałych i 4-ch ruchomych wprawiał w obrót ós poziomą i koło szufłowe łódki, w której odbywał przejażdżki po Newie.

Wagner, któremu Bundestag (1842) wyznaczył wysoką nagrodę, chciał zastosować siłę mieszaniny piorunującej; przypisują mu też pomysł konstrukcyi z dwoma elektromagnesami, które sterując kolejno mimośrodem, otrzymywały strumień i przyciągały kolejno 2-ie kotwice; te ostatnie były w połączeniu z drągiem, mającym punkt podpory między 2-ma magnesami i nachylającym się, to w jedną, to w drugą stronę; ruch ten, za pośrednictwem stosownego przedłużenia, sprawiał obrót korby. W urządzeniach tych pożądanem jest natychmiastowe znikanie magnetyzmu, a niemożliwość spełnienia tego warunku, stanowi wspólną

im niedogodność. Stöhrer (1846) usunął ją, przyciągając i odpychając elektrom. za pomocą spiralnej el. i zmieniając kommutatorem, nie magnetyzm, lecz kierunek strumienia w tej spiralnej, wskutek czego również przyciągany poprzednio elektrom. był następnie odpychanym, a oś jego wykonywała dalej swój obrót. Page (1850) użył do podobnej konstrukcyi, przyciągania wywieranego przez spiralną na miękkiej rdzeń żelazny; między 2-ma pionowymi rolkami drucianymi, porusza się wachacz około punktu środkowego i unosi na swych końcach 2 rdzenie, wchodzące u góry w rolki; kommutator osadzony na wale przeprowadza kolejno strumień przez obie rolki, podczas każdego obrotu, wskutek czego rdzenie zostają naprzemian przyciągane, a wachacz wprawiony w ruch kołyszący, który przesyła się stosownem przedłużeniem wałowi koła rozpędowego. Umieszczając w jednej linii 2-ie cewki, a w ich środku rdzeń żelazny, ten ostatni będzie przyciąganym naprzemian ku jednej i ku drugiej i może za pomocą drążka obracać korbę; (Fessel 1851).—Grüel (1863) za siłę poruszającą użył przyciągania, którem magnes dotykający się kotwicy jedną tylko krawędzią, stara się ją zwrócić ku sobie, aż do zetknięcia się powierzchni; potem strumień otwiera się; w maszynie tej przyciąganie zachodzi na możliwie małej odległości. Z pomiędzy licznych konstrukcyi, używanych w przemyśle, najdogodniejszą uwagi jest Kravogl'a (1867) jako obchodząca trudność natychmiastowej zmiany biegunów lub strumieni. Druty biegunowe udają się do sześciaków miedzianych, które w liczbie 18-tu tworzą pierścien naokoło osi koła i przedstawiają początki 18 szprych, w których każde 2 od siebie odosobnione druty, przechodzą od każdego sześciaku ku obwodowi; tu między każdymi 2-ma szprychami, znajduje się jedna, a więc wszystkich 18 cewek drucianych zamkniętych pierścieniem z miękkiego żelaza, a zamykających w rurce pierścieniowej rdzeń żelazny, półkolisty, łatwo przesuwalny na rolkach. Cewki komunikują się z sobą za pośrednictwem drutów szprychowych i sześciaków; jednak na 1, 7 i 13-tym sześciaku są przerwy, z powodu, że sześciaki te, między swemi drutami, są rozszczepione na dwie odosobnione połowy; strumień więc przechodzi tylko przez $\frac{1}{3}$ cewek, przyciąganych wskutek tego przejścia, przez rdzeń i przyczyniających się do wirowania koła. Druty biegunowe, skutkiem obrotu koła, dostają się na inne sześciaki i przenoszą strumień na następującą trzecią część cewki. Maszyna ta wzbudziła wielkie zajęcie na wystawie paryzkiej w 1867 r.—Jacobi podał następującą teorię dla silników el.: Jeżeli siłę el. jednego elementu oznaczymy przez e , liczbę elementów przez n , a opór przez w , to siła strumienia wyrazi się:

$$i = \frac{ne}{w}$$

Strumień okrążając z zwojami rdzeń żelazny przedstawia magnetyzm m ,

$$m = zi = \frac{z n e}{w}$$

a przyciąganie lub odpychanie obu biegunów wyraża się przez

$$p = \frac{z^2 n^2 e^2}{w^2}$$

Wskutek ruchów powstają strumienie, wzbudzone, o kierunkach przeciwnych; one to zmniejszają siłę strumienia do i' ; magnetyzm wynosi $m' = zi'$,

a osłabienie sprawione indukcją $= i - i'$. Lecz siła strumieni wzbudzonych (według 528) $= c \cdot z m' v : w$, gdzie c jest ilością stałą, a v prędkością magn. wzbudzającego; otrzymujemy więc równanie:

$$\frac{c z m' v}{w} = i - i', \text{ z kąd}$$

$$v = \frac{(i - i') w}{c z m'}$$

albo, podstawiając za i i m' powyższe wartości:

$$v = \frac{\left(\frac{ne}{w} - i'\right) w}{c z^2 i'}$$

Siła wzajemnego przyciągania się biegunów magnesów po indukcji jest:

$$p' = z^2 i'^2;$$

siła ta musi być równą (pewnik 3-ci) oporowi, pokonywanemu przez silnik. Zgodnie z tem, skutek maszyny równa się:

$$p' v = \frac{i' w \left(\frac{ne}{w} - i'\right)}{c}$$

gdzie c oznacza ilość zależną od konstrukcji maszyny; skutek jest największym,

gdy $i' = \frac{ne}{2w} = \frac{1}{2} i$, to jest wtedy, gdy osłabiona ruchem siła strumienia ró-

wna się połowie siły pierwotnej. Takiego maximum nie osiąga żadna maszyna, z przyczyny magnetyzmu remanentowego; najlepsze maszyny Stöhrer'a dają tylko 22⁰/₀ siły strumienia wywiązującej się z cynku; podług Waltenhofen'a, maszyny Kravogl'a dają 17⁰/₀; zatem maszyny te stoją prawie na równi, pod względem korzystania z silnika, z maszynami parowymi. 1 kil. węgla daje 7200 jed. ciep., a 1 kil. cynku—tylko 1200 jed. ciep., przy spaleniu się; a ponieważ cynk jest 10 razy droższy niż węgiel, przeto silniki elektryczne aż dotąd, są 60 razy droższe od maszyn parowych, w dostarczeniu tej samej siły.

Telegrafy elektryczne. Ponieważ strumień el. rozchodzi się w przewodnikach metalowych z wielką szybkością, a z małą stratą w napięciu, przeto działania strumienia można wywoływać na bardzo odległych od siebie miejscach, i używać tych działań za znaki telegraficzne, przypuszczając naturalnie, że od jednego miejsca, do miejsca odeń oddalonego, przeprowadzonym jest odosobniony i zamknięty przewodnik strumienia. Do przewodniego połączenia miejsc używano pierwotnie drutu wychodzącego od dodatniego bieguna jednego miejsca i udającego się do przyrządu sygnałowego drugiego miejsca, a powracającego następnie do ujemnego bieguna, miejsca pierwszego; używano więc 2-ch drutów, aż do Steinheil'a (1838) który wykrył, że w miejsce drutu powracającego może być użytą ziemia, przez połączenie z nią,

drutu biegunowego odjemnego, pierwszego miejsca, i dodatnego drugiego. Oprócz przyrządu dającego znaki, *receptora* (odbieracza), znajdującego się na drugim miejscu, na stacyi *odbierającej*, potrzebnym jest na miejscu pierwszym, na stacyi *podającej*, przyrząd zwany *manipulatorem*, służący do przesyłania znaków za pomocą zamknięcia, otwarcia, lub przzerwania strumienia. Stosownie do sposobu działania receptora, rozróżniamy *telegrafy igłowe*, udzielające znaki drganiem igły magnesowej okrażonej drutem strumienia; *telegrafy skazówkowe*, w których skazówka obraca się po kole liter, jak po cyferblacie, i na literach telegrafowanych zatrzymuje się chwilkę; *telegrafy piszące*, w których sztyft metalowy lub ołówek zaznacza na pasku papierowym, punkta i linije, których kombinacje służą do wyrażenia wszystkich liter alfabetu; *telegrafy drukowe*, które przesyłaną wiadomość drukują wprost zwyczajnymi literami na papierze; *pantelegrafy*, przyrządzające zupełnie wierne kopije rysunków lub pism dostarczonych manipulatorowi; telegrafy te można uważać za szczególną odmianę *telegrafów chemicznych*, których receptor tworzy znaki trwałe, za pomocą elektro-chemicznego rozkładu. Telegrafy igłowe i skazówkowe mają tę niedogodność, że dają znaki nietrwałe; telegrafy drukowe i pantelegrafy są bardzo dowcipnie urządzone, lecz nader skomplikowane; telegrafy piszące odznaczają się prostotą i łatwą zrozumiałością.

Odkrycie Steinheil'a używające ziemi za przewodnik zwrotny, stosuje się do praktyki w ten sposób, że drut biegunowy odj., na stacyi podającej, wprowadza się głęboko w ziemię i zakończy się wielką płytą metalową, podczas gdy drut biegunowy dod., na stacyi odbierającej, przechodzi do receptora, a następnie do platy zakopanej w ziemi. Steinheil wystawiał sobie początkowo, że strumień el. powraca istotnie od końca platy stacyi odbiorczej do platy pierwszej stacyi, że kolumna ziemi, rozdzielająca platy jest, podobnie jak drut, przewodnikiem strumienia i wielkiemu swemu poprzecznemu przecięciu zawdzięcza zdolność przewodnictwa. Tłumaczenie to, teoretycznie możliwe, prowadzi do wyników niepodobnych do przyjęcia i zaprzecza doświadczeniom Wheatston'a; zastąpiono je więc innym, uważającym ziemię za nieskończenie wielki zbiornik, w którym każda el. naszych przyrządów, ginie bez śladu. To nowe wyjaśnienie okazuje się niedostatecznym z tego względu, że uważa strumień el. w drucie telegraficznym, za składający się z jednego tylko rodzaju el., gdy strumień el., jak to przedstawiliśmy poprzednio, jest połączeniem dwóch przeciw sobie płynących elektryczności. Lecz bacząc na to, że zadaniem drugiej przeciw płynącej el. jest z obojętnie pierwszą i umożliwić nowy jej przepływ, wyznać trzeba, że zadanie to zostaje rozwiązane wtedy, gdy pierwsza el., wpływając w nieskończenie wielki zbiornik, znika.

Sömmering w Monachium (1808) urządził pierwszy telegraf el., używając el. rozkładu wody w 35 szklaneczkach z 35 drutami. Po odkryciu Oersted'a (1820), Ampère proponował użycie igieł magnesowych w miejsce szklaneczek. Schilling z Kanstatt (1832) zastosował po raz pierwszy tylko 2 druty do jednej igły; znaki udzielanemi były za pomocą drgań igły, wzbudzanemi, za pośredni-

ctwem zmieniacza strumienia, na pierwszej stacyi. Gauss i Weber (1833) przeprowadzili na większą skalę pierwszy telegraf igłowy, między gabinetem fizycznym a obserwatorjum w Getyndze; za manipulator, używali magnetozbudzaacza, którego rolkę nakładali i zdejmowali z magnesu. Steinheil (1837) zbudował pierwszy telegraf drukowy między Monachium i Bogenhausen; na 2-ch obracających się magnesach przymocowane były naczynka napelnione ciekłym pigmentem, które, przy obrocie, dotykały paska papieru i robiły na nim znaki; tu po raz pierwszy użytą była ziemia, za przewodnik zwrotny. Z tych historycznych danych widać, że telegrafia jest na wskrós niemieckim wynalazkiem, przyrządy niemieckie jednak były niepraktyczne dla większych przestrzeni, i nie znalazły zastosowania w życiu. Dopiero telegraf igłowy Wheatstone'a i Cook'a (1837), przy drodze żelaznej Great—Western w Anglii, zwrócił ogólną uwagę; użyto doń pierwotnie 5 igieł i 5 drutów, które jednak wkrótce ustąpiły prostemu dwuigłowemu telegrafowi. Wheatstone jest wynalazcą telegrafów skazówkowych (1840), budziła elektromagnetycznego i przenoszki (relais), służącej do wprowadzenia w ruch receptora za pomocą baterji miejscowej stacyi odbiorczej, gdyż słaby strumień pochodzący ze stacyi podającej, najczęściej nie wystarcza. Już w telegrafach skazówkowych i w przenoszcze, elektromagnetyzm znalazł zastosowanie; strumień bowiem stacyi podającej magnesował podkowę stacyi odbiorczej; najważniejszy jednak użytek z tej myśli zrobił Morse (1844), nadając ruch ryłcowi, za pomocą kotwicy przyciąganej przez podkowę. Telegrafy skazówkowe osiągnęły najwyższy stopień doskonałości, dzięki korzystnym ulepszeniom wprowadzonym we Francyi przez Breguet'a (1845), a w Niemczech przez Siemens'a i Halske'go, jak również przez Kramera. Pierwszy elektrochemiczny telegraf został urządzony przez Bain'a (1843), dalej wystąpił Bakewell (1847) ze swym telegrafem kopijującym, a następnie Gintl (1853) z urządzeniem podobnem do piszącego telegrafu Morse'a. Ideał w tym kierunku osiągnął Caselli swym panelegrafem, po dziesięcioletniej pracy (1856—1865). Najważniejszym zdarzeniem w telegrafii jest telegraf zaatlantycki, w którym dawne odczytania zwierciadłowe Gauss'a znalazły rozleglejsze zastosowanie.

1. *Telegraf igłowy.* Na pierwszej stacyi stoi zmieniacz strumienia, jako manipulator, na drugiej receptor, będący astatyczną podwójną igłą magnesową, której część wacha się w multiplikatorze, a druga jej część nad oprawą, odgrywa rolę skazówki; multiplikator jest wprowadzony w drut przewodni i opatrzony na boku sztyftem, niepozwalającym igle przyjmować kierunku prostopadłego do zwójów, lecz dającym jej możność wykonywania małych tylko wachnięć. Przy zamknięciu strumienia na stacyi podającej, igła wachnie się ku jednej stronie, a przy odwróconym strumieniu, ku drugiej; z tych wachnięć na prawo i na lewo, ułożony jest alfabet. Ponieważ do wyrażenia wszystkich liter alfabetu potrzeba znacznej liczby wachnięć, przeto Wheatstone i Cook urządzili telegraf o igle podwójnej, składający się z dwóch igieł i dwóch rękojeści, kierowanych rękoma; rozliczne kombinacje położeń pozwalały zmniejszyć liczbę wachnięć. To urządzenie, tak proste, powoduje jednak wiele błędów, gdyż znaki są przemijające i wymagają natężonej uwagi; dla uniknienia takich błędów, receptor jest zawsze połączony ze zmieniaczem strumienia, tak, że znaki dają się na obu stacyach i człowiek dający znaki może sam siebie kontrolować. Dla zwrócenia uwagi telegrafisty, aparat jest opatrzony przyrządem sygnałowym. Wheatstone dał ostatniemu na-

stępujące urządzenie: drut przewodni okrążyła podkowę i magnesuje ją; ta znów przyciąga kotwicę, która poprzedniem swem położeniem tamowała spadek budziła. W Anglii patentowane telegrafy igłowe są bardzo rozpowszechnione.

2. *Telegraf skazówkowy* Siemens'a i Halske'go odróżnia się tem od telegrafów Breguet'a, Wheatstone'a i innych, że w tych obrót odbywa się za pomocą przyrządu zegarowego, regulowanego elektromagnesem, w tamtym zaś za pomocą samego elektromagnesu. Jeden i ten sam przyrząd, jak fig. 43 pokazuje, służy za manipulator i receptor. Na stacyi wyjścia B, strumień dod. baterji D', idzie przez szrubę p i saneczki nn' do podkowy, której oba bieguny widać w m i m', a od niej, po przewodniku L, na stacyę odbiorczą A, również około podkowy do bieguna odj. miejscowej baterji D, gdy drugie bieguny obu baterji są w połączeniu z płytami zakończającymi P i P'; urządzenie to przedstawia tę dogodność, że każdy przyrząd jest poruszany obiema baterjami, że zatem osłabienie strumienia baterji odleglejszej przez przewodnictwo, jest prawie niedostrze-

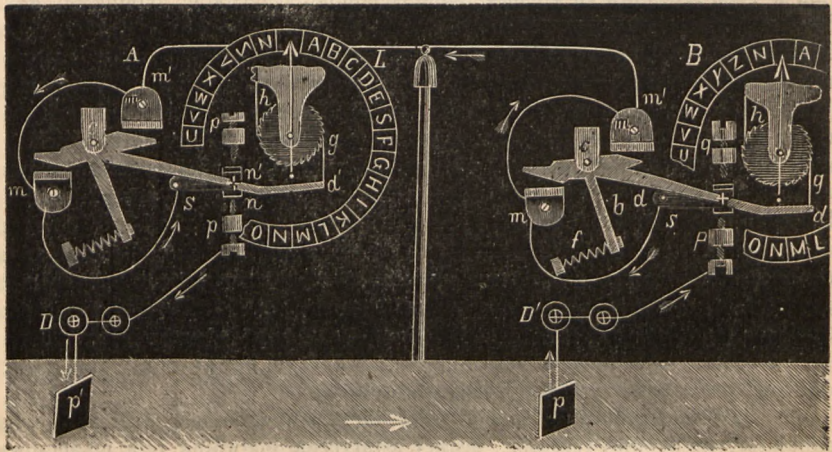


Fig. 43.

galnem. Podkowy wskutek zamknięcia strumienia stają się magnesami, przyciągają kotwicę a i a' i obracają drążek dd' około punktu s w górę, przez co haczyk g podnosi się o 1 ząb koła skazówkowego r. Podniesienie drążka sprawia współcześnie zerwanie strumienia między p i n; podkowy tracą swój magnetyzm i nie przyciągają już kotwic, które sprężyna f przyprowadza do poprzedniego położenia, wskutek czego koło r obraca się o 1 ząb, a skazówka na kole liter przesuwają się o jedną literę. Podobne działania następują szybko po sobie, a skazówka posuwają się na kole aż do litery, której klawisz jest przyciśnięty i która zatrzymuje skazówkę. Ponieważ na obu stacyach przyrządy działają jednakowo, a skazówki ich są ustawione na próżnych polach między A i Z przed rozpoczęciem telegrafowania, przeto skazówka stacyi odbiorczej zatrzymuje się zawsze na literze, której klawisz na stacyi podającej jest przyciśnięty. W celu uniknięcia przeszkód w telegrafowaniu, wynikających ze zmian chemicznych baterji

galwanicznych, jak również znacznych wydatków na te ostatnie, Siemens urządził *telegraf skazówkowy magnetoelektryczny*. W nim walec indukcyjny Siemens'a (532) obraca się między biegunami magazynu podków stalowych, za pomocą korby, która znajduje się nad kołem liter i w drucie wzбудzacza wywołuje naprzemian strumienie o kierunkach przeciwnych. Strumienie te przechodzą po przewodniku na stacyę odbiorczą i okrążają tam ruchomy około swej osi elektromagnets, którego bieguny, niby drążkowe nakładki, kołyszą się między dwoma przeciwnymi biegunami dwóch podków stalowych magnetycznych i są przesuwane przez nie o mały kąt; ten obrót kątowy przestawia hak, za pomocą drążka, na następujący ząb koła skazówkowego, a ponieważ obrót wspomniany, przy przeciwnym, natychmiast wywołanym strumieniu indukcyjnym, staje się także odwrotnym, przeto haczyk pociąga o 1 ząb dalej koło skazówkowe. Przyrządy te pozwalają telegrafować bardzo szybko; średnia prędkość telegrafów skazówkowych wynosi 40 liter na minutę; jeżeli

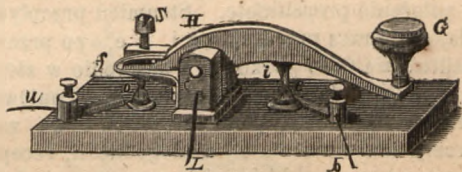


Fig. 44.

odpowiedniość przyrządów na stacyach zostanie w czemkolwiek zmienioną, wszystkie znaki na stacyi odbiorczej wypadają fałszywie; z tej przyczyny telegrafy skazówkowe coraz więcej zastępują się piszącami i drukowami.

3. *Telegraf piszący* Morse'a, używa za manipulator przyrządu do zamknięcia strumienia na czas dowolny, tak zwanego klucza (Fig. 44), a za

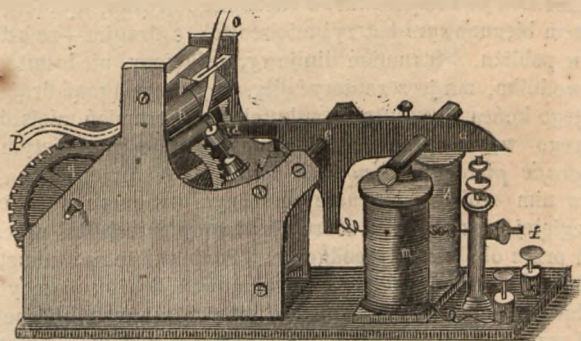


Fig. 45.

receptor—przyrządu piszącego. Klucz służy do zamknięcia strumienia na stacyi odbiorczej, na czas krótszy lub dłuższy, ze stacyi podającej. W tym celu drut biegunowy baterji udaje się do szruby ściskającej b, a drut przewodni L do podpory osi c, około której może się obracać drążek GH. Jeżeli za pomocą rączki G prawa strona drążka zostanie przyciśnięta na czas krótszy lub dłuższy, to przedłużenia i i e zetkną się z sobą i strumień przepływać będzie przez nie i przez drążek po drucie przewodnim na drugą stacyę. Tu okrąży podkową mm' odbieracza (Fig. 45) i uczyni ją magnesem na czas przyciskania rączką g. Wskutek tego kotwica e, a z nią i koniec d' krążka dd', obracalnemu około c, zostaną pociągnięte nadół, a drugi koniec d podniesie się. Koniec ten przyciska ostrzyłca i, przez czas krótszy lub dłuższy, do paska papierowego op, posuwającego się wolno między 2-ma walcami l i h, za pomocą mechanizmu zegarowego.—

Chwilowe przyciśnięcie sztyfta daje na papierze punkt, a dłuższe — linię; z takich punktów i linii składa się alfabet Morse'a. Dla uniknięcia zetknięcia kotwicy z podkową, koniec drążka *d'* uderza o sztyft *k*, co ułatwia sprężynie, regulowanej szrubą *f*, doprowadzenie jego i drążka, przy każdym otwarciu strumienia, do położenia poprzedniego. Na każdej stacji znajdują się: jeden klucz i jeden odbieracz, wprowadzone w przewodnik; w tym celu od szruby *a* klucza idzie do drugiego bieguna baterji drut, od którego oddziela się gałąź *do* podkowy receptora tej samej stacji, a ztąd do platy w ziemi, gdy tymczasem drut przewodni na stacji odbiorczej łączy się z podporą klucza. Na stacji odbiorczej drążek klucza ma położenie niezmiennione, w które go wprowadza sprężyna *f*, i w którym szruba *S* dotyka przedłużenia *O*, na stacji zaś podającej, przy strumieniu zamkniętym, ma położenie przyciśnięte. Strumień przepływa zatem od bieguna *odp.* baterji podającej, przez przedłużenia *i* i *e*, po przewodniku na stację odbiorczą, przez przedłużenie *O* do podkowy, a następnie w ziemi, z powrotem na stację podającą i tam około podkowy do bieguna *odp.* Ponieważ w tym przebiegu jedna bateria zasila obie podkowy, przeto strumień bywa za słabym dla receptora stacji odbiorczej; dla usunięcia tej niedogodności, receptor łączy się z baterją tej stacji za pomocą przenoszki (relais); receptor nie jest zasilanym baterją liniową, lecz miejscową, a zadaniem pierwszej jest ustanowienie tego połączenia za pomocą przenoszki. Składa się ona z podkowy owiniętej drutem przewodnim, której kotwica jest częścią łatwo ruchomego drążka, łączącego się jednym końcem z drutem biegunowym baterji miejscowej, a drugim — ze sztyftem szrubowym będącym w pobliżu. Strumień liniowy, osłabiony niedostatecznym odosobnieniem przewodnika, ma jeszcze dosyć siły, aby przyciągnąć drążek i sprowadzić zetknięcie jego końca ze sztyftem; wskutek tego strumień miejscowy, w przewodnictwo którego wprowadzony jest receptor, zostaje zamkniętym. W *polaryzacyjnym telegrafie pisaćym Siemens'a i Halske'go* przenoszka jest zbyteczna. Podkowa w nim stoi na biegunie północnym magnesu stalowego, mającego formę platy zgiętej prostokątnie, a drążek pisaćcy przechodzi przez jego południowy biegun i przez oba bieguny podkowy. Ponieważ te ostatnie stają się przez wpływ trwałymi biegunami północnymi, ponieważ drążek pisaćcy posiada w pobliżu trwałe bieguny południowe, a nadto oba bieguny północne są naprzemian znoszone i wzmacniane, wskutek zamknięcia strumienia, przeto drążek pisaćcy, między niemi, bez sprężyny, wchodzi w ruchy zwrotne, wystarczające na przyciskanie sztyfta, z przyczyną wzajemnego działania magnetyzmu trwałego i el. północno-magnetyzmu na biegun południowy drążka. Telegrafy pisaćce mają konstrukcję bardzo prostą i dają 80—100 znaków na minutę, lecz wymagają wprawy w szybkim dawaniu znaków i w czytaniu. Bez tej wprawy obejść się można w telegrafach drukowych.

4. *Telegraf drukowy Hughes'a* (Fig. 46) składa się z mechanizmu klawiszowego z literami, jako manipulatora, połączonego w jedną całość z bardzo złożonym receptorem, ustawionym tak samo na stacji odbiorczej, jak na stacji podającej, i drukującym depesze na obu stacjach. Receptor jest poruszany za pomocą ciężarka przywieszzonego do łańcucha *x*; ciężarek ten obraca naprzód osł koła łańcuchowego *T* i koło *M*, które za pośrednictwem małych ząbów i wielkich kół, wprawia w coraz szybszy obrót 2-gą, 3-cią, 4-tą i 5-tą osł tak, że osł 4-ta czyli osł koła czcionkowego wykonywa więcej jak 100, a 5-ta osł palczasta

bb' więcej jak 700 obrotów na minutę. Ta ostatnia oś, opatrzona 4-ma palcami, składa się z 2-ch wałów: tylnego b₁, wprawionego w szybki ruch za pomocą koła N, po nakręceniu mechanizmu zegarowego, i przedniego b', który przy zamkniętym strumieniu, łączy się z tylnym za pomocą mechanizmu wprowadzającego ng i przyjmuje udział w szybkim jego obrocie; w czasie tego obrotu palec przodowy podchwytuje widelki i podnosi z nimi na chwilę koło drukujące c z paskiem papieru, przyciskając je do koła czcionkowego a, mającego na swych 26 zębach litery alfabetu i pole białe. Oś tego koła czyli oś 4-a koła czcionkowego składa się również z 2-ch części: tylna, utrzymująca koło N, jest obracana mechanizmem zegarowym; przednia, na której spoczywa koło czcionkowe a, łączy się

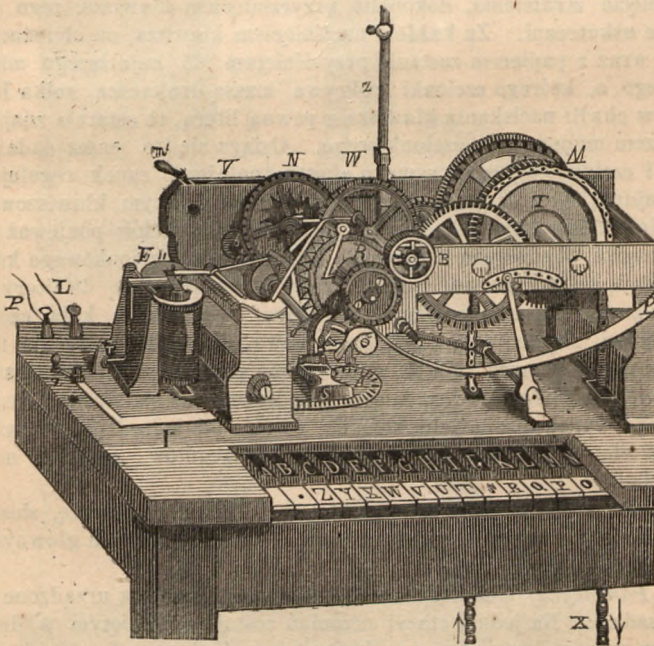


Fig. 46.

z tylną za pośrednictwem mechanizmu wprowadzającego, uwolnionego od palca O, i zaczyna się obracać dopiero przy rozpoczęciu telegrafowania. Tylna część osi czcionkowej wprawia w obrót sankową oś pionową, za pomocą dwóch kół stożkowych, równych sobie; najniższa część osi sankowej obraca sanki S na stałe osadzonym krążku sztyftowym A, z szybkością równą prędkości obrotu koła czcionkowego a. Krążek sztyftowy ma 26 otworów na obwodzie; przez każdy z nich może wchodzić sztyft i podnosić górną część sanek S. Odbywa się to za pomocą klawiszów; każdy klawisz, naciśnięty przez telegrafistę, ugniata drażek, którego punkt podpory jest połączony z dod. biegunem baterji i podnosi sanki za pośrednictwem sztyfta, wskutek czego strumień nie idzie już, jak przedtem, do

dolnej części osi sankowej, a przez nią do ziemi, lecz wchodzi posankach na górną część tej osi, odosobnionej od dolnej patką z kości słoniowej. Z osi przechodzi strumień na elektromagnesy E; te osadzone są na magnesach stalowych, są więc magnesami trwałymi; przyciągają one kotwicę n, wskutek czego drążek ng pozostaje nietkniętym. W czasie przebiegu strumienia tracą one swój magnetyzm, kotwica n, jako wolna, zostaje szybko porwana w górę przez sprężynę odrywającą r, co powoduje ruch drugiego końca g drążka ku dołowi. Ten ruch dokonywa połączenia przedniej części osi palczastej z tylną, za pomocą mechanizmu wprowadzającego; oś w ten sposób złączona wykonywa szybki obrót, i za pośrednictwem widełek, rzuca koło drukujące c, o koło czcionkowe, lecz pozbywa się zaraz tego połączenia, działaniem takiegoż mechanizmu, do chwili, w której nowe zamknięcie strumienia, dokonane przyciśnięciem klawisza, tego połączenia znowuż nie skuteczni. Za każdym naciśnięciem klawisza, na obu stacyach, koło drukujące wraz z papierem zostanie przyciśniętem do najniższego miejsca koła czcionkowego a, którego czcionki pokrywa masą drukarską rolka B. Chodzi o to, aby w chwili naciskania klawisza z pewną literą, ta ostatnia znajdowała się na najniższym miejscu koła czcionkowego. Osiąga się to przez nadanie osiom: sankowej i czcionkowej tegoż samego obrotu; położenie sanek reguluje się tak, że one znajdują się nad otworem sztyfta, odpowiadającym klawiszowi „białe,” gdy na kole czcionkowym pole „białe” jest zwrócone nadół; ponieważ zaś liczba otworów krążka sztyftowego odpowiada liczbie zębów czcionkowego koła, przeto sanki znajdują się zawsze nad tym otworem odnoszącym się do litery, która na kole czcionkowym zajmuje położenie najniższe. Ustawienie koła czcionkowego na polu białem, złączenie go z osią czcionkową, poprawka położenia tegoż koła, odbywająca się za pomocą koła R, przesuwanie papieru po wydrukowaniu litery, odbywają się za pośrednictwem innych przedłużeń osi palczastej, mechanizmów drążkowych i wprowadzających, których, równie jak jednakiemu ustawianiu przyrządów na obu stacyach i innych drobnych szczegółów, podać tu nie jesteśmy w możności.

Telegraf drukowy może odbijać 100 — 200 liter na minutę, skoro przewodnik nie jest zbyt długim; używanym jest już na wielu liniach głównych i coraz bardziej rozpowszechnia się.

5. *Pantelegraf Caselli'ego*. Telegrafy chemiczne są urządzone na następującej zasadzie: Na jednej stacyi strumień zostaje zamkniętym w drucie przewodnim, za pomocą klucza, na czas krótszy lub dłuższy. Drut przewodni kończy się na drugiej stacyi sztyftem, dotykającym papieru napojonego cieczą przewodnią i ciałem rozkładalnym; strumień el. przechodzi zatem przez papier na przewodnią podkładkę, a z niej do ziemi; chemiczny rozkład ciała jest przyczyną barwnego śladu, będącego punktem lub kreską, stosownie do krótszego lub dłuższego czasu, w ciągu którego strumień pozostawał zamkniętym. Myśl ta zastosowana do receptora Morse'a, została przeprowadzoną w telegrafie chemicznym Gintl'a, obchodzącym się bez przenoszki, która wymaga częstych regulowań i osłabia działanie. Ciałem rozkładowym u Gintl'a jest cyanek potassu z kwasem solnym i solą kuchenną; żelazo sztyfta wytwarza sól niebieską; używa się także jodek potassu z krochmalem. W telegrafie kopującym Bakewell'a, papier stosownie przyrządzony jest rozciągnięty na walcu, poruszonym za pomocą mechanizmu zegarowego; walec obraca pobliską szrubę, równoległą do niego, za

pomocą zębatego koła; na szrubie jest osadzona mutra opatrzona sztyftem, mogącym ślizgać się po papierze i zakreslającym w czasie ruchu bardzo blizkie jedna drugiej spiralne; miejsca tych spiralnych, podczas zamkniętego strumienia, zabarwiają się wskutek działania chemicznego. Zamknięcie odbywa się za pomocą takiego samego manipulatora na drugiej stacyi, którego walec jest pokryty

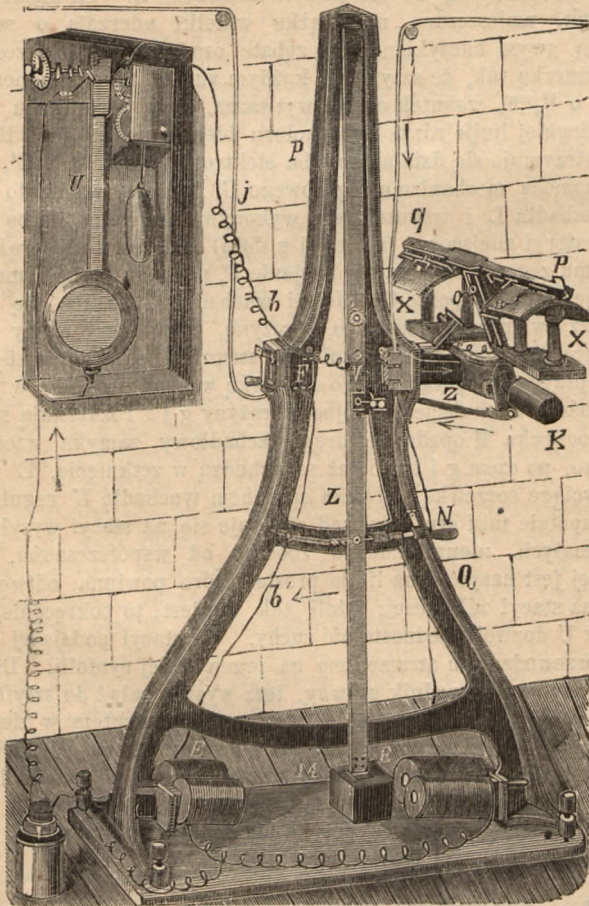


Fig. 47.

papierem przewodnim; depesza wypisuje się na nim nieprzewodzącym atramentem; strumień więc jest najczęściej zamkniętym; spiralne na drugiej stacyi są całe niebieskie, z wyjątkiem miejsc, odpowiadających na pierwszej stacyi zetknięciom sztyfta z literami depeszy; ta ostatnia zatem wychodzi na stacyi odbiorczej biała na niebieskiem. Przyrząd ten nie został rozpowszechnionym z przyczyny nie-

możności ujednostajnienia biegu dwóch mechanizmów zegarowych. Zadanie to rozwiązaniem zostało w pantelegrafie Caselli'ego (Fig. 47). Na powierzchni walca nieruchomej x , na stacyi odbiorczej, jest rozciągnięty papier napojony solą ługową, po którym posuwa się sztyft w kierunku pg , podtrzymywany sztuczką pg ; sztuczka ta wraz ze swą ramą jest obracaną w obie strony na powierzchni walca, za pomocą drążka umieszczonego u dołu, drążek zaś ostrzymuje ruch od 2^m długiego wachadła L , za pośrednictwem drążka Z . Za każdym przejściem tam i napowrót, umieszczone na drążku widełki uderzają o sztyfty graniczne, chwytają swym haczykiem koło zębate osadzone na sztuczce i obracają je razem ze sztuczką tak, że sztyft po każdym ruchu tam i napowrót, zostaje przesuniętym o $\frac{1}{8}$ mm, wskutek czego wytwarza, przy strumieniu zamkniętym, blizkie jedna drugiej linije równoległe koloru błękitu pruskiego. Ruch wielkiego wachadła otrzymuje się działaniem obu elektromagnesów E i E' , będąc regulowanym za pomocą mechanizmu zegarowego U , którego wachadło jest 4 razy krótsze od wachadła L i wskutek tego wykonywa podwójną liczbę wachnięć.— Strumień el, baterji miejscowej (po lewej u dołu) idzie po 2-ch sprężynach g i i tego mechanizmu zegarowego, na rozdwojenie F , podpory P , któremu odpowiada także rozdwojenie na podporze Q . Jeżeli wachadło L zwraca się na lewo, to rolka V doń przytwierdzona uderza o sprężynę, która łączy wtedy 2 oddzielone od siebie miejsca przewodnictwa strumienia; strumień teraz udaje się do E' , magnesuje go i przyciąga skutkiem tego soczewkę wachadłową M ; w tejże chwili wachadło U kończy wachnięcie podwójne, sprężyny g i i rozdzielają się, strumień się otwiera i soczewka M opada; jej drąg wachadłowy zamyka wtedy strumień dla E na prawo, po czym g i i znowu przychodzą w zetknięcie, E staje się magnesem i przyciąga soczewkę. Takim sposobem wachadło U reguluje działanie telegrafu. Zupełnie taki sam przyrząd znajduje się na stacyi wysyłającej. Dla rozpoznania małych, nieuniknionych zboczeń od współczesności, na papierze stacyi podającej jest narysowana linija prosta, która powinna odtworzyć się również prostą na stacyi odbiorczej; jeżeli tak nie jest, to pokręcenie szrubą wachadłową przy U dozwoli ujednostajnić ruchy. Na stacyi podającej depesza wypisuje się nieprzewodzącym atramentem na przewodniej cynfolii. Drut biegunowy dodatny służy za przewodnik główny, lecz wysła gałąź do sztyfta, gdy tymczasem powierzchnia walca jest w połączeniu z odjem. drutem w ziemi. Dopóki sztyft dotyka cyny, dotąd strumień dod. idzie po sztyfcie od odj. druta w ziemi; lecz gdy sztyft dotknie atramentu, wtedy przepływa nie po gałęzi, lecz po przewodnictwie głównem na stacyę odbiorczą i tworzy na papierze ślad niebieski dotąd, dopóki sztyft stacyi podającej dotyka atramentu; każdy zatem rysunek zostaje wiernie odwzorowanym niebieskimi śladami.

6. *Telegraf zaatlantyki.* Ponieważ każde zamknięcie strumienia wprowadza w drut przewodni pewną ilość el., która na drugim końcu druta musi spłynąć do ziemi, ponieważ przy każdym otwarciu strumienia, taż el. potrzebuje pewnego czasu na zobojętnienie, przez całkowity odpływ do ziemi, i nakoniec, ponieważ dopiero po dokonaniem zobojętnienia nowy znak telegraficzny jest możliwym, przeto, przy bardzo długiem przewodnictwie, drugi znak telegraficzny nie może następować bezpośrednio po pierwszym; musi więc upływać między znakami pewien czas, tem dłuższy, im dłuższym jest drut przewodni i im więcej siły wy-

magają pojedyncze znaki. Z tej przyczyny telegraf drukowy Hughes'a daje, przy długich przewodnikach, tylko 30 — 100 znaków, a przy krótszych 100—200. Jeżeli drut przewodni jest przeprowadzony w ziemi lub przez morze, to el. jego doznaje jeszcze wpływów otoczenia; drut wtedy musi być pokryty guttaperką odosabiającą, a ta znowu, dla większej trwałości, pokryciem drucianem. Z wielkiem staraniem przyrządzono drut telegrafu atlantyckiego w 1865 r. Aby zerwanie się pojedynczego druta uczynić nieszkodliwym, siedem drutów miedzianych skrecono w jedną linę. W celu pozbycia się małych pęcherzyków powietrza między powłoką guttaperczaną a liną, ta ostatnia została wpiern napojoną mieszaniną guttaperki, smoły drzewnej i żywicy (Chatteron Compound); postępowanie to było powtarzaniem przy wyciskaniu każdego z 4-ch pokryć guttaperczanych. Pokrycie zewnętrzne zostało pokryte przedzą, otoczoną 10-ciu drutami żelaznymi, z których każdy był opleciony 5-ciu postronkami z konopi manilskich, dla zabezpieczenia żelaza od rdzewienia i dla zmniejszenia gatunkowego ciężaru przewodnika. Żelazo miało twardość stali i ciągłość kutego; przewodnik został wypróbowanym w każdej swej części pod względem przewodnictwa, odosobnienia i trwałości. W takiej linie el. dod. przewodniego miedzianego druta działa przez wpływ na żelazo, odpycha jego el. dod., a przyciąga odj. w guttaperkę, i doznaje od tej el. odj. pewnego przyciągania, a więc pewnego opóźnienia, wskutek czego na odległych miejscach przewodnictwo później następuje i znika. Działanie to jest tem silniejsze, im silniejszą jest el.; do długich zatem podwodnych przewodników używają się tylko strumienie słabe; z tej też przyczyny ani elektromagnesy, ani działania chemiczne nie mogą znaleźć zastosowania w telegrafach morskich; receptorem w tego rodzaju przyrządach jest *reflexgalwanometr* Thomson'a, zbudowany na zasadzie odczytań zwierciadłowych Gauss'a. Sztabka magesowa nie całe 2^c długa, a na 3^{mm} szeroka i gruba podtrzymuje małe zwierciadełko, z którym nie waży razem 1 gr.; sztabka ta jest otoczona zwojem drutu strumienia i zamknięta w oprawie, w której wisi na nitce kokonu. W odległości 1^m stoi szeroki ciemny ekran, a za nim lampa, z której wiązka promieni światła, przez szparę ekranu, poniżej zwierciadełka, pada na to ostatnie, uległszy poprzednio skoncentrowaniu w soczewce szklanej; wiązka ta zostaje odbita od zwierciadełka, na skalę z kości słoniowej, umieszczoną powyżej ekranu, tworząc świecąca linię, *skazówkę świetlną*. Odchylenia tej skazówki na prawo i na lewo od punktu zera są zasadniczymi znakami, z których składa się alfabet telegrafu zaatlantyckiego.

7. *Sygnaly elektryczne.* *Dzwonek sygnalowy* o pojedynczem uderzeniu składa się z owiniętej podkowy, przyciągającej, za zamknięciem strumienia, swą sprężynową kotwicę, a z nią młoteczek, który wskutek tego uderza w dzwonek, a przy strumieniu otwartym, wraca do położenia poprzedniego. Zamykanie odbywa się przez przyciśnięcie guzika, skutkiem czego sprężysta część koła strumienia zostaje przyciśniętą do drugiej takiej części, oddalającej się od pierwszej za ustaniem naciskania. Ponieważ naciskanie to można powtarzać często, przeto przyrząd ten dozwala dzwonić; można jednak urządzić dzwonki samodzielne, na zasadzie młotka Wagner'a. Drut biegunowy dod. łączy się ze sprężyną dotykającą również sprężynowej kotwicy z młoteczkem, który swą siłą sprężystą odstaje cokolwiek od podkowy i od dzwónka; strumień więc przechodzi po sprężynie

i kotwicy na podkowę, przy szrubie ściskającej odjemnej. Wskutek tego kotwica zostaje przyciągniętą i młoteczek uderza o dzwonek, lecz współcześnie następuje zetknięcie się ze sprężyną, strumień zostaje zniesionym, a kotwica wraca znowuż do poprzedniego położenia i strumień się zamyka. Dzwonki el. znalazły użyteczne zastosowanie w domach i hotelach. Ważnemi są także mechanizmy sygnałowe używane na kolejach żelaznych; najbardziej upowszechniony składa się z wałka obracanego za pomocą ciężaru i regulowanego wychwytem, a obracającego krąg z 12-ma nacięciami na obwodzie. Gdy jedno z ramion drąga zostanie uwolnionem od młotka, drugie ramię wpada w nacięcie i tamuje ruch; lecz jeżeli młotek zostanie oswobodzonym wskutek przyciągania podkowy przy zamknięciu strumienia, to padnie na pierwsze ramię drąga, drugie ramię wyjdzie z nacięcia, a walec obrotem swoim wprawi w ruch młotek sygnałowy.

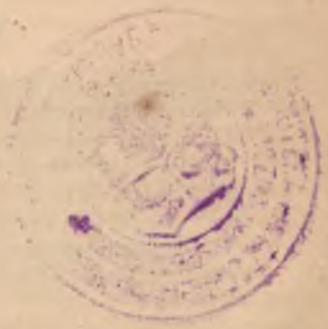
8. *Zegar elektryczny* (Stejnheil 1839). Najprostsza konstrukcja podana przez Siemens'a i Halske'go składa się z podkowy okrążonej drutem strumienia, stającej się magnetyczną przy strumieniu zamkniętym; przyciąga ona wtedy kotwicę opatrzoną na przedłużeniu hakiem prostokątnym, i wraca za otwarciem strumienia do położenia pierwotnego. Hak chwyta koło zębate o 30-tu zębach, obraca je przy pierwszym ruchu o 1 ząb, a przy drugim przechodzi na ząb następujący. Jeżeli więc strumień w jednej godzinie zostanie zamkniętym i otwartym 60 razy, to koło wraz ze skazówką obróci się jeden raz, skazówka zatem wskazywać będzie minuty. Zamykanie odbywa się za pomocą zwyczajnego zegaru wachadłowego; na osi jego minutowego koła jest osadzone kółko z kości słoniowej, które za pośrednictwem przedłużenia, przyciska raz w minucie ramię drążka, do którego punktu podpory dochodzi jeden drut biegunowy; skutkiem tego ciśnienia podnosi się drugie ramię drążka i wchodzi w połączenie z przewodnictwem strumienia, który zostaje zamkniętym; gdy przedłużenie jest nad drążkiem, ten powraca do położenia pierwotnego i powoduje otwarcie strumienia.

9. *Chronoskop elektryczny* (Hipp 1850) mierzy bardzo krótkie czasy, np. czas spadania kuli z małej wysokości, czas, w którym kula wyrzucona z pocisku, przebiega 1^m i t. p. Składa się on z mechanizmu zegarowego, bardzo delikatnego i dokładnego, o 2-ch cyferblatach wskazujących setne i tysięczne części sekundy, i które za pomocą elektromagnesu są wyprowadzane z połączenia z mechanizmem zegarowym, skoro strumień jego zostanie zamkniętym. Jeżeli strumień będzie otwartym na czas krótki, skazówki zaczną się posuwać i z drogi przez nie przebytej ocenić można czas otwarcia strumienia. Dajmy, że trzeba zmierzyć czas spadku. Drut okrąży naprzód podkowę zegaru, przechodzi następnie do rodzaju szubienicy na 2-ch sprężynach, między którymi umieszcza się kula spadku, a następnie do łańcucha; od 2-ch końcowych części drutów idą gałęzie do 2-ch części deski pod szubienicą, podtrzymujące dwa paski metalowe, prawie dotykające się. Strumień u góry przy kuli jest zamknięty, a niezamknięty na desce podwójnej; lecz skoro tylko kula spadać zacznie, strumień otworzy się u góry i zostanie zamkniętym dopiero wtedy, gdy kula, uderzając o deskę, sprowadzi zetknięcie się 2-ch pasków metalowych. Czas otwarcia strumienia, odczytany na cyferblatach, jest czasem spadku. Zasada ta znalazła także zastosowanie w fonautografach.

10. *Telephon* (Filip Reis 1860) jest zajmującym początkiem rozwiązania zadania o telegrafowaniu tonów. Ton przeprowadza się za pomocą mundsztuka do skrzyneczki drewnianej, zamkniętej u góry błoną, do obu stron której są przymocowane druty biegunowe na szrubach ściskających. Od środka błony idzie cienki paseczek platynowy do jednej szruby, a do drugiej—ramię kąta platynowego, którego wierzchołek opatrzony jest sztyftem, prawie dotykającym platynowego paseczka, nad środkiem błony. Ponieważ ton wprawia błonę w drgania, przeto każde dosyć silne jej drgnięcie podniesie pasek i dotknie nim sztyfta; zatem przy dosyć silnych drganiach, powstawać będzie tyle przerw strumienia, ile ton zawiera drgań. Jeżeli więc w drut biegunowy miejsca oddalonego wprowadzoną zostanie spiralna ze sztabką metalową, na podstawie oddźwięczającej, to powyżej opisane przerywanie strumienia zreprodukuje ton.

#18074.

K O N I E C.



TREŚĆ TOMU III^{GO}.

DRUGA CZĘŚĆ FIZYKI.

NAUKA O RUCHU CZĄSTECZEK CZYLI FIZYKA WŁAŚCIWA.

Oddział siódmy.

Nauka o ciepłe.

	<i>strona.</i>
1. Określenia	1
2. Powstawanie ciepła czyli źródła ciepła	6
3. Pierwsze główne działanie ciepła. Rozszerzanie	16
4. Drugie główne działanie ciepła. Zmiana stanu skupienia ciał	37
5. Trzecie główne działanie ciepła. Ogrzewanie	94
6. Rozchodzenie się ciepła	107

Oddział ósmy.

Magnetyzm.

Magnetyzm	125
---------------------	-----

Oddział dziewiąty.

Elektryczność.

1. Elektryczność przez tarcie	147
2. Strumień elektryczny; Galwanizm.	
1) Powstawanie strumienia elektrycznego	178
2) Siła strumienia elektrycznego	190
3) Działania strumienia elektrycznego.	
a) W kole strumienia	213
4) Działania strumienia elektrycznego.	
b) W odległości	229

Biblioteka im. Hieronima
Łopacińskiego w Lublinie

323984

T.3



1000084276