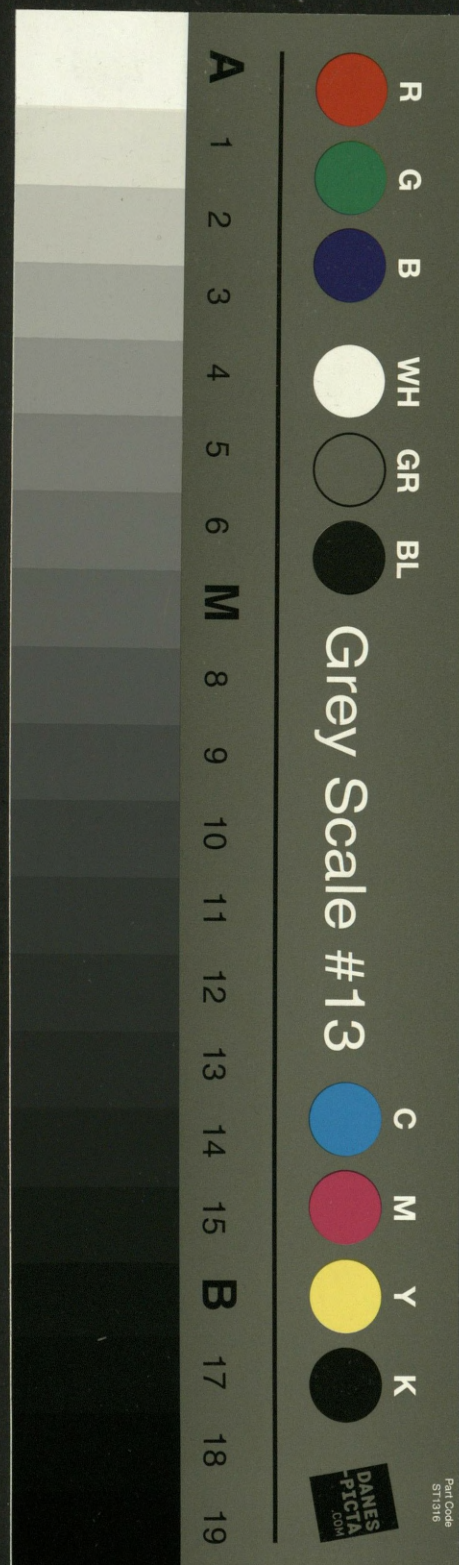
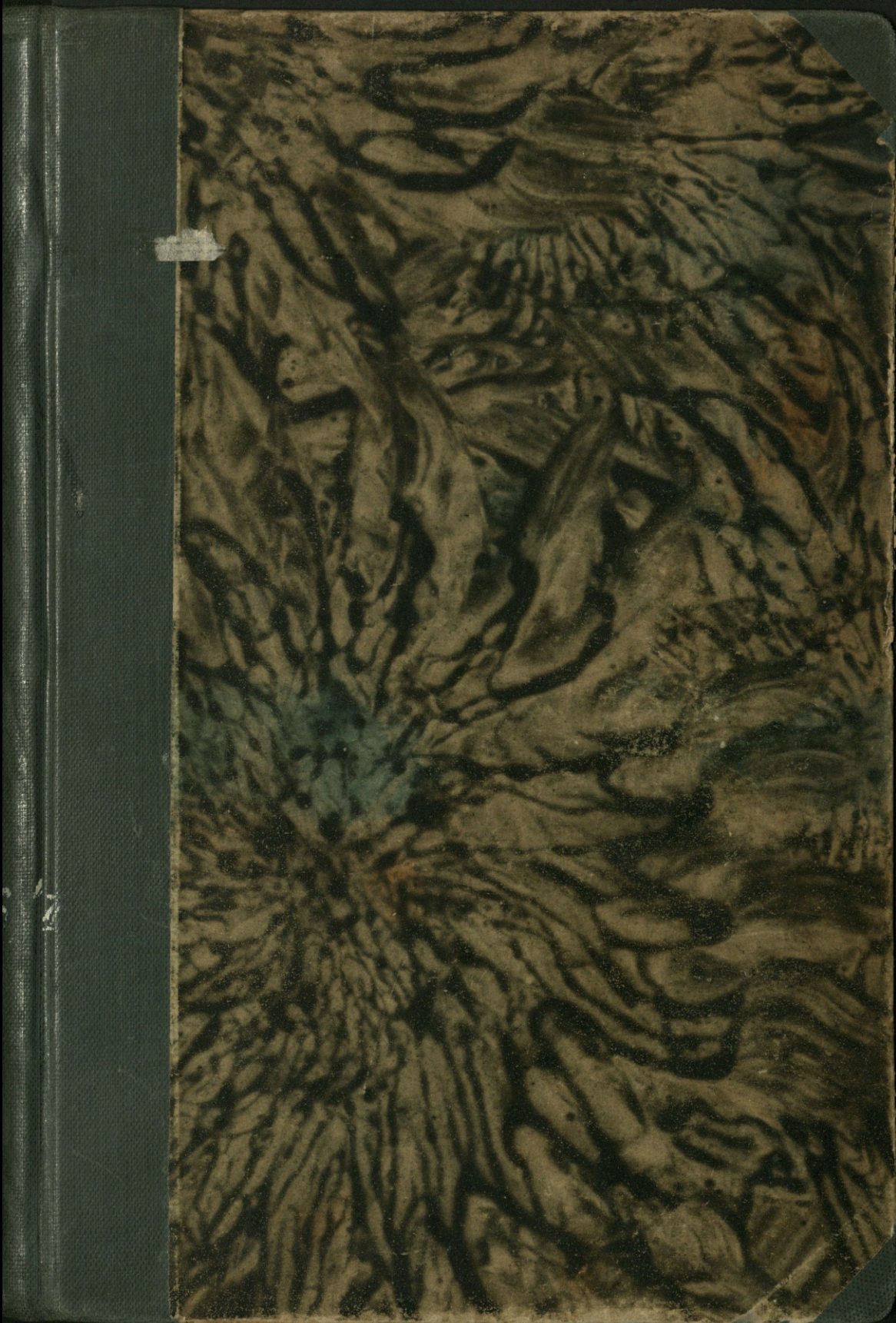
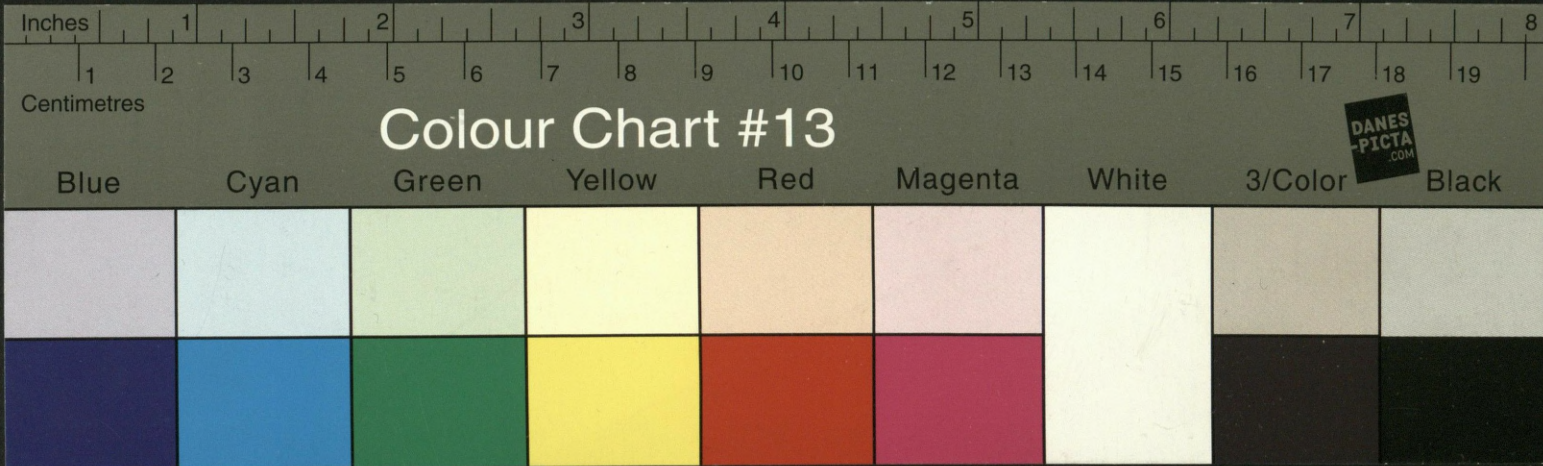




96 1/2

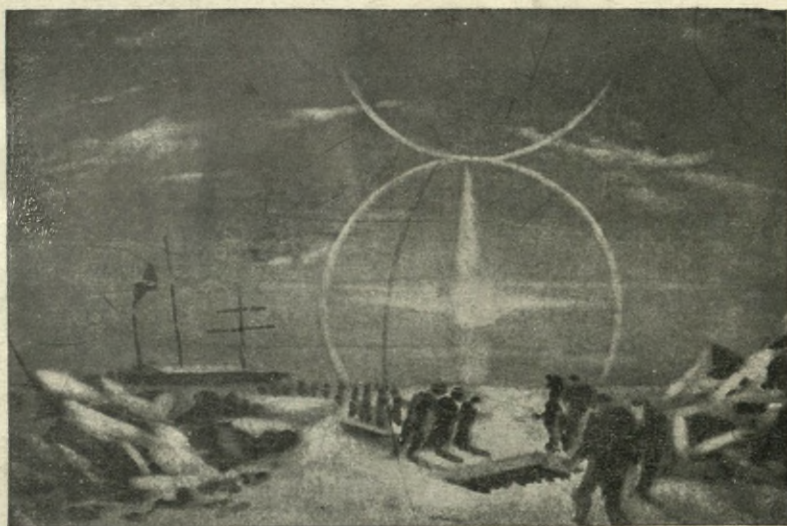


BIBLIOTEKA WIEDZY TOM VI

SIR WILLIAM BRAGG

TAJEMNICE ATOMU

(O ISTOCIE MATERJI)



TRZASKA, EVERT i MICHALSKI S. A. WARSZAWA

TAJEMNICE ATOMU

(O ISTOCIE MATERJI)

BIBLIOTEKA WIEDZY

TOM I

CLARENCE AUGUST CHANT

Profesor Astrofizyki Uniwersytetu w Toronto, Kanada

CUDA WSZECHŚWIATA

łatwy wstęp do poznania nieba, ze 132 ilustracjami, z oryginału angielskiego przełożył Inż. Zygmunt Chełmoński.

TOM II

LASSAR-COHN

CHEMJA W ŻYCIU CODZIENNEM

z 28 rysunkami, z wydania dwunastego, opracowanego przez Dra M. Mechlinga, przełożył Dr. Mieczysław Dominikiewicz

TOM III

SIR JAMES JEANS

M. A., D. Sc., Sc.D., LL.D., F. R. S.

NOWY ŚWIAT FIZYKI

przełożył z oryginału Dr. A. Dmochowski

TOM IV

PAWEŁ DE KRUIF

ŁOWCY MIKROBÓW

z 18 ilustracjami przełożył St. Miklaszewski

TOM V

WILLIAM BEEBE, Sc. D.

Dyrektor Departamentu Badań Podzwrotnikowych Tow. Zoologicznego w New York'u

W GŁĘBINACH OCEANU

ŻYCIE WÓD POŁUDNIOWYCH

z 51 ilustracjami

przełożył z oryginału Inż. Zygmunt Chełmoński

TOM VI

SIR WILLIAM BRAGG

DYR. INSTYTUTU KRÓLEWSKIEGO

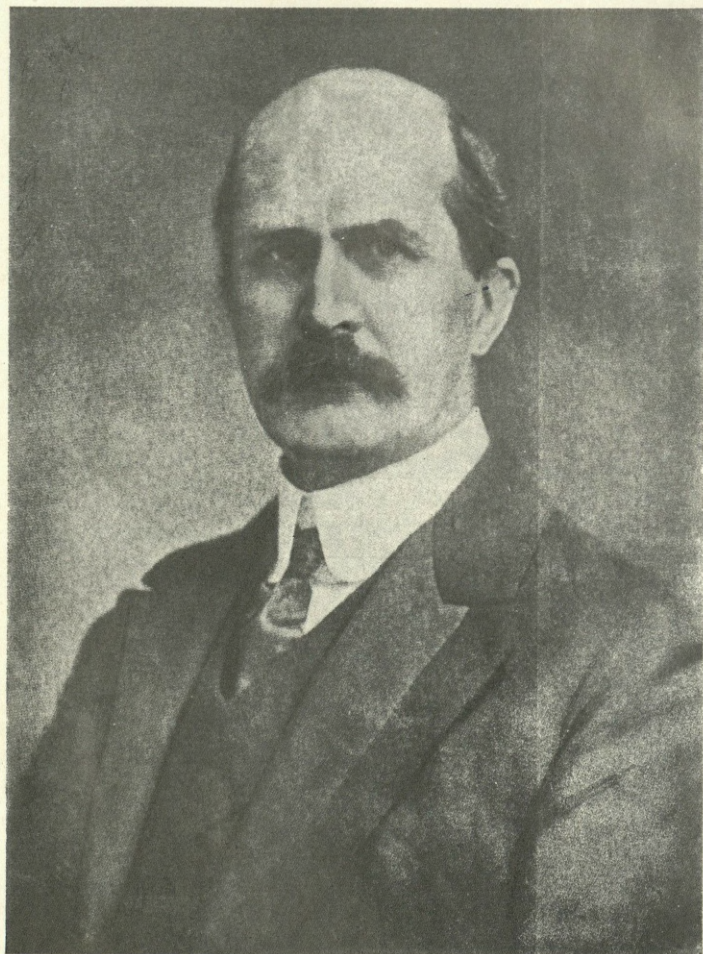
TAJEMNICE ATOMU

(O ISTOCIE MATERJI)

z 57 figurami i 32 tablicami zawierającymi
74 rycin przełożył Dr. fil. Karol Szlenkier

Dalsze tomy w druku





Sir William Bragg

25/3
BIBLIOTEKA WIEDZY TOM VI

SIR WILLIAM BRAGG

DYR. INSTYTUTU KRÓLEWSKIEGO

TAJEMNICE ATOMU

(O ISTOCIE MATERJI)

z 57 figurami i 32 tablicami zawierającymi
74 rycin

PRZEŁOŻYŁ

DR. FIL. KAROL SZLENKIER

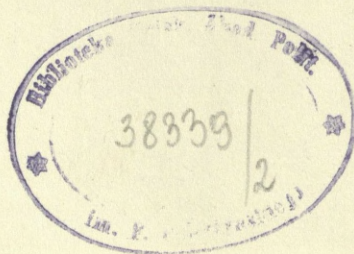
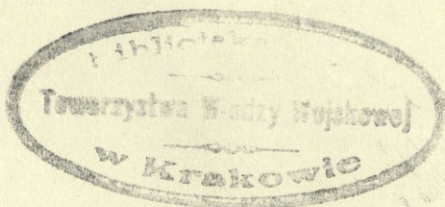


TRZASKA, EVERT i MICHAŁSKI S. A.
WARSZAWA, KRAKOWSKIE PRZEDMIEŚCIE 13
GMACH HOTELU EUROPEJSKIEGO

TYTUŁ ORYGINAŁU:
CONCERNING THE NATURE OF THINGS

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

9596/11



DRUKARNIA NARODOWA W KRAKOWIE

PRZEDMOWA

Dziełko niniejsze obejmuje nieco rozszerzoną treść wykładów, wygłoszonych w Instytucie Królewskim, w których starałem się opisać pewne znamienne cechy odkryć, dokonanych w ostatnich czasach w dziedzinie nauk fizycznych. Ujawnione w tych odkryciach fakty zainteresować mogą szerszy ogół, gdyż wykazują one piękny porządek w podstawowym układzie Przyrody, a jednocześnie mają one doniosłe znaczenie dla dalszego rozwoju wiedzy, gdyż wyjaśniły one wiele starych zagadnień i z pewnością dopomogą do wyjaśnienia wielu zagadnień nowych.

Zdawałem sobie sprawę z dwóch specjalnych trudności. Pierwszą jest trudność zdania sobie sprawy z małości skali, w jakiej muszą być przedstawione działania i własności atomów; trudność ta jednak wynika jedynie z braku oswajania się i po pewnym czasie da się usunąć. Drugą trudnością jest trudność wyobrażenia sobie układów w przestrzeni. Niektórzy mniemają, że trudność ta jest nie do zwalczenia, gdyż spowodowana jest brakiem specjalnych uzdolnień, które są tylko udziałem niewielu. Przekonany jestem, że są oni w błędzie: takie same trudności odczuwalibyśmy w wyobrażaniu sobie zjawisk w dwóch wymiarach, jak w trzech, gdyby nie łatwość, z jaką możemy odtwarzać dwuwymiarowe nasze wyobrażenia przy pomocy ołówka i papieru. Jeśli jednak ktoś ma możliwość

wziąć do ręki model i przyjrzeć mu się dokładnie ze wszystkich stron, przyswoić sobie może związane z modelem wyobrażenie w czasie, bezporównania krótszym od czasu, jakiego wymaga przeczytanie opisu tegoż wyobrażenia, a jeszcze krótszym od czasu, jaki zużyć potrzeba, aby opis ten przygotować i napisać. Być może, że niektórzy z czytelników tej książki zainteresują się nią tak dalece, że zechcą sporządzić modele tych paru budów kryształów, w niej wspomnianych, i zechcą nawet w podobny sposób uprzystępnąć sobie budowy innych kryształów, opisane w obszerniejszych dziełach lub w pracach źródłowych.

Na końcu książki znajduje się krótki przypisek, dotyczący sporządzania modeli.

A T O M Y, Z KTÓRYCH ZBUDOWANA JEST MATERJA

Przed dwoma mniej więcej tysiącami lat sławny poeta łaciński Lukrecjusz napisał swą rozprawę *De natura rerum*—o istocie materji.

Wyraził on pogląd, że i powietrze i ziemia i woda i wszystko inne składa się z niezliczonych małych ciał czy drobin, zbyt małych samych przez się, aby je można było dostrzec, a znajdujących się w szybkim ruchu.

Starał się on wykazać, że te trzy przypuszczenia są wystarczającemi, aby wytłumaczyć własności ciał materialnych. Nie on sam był twórcą tych idei, którym dał wyraz w swym poemacie; był on pisarzem, pragnącym wytłumaczyć poglądy pewnej szkoły, o których mniemał, że odpowiadały prawdzie. Istniał wówczas współzawodniczący z tamtym systemat poglądów, według którego żadne jak najdokładniejsze badanie ciał materialnych nie mogłoby ujawnić jakiegokolwiek budowy: jeśliby np. wodę, znajdującą się w naczyniu, rozpylić na krople, a krople te na coraz to drobniejsze kropelki, najdrobniejsza cząstka we wszystkich swych własnościach niczemby się nie różniła od wody, pierwotnie zawartej w naczyniu. Natomiast według poglądu Lukrecjusza, gdybyśmy rozpylanie takie posunęli dostatecznie daleko, wkońcu dotarlibyśmy do indywidualnych drobin czyli atomów: słowo atom należy przytem pojmować w jego pierwotnem znaczeniu, t. j. czegoś, co nie da się pokrajać.

Zachodzi olbrzymia różnica między obydwoma poglądami. Według jednego, nic nie da się osiągnąć przez coraz to dokładniejsze rozpatrywanie budowy substancyj, gdyż, gdybyśmy się posunęli możliwie jak najdalej, nie natknęlibyśmy się na nic nowego. Według drugiego poglądu

istota ciał materjalnych takich, jakimi je znamy, zależna będzie od własności atomów, z których ciała te się składają, będzie więc rzeczą bardzo interesującą i doniosłą ustalenie, o ile to okaże się możliwem, czem są atomy. Okazuje się, że drugi pogląd jest daleko bliższym prawdy, aniżeli pierwszy; należy się za to wdzięczność tych wszystkich, którym drogie jest wnikanie w tajniki Przyrody.

Lukrecjusz nie miał jednak pojęcia o teorjach atomistycznych w ich obecnym stanie. Nie zdawał on sobie sprawy z tego, że atomy można podzielić na tyle różnych rodzajów i że wszystkie atomy jednego rodzaju są identyczne. Pogląd ten jest stosunkowo nowy: wyłuszczone on został z wielką jasnością przez Jana Daltona na początku dziewiętnastego stulecia. Umożliwił on wielkie postępy poczynione przez chemję w czasach nowoczesnych, jak również przez wszystkie inne nauki, w jakimkolwiek stopniu związane z chemją. Łatwo zdać sobie sprawę, dlaczego ten nowy pogląd o tyle uprościł ujmowanie wszelkich zagadnień. Mianowicie dlatego, że mamy do czynienia już tylko z ograniczoną ilością rodzajów, a nie z wielką ilością różnych drobin indywidualnych. Bylibyśmy doprowadzeni do rozpacz, gdybyśmy byli zmuszeni do badania mnóstwa różnych atomów w składzie kawałka miedzi np.; lecz, gdy stwierdzimy, że w kawałku czystej miedzi istnieje tylko jeden rodzaj atomów, a w całym świecie niewiele różnych rodzajów tychże, uczujemy pełnię zapału i nadziei w dążeniu naprzód do zbadania własności tych atomów i praw ich kojarzenia się wzajemnego. Oczywiście, bowiem na kojarzeniu się atomów między sobą polega ich doniosłość. Atomy dadzą się porównać do liter abecadła, które składać można w niezliczony sposób tak, aby tworzyły wyrazy. Tak też i atomy kojarzą się pomiędzy sobą równie różnorodnie, tworząc t. zw. cząsteczki. Możnaby nawet posunąć tę analogję nieco dalej i rzec, że kojarzenie się słów w zdania i okresy, mogące dać wyraz wszelkiego rodzaju pojęciom, podobne jest do łączenia się cząsteczek

wszelkiego rodzaju i we wszelkich stosunkach ilościowych, dzięki czemu powstają budowy ciał i różne materiały które mają nieskończoną różnorodność wyglądu i własności, a w których nawet przejawiać się może to, co nazywamy życiem.

Teorja atomistyczna Lukrecjusza nie zawierała zatem zasadniczego poglądu, niezbędnego dla dalszego postępu i rozwoju. Rozwiała się przeto, a samo pojęcie atomu zaczęto używać w sposób nader nieokreślony i niewłaściwy, jako odpowiadające litylko czemuś bardzo małemu: jak to np. spotkać można w niektórych sztukach Szekspira. W innem i bardzo różnem zastosowaniu teorji atomowej poglądy Lukrecjusza okazały się zadziwiająco owocnemi. Wyobrażał on sobie, że choroby są rozsiewane za pośrednictwem małych drob. W czasach Odrodzenia Fracastoro przejął się teorją atomistyczną zaraźliwości, czytając o niej w poemacie Lukrecjusza; następnie jednak tajemnica bakterjologii znowu została przesłonięta aż do jej ujawnienia nanowo przez Pasteur'a.¹

Przedstawmy sobie Przyrodę, jako budowniczego, kształtującego wszystko, co widzimy, z atomów o ograniczonej ilości rodzajów, zupełnie taksamo, jak budowniczy domu buduje go z tyłu a tyłu różnych rodzajów materiału — cegieł, dachówek, desek, szklanych szyb i t. p. Istnieje tylko około dziewięćdziesięciu rodzajów atomów, a z tych znaczna ilość tylko zrzadka spotyka się w budowie ciał. Jest rzeczą godną podziwu, że wszystkie ciała na ziemi i we wszechświecie o tyle, o ile tenże znamy, składają się z tak niewielu pierwiastków. Wszechświat jest tak przebogaty w swojej różnorodności, ziemia i wszystko, co się na niej znajduje i na niej rośnie, wody mórz, powietrze i chmury, wszystkie stworzenia żyjące, które ruszają się po ziemi, w morzu lub w powietrzu, ciała nasze i różne części naszych ciał, słońce, księżyc i gwiazdy, każdy po-

¹ Patrz „Spuścizna Rzymu“ (Oxford University Press) str. 270 — artykuł Dra Singera.

szczególny przedmiot składa się z tych niewielu rodzajów atomów. Tak, powiedziałby ktoś, jest to zrozumiałe: przecież, gdy budowniczemu dadzą cegły, wapno i belki żelazne, zbuduje on nieskończoną różnorodność budowli, pałaców, chat lub mostów, dlaczegoż Przyroda nie miałaby czynić czegoś podobnego? Należy jednak zważyć, że gdy budowniczy zabiera się do budowy, ma plan, którego sporządzenie kosztowało dużo myśli, i daje polecenia swoim robotnikom, którzy wykonać mają jego życzenia, i wtedy powstaje budowla. Widzimy go, obchodzącego plac budowy z planem w ręku. Lecz plany budowli, wykonywanych przez Przyrodę, zawarte są w samych atomach. Są one pełne cudów i tajemnic, gdyż z nich jedynie i z tego, co w sobie zawierają, urasta nieskończona różnorodność świata. W jaki sposób stały się one takimi skarbnicami, o to nie będziemy się teraz pytali. Stawiamy sobie natomiast pytanie, jak mamy sobie te atomy wyobrażać? Pytanie to stawiano od chwili, w której zaczęto sobie zdawać sprawę z niesłychanej doniosłości atomów, od przeszło stu lat. Czy mają one rozciągłość, kształt i inne cechy, posiadane przez ciała, z którymi jesteśmy oswojeni? Musimy te punkty bliżej rozpatrzeć.

Przedtem atoli uprzytomnijmy sobie, że w ciągu ostatnich mniejwięcej dwudziestu pięciu lat obdarzeni zostaliśmy, że tak powiem, nowemi oczami. Odkrycia promieniotwórczości i promieni Roentgena zmieniły całkowicie położenie, i to jest istotnym powodem wyboru przedmiotu tych wykładów. Możemy obecnie zrozumieć tyle rzeczy, które przedtem były dla nas mgliste, i widzimy nowy cudowny świat, otwierający się przed nami i czekający na zbadanie. Nie wydaje się rzeczą bardzo trudną dotarcie do niego i przechadzanie się po nim. W rzeczy samej nowe poznanie, jak wszystkie nagle objawienia prawdy, oświeśla grunt, po którym dotychczas stąpaliśmy, i czyni łatwemi te rzeczy, które przedtem były trudnemi. Prawda, że otwarte obecnie nowe drogi postępu prowadzą do świeżych trud-

ności, lecz na tem właśnie polega całe zainteresowanie i charakter dociekań naukowych. Spróbujemy uczynić pierwsze kroki w nowej krainie, abyśmy mogli przyswoić sobie choć cząstkę tych zdobyczy wiedzy, które już zostały osiągnięte i z coraz to większą szybkością osiągane są z dniem każdym.

Wracamy do naszych pytań, dotyczących atomów. Zanim nastąpił nowy okres, wybitnie ściśle odpowiedzi zostały już udzielone na niektóre z nich. W tem audytoryum Instytutu Królewskiego wygłosił Lord Kelvin kilka odczytów o własnościach atomów, a w szczególności o ich rozmiarach. Zapomocą kilku wysoce pomysłowych a pośrednich sposobów doszedł on do wniosków, które obecnie jesteśmy w stanie sprawdzić zapomocą dokładnych metod, i znajdujemy, że był on wybitnie bliskim prawdy. Było, oczywiście, rzeczą znacznie trudniejszą określenie wielkości jakiegoś danego atomu, aniżeli określenie względnej wielkości jednego atomu w stosunku do wielkości innego. I tak np. rozmiary atomów sodu i węgla mogły być z gruba porównane przez uwzględnienie odnośnych ciężarów równych objętości stałego metalu sodu i djamentu, który jest postacią czystego węgla. Sód jest lżejszym od wody, djament trzy i pół raza cięższym. Wiemy ze spostrzeżeń chemicznych, że poszczególny atom sodu jest raczej przeszło trzy razy cięższy od atomu węgla. Jeśli przypuścimy, że układ atomów jest równie szczelnym w obydwu wypadkach (w istocie, jak wiemy obecnie, jest tak tylko w przybliżeniu), musimy wyciągnąć wniosek, że atomy metalu sodu są o wiele większe od atomów węgla w djamencie, ponieważ, jakkolwiek indywidualnie cięższe, układają się w taki sposób, iż tworzą materiał lżejszy.

Trafna ocena wielkości istotnej jakiegokolwiek atomu jest sprawą znacznie trudniejszą, jednak wszystkie cztery sposoby rozumowania, jakich użył Kelvin, doprowadziły go do niemal tych samych wyników. „Atomy lub cząsteczki zwykłej materji posiadać muszą około $1/10,000.000$ albo

od 1/10,000.000 do 1/100,000.000 centymetra średnicy“. Nasze nowe metody mówią nam, że średnica atomu węgla w djamencie wynosi 1,54 stumiljonową część centymetra, a średnica atomu metalu sodu 4,50 stumiljonowych. Widzimy więc, że ocena Lorda Kelvina była zadziwiająco bliską prawdy, zwłaszcza, gdy się uwzględni nieściśle metody, jakie jedynie miał on do dyspozycji.

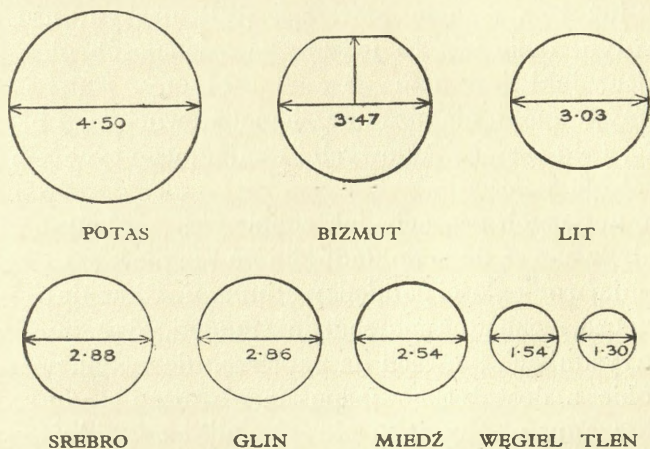
Na ryc. 1 uwidocznione są przekroje niektórych atomów w skali pięćdziesięciu milionów do jednego. Liczby wpisane dają w każdym wypadku odległość, w stumiljonowych częściach centymetra, między środkami dwóch sąsiednich atomów w czystej substancji. Np. odległość między dwoma atomami węgla w djamencie wynosi 1,54 stumiljonowych centymetra. Dla tlenu średnica została obliczona na podstawie budowy kryształów, w których skład wchodzi tlen. Jeśliby audytorjum Instytutu Królewskiego zostało powiększone w tym samym stosunku, jak atomy na ryc. 1, wysokość jego przewyższałaby odległość ziemi od księżyca. Musimy mieć jakieś porównanie, aby móc zdać sobie sprawę z niezwyklej małości omawianych przez nas przedmiotów. Jednocześnie pamiętać nam trzeba, że pomimo ich małości nie wolno ich lekceważyć, gdyż są one istotnymi składnikami budowy wszechświata, a rozmiary ich nie mają nic¹ wspólnego z ich doniosłością. Małość ich jednak tłumaczy dostatecznie łatwość, z jaką my wszyscy ich nie zauważamy, oraz trudność, jaką napotykamy przy ich rozpatrywaniu, gdy wreszcie zdamy sobie sprawę z ich znaczenia dla nas. Wartość nowych metod, o których zamierzamy mówić, polega na fakcie, że dzięki nim możemy operować atomami bez względu na ich małość.

Odpowiedzieliśmy już na pytanie co do wielkości atomów; gdy jednak pójdziemy dalej i zapytamy o ich kształt, nie doznamy równego powodzenia.

Chemik, którego wiedza zajmuje się bezpośrednio ko-

¹ Z piątkowego wieczornego odczytu w Instytucie Królewskim Wielkiej Brytanji, wygłoszonego 4 marca 1881 r.

jarzeniem się atomów, rzadko uczuwał potrzebę zastanawiania się nad ich kształtem i w wykresach swoich nie przypisuje im jakiegoś szczególnego kształtu. Nie znaczy to, aby kształty były bez znaczenia, lecz raczej, że stare metody nie mogły kształtów tych określić. Istnieje jednak jeden punkt widzenia, z którego i dla chemika kształt



Ryc. 1. Przekroje paru pospolitych atomów, w stumiljonowych centymetra.

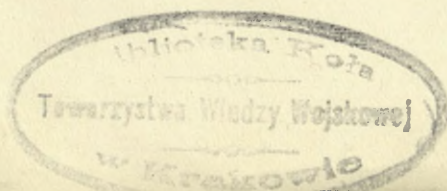
Co dotyczy bizmutu, patrz poniżej (str. 8) Tabl. I A.

atomu wydaje się rzeczą, godną pilnej uwagi. Atomy ułożone są w danym związku chemicznym w ten lub inny sposób, który jest miarodajny dla odnośnego skojarzenia. Jeśliby było można przyjrzyć się temu układowi i odrysować go, trzebaby było dokonać tego w perspektywie. Zwłaszcza w chemii organicznej okazuje się rzeczą konieczną wyobrażanie sobie takich układów atomów w przestrzeni. Nie wystarcza je przedstawiać w płaszczyźnie bez żadnej perspektywy; istotnie, jest oczywiście, że jakibądź płaski rysunek okaże się niedoskonałym w każdym obrazie chemicznym. Niestety, jesteśmy zmuszeni wykonywać rysunki nasze w płaszczyźnie; sporządzenie trwałych modeli

w przestrzeni jest kosztowne, podczas gdy papier i ołówek są tanie. Warto się zastanowić, jaką przeszkodę stanowi ta trudność techniczna w odpowiednim rozwoju bardzo doniosłego zagadnienia. Atoli, gdy, określając położenie atomu względem atomów sąsiednich, twierdzimy że, jeśli jeden z sąsiednich atomów leży w takim to kierunku, to inny leżeć musi w takim to innym kierunku, przypisujemy już tem samem pewien kształt naszym atomom; w każdym razie jest to jedyny narazie sposób określania kształtu, jaki jest nam obecnie dostępny. Dalej iść nie możemy, dopóki nie poznamy lepiej wewnętrznej budowy atomu, jego części składowych i wzajemnego tychże względem siebie położenia.

W nowszych pracach, jak zobaczymy, układy atomów rozpatrywane są dużo dokładniej i po raz pierwszy dokonano pomiaru odległości pomiędzy atomami. Okazuje się przytem rzeczą niezbędną sporządzanie modeli, gdyż, poprzestając na rysunkach płaskich na papierze, nie można przedstawić sobie z dostateczną jasnością istotnego stanu rzeczy. Wyobrażamy atomy jako okrągłe piłki i znajdujemy, że w ten sposób możemy sobie zdać sprawę z istotnej treści większości naszych odkryć w tej dziedzinie. Znaczy to, że, gdy atom znajduje się w pobliżu kilku atomów tegoż co on rodzaju, będzie on jednakowo od nich wszystkich odległy; tak też jest w rzeczywistości. Tem niemniej bywają wyjątki, jak np. w wypadku bizmutu, w którym każdy atom sąsiaduje z sześcioma innemi, z których trzy znajduje się bliżej od pozostałych trzech. Do modelu bizmutu musimy zatem użyć kulek z trzema spłaszczeniami na każdej z nich. (P. Tabl. I A.)

Postawmy sobie teraz pytanie, co wiąże atomy między sobą w tych różnych układach i budowach? Jak nasz budowniczy, przygotowaliśmy materiały do budowy — cegły, dachówki, belki i t. p.; mamy do dyspozycji różne rodzaje atomów. Gdy jednak obejrzymy się za wapnem i gwoździami, stwierdzimy, że ich nam brak. Przyroda



nie pozwala na użycie jakiegokolwiek innego materiału, jako spoidła. Atomy spajają się ze sobą same przez się. Chemik powie nam, że muszą one w tym celu być poddane oddziaływaniu wzajemnemu w stosownych warunkach, z których niektóre są nader osobliwe; lecz kojarzenie wówczas właśnie ma miejsce i coś jest w atomach takiego, co utrzymuje to skojarzenie bez zmiany, o ile powyższe warunki są nadal zachowane. Cała treść badań chemicznych polega na określaniu istoty tych warunków i ich wyników.

Wydaje się, że atomy przylegają do siebie w podobny mniejwięcej sposób, jak dwa magnesy, zwrócone do siebie przeciwległymi biegunami, lub też, jak dwa ładunki elektryczne przeciwnych znaków. W istocie, niema wątpliwości, że i tam działają zarówno siły magnetyczne, jak elektryczne. Nie jesteśmy całkiem nieświadomi, co do sposobu ich działania, daleko więcej jednak wiemy o prawach kojarzenia się atomów, t. j. o zjawiskach chemicznych, aniżeli o szczegółach, dotyczących sił przyciągania się atomów. Atoli nie potrzebujemy troszczyć się narazie o rozwiązanie tych zagadnień; musimy jedynie zdawać sobie sprawę z tego, że są siły, zbliżające atomy do siebie.

Możemy się teraz zapytać, dlaczego — wobec istnienia sił tego rodzaju — wszystkie atomy nie skupiają się w jedną masę? Dlaczego wogóle istnieją gazy lub nawet ciecze? Czemu przypisać istnienie pewnych atomów, które wogóle nie łączą się z sąsiadującymi atomami? Co nie pozwala ziemi spaść na słońce i co staje na przeszkodzie ostatecznemu skupieniu się wszechświata w jedną wielką masę?

Ziemia nie spada na słońce, gdyż znajduje się w ruchu dookoła słońca, lub wyrażając się poprawniej, dlatego, że obydwa te ciała krążą dookoła siebie. Ten właśnie niestanny ruch utrzymuje je w określonej od siebie odległości, a gdy przyjrzymy się dokładniej zagadnieniu, przekonamy się, że ruch odgrywa we wszystkim, co spostrzegamy,

pierwszorzędną rolę, gdyż przeciwstawia się siłom wiążącym, pod działaniem których atomy skupiłyby się w jedną bryłę. W gazie ruch ma stanowczą przewagę; cząsteczki znajdują się w tak szybkim ruchu, że nie mają czasu na jakiegokolwiek kojarzenie się między sobą; wprawdzie co pewien czas muszą spotykać się wzajemnie, lecz napróżno, że tak powiemy, wyciągają do siebie ramiona, gdyż pęd ich jest zbyt wielki, i po chwili znowu znajdują się w znacznem od siebie oddaleniu. Nawet w cieczy, gdzie więcej zdarza się skojarzeń, a cząsteczki stykają się ze sobą, ruch jest tak duży, że żadne połączenie nie jest trwałem.

W ciele stałem względne znaczenie sił przyciągających i ruchu podlega nowej zmianie: pierwsze teraz przeważają tak, że atomy i cząsteczki przywiązane są niejako do swoich miejsc. Jednakże nawet w ciele stałem atomy nigdy nie pozostają w całkowitym spoczynku; co najmniej drgają one i chwieją się na swych miejscach tak, jak części mostu żelaznego pod ciężarem przechodzącego przez most pociągu. Trudno uprzytomnić sobie, że atomy i cząsteczki w ciałach, które wydają się nam pozbawionemi wszelkiego ruchu, jak stół, kawałek papieru, woda w szklance, wszystkie są w ustawicznym ruchu. Tem niemniej wielu dawniejszych filozofów zdawało sobie z tego sprawę. Hooke np., fizyk angielski siedemnastego stulecia, tłumaczy zapomocą łatwo zrozumiałej analogji różnicę, zachodzącą, jak przypuszczał, między stanem stałym a płynnym; przypisywał ją mianowicie ruchowi atomów, który musi być większy w cieczach, aniżeli w ciałach stałych. „Przedewszystkiem, — powiada on, — co jest przyczyną płynności? Pojmuję ją jako nie innego, jak bardzo szybki i gwałtowny ruch cząstek danego ciała (czego prawdopodobieństwo starałem się wykazać na innem miejscu); cząstki danego ciała stają się przytem tak luźnemi względem siebie, że mogą z łatwością poruszać się w każdym kierunku i stają się płynnemi. Abym mógł to wytłumaczyć zapomocą nieco dalekiego podobieństwa, przypuśćmy, że naczynie z piaskiem umie-

szczone zostało na jakimś przedmiocie, znajdującym się w bardzo gwałtownym i szybkim ruchu tak, że naczynie to samo ulegnie szybkim i silnym drganiom, jakby to miało miejsce wówczas np., gdyby stało ono na jednym z kamieni młyńskich, wirujących luzem, albo też na bardzo mocno naciągniętej przeponie bębna, uderzanej gwałtownie lub też bardzo szybko pałeczkami. Na skutek tego piasek, który z początku spoczywał w naczyniu całkiem bezwładnie, staje się doskonałą cieczą; gdy tylko zrobimy w nim palcem zagłębienie, natychmiast zostanie ono wyrównane i powierzchnia piasku staje się znowu gładka. Nie da się też pogрузić w piasek jakiś przedmiot lekki, jak np. kawałek korka, gdyż natychmiast zostaje on wyrzucony na powierzchnię i jakby pływa po niej; nie można również położyć na powierzchni piasku przedmiotu cięższego, np. kawałka ołowiu, gdyż natychmiast zanurzy się on w piasek i opuści się na dno naczynia. Podobnie, gdy zrobimy otwór w bocznej ścianie naczynia, piasek natychmiast zacznie się wysypywać przez ten otwór aż do chwili, gdy powierzchnia piasku osiągnie poziom otworu. Tak więc piasek naśladuje wszystkie oczywiste własności cieczy, a wszystko to dzieje się jedynie wskutek gwałtownego ruchu, jakiemu podlega naczynie z piaskiem, gdyż w ten sposób każde ziarnko piasku wykonywa ruch drgający lub wirowaty tak, że żaden przedmiot cięższy nie może na niem się utrzymać, o ile nie zostanie zewsząd podparty przez inne, żaden też inny przedmiot nie może pozostawać pod ziarnkiem piasku, o ile nie będzie od niego cięższy“.

Doświadczenie Hooke'a może być odtworzone w nieco zmienionej postaci. Walcowata skrzynka metalowa, o średnicy dwudziestu pięciu centymetrów i o głębokości ośmiu centymetrów, przytwierdzona jest do podstawy, spoczywającej nałożysku kulkowym, tak, że z łatwością może się obracać. Zapomocą ekscentryka połączona jest z maszyną odśrodkową, jak to uwidoczniono na Tabl. I B. Gdy koło maszyny odśrodkowej wprawimy w szybki ruch obrotowy,

skrzynka metalowa wraz z piaskiem, który do niej wsypie-
my, ulegnie gwałtownemu ruchowi, przepisane mu przez Hoo-
ke'a. Szczegóły mechaniczne najłatwiej staną się zrozu-
miałe zapomocą rycin. Ciężka kulka metalowa, umie-
szczona na powierzchni piasku, znika natychmiast, pod-
czas gdy przedmioty lekkie, np. piłki celuloidowe, zanur-
zone w piasek, wydostają się na powierzchnię. Bardzo
śmieszne zjawisko ujrzymy, gdy zagrzebiemy w piasek
kilkę z owych lalek celuloidowych, które nie dadzą się wy-
wrócić, gdyż są obciążone w dolnej swej części. Lalki po-
woli wyłaniają się z piasku i wkońcu stają pionowo.
(Tabl. I B i ryc. 1 A.)

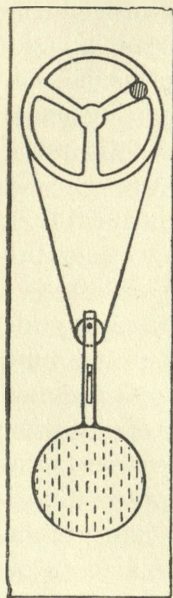
Wiemy obecnie, że ruch atomów w danem ciele jest
w istocie jego ciepłem, że czem szybciej się one poruszają
lub drgają tem cieplejszem staje się dane ciało. Gdy grze-
jemy sobie ręce przy ogniu, pozwalamy przez to energii,
promieniującej od ognia, przyspieszać ruch atomów,
z których składają się nasze ręce. Gdy ochładzamy jakąś
substancję, wstrzymujemy tem samym ruch atomów.
Gdybyśmy mogli całkowicie go powstrzymać, obniżyli-
byśmy temperaturę do granicy, której niemożliwem byłoby
już przekroczyć, t. j. do zera absolutnego, czyli 273 stopni
Celsjusza poniżej zera.

Jak już powiedzieliśmy, znaleźliśmy dwóch nowych so-
juszników, promieniotwórczość i promienie Roentgena,
w dążeniu naszym do dostrzegania maleńkich atomów.
Zwiększyły one bystrość naszego wzroku o jakieś dziesięć
tysięcy razy. Mikroskop dokonał był już tego, co mógł
dla nas dokonać; lecz najmniejszy przedmiot, dostrzegalny
przez mikroskop, składał się jeszcze z biljonów atomów.
Nie można było osiągnąć dalszych udoskonaleń soczewek
mikroskopu: technika doszła do najdalszych granic swych
możliwości. Trudność polegała w istocie na fakcie, że
światło jest ruchem falistym i że fale świetlne nie mogą
ujawnić nam szczegółów przedmiotów, o ile rozmiary tych
przedmiotów nie są znacznie większe od długości fali.

Potrzebne nam było nowe światło o bardzo małej długości fali. Zjawilo się ono pod postacią promieni Roentgena. W tym samym czasie promieniotwórczość wykazała nam, co może zdziałać pojedynczy atom sam przez się, gdy obdarzony zostanie ogromną szybkością. Możemy teraz z jednej strony widzieć pojedynczy atom, wprawdzie tylko pośrednio, ale w sposób dostateczny dla naszych badań nad atomem; z drugiej strony możemy postrzegać bezpośrednio skutki jego działania; w pierwszym wypadku pomocnymi nam są promienie Roentgena, w drugim — promieniotwórczość. Mamy nadzieję, że uda nam się wytłumaczyć w jaki sposób oba te czynniki wzbogacają zasób naszego poznania. Nasamprzód zajmiemy się promieniotwórczością.

Jako atom radu możemy sobie przedstawić, pod względem rozmiaru, jedną z tych kul, które leżą przed nami. Jest to jeden z najcięższych i największych atomów; pewna ilość tych atomów razem tworzy substancję, która jest metalem tak, jak żelazo lub złoto. Atom ten, sam przez się, pod żadnym istotnym względem, nie wyróżnia się niczem póki pozostaje atomem radu; lecz z jakiegoś powodu, którego nikt nie rozumie, nastaje chwila, kiedy atom ten wybuchu. Mała cząstka wyrzucona zostaje, jak pocisk z działa, a reszta cofa się, jak działo po wystrzale. Ta reszta nie jest już radem, jest atomem mniejszym, mającym całkiem różne własności. Rad przekształcił się w nową substancję. W samej rzeczy ta nowa substancja jest gazem, podczas gdy pocisk okazuje się atomem, ciężar którego jest jednym z najmniejszych w szeregu ciężarów atomowych, mianowicie drugim z kolei wśród najmniejszych; nazywa się helem. Nikt nie wie, co powoduje wybuch, ani też nikt nie potrafi go przyspieszyć lub powstrzymać. Atom radu z taką samą łatwością może ulec wybuchowi w każdej chwili, bez względu na to, czy znajduje się w wielkim piecu, czy też w płynnym powietrzu. Co więcej, niezależność jego od otoczenia odnośnie chwili

wybuchu występuje jeszcze jaskrawiej wobec faktu, że kojarzenie się z innymi atomami nie ma żadnego wpływu pod tym względem. Kojarzenie się, czyli powstawanie cząsteczek związane jest bezwątpienia z zewnętrznymi układami w atomach, natomiast wybuch atomu ma przyczynę swą wewnątrz tegoż.



Ryc. 1 A.

Dawni alchemicy starali się odnaleźć sposób przeistaczania jednego atomu w drugi, przedewszystkiem zaś ołowiu w złoto. W zachowaniu się radu zachodzi coś w rodzaju tej przemiany, że użyjemy tego starego wyrażenia, o jakiej marzyli alchemicy. Lecz nie jest ona dokładnie taka, do jakiej oni dążyli, a mianowicie z dwóch względów. Po pierwsze nie może ona być kierowana wolą ludzką, — co jest rzeczą niezwykłą, gdyż niewiele jest takich zjawisk, o których da się to powiedzieć. Nawet gdy pewne zjawisko leży poza zdolnością naszego pojmowania, często możemy rozstrzygnąć, czy nastąpi ono, czy też nie. Nie możemy pojąć, w jaki sposób kiełkuje ziarno, a tem bardziej spowodować, aby ziarno kiełkowało, możemy jed-

nak zamknąć ziarna w skrzyni i powstrzymać kiełkowanie tak długo, jak się nam spodoba. Lecz wybuch radu nie czeka na cokolwiek, cobyśmy przedsięwzięli.

Po drugie wynikiem przemiany nie jest złoto, jest nim przeciwnie ołów. Gaz, który składa się z atomów radu, które wystrzeliły z siebie po jednym atomie helu, ma żywot bardzo krótkotrwały; przeciętny okres życia każdego z jego atomów trwa nieco mniej niż cztery dni, w przeciwieństwie do przeciętnego okresu życia atomu radu, okresu, wynoszącego około dwóch tysięcy lat. Drugi wybuch „przemienienia” atomu gazu w nową substancję, zwaną ra-

dem A, a przy tej sposobności inny atom helu zostaje wyrzucelony. Następuje szereg dalszych wybuchów, w bardzo różnych odstępach czasu, i ostatecznym produktem jest istotnie ołów, a nie złoto. Gaz nazwany został „emanacją radu“ przez Rutherford’a, który odkrył jego istnienie.

Całe zjawisko jest przedziwne, chcemy jednak zwrócić uwagę na to, co się staje z pociskiem po opuszczeniu przezeń działa. Początkowa jego szybkość jest tak wielka, że niktby nie przypuszczał, iż cząstka może ją osiągnąć. Gdy Huyghens spierał się z Newtonem co do istoty światła, potępił on pogląd Newtona, według którego światło powstaje z lotu drobin, wychodząc z założenia, że cząstki materji nie mogłyby w żadnym razie poruszać się z taką wielką szybkością, jaka wówczas właśnie została stwierdzona dla światła. Ciekawem jest, że obecnie znajdujemy atomy, poruszające się z chyżością, wynoszącą jedną dziesiątą lub jedną dwudziestą tej, która wówczas wydawała się dla nich niemożliwą. Są nawet drobiny, zwane elektronami, także wyrzucane przez substancje promieniotwórcze, które w niektórych wypadkach osiągają szybkość, niemal równą szybkości światła. Ciekawem jest też, że inny argument Huyghensa okazał się również bezpodstawnym ze względu na zaobserwowane zjawiska promieniotwórczości. Twierdził on, że według teorii Newtona dwie osoby nie mogłyby w żaden sposób spojrzeć sobie w oczy, gdyż drobinki świetlne spotkałyby się nawzajem i spadłyby na ziemię. Przekonamy się niebawem, że i ten argument zostaje obalony przez zjawiska promieniotwórczości.

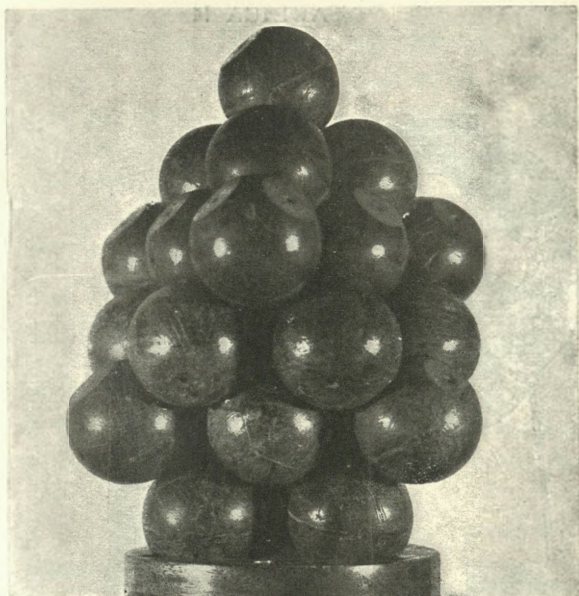
Szybkość początkowa helu wynosi około 16.000 kilometrów na sekundę. W niespełną minutę mógłby on przelecieć do księżyca i zpowrotem na ziemię, jeśliby szybkość jego pozostawała bez zmiany, lecz jest właśnie rzeczą ciekawą, że pomimo tej wielkiej szybkości i energii, z jaką atom helu zostaje wyrzucony, nigdy nie zdoła on dotrzeć daleko, gdy przedostaje się przez coś materjalnego.

Dr. F. Dzierżyński

Nawet, gdy może dokonać swego lotu w powietrzu, szybkość jego spada do rzędu szybkości pospolitych już po przebyciu drogi długości od 5 do 8 cm. Droga ta naogół biegnie po linii zupełnie prostej, jak niebawem przekonamy się na podstawie doświadczenia, i jest to punkt szczególnie doniosły, który musimy bardzo starannie rozważyć. Na pierwszy rzut oka nie wydaje się to tak bardzo godnem uwagi, że droga jest właśnie prostą: mamy na myśli kulę karabinową, która przeszła kłodę drzewa np., pozostawiając w niej walcowaty otwór, albo takąż kulę, przeszywającą powietrze po linii prostej. Ale porównanie to jest niewłaściwe. Kula karabinowa jest masą ołowiu olbrzymio cięższą od wszelkich cząsteczek, jakie napotyka i wobec tego bez oporu usuwa ze swej drogi powietrze. Lecz atom helu jest lżejszy i mniejszy od atomów azotu lub tlenu, z których przeważnie składa się powietrze, musimy więc pomyśleć o jakimś trafniejszym porównaniu. Przypuśćmy, że pewna ilość kul bilardowych znajduje się na stole bilardowym i że wyobrażają one cząsteczki powietrza. Jeśliby się one poruszały, obraz byłby jeszcze wierniejszym, lecz szczegół ten nie ma istotnego znaczenia. Pchnijmy teraz jedną z tych kul wpoprzek stołu, celując w punkt przeciwległej bandy i zaobserwujmy, co się stanie w miarę, jak kula ta posuwać się będzie naprzód, przedostając się poprzez ciżbę kul, znajdujących się na stole, a które zresztą mogą znajdować się w ruchu lub też w spoczynku. Zderza się ona z jedną z kul i odrzucona zostaje w bok; zderza się z kilkoma innemi raz po razie i wkrótce zatracą wszelki ślad pierwotnego kierunku swego ruchu. Czyż mamy teraz pchnąć ją z całej siły, aby się przekonać, czy wówczas kula w biegu swym mniej się oddali od swego pierwotnego kierunku, t. j. od linii prostej? Próbuujemy i przekonujemy się, że nic się nie poprawiło. Droga po linii prostej nie da się osiągnąć przez jakiekolwiek chociażby największe wzmożenie szybkości.

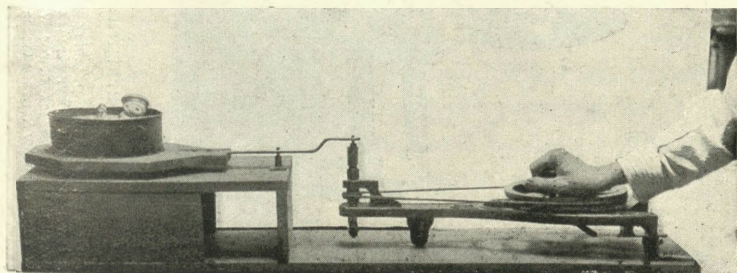
Obraz ten względnie model jest daleko wierniejszym

TABLICA I



A. Model kryształu bizmutu.

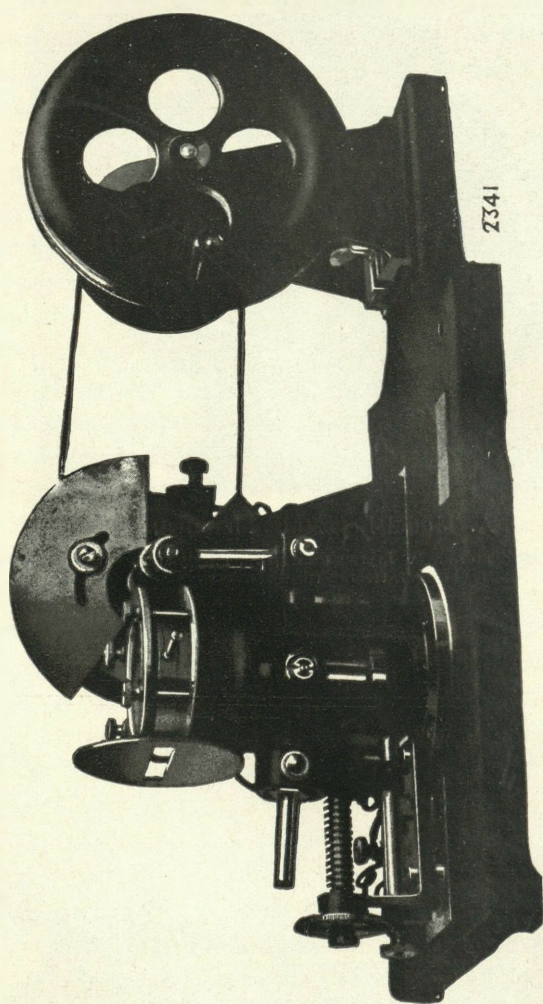
Model uwidocznia układ atomów w kryształe bizmutu. Każdy atom wyobrażony jest przez kulkę z trzema spłaszczeniami.



B. Skrzynka wstrząsana z piaskiem.

Skrzynka widoczna jest po lewej stronie, jak również wylaniające się z niej lalki celuloidowe.

TABLICA II



Aparatura Szimicu-Wilsons do ujawniania przebiegu promieni.

Aparatura wykazuje przebieg atomów helu, wyrzucanych przez rad. Komora, naszkicowana na Ryc. 2, widoczna z lewej strony u góry. Kształt na lewo od niej jest to ekran z otworem. Światło niewidocznej na rysunku lampy przedostaje się przez otwór w ekranie i oświetla-wytworzone przez mgłę ślady przebiegu. Inny ekran, wprawiony w ruch obrotowy, przepuszcza do komory promienie radiu, t. j. atomów helu, tylko w momentach, bezpośrednio po przedziałach ekspansji. Po prawej stronie widzimy przrząd napędowy,

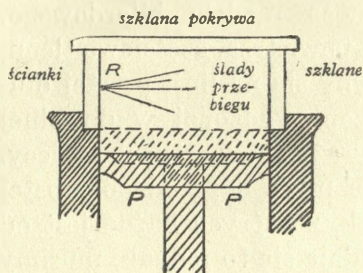
aniżeli porównanie z wystrzeloną kulą karabinową i daleko jaśniej uwydatnia szczególną istotę zjawiska radu. Atom helu musi napotykać znaczną ilość cząsteczek powietrza, gdy posuwa się po linii prostej, jeśli atomy posiadają takie rozmiary, jakie przypuszczaliśmy. Istotnie, cząsteczki znajdują się na drodze atomu helu daleko gęściej, aniżeli można to przedstawić zapomocą modelu bilardowego. Można obliczyć ilość cząsteczek powietrza, częściowo tlenu, częściowo azotu, które znalazłyby się na linii prostej długości ośmiu centymetrów, przeprowadzonej w dowolnej chwili w powietrzu; ilość ta wyraża się w setkach tysięcy. W jaki sposób może atom helu przeć naprzód po prostej linii poprzez tę ciżbę cząsteczek, z których każda jest od niego cięższa? Atomowi helu udaje się to jednak, musimy zatem postarać się to wytłumaczyć.

Możliwem zdawałoby się przypuszczenie, że droga wydaje się linią prostą tylko pozornie, i, że, jeślibyśmy mogli przyjrzeć się jej bardziej dokładnie, spostrzeglibyśmy, że składa się ona z niezliczonych załamania, spowodowanych obchodzeniem przez atom napotykanym na drodze cząsteczek. Chwila jednak zastanowienia wykaże, że przypuszczenie to jest niedorzeczne: atom musiałby posiadać inteligencję istoty żyjącej, aby móc odnajdywać za każdym razem kierunek stracony. Jeśliby po przeciwległej stronie ulicy była cukiernia i jeślibyśmy dali chłopcu złotówkę i posłali go do cukierni, bez wątpienia udałby się on drogą możliwie najprostszą, droga ta jednak byłaby w istocie łamaną wskutek konieczności wymijania osób i pojazdów, z którymi chłopiec spotkałby się po drodze. Nie można sobie atoli wyobrazić, aby atom helu mógł się zachować podobnie.

Zagadkę przebiegu po linii prostej wytłumaczyć sobie można tylko w jeden jedyny sposób: przypuszczać musimy, że atom helu przenika spotykane przez się cząsteczki i że jakoś jest to w stanie uczynić dzięki niezwyklej chyżości, jaką został obdarzony. Jest to przypuszczenie niezmiernie

śmiecie; jednakże żadne inne się nie nasuwa; w samej też rzeczy, okazuje się, że dzięki takiemu właśnie przypuszczeniu możemy wytłumaczyć wiele innych faktów, dotyczących promieniotwórczości. Znajdujemy się więc na właściwej drodze.

Czas już, abyśmy przyjrżeli się zjawisku własnymi



Ryc. 2. Przekrój komory do ekspansji w aparaturze p. C. T. R. Wilsona dla pomiarów przebiegu atomów helu (patrz również Tabl. II).

Tłok PP opuszcza się raptownie od położenia, zaznaczonego linją przerywaną, do położenia, oznaczonego linją ciągłą: dzięki temu powietrze ochładza się nagle przez ekspansję i mgła tworzy się na śladach przebiegu atomów helu, wyrzucanych przez rad w R.

oczywa: wniosek, do jakiegośmy doszli jest tak nieoczekiwany i tak doniosły, że pragnęlibyśmy osiągnąć dowód doświadczalny, aby móc się przekonać o rzeczywistości tych dróg po linii prostej. Zawdzięczamy p. C. T. R. Wilsonowi piękną aparaturę, która daje nam żywy obraz tych zjawisk, skorzystamy z niej natychmiast. Doświadczenie to jest, zdaniem naszym, jednym z najbardziej godnych podziwu w świecie

nauki. Zobaczymy niebawem rzeczywiste drogi poszczególnych atomów helu, z których każdy rozpoczyna swój lot z szybkością 16.000 kilometrów na sekundę, a jednak kończy go po przebyciu około 8 cm w powietrzu. Lecz musimy wprawdzie najpierw zająć się wytłumaczeniem sposobu działania aparatury, która odznacza się nadzwyczajną pomysłowością.

W aparaturze znajduje się walcowate naczynie mosiężne ze szklaną pokrywą i z dnem, które może być podnoszone i opuszczane tak, aby można było zmieniać głębokość naczynia. Poza tem aparatura obejmuje mechanizm, złożony z kół, korb i dźwigni, za pomocą którego dno naczynia można raptownie opuszczać w dowolnych odstępach czasu. Gdy to ma

miejsce, powietrze lub inny gaz, wypełniający naczynie, ochładza się naskutek nagłej ekspansji. Będziemy bliżej badali zjawiska tego rodzaju w następnym wykładzie. W bocznej ścianie naczynia umieszczona jest od wewnątrz maleńka drobina radu na odpowiednim trzymadle. Atomy radu wybuchają raz po raz i wyrzucają atomy helu, z których pewna ilość dostaje się wprost do naczynia. Średnica naczynia jest dostatecznie duża, aby atomy mogły całkowicie dokonywać swego lotu jeszcze w powietrzu, znajdującem się wewnątrz naczynia. Przeciętny okres życia radu jest tak duży, że nawet, gdyby aparatura była jeszcze zdalna do użytku po dwóch tysiącach lat, jeszcze pozostałaby się połowa wspomnianej drobiny radu. A jednak co sekunda dziesięć — dwadzieścia — sto atomów radu znika przy wyrzucaniu atomów helu. Nie możnaby bodaj lepiej wykazać, jak wiele atomów jest skupionych w tak małej objętości.

Powietrze w komorze stale jest wilgotne tak, aby ochładzanie naskutek rozrzedzenia powodowało tworzenie się mgły. Mgła powstaje daleko łatwiej, o ile może osiadać na jakiegokolwiek rodzaju ośrodkach, aniżeli, gdy powstawać mają w powietrzu kropelki samodzielnie. Wykorzystane przytem zostają znajdujące się ewentualnie w powietrzu drobne pyłki, co jest powodem łatwego powstawania mgły w powietrzu zanieczyszczonem. Najłatwiej jednak osiada mgła na tych atomach, które zostały przeszyte przez atomy helu. Przyczyna tkwi w tem, że dany atom został skutkiem tego przeszycia czasowo uszkodzony: drobna cząstka atomu zazwyczaj zostaje przy tem porwana. Cząstka ta jest tem, co obecnie zwiemy „elektronem“; posiada ona ładunek elektryczny ujemny i naskutek tego atom, który został jej pozbawiony, naładowany jest dodatnio. Wyzwolony elektron prędzej czy później osiada na jednym z sąsiednich atomów, a w wyniku mamy dwa atomy, naładowane jeden dodatnio, a drugi ujemnie, tam, gdzie przedtem nie było wcale atomów naładowanych.

Naładowane atomy silnie przyciągają wilgoć i mgła powstaje na nich przedewszystkiem. Gdy więc jakiś atom helu wykonał swój bieg poprzez gaz po linii prostej i gdy w tym samym momencie nastąpiło ochłodzenie naskutek rozrzedzenia gazu, powstaje mgła wzdłuż drogi atomu helu. Komora jest oświetlona silnem światłem tak, że ślady mgły widoczne są jako świecące proste linje, występujące na zaczerwionem tle dna walcowatej komory. Pozostają one przez parę sekund, poczem cząstki mgły powoli się rozpraszają. Gdy atom helu dokona swego lotu bezpośrednio przed powstaniem mgły, linja jest ostra i wyraźna, gdyż naładowane atomy nie miały czasu oddalić się od śladu drogi. Gdy jednak ślad powstanie na pewien czas przed ekspansją gazu, pasmo mgły jest bardziej rozlane. Należy pamiętać, że atomy helu wystrzeliwane są stale, dniem i nocą; lecz tylko, gdy jednocześnie wywołujemy ochłodzenie przez rozrzedzanie gazu, stają się widocznymi drogi ich przebiegu¹.

Gdy śledzimy za następującymi po sobie rozrzedzeniami, widzimy, że ślady dróg, jakkolwiek całkiem proste na znacznej przestrzeni przebiegu, ulegają czasami nagłym ostrym załamaniom, zwłaszcza przy końcu przebiegu. Okazuje się, że to godne uwagi zjawisko jest niezmiernie doniosłe, będziemy też musieli zająć się niem niebawem.

Zastanówmy się teraz, w jaki sposób zmienić mamy nasze pierwotne wyobrażenie atomu, aby móc wytłumaczyć spostrzeżone obecnie przez nas zjawiska. Atomy posiadać muszą taką budowę, dzięki której są w stanie zachować się przy zwykłym wzajemnem spotkaniu, jak np. w wypadku zderzenia się cząsteczek tlenu w powietrzu, tak, jakgdyby każdy posiadał swój własny określony

¹ Na wykładzie działanie aparatury uwidocznione było pomocą filmu kinematograficznego, specjalnie w tym celu sporządzonego. Okazywał on szereg następujących po sobie ekspansyj, z których każda powodowała nową serję linii, podobnych do tych jakie widzimy na Tabl. III.

obszar, do którego żaden inny atom przeniknąć nie może. Albo też, gdy atomy, względnie cząsteczki, zostaną stłoczone tak ściśle, jak to ma miejsce w ciele stałym, zajmą one łącznie taką przestrzeń, jaka wystarcza dla pomieszczenia każdego z nich. Lecz, gdy atom — i tu atom helu jest dla nas najwybitniejszym przykładem — wyrzucony zostanie z szybkością dostatecznie wielką naprzeciw innym atomom, przenika przez nie tak, jak gdyby jakieś mury, broniące dostępu do indywidualnych obszarów, zostały zburzone. Znajdziemy zadawalniające wytłumaczenie, gdy wyobrazimy sobie, że każdy atom upodobniony być może do układu słonecznego w minjaturze. Znajduje się tam jądro, jako odpowiednik słońca, a dookoła jądra księżycy lub planety, które nazywamy elektronami. Jądro naładowane jest elektrycznością dodatnią, każdy zaś z elektronów naładowany jest elektrycznością ujemną, a wszystkie elektrony są identyczne. Dodatni ładunek jądra akurat wystarcza, aby zrównoważyć połączone ładunki ujemne elektronów. Należy przypuszczać, że elektrony znajdują się w ruchu zupełnie tak, jak planety, krążące dookoła słońca, lecz ruchy te bezwątpienia są bardziej skomplikowane, nie potrzebujemy też w danej chwili ani trochę troszczyć się o ich istotę.

Zamiast więc okrągłej twardej piłki o określonej wielkości, która stanowiła pierwsze nasze wyobrażenie atomu, mamy coś w rodzaju systemu słonecznego w minjaturze. Odrazu możemy zrozumieć, dlaczego atom w tej postaci może przedostawać się przez inny, zupełnie tak samo, jak możemy sobie wyobrazić jeden system słoneczny, przedostający się przez inny bez szkody pod warunkiem, aby żadne z ciał, należących do jednego systemu, nie zderzyło się bezpośrednio z jednym z ciał drugiego systemu i aby ruch był dostatecznie szybki. Drugi warunek jest konieczny, gdyż, o ileby jeden system słoneczny pozostawał zbyt długo w obrębie lub w sąsiedztwie drugiego, spowodowa-

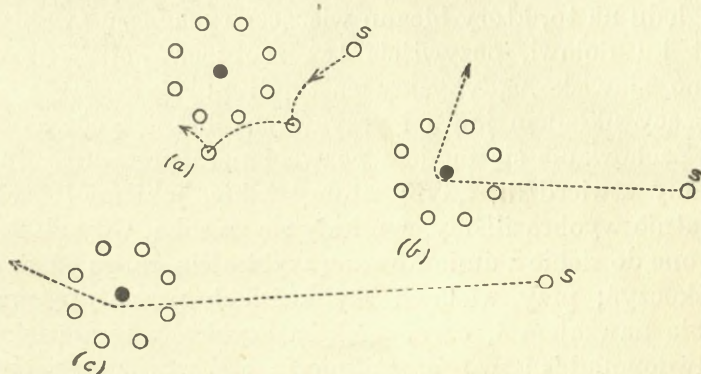
łoby to bezwątpienia bardzo poważne zaburzenia w biegu planet.

Lecz w takim razie, zapytamy, gdy taka jest istota atomu, w jaki sposób może on powstrzymać inny atom od przedostania się do wnętrza swego obszaru? W jaki sposób może on zajmować jakąkolwiek część przestrzeni wyłącznie dla siebie i udaremnić wtargnięcie do niej innego atomu, gdy szybkość ich przy wzajemnem spotkaniu jest niewielką? Wytlumaczenie staje się prostem, gdy rozważymy swoisty układ w przestrzeni dodatnich i ujemnych ładunków. Każdy atom otoczony jest powłoką, jakby pancerzem, z elektronów i, gdy dwa atomy się zderzają, nasamprzód zetkną się ze sobą ich pancerze. Ponieważ jednak jednoznaczne ładunki elektryczne nawzajem się odpychają, obydwa atomy ulegną działaniu siły, która przeciwdziałać będzie ich zbliżeniu, innemi słowy sprzeciwiać się one będą wzajemnemu naruszeniu swoich obszarów. Bezwątpienia obraz ten oddaje tylko z gruba to, co ma miejsce w rzeczywistości; istotnie, trudno jest wytłumaczyć wielkość sił, sprzeciwiających się zbliżeniu atomów na podstawie tak prostej hipotezy. Jednak prowadzi nas ona we właściwym kierunku. Gdy obydwa atomy zbliżają się do siebie z wielką szybkością, przy zderzeniu układ elektronów i jądra jednego atomu prześlizgują się poprzez elektrony i jądro drugiego atomu. Model pomoże nam do wyjaśnienia tego punktu.

Na Tabl. IV A widzimy szereg magnesów prętowych, utwierdzonych na sprężynach spiralnych i stojących pionowo. Magnes, znajdujący się w pośrodku, zwrócony jest ku górze biegunem północnym, podczas gdy magnesy, tworzące pierścień zewnętrzny, zwrócone są ku górze biegunami południowymi. Model przedstawia z gruba położone w środku atomu jądro, otoczone pierścieniem elektronów. W modelu wszystko znajduje się w płaszczyźnie; w atomie coprawda tak nie jest, ale niema to istotnego znaczenia. Poza tem magnes pojedynczy zawieszony jest na długiej nitce pionowo nad samym magnesem, wyobra-

zającym jądro. Dolny jego koniec jest biegunem południowym a długość nitki jest taka, że wiszący magnes niemal dotyka się magnesów stałych. Proszę teraz zauważyć, że, gdy pchniemy magnes wiszący w jedną stronę (S na ryc. 3a), lecz nie zadaleko, zbliża się on do grupy stałych magnesów, lecz nie może się do niej dostać. Wydaje się, jakby pukał do drzwi u każdego z magnesów, lecz za każdym razem zostaje odepchnięty.

Zupełnie tak samo uderzałby napróżno w zewnętrzne



Ryc. 3. (a), (b) i (c).

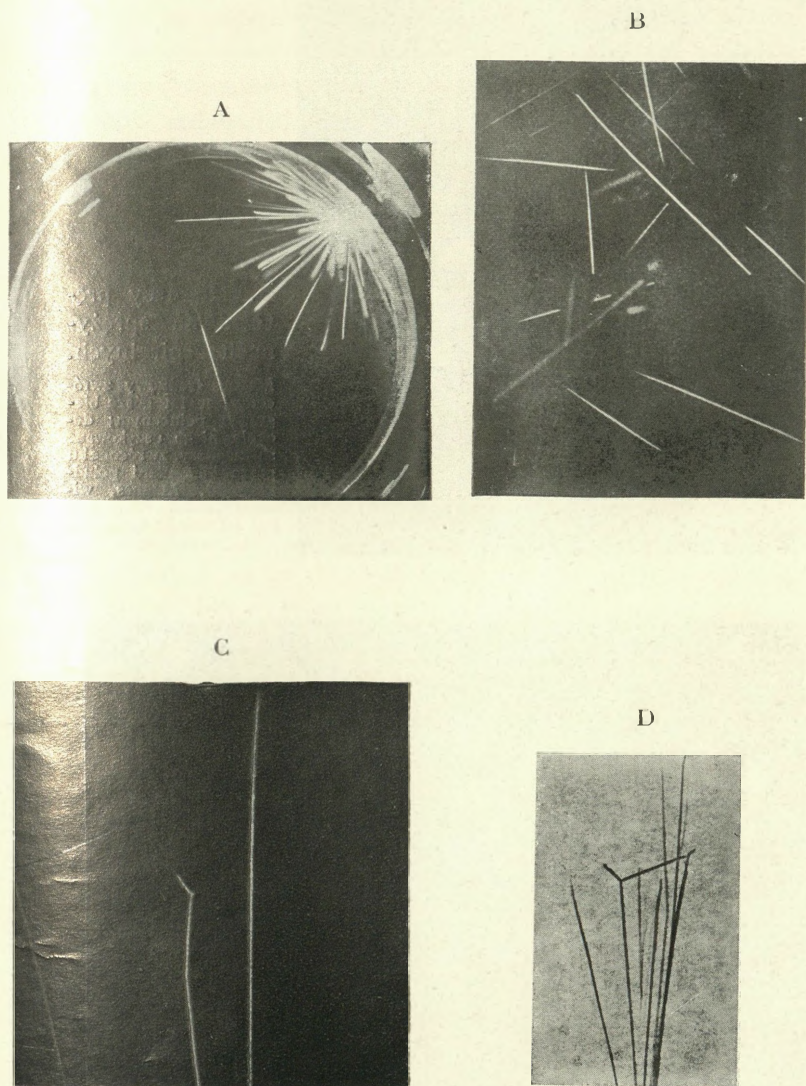
mury ochronne atomu elektron, o ileby uderzenia jego nie były dostatecznie silne. Łatwo możemy sobie wyobrazić, że gdyby pojedynczy magnes ruchomy został zastąpiony przez układ magnesów, podobny do naszego stałego, wynik byłby taki sam. Mamy tu więc obraz naszych atomów takich, jakimi je sobie obecnie przedstawiamy, zderzających się i odpychających się nawzajem; każdy z nich zajmuje określony obszar w przestrzeni i nie dopuszcza do wtargnięcia doń innego atomu. Lecz, gdy wiszący magnes odchylony zostanie na bok dostatecznie daleko, aby mógł uzyskać szybkość większą aniżeli poprzednio, w chwili, gdy znajdzie się w pobliżu układu magnesów stałych,

przejdzie przezeń dzięki uzyskanemu przez się rozpędowi. Gdy szybkość jest bardzo duża, zmiana ruchu magnesu na skutek przejścia przez układ będzie niewielka (ryc. 3c), gdy szybkość jest nieco mniejsza, często po przejściu przez układ jeszcze bardziej się zmniejsza (ryc. 3b). Rozpęd magnesu staje się mniejszym po przejściu przez układ niż był przed wejściem do tegoż, nieraz magnes zmienia kierunek pierwotny swego ruchu i oczywiście pozostawia za sobą część swej energii, gdyż po jego przejściu magnesy układu stalego chwieją się na swych sprężynach. Ma to miejsce bez względu na to, który biegun wiszącego magnesu zwrócony jest ku dołowi, oczywiście też zaobserwowalibyśmy to samo zjawisko, gdybyśmy zastąpili pojedynczy magnes wiszący układem jądra i przynależnych księżyców.

Zachowanie się modelu pozwala nam przewidzieć, co byśmy stwierdzili, gdyby atomy takie, jakimi je sobie ostatnio wyobraziliśmy, spotkały się ze sobą. Gdy zbliżają się one do siebie z umiarkowaną szybkością, mogą od siebie odskoczyć; przy wielkich szybkościach przelatują przez siebie nawzajem i, czem większa szybkość, tem większe prawdopodobieństwo przeniknięcia się wzajemnego atomów bez żadnych oczywistych zmian. Lecz zawsze jest możliwem, że jądro poruszającego się atomu może na tyle zbliżyć się do jądra atomu, przez który przelatuje, że dozna wyraźnego odchylenia. Czem mniejsze są jądra, z tem mniejszem prawdopodobieństwem może się to zdarzyć.

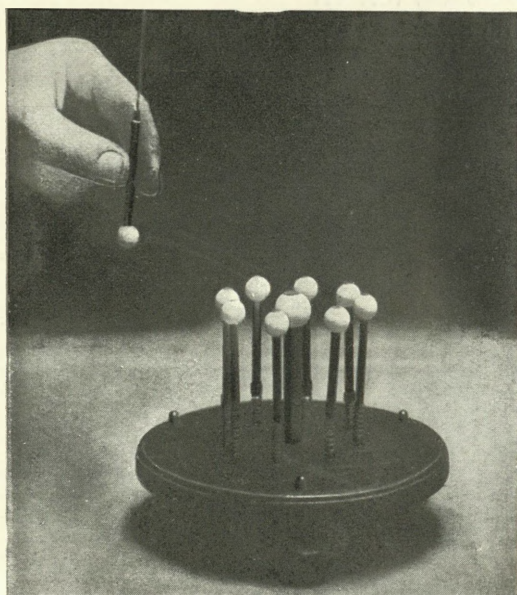
Słuchacze pewno domyślili się już, że widzieli takie właśnie odchylenia na zdjęciu kinematograficznem i także same, uwidocznione na Tabl. III A do C. Ślady przebiegu atomów helu biegną naogół po liniach prostych, lecz zdarzają się wyraźne załamania tych linii prostych, zazwyczaj nie więcej, jak jedno — dwa na każdym śladzie. Znajdujemy je głównie przy końcu przebiegu; było to do przewidzenia, gdyż wówczas ruch jest najwolniejszy. Kilka z takich załamań widzimy na Tabl. III A; bardzo dobry przykład tego rodzaju śladów oddany jest w dużej skali

TABLICA III



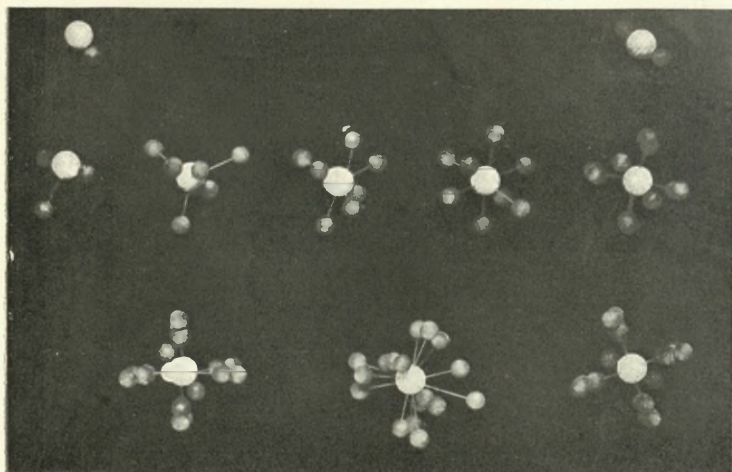
Ślady przebiegu promieni α .

TABLICA IV



A. Magnesy prętowe na sprężynach spiralnych.

Magnes środkowy zwrócony jest ku górze biegunem północnym; dookoła niego uszykowane są magnesy, zwrócone ku górze biegunami południowymi. Magnes, wiszący na nitce, zwrócony jest ku dołowi biegunem południowym.



B. Modele atomów z ich elektronami.

Szereg górny: wodór, hel.

Szereg środkowy: lit, węgiel, azot, tlen, neon.

Szereg dolny: potas, chlor, argon.

na Tabl. III C. Górny ślad wykazuje jedno niewielkie, lecz wyraźne zagięcie w pewnej odległości od końca przebiegu i drugie daleko silniejsze załamanie niemal u samego końca. Tak więc nowy pogląd na budowę atomu tłumaczy w sposób zadawalniający wszystkie zjawiska.

Dziwną się wydaje myśl, że atom jest równie pusty, jak system słoneczny; nie jest on ciałem kulistym, twardem i zupełnie nieprzenikliwym, lecz układem, złożonym z jądra i elektronów, zajmujących pewien obszar, podobnie, jak armja, okupująca jakiś kraj. Ciała żołnierzy nie wypełniają kraju z krańca do krańca; tem nie mniej inwazja żołnierzy nieprzyjacielskich jest udaremniona.

Te bardzo charakterystyczne obrazy są owocem wielu badań i zdjęć fotograficznych. Załamania znaleźć można przy każdej ekspansji gazu, ale względnie dużo czasu poświęcić trzeba, zanim natrafi się na szczególnie ostre i wyraźne. Bardzo piękne zdjęcie oddane jest na Tabl. III D. Zawdzięczamy je p. P. Blackett'owi. W tym wypadku użyty został hel zamiast powietrza. Jądro lecącego atomu helu, przenikając atom helu, wypełniającego komorę, trafiło niemal w samo jądro atomu w spoczynku, uderzyło weń „w sam łeb“, jakby się wyraził bilardzista. Oba atomy poruszają się nadal z równą niemal szybkością i, jak widać z ryciny, oba pozostawiają ślady mgły. Na Tabl. III C, gdy przypatrzymy się dokładniej, zauważymy maleńką ostrogę przy końcowem załamaniu śladu wyżej wspomnianego, która oznacza, że w tym wypadku jeden z atomów tlenu lub azotu odchylił atom helu i na skutek tego sam się cofnął. Ślad jego drogi jest bardzo krótki, gdyż jest on o wiele cięższym od atomu helu, który weń uderzył, i na skutek tego szybkość, jaka mu została nadana, była stosunkowo niewielka.

Da się zauważyć jeden szczegół na tych fotografiach, który warto wyjaśnić. W niektórych śladach są przerwy, jak gdyby w tych miejscach mgła nie powstawała. Odpowiada to istotnie rzeczywistości: nie było w tych miejscach

wilgoci, gdyż inny atom helu na krótko przedtem przeszedł tamtędy i zużył całkowicie wilgoć w okolicy. Na Tabl. III B widzimy kilka śladów, spowodowanych emanacją radu. Powstają one w różnych dowolnych miejscach komory, a to dlatego, że odnośne atomy emanacji radu zdążyły rozejść się po całej komorze zanim uległy wybuchowi.

Najbliższem zagadnieniem, jakie powstaje, dotyczy ilości elektronów, które występują w atomie w roli księżyców dookoła jądra. Tu natrafiamy na bardzo piękną i godną uwagi cechę, charakteryzującą nowe odkrycia. Nie jest koniecznem, by szczegółowo wyjaśniać, w jaki sposób została ona ujawniona, zadowolnimy się jej opisaniem.

W atomie tak, jak go sobie obecnie wystawiamy, jądro naładowane jest elektrycznością dodatnią, przyczem wysokość tego ładunku wystarcza, aby zneutralizować ładunki ujemne towarzyszących elektronów. Jak już widzieliśmy, wszystkie elektrony są jednakowe. Otóż znajdujemy, że atomy różnią się między sobą liczebnością swego orszaku, który mogą przy sobie utrzymać, i że stwierdzenie ilości elektronów w danym atomie w zupełności określa jego własności, dotyczące zachowania się jego względem innych atomów. Atom węgla np. może utrzymać sześć elektronów; ładunek dodatni jądra stanowi równoważnik sumy sześciu podstawowych ładunków ujemnych. Każdy atom, który może zatrzymywać przy sobie sześć elektronów jest atomem węgla, — wszelkie inne określenie atomu węgla staje się zbytecznem. Podobnie „atom o siedmiu elektronach“ jest azotem; „atom o ośmiu elektronach“ — tlenem i t. d. W Przyrodzie spotykamy wszystkie liczby — z bardzo nielicznymi wyjątkami — od atomu o jednym elektronie — wodoru — aż do atomu o dziewięćdziesięciu dwóch elektronach — uranu. Liczby brakujące prawdopodobnie będą kiedyś wykryte; stanie się to zapewne w sposób mniej lub więcej przypadkowy.

W przybliżeniu możemy uprzytomnić sobie budowę atomu zapomocą modeli. Jądro (p. Tabl. IV B) wyobrażone jest przez białą piłkę kauczkową, elektrony przez mniejsze kulki, osadzone na szpilkach, wbitych w piłkę, znajdującą się pośrodku. Szpilki mogą być różnej długości.

Wydaje się rzeczą dziwną, że ogromna różnorodność Przyrody da się wyrazić przez szereg liczb. Był czas, kiedy sądzono, że różne rodzaje atomów zawdzięczają swą różnorodność czemuś więcej; wielką niespodzianką jest stwierdzenie tak prostej cechy, wyróżniającej poszczególne rodzaje atomów. Niezmienną cechą danego rodzaju atomów jest dodatni ładunek elektryczny jądra. Naskutek tego właśnie skupia się dookoła odpowiednia liczba elektronów. Można oczekiwać, że elektrony te ułożą się w pewien określony sposób; zobaczymy później, że tak jest w samej rzeczy. Rodzaj układu, jaki one tworzą w każdym poszczególnym wypadku i istota sił, działających przytem, są to rzeczy bardzo trudne, lepiej też będzie, gdy rozpatrzenie większości z nich narazie odłożymy, poprzestając na zbadaniu paru bardziej przystępnych stron zagadnienia.

Przedewszystkiem jest rzeczą interesującą śledzić za skupianiem się małych pionowych magnesów, pływających w misce szklanej (Tabl. V A). Zaopatrzone są one w pływak w postaci czarnych kulek celuloidowych, aby zaś łatwiej było je rozróżnić osadzono na nich białe kulki celuloidowe. Wszystkie magnesy zwrócone są pionowo w górę temi samemi biegunami tak, że pozostawione same sobie odpychają się nawzajem i rozpraszają wzdłuż obwodu miski. Pod tą ostatnią atoli znajduje się elektromagnes; gdy zostanie on pobudzony, ściąga małe magnesy, skupiając je w jedno miejsce. Tworzą one układ, który zależny jest częściowo od przyciągania elektromagnesu ku środkowi miski, częściowo od wzajemnych odpychań się małych magnesów. Coś podobnego dzieć się musi w atomie, lecz porównania tego nie powinniśmy posuwać zbyt daleko, gdyż

siły, wchodzące w grę wewnątrz atomu, mogą znacznie różnić się od sił, działających w modelu. Musimy poprzestać na stwierdzeniu, że, gdy ilość pływających magnesów jest niewielka, skupiają się one w jeden pierścień, gdy jednakże ilość ich zostanie zwiększona, układają się w parę lub kilka pierścieni koncentrycznych. Ładne zjawisko można spostrzec, zwiększając stopniowo ilość magnesów, umieszczając przytem po kolei każdy dodatkowy magnes u brzegu miski. Zobaczymy wówczas, jak każdy z tych magnesów spokojnie i pewnie popłynie ku przeznaczonemu sobie miejscu.

Podobny podział na koncentryczne powłoki lub grupy znajdujemy w układzie elektronów dookoła centralnego jądra atomu. Rozważymy to dokładniej w następującym wykładzie. Doświadczenie nie udawadnia, że takie układy koniecznie istnieć powinny, ale bezwątpienia nasuwa nam takie przypuszczenie.

Możemy teraz lepiej pojąć, co się dzieje, gdy atom helu uszkodzi atomy, które przenika, powodując przyciąganie ich przez cząsteczki wilgoci, tworzące mgłę. Jest bowiem rzeczą dopuszczalną dla atomu, aby pozbawiony on został jednego z towarzyszących mu elektronów. Utraciwszy jeden elektron, sprzeciwia się atom tem silniej utracie następnego, a jeszcze silniej utracie trzeciego. Atom helu w miarę, gdy napotyka coraz to inne atomy gazu, przez który przelatuje, pozbawia każdy z tych atomów jednego z towarzyszących mu elektronów. Wyswobodzony elektron opuszcza układ atomu, lecąc dalej samodzielnie. Lecz to samodzielne jego życie jest nader krótkotrwałe: wkrótce zostaje związany z układem innego atomu. Atom, pozbawiony jednego elektronu, uzyskał przez to ładunek dodatni, podczas gdy atom, wzbogacony o jeden elektron, naładowany zostaje ujemnie. Obydwa atomy powróciłyby do swego poprzedniego stanu, gdyby zbliżyły się dostatecznie do siebie, a ponieważ znajdują się one w nieustannym ruchu, ujemne i dodatnie atomy gazu oddają względnie

pochłaniają wkońcu elektrony tak, że gaz w całej swej masie staje się znów elektrycznie obojętnym.

Istnieje piękne doświadczenie, którem zakończyć możemy niniejszy wykład. Gdy atomy helu bombardują niektóre substancje, wznecają w nich fosforyzujące światło. W rzeczywistości jest to, gdy się bliżej przypatrzymy, szereg drobnych błysków, spowodowanych zderzeniem poszczególnych atomów helu z pojedynczymi atomami substancji; pod mikroskopem wygląda to tak, jak gdyby ktoś rzucał kamyczki do fosforyzującego morza. Naczynie szklane (Tabl. V B) zawiera kryształy, fosforyzujące pod działaniem lecących z wielką szybkością atomów helu, mamy wśród nich kuncyt, siarczok cynku i willemity. W innej rurce szklanej zawarta jest pewna ilość emanacji radu, gazu, jak przypominają sobie słuchacze, będącego bezpośrednim potomkiem samego radu. Gdy gaz ten wyswobodzimy, i wprowadzimy do rurek, zawierających kryształy, te ostatnie zaczną jarzyć się żywymi barwami. Na naszej rycinie kryształy odfotografowały same siebie dzięki swej fosforescencji.

Widzimy, że zachowanie się radu pozwoliło nam na bardzo dokładne rozejrzenie się w budowie atomu; tkwi w tem przyczyna ogólniejszego znaczenia. Badacz nauk ścisłych oddawna był już oswojony z istnieniem różnych atomów i z ich własnościami; nigdy jednak nie widział samego atomu ani bezpośredniego tegoż działania. Operował on atomami, tylko mając do czynienia z wielkiem mnóstwem tychże. Gdy chemik wywołuje łączenie się pierwiastków w związki, lub, gdy odwrotnie poddaje te związki analizie, rozkładając je na pierwiastki, zawsze ma do czynienia z olbrzymimi ilościami atomów nawet w tych wypadkach, gdy ilość badanych związków lub pierwiastków zaledwie jest dostrzegalną. W owych zjawiskach promieniotwórczych natomiast postrzegamy za każdym razem działanie pojedynczego atomu i w tem leży tajemnica dokonanego postępu. Szybkość pocisku helowego, setki tysięcy razy

większa od szybkości, jaką zazwyczaj posiadają atomy, poruszające się w gazach, które tworzą, pozwala pojedynczemu atomowi dać znać o sobie. Gdy przyglądamy się śladom mgły, widzimy działanie pojedynczych atomów; widzimy coś, co wzbudziłoby podziw i radość w pierwszych zwolennikach teorii atomistycznej. Gdy dajmy na to atom helu przenika przez atom tlenu i przedostaje się na drugą stronę, wówczas obydwu ponoszą skutki swojego spotkania. Dzięki tym właśnie skutkom możemy określić istotę atomów. Atom helu jest jakby szpiegiem, który udał się do obcego kraju i wrócił zpowrotem, pełen ciekawych wieści.

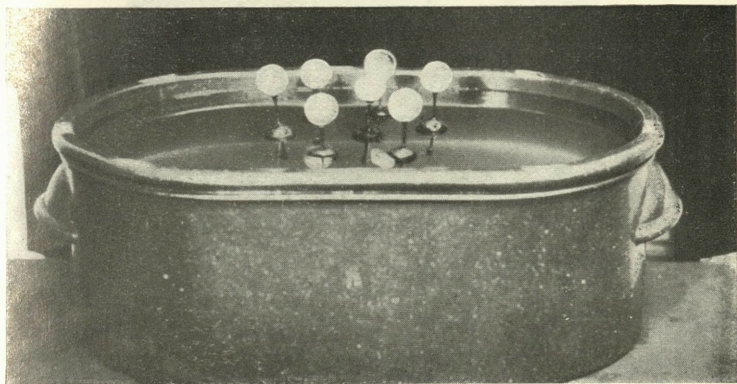
ISTOTA GAZÓW

Widzieliśmy, że wszystkie ciała materjalne składają się z dziewięćdziesięciu dwu rodzajów atomów i że w tych to atomach kryje się tajemnica i nieskończona różnorodność świata materjalnego. Każdy atom posiada jądro, naładowane dodatnio; dookoła jądra znajdują się elektrony, będące jednostkami elektryczności ujemnej. Ładunek dodatni jądra jest wielokrotną pewnego ładunku jednostkowego, równego ładunkowi elektronu, ale przeciwnego znaku. Ilość elektronów, którą posiada każdy atom w warunkach normalnych, stanowi dokładny równoważnik ładunku dodatniego jądra tak, że atom, wzięty w całości, nie jest naładowany; ładunki jego dodatni i ujemny wzajemnie się równoważą. Czy elektrony krążą dookoła centralnego jądra, jak planety dookoła słońca, czy też wykonywują one inne bardziej złożone ruchy są to sprawy, nie posiadające dla nas w danej chwili szczególniejszego znaczenia. Poznano już coś nie coś w tej dziedzinie, całe zagadnienie jest jednak zawile. Następstwa, wynikające z tego osobliwego układu jądra i elektronów, które nas obecnie obchodzą, dadzą się wywnioskować bez uwzględniania wszystkich możliwych ruchów w układzie. Jednem z tych następstw jest stwierdzenie, że atomy w warunkach zwykłych nie wkraczają nawzajem do swych odnośnych obszarów. Każdy posiada zewnętrzny pancerz czy też powłokę z elektronów, i gdy dwa atomy zbliżą się do siebie dostatecznie, zaczyna działać siła, przeciwstawiająca się dalszemu zbliżeniu atomów, której źródła doszukiwać się możemy we wzajemnem odpychaniu się powłok obydwu atomów. Gdy jednak obydwu atomy zderzą się ze sobą z dostateczną szybkością, zewnętrzne mury obronne mogą być zburzone i atomy przenikają się nawzajem. Gdy to się zdarzy, atomy mogą

następnie wyswobodzić się i lecieć dalej bez żadnej zmiany, bez żadnych śladów wzajemnego zderzenia; jeden z nich lub oba mogły przytem stracić po elektronie, lecz strata ta niebawem zostaje wyrównana. Jedynie wtedy, gdy jądro jednego atomu dostatecznie przybliży się do jądra drugiego, następuje zmiana ruchu podobnie, jak przy spotkaniu dwóch kul bilardowych. Zmiany tego rodzaju zdarzają się tak rzadko i wymagają tak bezpośredniego i ścisłego zbliżenia, że zmuszeni jesteśmy wyobrażać sobie jądro atomu, jako coś niezmiernie małego. Te przenikania obszarów atomowych dają się spostrzec dzięki działaniu radu i podobnych substancyj, jak wyjaśniliśmy w poprzednim wykładzie; mają one dla nas duże znaczenie, gdyż wykazują nam wielkie rozrzedzenie materji w budowie atomu oraz podobieństwo tegoż do układu słonecznego. Nie zdarzają się one w warunkach, w jakich znajdują się zazwyczaj atomy, gdyż szybkości są wówczas o wiele za małe. Obszar, zajmowany przez atom z wyłączeniem atomów sąsiednich, ma około jednej stumiljonowej centymetra w przekroju; w tej to tak znikomym małej przestrzeni wykonywują swe ruchy względem siebie jądro i elektrony. Atomy lekkie posiadają obszary mniejsze, atomy cięższe nieco większe; mnożnik, wynoszący od trzech do czterech, wystarczy, abyśmy, znając obszar najmniejszy, obliczyć mogli obszar największy.

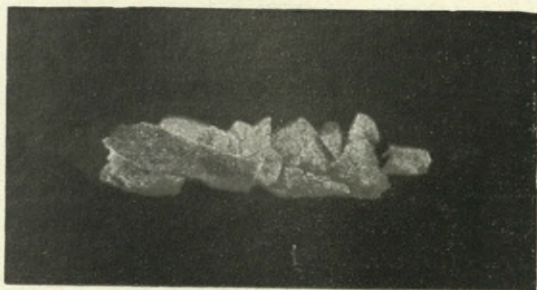
Mówiliśmy, że wszystkie atomy znajdują się w nieustannym ruchu i że zachodzi nieustanna walka między pewnego rodzaju siłą przyciągającą, która dąży do skupienia wszystkich atomów razem, a owym ruchem, który utrzymuje je w pewnym od siebie oddaleniu. Istnienie siły przyciągającej, z którą się liczymy jako z czemś bardzo istotnem, nie daje się na pierwszy rzut oka pogodzić z rozpatrywaną tylko co przez nas budową atomów, gdyż przyjmowaliśmy w niej działanie zewnętrznych powłok elektronów, przeciwstawiających się zbytniemu zbliżeniu się atomów. Jest to sprawa zawiła, gdyż niewątpliwie obydwie poglądy są

TABLICA V



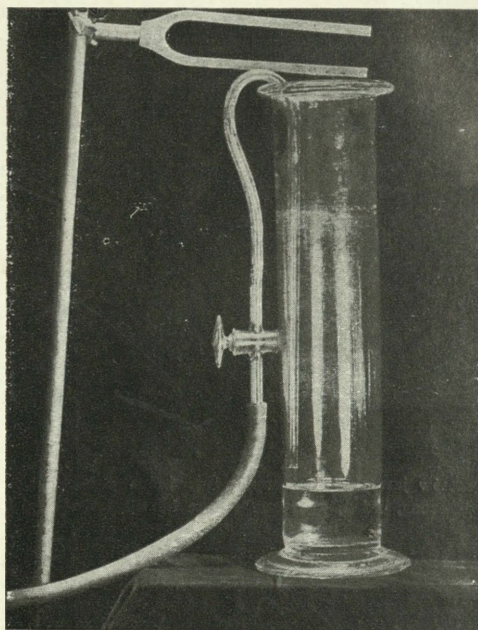
A. Pływające magnesy.

Gdy liczba magnesów jest niewielką, tworzą one jeden pierścień, gdy jednak liczba ich zostanie zwiększoną, układają się one w parę lub kilka pierścieni koncentrycznych.

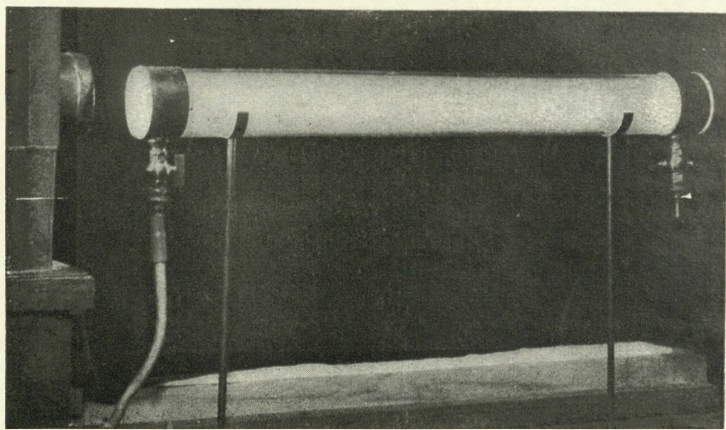


B. Kryształki w rurce, zawierającej emanację radu. (Według prof. Soddy'ego).

TABLICA VI



A. Kamerton, umieszczony nad otwartem naczyniem.



B. Przyrząd do wytwarzania mgły.
Długa rura szklana wypełniona jest mgłą.

słuszne. Bez wątpienia ściślemu jej ujęciu stoi na przeszkodzie brak dostatecznego dotychczas poznania istoty tych sił. Widzieliśmy, jak zdarzyć się może, że, dwa atomy, gdy zbliżą się do siebie z wielką szybkością, przenikają się nawzajem, gdy jednak szybkość ich jest umiarkowaną, odskakują od siebie, jak kule bilardowe. Musimy posunąć się o krok dalej i przekonać się, jak, w razie szybkości bardzo nieznacznych, atomy mogą istotnie przylgnąć do siebie. Każdemu z nas zdarzało się widzieć rozkołysane wrota, które, przy dostatecznie silnym rozpędzie, poruszają się tam i z powrotem, nie zamykając się. Gdy jednak rozpęd się zmniejszy, wrota raptownie się zatrząskują, ruch ich po krótkim drganiu zostaje całkowicie wstrzymany. Musimy wytłumaczyć nieco podobne zjawisko. Gdy dwa atomy się spotykają, odpychanie się wzajemne ich powłok elektronowych powoduje, że atomy odbijają się od siebie; gdy jednak ruch jest powolny i atomy przebywają dłużej w bezpośrednim ze sobą sąsiedztwie, jest dosyć czasu na to, aby w wewnętrznych układach obydwu atomów zaszły pewne zmiany, przypominające zamknięcie się zatrząsku we wrotach, i atomy zostają ze sobą związane. Wszystko zależy od pewnej właściwości w budowie atomu, która wymaga jednostajności na powierzchni atomu tak, że zazwyczaj ma miejsce odpychanie; odpychanie to jednak zamieni się w przyciąganie, gdy czas będzie dostateczny, aby w atomach mogły zajść konieczne zmiany układów, albo nawet, gdy od samego początku spotkania atomy położone były względem siebie we właściwy sposób. Zobaczymy później kilka bardzo ciekawych przykładów tego zjawiska.

W niniejszym wykładzie rozpatrywać będziemy ten wypadek, kiedy niema istotnego działania sił przyciągających między atomami, czy to z powodu braku czasu, czy to z powodu znikomości tych sił, czy to z jakiegokolwiek innego powodu. Ciężba atomów w takim wypadku jest gazem.

Wypadki takie są bardzo liczne. Są zwłaszcza atomy,

które dostarczają wybitnych przykładów; są to numery 2, 10, 18, 36, 54, 86, inaczej mówiąc, są to te atomy, których jądra posiadają ładunki dodatnie, wielkość których da się wyrazić przez jedną z tych liczb; w warunkach normalnych atomy te posiadają również odpowiadającą jednej z tych liczb ilość elektronów. Atomy te mają litylko znikome pragnienie kojarzenia się między sobą. Nie kojarzą się również z atomami innych rodzajów; innemi słowy nie tworzą związków chemicznych. Możemy nazwać je „atomami-odludkami“. Nie biorą one widocznego udziału w tem, co dzieje się na świecie, a istnienie ich uszło całkowicie uwagi aż do ostatnich lat. Nastąpiło to wówczas dopiero, gdy lord Rayleigh, dokonywując dokładnych pomiarów ciężaru atomowego azotu, pochodzącego z różnych źródeł, stwierdził małą, ale niewątpliwą rozbieżność między gęstością azotu, pochodzącego z rozkładu znanego związku azotowego, a gęstością części powietrza, pozostałej po usunięciu z tegoż wszelkich znanych wówczas gazów. Stosownie do ówczesnych poglądów, pozostałość ta powinna była być czystym azotem. W istocie jednak powietrze w atmosferze zawiera mały odsetek jednego z tych nietowarzyskich atomów względnie gazów; jest to numer 18, t. j. ten, który posiada ośmnaście jednostek elektryczności dodatniej w swoim jądrze. Tak więc nader staranne pomiary Rayleigh'a doprowadziły do odkrycia nieznaney przedtem substancji. Nazwana ona została argonem, to znaczy „leniuchem“. Być może, że nazwa ta nie uwydatnia najwybitniejszych jej cech; gdyż atom ten jest równie ruchliwy, jak każdy inny tej samej mniejwięcej wielkości. Powietrze, wypełniające audytorjum Instytutu Królewskiego waży około 750 kilogramów, zawiera zaś około ośmiu kilogramów argonu. Jeśliby gaz ten ujawniał jakiegokolwiek, choćby najmniejsze dążenie do tworzenia jakiegokolwiek związków chemicznych, ilość taka, chociaż względnie nieznaczna, z łatwością dałaby się była wykryć zapomocą czułych metod chemji analitycznej.

Atom helu, najmniejszy z tego szeregu, jest identyczny z atomem, wyrzucanym przez rad i inne substancje promieniotwórcze podczas rozpadania się ich atomów. Posiada on normalnie dwa elektrony; jakkolwiek, gdy przeleci on poprzez materię — po wyrzuceniu go przez rad — elektrony jego łatwo ulec mogą czasowemu oderwaniu. Ładunek dodatni jądra nie podlega jakimkolwiek zmianom wskutek lotu tak, że po ukończeniu tegoż brak ten szybko zostaje uzupełniony, zawsze znajdują się bowiem zabłąkane elektrony, które to ułatwią. Wówczas atom powraca znowu do niczem niezakłóconego i niezależnego bytowania, które stanowi jego cechą znaną. Być może, że przeważająca część helu, znajdującego się na świecie, powstała kiedyś z atomów, wystrzeliwanych jeden po drugim przez substancje promieniotwórcze. W każdym razie znajdujemy go w miejscach, gdzie takie zjawiska musiały się zdarzać. Hel zbierany jest obecnie w dużych ilościach w Stanach Zjednoczonych i w Kanadzie, gdzie wydobywa się z niektórych źródeł wód mineralnych. Używa się do napełniania balonów-sterowców, gdyż ze względu na swe główne własności najbardziej się do tego celu nadaje. Jest lekkim, a jego siła wznosna jest niemal równą sile wznosnej wodoru, t. j. atomu o jednym elektronie; ciężar atomowy wzrasta naogół z ilością elektronów. Siła wznosna gazu, musimy pamiętać, zależy nie od gęstości gazu, lecz od różnicy między gęstościami gazu i powietrza. Gęstości wodoru, helu i powietrza mają się do siebie, jak 1:2:14,4; siły wznosne wodoru i helu mają się do siebie jak 13,4 do 12,4. Lecz główną zaletą helu jest jego niezapalność. Atom wodoru jest bardzo towarzyski, a w szczególności wykazuje silne dążenie do kojarzenia się z tlenem: gdy wódór i tlen zostaną zmieszane ze sobą, wystarczy jedna iskierka, aby wywołać połączenie się, któremu towarzyszą płomień i wybuch. Balon, napełniony wodorem, łatwo zatem ulec może katastrofie; lecz hel nie dąży do zmiany, niema więc obawy pożaru. Nazwę tego gazu zawdzięczamy

odkryciu go na słońcu; nie można było utożsamić pewnego jasnego prążka w widmie słońca z jakimkolwiek z prążków, cechujących znane na ziemi pierwiastki. Naskutek tego nazwano „helem“ czyli „substancją słoneczną“ nieznany pierwiastek, któremu przypisać wypadło ów prążek w widmie słońca. Dopiero później stwierdzono, że hel należy do tego szeregu gazów, którego zbadaniem zajęli się Lord Rayleigh i sir William Ramsay w wyniku doświadczeń, przeprowadzonych przez Rayleigh'a z azotem.

Gaz, składający się z atomów o dziesięciu elektronach neon t. j. „nowy“ mniej jest pospolitym od argonu. Posiada on szczególną własność żarzenia się żywą barwą, żarzenia wzniecanego z łatwością przez wyładowania elektryczne, i często używa się w żarówkach elektrycznych: wszystkim nam jest znane czerwono-żółto-pomarańczowe światło lampy neonowej.

„Krypton“ (36) czyli gaz „ukryty“ i „ksenon“ (54) czyli „obcy“ są bardzo rzadkiemi. Ostatnim członem szeregu jest „radon“, zwany także emanacją radu. Atom tego pierwiastka posiada normalnie ośmdziesiąt sześć elektronów i jest cięższą z części, na które rozpada się atom radu. Podobnie, jak inne gazy tegoż szeregu, dąży radon do całkiem niezależnego bytowania, tak, że z rozpadającego się radu powstają dwa gazy. Na niektórych zdjęciach Wilson'owskich (Tabl. III A, B), przedstawiających ślady przebiegu atomów helu, zauważyć możemy ślady, zaczynające się w środku komory, spowodowane one zostały rozpadnięciem się atomów tego ciężkiego gazu, będącego również promieniotwórczym. W istocie, przeciętny okres jego życia trwa zaledwie trzy i pół dnia.

Nie przypuszczajmy, żeby nie można było zmusić te dziwne atomy do kojarzenia się w jakichkolwiek okolicznościach. Można uzyskać ich wzajemne łączenie się w stanie płynnym, lecz tylko przy niezmiernie niskich temperaturach. Przy temperaturach zwykłych tworzą one wszystkie gazy. Skroplenie helu jest jednym z dzieł, dokonanych

w pracowni Kamerlingh Onnes'a w Lejden, gdzie otrzymywanie niskich temperatur doprowadzone zostało do wysokiego stopnia doskonałości.

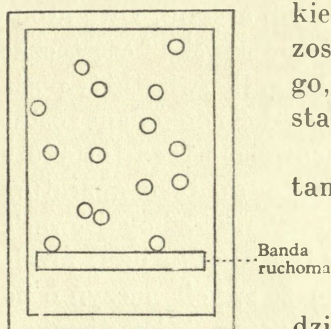
Są inne atomy, jak wodoru, azotu, tlenu i t. d., które łatwo łączą się w niewielkie grupy, czyli cząsteczki, z których każda równie wolną jest od wszelkiego dążenia do kojarzenia się z cząsteczkami tego samego rodzaju, a w wielu wypadkach z cząsteczkami innych rodzajów, jak wolnemi są od takiego dążenia atomy helu lub argonu. Dwa atomy wodoru tworzą bardzo stałą i „nietowarzyską“ cząsteczkę; tak samo dwa atomy azotu lub tlenu. Pierwiastki te posiadają własności gazów. Skroplenie wodoru dokonane zostało przez sir'a Jakóba Dewar'a w pracowniach tego Instytutu. Dotychczas znajduje się tutaj użyta do tego aparatura. W przedpokoju wisi obraz, na którym widzimy Dewar'a, na jednym ze swych wykładów w tem audytorjum, przelewającego płynny wodór z jednego ze swych naczyń o podwójnych ściankach z wypompowaniem między nimi powietrzem do drugiego takiegoż naczynia. Powietrze jest w przeważnej części mieszaniną cząsteczek tlenu i azotu. Inne dobrze znane cząsteczki, tworzące w warunkach zwykłych gazy, są to cząsteczki tlenku węgla (CO), dwutlenku węgla (CO_2), metanu (CH_4) i t. p. We wszystkich tych wypadkach dwie cząsteczki, posiadające szybkość, odpowiadającą zwykłym temperaturom, przy wzajemnem zderzeniu się odskakują od siebie, zachowując tem samem swe niezależne istnienie. To, nad czem wypada nam się obecnie zastanowić, są to właśnie następstwa, jakie powinny wynikać z tego niezależnego istnienia.

Wyobraźmy sobie naczynie zamknięte, zawierające pewną liczbę atomów albo cząsteczek w nieustannym ruchu wewnątrz tegoż naczynia, czyli, jak winniśmy się wyrazić, zawierające gaz. Zderzają się one ustawicznie między sobą i ze ściankami naczynia, i zachowują się tak, jakby zachowywały się wprawione w ruch kule bilardowe, gdyby ruch ich odbywał się bez tarcia i naskutek tego

trwał wiecznie. Istotnie w bardzo odpowiedni sposób da się zobrazować rozpatrywane zjawisko zapomocą małego bilardu, którego pp. Burroughs i Watts byli tak uprzejmi użyczyć nam dla tego celu. Kule na bilardzie w krótkim czasie powracają do stanu spoczynku, ponieważ zarówno bandy, jak i same kule nie są doskonale elastyczne; ponadto zachodzą straty energii naskutek tarcia kul o sukno,

pomimo tego, że jest ono tak gładkie. Tem niemniej, gdy ruch ten zostanie wszczęty, trwa on dość długo, aby dać pojęcie o tem, co by się stało, gdyby trwał on bez końca.

Całkiem uzasadnionem jest pytanie, jaki jest wpływ siły ciężenia na ruch atomów w zamkniętym naczyniu. Czy nie skupi je wszystkie na dnie? Jak się to



Ryc. 4. — Szkic małego bilardu doświadczalnego, z kulami i ruchomą bandą.

Gdy kule są w ruchu, popychają bandę ruchomą i tracą część swej energii. Gdy, przeciwnie, posuniemy raptownie bandę ku kulom, ruch ich zostanie wzmożony.

dzieje, że gaz wypełnia zarówno górne części naczynia, jak i dolne? Odpowiedź brzmi, że siła ciężenia niewątpliwie działa w całej pełni, lecz wpływ jej jest tak nikły, że nie daje się spostrzec w rozpatrywanym przez nas szczególnym wypadku. Jeślibyśmy mogli sobie wyobrazić, że gaz został całkowicie pozbawiony

swego ciepła i, co za tem idzie, ruch jego atomów całkowicie ustał, i, jeśliby można pominąć siły przyciągające, wówczas, oczywiście, atomy osiadłyby w całkowitym bezruchu na dnie naczynia. Gdybyśmy następnie doprowadzili do nich odrobinę ciepła, wolno nam przypuszczać, że zaczęłyby skakać do góry i nadół, jak doskonale elastyczne kule po doskonale elastycznej podłodze. Jeśliby temperatura podniosła się przytem o jedną tysięczną stopnia Celsjusza, wysokość ich skoków wynosiłaby około trzydziestu centymetrów. Przy do-

statecznym dopływie ciepła zaczęłyby atomy dosięgać w swych skokach pokrywy naczynia, przyczem moglibyśmy przypuścić, że liczba ich jest tak mała, że tylko rzadka zderzałyby się ze sobą. Lecz przy temperaturach zwykłych ruchy atomów byłyby tak szybkie — około 1.800 metrów na sekundę, — że siła ciężenia powodowałaby tylko nieznaczną różnicę w szybkości ich wznoszenia się ku górze i opadania, wobec czego w każdej chwili znajdowałoby się tyleż atomów w górnej części naczynia, co w dolnej. Gdyby były one tak liczne, jak cząsteczki powietrza w warunkach normalnych, zderzałyby się ze sobą częściej niż ze ściankami naczynia. W powietrzu normalna długość przebiegu pomiędzy dwoma następującymi po sobie zderzeniami wynosi niespełna jedną miljonową centymetra. Skoro siła ciężenia nie ma widocznego wpływu, bilard daje nam tem lepszy obraz zjawiska; moglibyśmy uzyskać coś na podobieństwo siły ciężenia, pochylając nieco powierzchnię bilardu, lecz nie warto byłoby zadawać sobie tyle kłopotu.

Jeśli atomy względnie cząsteczki gazu ustawicznie zderzają się ze ściankami naczynia, muszą te ostatnie wskutek tego być poddane stałemu ciśnieniu, skierowanemu na zewnątrz; mamy w istocie na myśli ciśnienie, wywierane przez gaz na otaczającą go powłokę. Rozdęcie balonu jest następstwem bombardowania jego powłoki przez cząsteczki wypełniającego balon gazu. Gdy na naszym bilardzie umieścimy ruchomą bandę i wprawimy w ruch kule, banda zostanie przez nie odepchnięta. Gdyby ilość kul została dwukrotnie zwiększona, ciśnienie byłoby dwa razy większe. Jest to właśnie dobrze znane prawo gazów, według którego ciśnienie jest proporcjonalne do gęstości przy niezmiennych pozostałych warunkach. Zwiększymy ciśnienie, wywierane na bandy, nadając kulom pęd szybszy; tak samo ciśnienie gazu wzrasta w miarę podnoszenia się temperatury.

Przypuśćmy teraz, że nagle posuniemy ruchomą bandę ku

poruszającym się i odbijającym się o nią kulom. Jest rzeczą jasną, że przez to ruch kul zostaje wzmożony. Tak samo, gdy popchniemy jedną ze ścianek naczynia ku wnętrzu, tak, jak to ma miejsce przy opuszczaniu tłoka w cylindrze, ruch atomów się wzmacnia. Innemi słowy temperatura podnosi się. Wiemy wszyscy, jak bardzo rozgrzewa się przy użyciu pompki do nadymania dętek rowerowych. Zjawisko odwrotne również ma miejsce. Gdy bandę ruchomą na bilardzie odsuniemy, podczas gdy kule w nią uderzają, ruch ich się zmniejsza. Jeśli kiedykolwiek graliśmy w kryketa, wiemy, że, chcąc schwytać piłkę, musimy cofać nasze dłonie w chwili, gdy dotkną się lecącej piłki: cofające się dłonie niweczą stopniowo ruch piłki. Gdy będziemy trzymali dłonie nieruchomo, piłka napewno wyskoczy z pomiędzy nich zpowrotem. Tak samo przy tennisie, gdy chcemy schwytać piłkę, musimy pochylić rakiętę, z lekka ją cofając w chwili zetknięcia z lecącą piłką, aby ruch jej zmniejszał się stopniowo, co wymaga dużej wprawy i szybkiej orjentacji, gdyż czas zahamowania musi być ściśle uchwycony ze względu na sztywność strun rakiety. W zachowaniu się gazu odpowiednikiem tych zjawisk jest ochłodzenie gazu naskutek ekspansji czyli nagłego rozrzedzenia. Jako przykład tego zjawiska mieliśmy działanie aparatury Wilson'a, podczas którego nagłe zwiększenie zamkniętej przestrzeni, wypełnionej wilgotnem powietrzem, wywoływało takie oziębienie, że wilgoć w postaci mgły osiadała na atomach helu. Ekspansja musiała być dostatecznie raptowną, w przeciwnym razie możliwym byłby równoczesny dopływ ciepła z zewnątrz i pożądana niska temperatura nie dałaby się osiągnąć.

Nagłe rozrzedzenie wielkich mas powietrza w atmosferze jest częstem źródłem deszczu i śniegu. Wśród nieustannego ruchu wiatrów zdarzyć się może, że wielka masa wilgotnego powietrza, znalazłszy się w obszarze niższego ciśnienia, ulega rozrzedzeniu i co za tem idzie tak znaczne-

mu ochłodzeniu, że para wodna zaczyna się skraplać. Łatwo odtworzyć to zjawisko w małej skali. Rura szklana, jaką widzimy na stole (Tabl. VI B) zawiera powietrze, które przedostając się do niej przez wodę, przepojone zostało wilgocią. Przewód, którym zostało ono doprowadzone, zamknięty jest obecnie kurkiem. U drugiego końca rury znajduje się inny kurek, który w tej chwili jest również zamknięty i przerywa połączenie rury z pompą próżniową. Gdy ten drugi kurek otworzymy, powietrze w rurze się rozrzedza i w oka mgnieniu biała mgła wypełnia rurę. Wiązka promieni z lampy łukowej skierowana jest wzdłuż rury i oświetla mgłę. Zapomocą pompy próżniowej usunąć możemy powietrze z rury i w ten sposób powtarzać doświadczenie dowolną ilość razy. Za każdym razem, po napełnieniu rury wilgotnem powietrzem, oczyszczonem zapomocą przefiltrowania od wszelkiego kurzu i dymu, otrzymujemy ten sam rodzaj białej mgły, którą nieraz zauważyć można w czystem wiejskiem powietrzu. Gdy jednak wpuścimy do rury powietrze bezpośrednio z otaczającej przestrzeni bez uprzedniego filtrowania, otrzymamy jako wynik ekspansji gęstą szarą mgłę taką samą, jaka niestety nazbyt często powstaje w powietrzu londyńskim.

Zapomocą bilardu możemy też ułatwić sobie zrozumienie i innych własności gazu. Umieścimy wśród kul bilardowych pewną ilość lekkich kulek celuloidowych, i wprawmy wszystko to w ruch. Spostrzeżemy odrazu, że w ogólnem zamieszaniu kulki celuloidowe uzyskają większe szybkości aniżeli kule bilardowe. Podobnie, gdy jakiś gaz zawiera dwa rodzaje atomów, cięższe i lżejsze, te ostatnie uzyskują w ciągłej wymianie ruchu większą szybkość przeciętną aniżeli pierwsze. Gdy wodór zmieszany jest z tlenem, cząsteczki wodoru istotnie poruszają się średnio cztery razy szybciej od cząsteczek tlenu. Zapomocą obliczenia, którego tu nie przytaczamy, można wykazać, że atomy różnych rodzajów, zmieszane ze sobą, wszystkie

posiadają jednakową przeciętną energję, przyczem lżejsze wyrównywują niedostatek, wynikający z ich mniejszej masy, większą szybkością, jaką uzyskują. Kiedy nawet gazy nie są ze sobą zmieszane, lecz wypełniają oddzielne naczynia, podlegają one temu samemu prawu, pod warunkiem, że posiadają one jednakową temperaturę. Jakkolwiek w tym wypadku atomy obydwu gazów nie są w stanie bezpośrednio wymieniać i wyrównywać nawzajem swoje energie, w istocie ma to jednak miejsce za pośrednictwem różnego rodzaju materji, jaka je przedziela, t. j. ścianek naczyń, które gazy te zawierają, stołu, na którym są one umieszczone, oraz za pośrednictwem powietrza. W samej rzeczy przeciętny ruch atomu jest ściśle określony przez temperaturę.

Z łatwością zobrazować sobie możemy to zjawisko. Dźwięk jest ruchem, jaki przekazują jeden drugiemu atomy gazu, przez który dźwięk się przedostaje, zupełnie tak samo, jak przy pożarze robotnicy, tworzący łańcuch, podają sobie z rąk do rąk kubły z wodą. Im szybsze są ruchy ich rąk, tem szybciej posuwa się naprzód woda. Tak samo zupełnie dźwięk rozprzestrzenia się tem szybciej, im większe są szybkości atomów; lub, co jest równoznaczne, im atomy są lżejsze. Piszczalka w organach, napełniona gazem węglowym daje ton wyższy niż, gdy jest dęta powietrzem, ponieważ cząsteczki gazu lżejszego poruszają się szybciej i drgania piszczałki są naskutek tego częstsze. Bardzo proste doświadczenie może nam to wyjaśnić. Na stole znajduje się wysokie naczynie szklane, do którego nalewano wody aż do chwili, kiedy pozostały nad nią słup powietrza zaczął głośno odpowiadać przez rezonans na drgania kamertonu, trzymanego tuż nad naczyniem (Tabl. VI A). Fale powietrza posuwają się ku górze i wdół naczynia ściśle w czasie, odpowiadającym drganiom kamertonu; okres drgań własnych naczynia równa się okresowi drgań kamertonu, jak możemy to udowodnić, dmuchając lekko ponad wierzchem naczynia i tem samem wydoby-

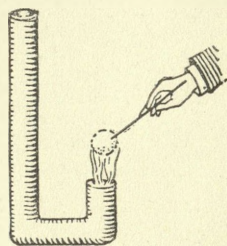
wając zeń cichy ton. Teraz wpuszczamy przez rurkę gumową gaz do naczynia i odgłos znika całkowicie. Ruchy odbywają się teraz ku górze i ku dołowi naczynia z większą szybkością, a okres drgań własnych naczynia nie równa się już okresowi drgań kamertonu. Jeśli teraz odlejemy nieco wody z naczynia i zaczniemy znowu doświadczenia przy napełnieniu powietrzem, nie otrzymamy rezonansu dopóki nie wprowadzimy do naczynia pewnej ilości innego gazu. Odgłos wystąpi w całej pełni z chwilą, gdy nastąpi rezonans między ruchami cząsteczek mieszaniny gazu z powietrzem, a drganiami kamertonu.

Wyobraźmy sobie, że w ścianie naczynia, zawierającego gaz, znajduje się maleńki otwór. Za każdym razem, gdy atom lub cząsteczka dotrze do otworu, przenika przezeń i już nie powraca. Jasnym jest, że gaz lekki prędzej będzie się przesączał nazewnątrz aniżeli gaz ciężki, gdyż ruch jego atomów w naczyniu jest szybszy i większa liczba atomów na sekundę trafiać będzie w otwór. Zjawisko to często jest stosowane w celu oddzielenia od siebie dwóch gazów w tych wypadkach, gdy inne środki zawodzą. Rayleigh i Ramsay naprzykład korzystali z tego sposobu dla odłączenia argonu z azotu w mieszaninie tych gazów, stanowiącej pozostałą część powietrza atmosferycznego po usunięciu zeń wszystkich innych gazów. Przepuszczano w tym celu mieszaninę obydwu gazów przez szereg glinianych cybuchów fajkowych, przy czym azot ulatniał się przez pory fajek szybciej od argonu. Atom argonu jest czterdzieści razy cięższy od atomu wodoru, a atom azotu dwadzieścia ośm razy; azot przesącza się przeto łatwiej przez porowate ścianki gliniane cybuchów fajkowych, i naskutek tego gaz, wydobywający się z drugiego końca szeregu fajek, bogatszy jest w argon od wprowadzanej do tego przewodu mieszaniny. Przebieg dyfuzji jednego gazu do drugiego posiada w istocie ten sam charakter, gdyż odstępy między atomami lub cząsteczkami jednego z gazów dadzą się porównać do porów w fajce glinianej. Dyfuzja

jest zjawiskiem bardzo powolnem, pomimo wielkiej szybkości atomów w gazach, przyczyna tego tkwi w wielkiej częstości zderzeń między cząsteczkami. Pozornie mogłoby się wydawać, że dyfuzja jednego gazu do drugiego odbywa się szybko, a to na podstawie takiego np. faktu, że, gdy otworzymy kurek przewodu gazowego, rychło w całym pokoju pocujemy zapach gazu. Przyczyną tego rozproszenia są raczej prądy konwekcyjne aniżeli dyfuzja, dzięki czemu gaz świetlny zbitymi masami rozchodzi się w powietrzu. Zjawisko to w bardzo ładny sposób daje się zauważyć w postaci wznoszących się obłoków dymu od papierosa (Tabl. VII). Gdy położymy papieros na popielnicze, wąskie pasmo niebieskiego dymu unosi się w górę, jak powiewający pióropusz, który rozpościera się, wygina i zwija w delikatne spirale i krzywe powierzchnie. Pasma dymu, rozwiewając się w powietrzu, uwidacznia nam działanie konwekcji. Przez cały czas odbywa się dyfuzja między prądem powietrza, przepojonego dymem, a powietrzem czystem; lecz proces ten jest tak powolny, że zarysy obłoków dymu przez długi czas pozostają ostre. Podobnie, gdy pokój nagrzewa się dopływem gorącego powietrza, ciepło rozchodzi się dzięki prądom konwekcyjnym i fale gorącego powietrza przenikają przez zimne. Przyczyną tego nie są indywidualne ruchy cząsteczek gorącego powietrza, przedostających się poprzez cząsteczki powietrza zimnego; przenikanie tego rodzaju odbywa się, oczywiście, również, ale postępuje powoli. Konwekcja jest bardziej skuteczna od przewodnictwa.

Ruchy mas gorącego gazu, przenikających gaz zimny, podlegają oczywiście prawom ciężenia: ciało lżejsze, o ile pozostaje skupione, dąży do wzniesienia się ponad ciało cięższe. Dym z papierosa unosi się w górę, ponieważ powietrze nad żarzącym się końcem papierosa nagrzewa się i staje się lżejszem; prądy zimniejsze, dopływając ze wszystkich stron, spotykają się ze sobą i wznoszą się w górę otaczając cienkie pasmo dymu. To wąskie pasmo stanowi

ich wspólną granicę; gdy powietrze jest spokojne i wspomniane prądy są stałe, pionowe pasmo dymu wydłuża się coraz bardziej; lecz najłżejszy ruch papierosa zakłóca jednostajny przepływ prądów i równe pasmo skłębia się w piękne krzywe. Działanie komina, powodujące ciąg, jest zapewne wszystkim znane; lecz może być interesujące przypatrzeć się ponownie pewnemu dawnemu doświadczeniu Faraday'a. Do otworu krótszego ramienia zgiętej rury zbliżamy zapalony kłębek pakuł, przepojonych spirytusem (patrz ryc. 5). Gdy przez jakiś czas dmuchać będziemy na płomień, przeniknie on przez krótsze ramię rury do dłuższego i palić się nadal będzie u otworu tegoż nawet, gdy przestaniemy dmuchać. Kanały grzejników w salach szpitalnych urządzone są często na tej zasadzie, tak, że ciąg przechodzi pod podłogą. Ruch powietrza w tym wypadku spowodowany jest, oczywiście, tem, że powietrze gorące w dłuższym ramieniu jest lżejsze od odpowiedniej objętości powietrza otaczającego. Odwrotne zjawisko zdarza się nieraz w domu, gdy powietrze w kominie jest zimniejsze od powietrza otaczającego, naskutek czego skierowany wdół ciąg napęlnia pokój zapachem sadzy.

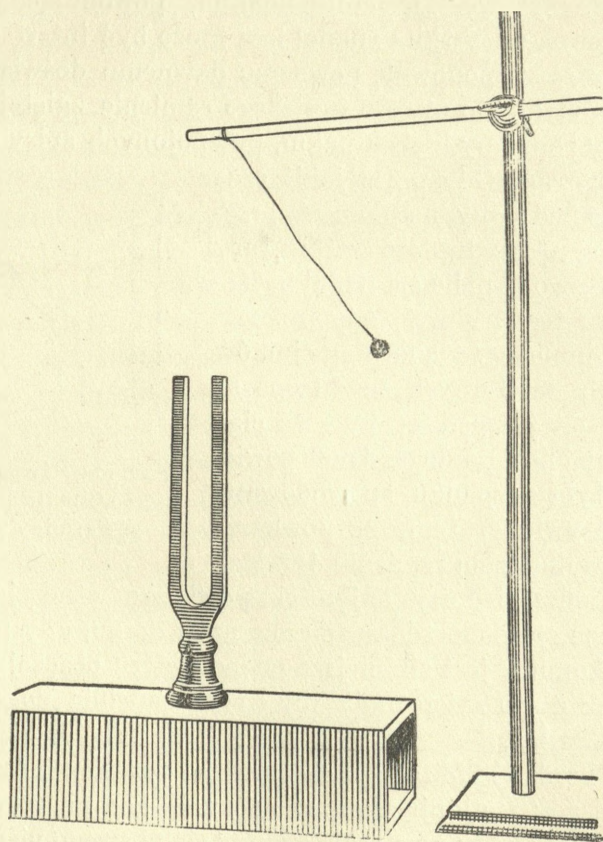


Ryc. 5. — Reproduk-
cja z „Chemji świecy“
Faraday'a.

Coś bardziej zbliżonego do zjawiska przewodnictwa ma miejsce, gdy znajdujący się w naczyniu gaz nagrzewa się przez ścianki. Gdy cząsteczki gazu w ciągu swego nieustannego ruchu zbliżą się do ścianek, otrzymają one impulsy od drgań stałego materiału w ściankach, podobnie, jak kulka na naszej rycinie otrzymuje silne uderzenie naskutek zetknięcia się z drgającym zębem kamertonu.

Sir Dewar swoją „butelkę próżniową“ do przechowywania powietrza ciekłego sporządził z naczynia szklanego o ściankach podwójnych, z pomiędzy których wypompo-

wał powietrze. Usunął przez to stamtąd cząsteczki, któreby mogły przenosić energję od ścianki zewnętrznej do wewnętrznej. Wszelki dopływ ciepła czy to przez przewod-



Ryc. 6. — Kamerton i kulka ze rdzenia brzozonego.

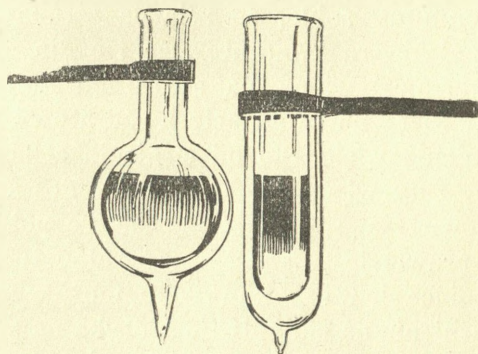
Kulka odrzuconą zostaje z dużą siłą od kamertonu.

nictwo czy to przez konwekcję został przez to udaremiony. Ciepło może również rozprzestrzeniać się przez promieniowanie w eterze; temu jednak można przeszkodzić, posrebrzając powierzchnie naczyń wewnątrz podwójnych

ścianek. Gdy zostanie to wykonane, izolacja termiczna powietrza jest niemal doskonała.

Zupełna wzajemna niezależność atomów względnie cząsteczek gazu jest powodem jego doskonałej podzielności. Gdy ciało stałe krajemy nożem, musimy użyć pewnej siły, aby oderwać cząsteczki jedne od drugich; w gazie jednak te siły wiążące są zupełnie nikłe.

Przedmiot, poruszający się w powietrzu, napotyka opór, wynikający z konieczności wprowadzenia w ruch części powietrza, co wymaga zużycia energii. Gazy są, oczywiście lekkie i energja, potrzebna do wprowadzenia ich w ruch, jest stosunkowo niewielka. Lekkość ich oraz łatwość, z jaką możemy się przez nie przedostawać, czynią, że z łatwością zapominamy zarówno o tem, jak



Ryc. 7. — Butelka próżniowa.

Proszę zwrócić uwagę na rurkę u dna naczynia (obecnie zatopioną), przez którą powietrze zostało wypompowane między ściankami zewnętrzną i wewnętrzną obydwu naczyń.

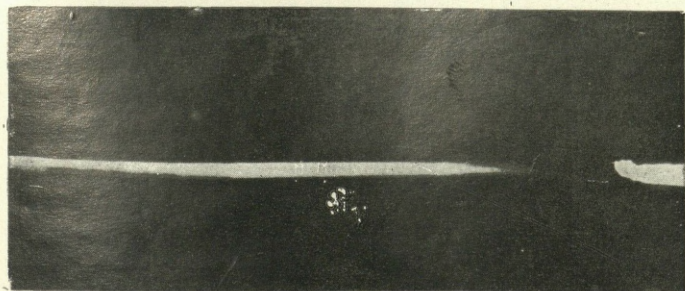
wielkiem jest ciśnienie powietrza na powierzchni ziemi, jak też, jak duży ciężar posiada powietrze, wypełniające większą przestrzeń np. przestrzeń tego audytorjum. Powietrze wywiera ciśnienie na nasze ciała, wynoszące około jednego kilograma na jeden centymetr kwadratowy; że pod tem ciśnieniem nie kurczymy się, zawdzięczamy temu, iż powietrze wewnątrz naszego ciała znajduje się pod tem samem ciśnieniem, co powietrze nazewnątrz. Gumowa laleczka (p. Tabl. VIII A) opada całkowicie, gdy wypompujemy z niej powietrze. Naczynie cynowe o cienkich ściankach, widoczne na Tabl. VIII B zawierało z początku trochę wody, która została

nagrzana do temperatury wrzenia, tak, że para wodna usunęła całkowicie z naczynia powietrze. Otwór, przez który przedostawała się para, został następnie zamknięty, a naczynie oblane zimną wodą. Znajdująca się wewnątrz para zgęszcza się i ciśnienie spada niemal do zera. Pod działaniem powietrza zewnętrznego naczynie wówczas ulega zgnieceniu.

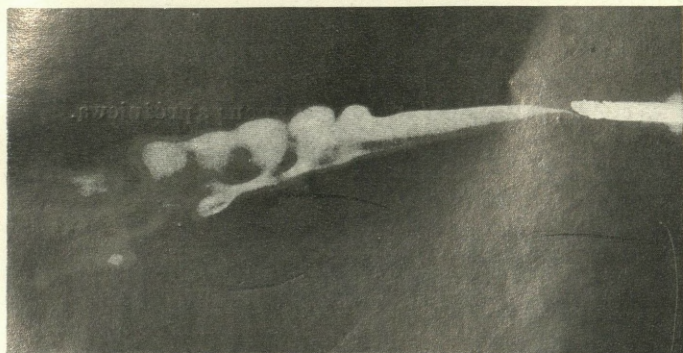
W sposób jeszcze bardziej uderzający zdamy sobie sprawę z tego, jak wielkiem jest ciśnienie powietrza, gdy uprzytomnimy sobie, że żelazna sztaba o przekroju jednego centymetra kwadratowego i o długości około półtora metra, postawiona na sztorc na stole, ciężarem swym nie wywiera na centymetr kwadratowy powierzchni stołu ciśnienia większego od ciśnienia atmosferycznego.

Gdy więc uwzględnimy w dostatecznej mierze ciężar powietrza, nie zdziwimy się, że potrzeba dużej siły, aby wprowadzić je w szybki ruch, albo też, że powietrze, znajdujące się w szybkim ruchu, może wywierać bardzo znaczne ciśnienie na ciała, jakie spotyka na swej drodze. Każdemu z nas znane jest ciśnienie wiatru, oraz to spustoszenie, jakie może spowodować wichur. Tak samo obracające się śmigło aeroplanu odrzuca z wielką szybkością masy powietrza, a wywołana tem wielką siłą przeciwdziałania nadaje płatowcowi potrzebną szybkość. Podczas swego lotu aeroplan, tak jak ptak, dąży ustawicznie do spadku wdół i do pociągnięcia za sobą mas powietrza, znajdującego się pod nim i dookoła niego. Lecz nabiera on siły, aby wprowadzić w ruch te masy powietrza, a przeciwdziałanie wznosi go w górę. Jeśliby płatowiec nie posiadał pędu naprzód, wkrótce wprowadziłby znajdujące się pod nim powietrze w ruch ku dołowi i wraz z nim zacząłby spadać; lecz w locie swym wciąż posuwa się ku coraz to innym masom powietrza, których jeszcze nie ogarnął ruch, skierowany ku dołowi. Bardzo proste małe doświadczenie wyjaśni nam bliżej ten punkt. Rzucamy kawałek papieru odpowiedniej wielkości np. długości 10 cm. i szerokości

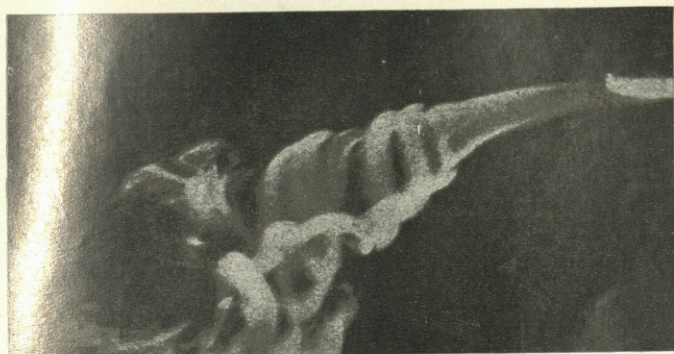
TABLICA VII



A



B

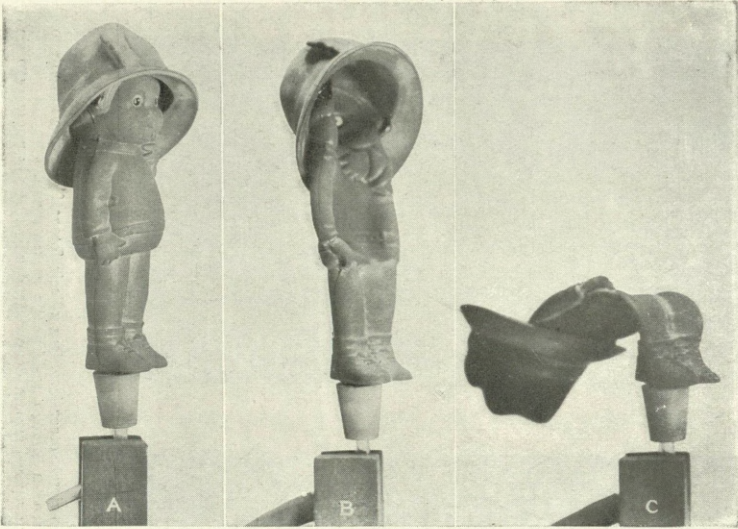


C

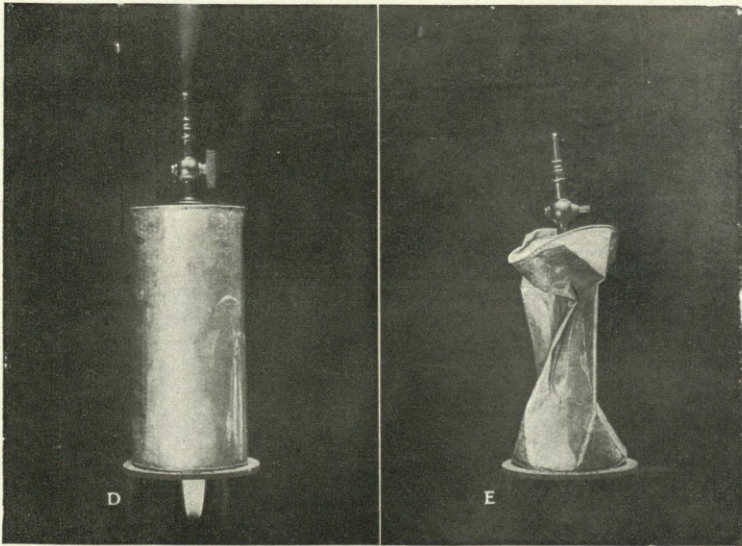
Dym z papierosa.

A. Dym z papierosa unosi się w górę prostym pasmem. Pociąga ono ze sobą powietrze otaczające, lecz zdjęcie fotograficzne nie może tego ujawnić; mamy tam unieszczy się w górę prad powietrza, w środku którego znajduje się pasmo dymu.
B i C. Na tych zdjęciach widzimy papierosa, który został nagle poruszony przed samem dokonaniem zdjęć. Prądy unoszącego się w górę powietrza, które nasamprzód zetknęły się z końcem papierosa skłaniają się i okręcają się dookoła siebie, zachowując przytem swoją odrębność. Mieszają się one ze sobą bardzo powoli przez dyfuzję cząsteczek z jednego prądu do drugiego, pomimo, że cząsteczki te są w ruchu; gdyby prądy powietrza mieszały się ze sobą szybko, kłb dymu byłby bezzkształtną masą. Spotykające się prądy powietrza mieszały się ze sobą raczej przez konwekcję aniżeli przez dyfuzję.

TABLICA VIII



A Lalka gumowa opada, gdy zostanie połączona z pompą próżniową.



B Woda w naczyniu cynowem znajdowała się w stanie gwałtownego wrzenia w chwili, gdy usunięto palnik bunsenowski i zamknięto kurek. Gdy oblano je zimną wodą, ścianki jego zapadły się.

trzech, w sposób, jak to pokazuje rycina; skrawek papieru, obracając się dookoła swej osi, opada ku ziemi po linii skośnej. Kierunek osi obrotu pozostaje w takim samym stosunku do kierunku spadania, jak kierunek osi obrotu kuli, staczającej się po spodniej powierzchni równi pochyłej. Wytlumaczyć to sobie możemy tem, że znajdujący się na przodzie brzeg papieru napotyka na coraz to inne masy powietrza, które nie zaczęły jeszcze opadać, podczas gdy tylna część papieru ślizga się po powietrzu, które pociągnięte tylko co zostało ku dołowi przez przednią



Ryc. 8. — Skrawki papieru różnego kształtu, opadające ku ziemi.

a) Następujące po sobie położenia skrawka opadającego papieru.

b) Skrawek papieru lekko wygięty opada, kołysząc się po linii zygzakowatej.

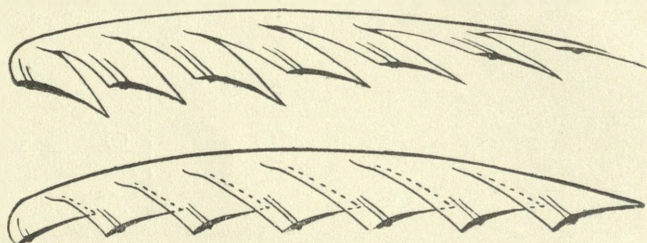
c) Skrawek papieru z całkowicie zagiętymi brzegami opada prosto w dół.

część. Tak więc tylna część opuszcza się ku dołowi, podczas gdy przednia utrzymuje się na tym samym poziomie, naskutek czego papier zaczyna się obracać, jak to widzimy na rycinie, dopóki nie posunie on się znowu naprzód. Lecz wówczas brzeg, który znajdował się wtyle, wysuwa się naprzód, i tak dalej.

Papier obraca się wciąż dookoła swej osi, przyczyną tego ruchu jest nader prosty kształt skrawka. Ptak lub aeroplan natomiast podczas lotu opadowego szybuje spokojnie i pewnie, kształt zaś skrzydła jest w rzeczywistości nader skomplikowanym, o czem przekonali się konstruktorzy aeroplanów.

Nadanie właściwego kształtu aeroplanowi (aeroplan wbrew swej nazwie bynajmniej nie jest płaskim), a zwła-

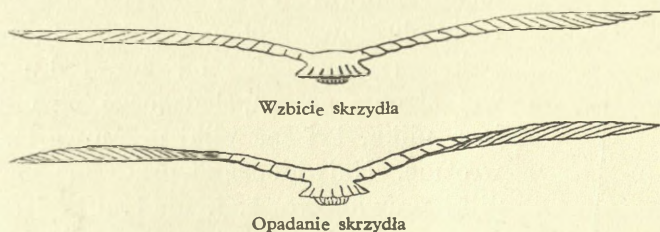
szcza jego przedniej krawędzi, jest rzeczą wielkiej wagi, i wymaga dużej subtelności w wykonaniu. Ptak używa swych skrzydeł nie tylko, gdy szybuje podczas lotu opadowego, ale także gdy trzepocze niemi, aby zmieniać kierunek lub szybkość swego lotu; to też dlatego skrzydła posiadają budowę, wspaniale dostosowaną do ich szczególnego przeznaczenia. W samej rzeczy skrzydło składa się z szeregu zaworów, które otwierają się przy podnoszeniu skrzydła, a zamykają przy jego opadaniu; dzięki temu ciśnienie powietrza na skrzydło jest mniejsze podczas wzbicia skrzy-



Ryc. 9. — Rysunki, według Lilienthal'a, uwidaczniające pióra, rozwierające się, aby przepuścić powietrze podczas wzbicia skrzydła (rysunek górny), a zwarte dla powstrzymania powietrza podczas opuszczania skrzydła (rysunek dolny).

deł, aniżeli podczas uderzenia niemi wdół. Działanie to jest nieco podobne do działania błon u nóg kaczki, które rozciągają się, wywierając większe ciśnienie na wodę, gdy noga zostaje pchniętą wtył, aniżeli, gdy noga posuwa się naprzód, sam sposób jednak działania jest całkiem odmienny. Żeberko pióra nie zawsze leży pośrodku, lecz często umieszczone jest z jednego boku, a szereg piór tak jest ułożony, że pióra zachodzą jedno na drugie, układając się w krzywą powierzchnię wzdłuż żeberka. Gdy się skrzydło podnosi, rozwierają się one, jak listewki w żaluzji okiennej i powietrze przechodzi swobodnie; gdy skrzydło opada, pióra zwierają się, szczelnie przylegając nawzajem do siebie. Oba rysunki na rycinie 9. zapożyczone

są z dzieła Ottona Lilienthal'a „Lot Ptaków“ str. 101. Przedstawiają one przekroje skrzydeł kondora. Jak powiada Lilienthal, „każdy badający lot bocianów wie, że można co pewien okres patrzeć poprzez skrzydła“. Co więcej wszystkie niezliczone części każdego pióra biorą udział w tem działaniu wentylowem. Jasnem jest, że dzięki takiej budowie samo trzepotanie skrzydłami powodować musi wznoszenie się w górę niezależnie od wszystkich innych właściwości ruchu. Pchnięcie naprzód wywołane zostaje wygięciem skrzydła wzdłuż sztywnej krawędzi przed-



Ryc. 9a. Mewa w locie.

Podczas opadania skrzydło mewy przekręciło się, okazując dolną swą powierzchnię i wywołując tem pchnięcie naprzód.

niej, jak to widzimy z rysunków skrzydeł mewy w locie („Lot ptaków“, str. 96). Wykonane zostały one w słońcu: gdy skrzydło się podnosi, tylne jego części wyginają się wdół i okazują jasną powierzchnię górną; gdy skrzydło opada, wygina się w ten sposób, że widoczną się staje ciemniejsza powierzchnia dolna. Wznoszenie się w górę musi też oczywiście mieć miejsce nawet wtedy, gdy skrzydła rozpostarte są bez ruchu, o ile tylko w powietrzu zachodzą nieznaczne drgania, wiry i podmuchy. Przepiękne szybowanie ptaków, przebywających w ten sposób wiele kilometrów bez jakiegokolwiek ruchu skrzydeł i bez żadnego widocznego wysiłku, przypisane być może powyższemu zjawisku; podobno szybowanie to nie ma miejsca, gdy powietrze jest zupełnie spokojne.

Bardzo ładnym przykładem praw aerodynamiki jest

odchylenie z drogi prostej, jakiego doznaje wyrzucona kula, wirująca dookoła swej osi; zjawisko to bezwątpienia zainteresuje większość obecnych. Widzimy je i korzystamy z niego przy każdej prawie grze sportowej, jakkolwiek może najjaskrawiej występuje ono w wypadku golfa, gdyż w grze tej piłka uzyskuje największą



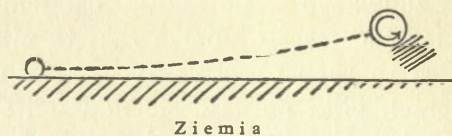
Ryc. 10. — Lot
piłki golfowej
„ściętej“.

Przestrzeń kreskowana wskazuje, gdzie powietrze zostaje zgęszczone wskutek ruchu obrotowo-postępowego piłki; to nagromadzenie zgęszczonego powietrza powoduje odchylenie się piłki na prawo.

szybkość. Przypuśćmy, że gracz w golfa „ścina“ swą piłkę: piłka, zamiast lecieć po linii prostej w kierunku, jaki zdawałoby się został jej nadany, odchyła się w swym locie na prawo. Piłka przytem wykonywa ruch obrotowy dookoła swej osi; przód piłki przesuwają się od lewej ku prawej stronie gracza, śledzącego za odlatującą piłką, tył zaś piłki przesuwają się odwrotnie. Najwidoczniej gracz nie uderzył piłki prawidłowo, t. j. nie trafił uderzając w sam środek piłki, lecz w chwili uderzenia przesunął nieco koniec maczugi po powierzchni piłki; być może, że ściągnął on nieco ramiona w momencie uderzenia i przez to ruch jego nie był prawidłowy. Przed posuwającą się naprzód piłką znajduje się bezpośrednio jakby poduszka zgęszczonego powietrza, które nie zdążyło stamtąd odpłynąć. Gdy piłka wiruje tak, jak to przypuściliśmy, strona lewa względem śledzącego piłkę gracza obraca się naprzód w kierunku lotu, strona zaś prawa przesuwają się w kierunku przeciwnym tak długo, jak trwa ruch obrotowy piłki. Naskutek tego powietrze przez tarcie porwane zostaje ku przodowi silniej z lewej strony niż z prawej i poduszka powietrza, znajdująca się przed piłką jest gęstsza po lewej stronie niż po prawej. Stąd wynika, że piłka w locie swym skręca na prawo.

Dalekonośność kuli golfowej zawsze spowodowana jest

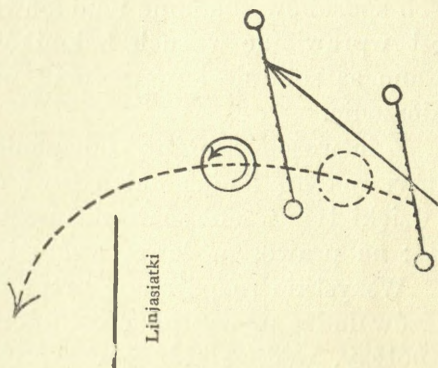
nadany jej w sposób właściwy ruchem obrotowym: uderzenie musi być tego rodzaju, że piłka obraca się wskutek niego dookoła osi poziomej, przyczem dolna część piłki porusza się dzięki temu ruchowi obrotowemu naprzód w kierunku rzutu. To sprawia, że piłka dąży do wzniesienia się w górę podczas swego lotu. Czasami istotnie widzimy, że leci ona po linii krzywej, wypukłej ku dołowi. Gdyby nie było tego działania ruchu obrotowego, piłka nie przeleciałaby i połowy odległości, jaką faktycznie osiąga. Dodatkowo za-



Rys. 11. — Prawidłowy lot kuli golfowej: poduszka zgęszczonego powietrza, zaznaczona kreskami, podtrzymuje piłkę podczas jej lotu.

znaczyć możemy, że, gdyby nie było wcale powietrza, dalekość rzutu piłki byłaby od dwóch do trzech razy większa od normalnej, gdyż tak wielkim jest opór powietrza względem lecącej z dużą szybkością piłki. Moglibyśmy rzucić piłkę na daleko większą odległość, gdybyśmy mogli uniknąć oporu powietrza; ponieważ jednak nie możemy tego dokonać, wykorzystujemy działanie ruchu obrotowego, jaki staramy się we właściwy sposób nadać piłce.

Lot piłki nożnej, podobnie do lotu szybko wirującej piłki golfowej, często biegnie po krzywej, wygiętej w górę,



Ryc. 12. — Działanie uderzenia rakiety tenisowej, nadające ruch obrotowy piłce i powodujące szybkie jej opadnięcie poza siatką (rysunek przesadzony).

Po prawej stronie przekrój rakiety i piłki przed uderzeniem: strzałka wskazuje kierunek ruchu rakiety.

gdy kopnięcie trafiło raczej pod piłkę, i, jakkolwiek, oczywiście, zakrzywienie to jest najwidoczniejsze wówczas, gdy piłka leci pod wiatr, jednak zdaje się, że można je też zauważyć w powietrzu całkiem spokojnem. W tenisie gracz często uderza rakiętą piłkę z góry, nadając jej przez to ruch obrotowy w odwrotnym kierunku, tak, że wierzch piłki porusza się naprzód szybciej niż spód. Naskutek tego piłka w locie swym opada ku ziemi tak, że jakkolwiek uderzona bardzo mocno, spada na kort, przeleciawszy poza siatkę. Piłki ciężkie mniej skręcają aniżeli piłki lekkie, lecące z tą samą szybkością; jednakże każdemu z nas znane jest odchylenie, jakie można nadać piłce w krykiecie, a odchylenie, jakie podający może nadać piłce w grze „baseball“ przedstawia widok wspaniały. Ze wszystkich sposobów zbadania tego zjawiska, może najprostszym jest wprawianie w ruch baloników, które obecnie sporządzane są solidnie i wytrzymać mogą nawet dosyć silne uderzenie.

Z łatwością możemy uderzeniem ręką, albo, jeśli wolimy, rakiętą nadać balonikowi dowolny ruch obrotowy i dzięki temu zaobserwować wszelkiego rodzaju odchylenia: na prawo, na lewo, w górę i ku dołowi.

Wszystkie rozpatrzone przez nas przykłady własności gazów dadzą się wytłumaczyć jak to widzieliśmy, zapomocą hipotezy, według której niektóre rodzaje atomów wykazują bardzo słabe dążenie do kojarzenia się z innemi atomami tego samego rodzaju lub z atomami innych pierwiastków: nazwaliśmy je „atomami-odludkami“. Inne znów rodzaje atomów np. atomy wodoru lub tlenu, jakkolwiek same przez się są bardzo towarzyskie, dążą do łączenia się w cząsteczki mniej lub więcej nietowarzyskie. Tak więc powietrze jest mieszaniną nietowarzyskich atomów i cząsteczek; znajdujemy w niem cząsteczki tlenu, z których każda składa się z dwóch atomów, cząsteczki azotu o budowie analogicznej, nieliczne cząsteczki dwutlenku węgla, z których każda składa się z jednego atomu węgla i dwóch

atomów tlenu, pewną ilość pojedynczych atomów argonu, i poza tem niewielki odsetek innych gazów. Wszystkie one tworzą gazy z powodu braku dążności do kojarzenia się; niezależność, jaką one wskutek tego posiadają, jak również ich ruchliwość łatwo tłumaczą nam ich zachowanie się.

Stawiamy sobie teraz pytanie, o ile własności tych atomów dadzą się powiązać z ogólnym poglądem na budowę atomów, któremu daliśmy wyraz w poprzednim wykładzie. W jaki sposób da się powiązać wyobrażenie słońca i planet z owem dążeniem atomów do kojarzenia się lub z brakiem tego dążenia, jak również z tworzeniem cząsteczek, wykazujących podobne dążności i t. d.? Aby odpowiedzieć na te pytania wyczerpująco, musielibyśmy zdać sprawę ze stanu wiedzy chemicznej w całym jej dotychczas znanym zakresie, co jednak leży całkowicie poza zamierzoną treścią niniejszych wykładów. Istnieją jednak pewne proste prawidła, które, jakkolwiek nie dadzą się wytłumaczyć i jakkolwiek pozornie często bywają przekroczone, dają nam jednak bardzo pożyteczną nitkę przewodnią, na którą nanizac możemy zaobserwowane przez nas fakty. Wróćmy do naszych atomów-odludków, odpowiadających liczbom porządkowym 2, 10, 18, 36, 54, 86. Pierwszą rzeczą, która nas uderza, stanowi istnienie ciekawych związków pomiędzy temi liczbami. Gdy napiszemy następujące po sobie po kolei różnice, otrzymamy 2, 8, 8, 18, 18, 32. Liczby 2, 8, 18, 32 są podwojonemi kwadratami liczb 1, 2, 3 i 4. Widzieliśmy poprzednio, że to, czem od różniają się od siebie poszczególne rodzaje atomów, daje się poprostu sprowadzić do wyróżniających je liczb porządkowych. Nie staraliśmy się przedstawić tu dowodów zarówno doświadczalnych, jak i teoretycznych istnienia danych liczb elektronów w różnych rodzajach atomów: są one skomplikowane, podczas gdy wynik jest prosty i stwierdzenie jego wystarcza dla naszych celów. Skoro liczba elektronów w układzie danego atomu, albo raczej liczba,

wyrażająca ładunek dodatni jądra atomu, posiada sama przez się tak niezmiernie doniosłe znaczenie, przypuszczać musimy, że coś istotnego tkwi w tych różnicach liczb porządkowych, któreśmy tylko co stwierdzili. Przypuszczenie to staje się jeszcze bardziej prawdopodobnem, gdy rozpatrzymy zagadnienie z innego punktu widzenia.

Chemicy dawno już zwrócili uwagę na wykryte przez siebie szczególne analogje, zachodzące pomiędzy różnemi rodzajami atomów. Dla naszych celów dogodnem będzie, gdy wyrazimy wyniki tego odkrycia zapomocą stosunków liczbowych. Napiszemy niektóre z nich w następujący sposób. Bierzemy naprzód w porządku liczbowym ośm atomów, zaczynających się od helu; i pod tym szeregiem umieszczamy następne ośm atomów, zaczynających się od neonu. Doprowadzając to uszykowanie aż do Nr. 20 (patrz Tabl. IV B, przedstawiającą przybliżone modele):

Hel 2	Lit 3	Beryl 4	Bor 5	Węgiel 6	Azot 7	Tlen 8	Fluor 9
Neon 10	Sód 11	Magnez 12	Glin 13	Krzem 14	Fosfór 15	Siarka 16	Chlor 17
Argon 18	Potas 19	Wapń 20	i t. d.				

Napisaliśmy faktycznie część „tablicy perjodycznej“. Została ona ułożona w taki sposób, że atomy helu, neonu i argonu, które tak bardzo są do siebie podobne dzięki wspólnej im najwybitniejszej własności nietowarzystości, znajdują się w tej samej kolumnie. Okazuje się dalej, że lit, sód i potas, które również podobne są do siebie przez cechujące je własności, znajdują się w kolumnie następnej, i że ta sama godna uwagi klasyfikacja obejmuje całą szerokość stronicy. Wzajemne podobieństwa ciał, umieszczonych w tej samej kolumnie, przejawiają się w najróżnorodniejszy sposób: stanowią one jedną z najznamienniejszych cech chemji. Sama nazwa „tablicy perjodycznej“ przyjętą została jako stwierdzenie tego faktu.

Uzasadnionem jest też przypuszczenie, że własności danego atomu, przejawiające się w stosunku jego do jakie-

gokolwiek innego atomu, wynikać mogą z określonego układu jego elektronów, szczególnie zaś tych, które wysunięte są najbardziej nazewnątrz i dzięki temu pierwsze wystawione są na działanie innego atomu. Tak więc lit, sód i potas zachowują się w podobny sposób dlatego zapewne, że wszystkie trzy posiadają taki sam zewnętrzny układ elektronów; tak samo węgiel i krzem, fluor i chlor i t. d.

Tego rodzaju rozważania naprowadziły na następującą hipotezę. Wyobraźmy sobie, że posiadane przez hel dwa elektrony umieszczone są jako para, symetrycznie po każdej stronie jądra helu. Wyobraźmy sobie dalej, że każdy następny atom posiada ten sam układ, a poza tem dodatkowo jeszcze jeden układ elektronów, tworzących zewnętrzną powłokę. Tak więc lit posiada dwa elektrony, jak hel, i poza tem jeszcze jeden, jako zaczątek dalszego układu zewnętrznego. Beryl posiada dwa elektrony w grupie zewnętrznej, bor trzy, węgiel cztery, azot pięć, tlen sześć i fluor siedem. Przypuścimy, że szereg uzupełnień do wymienionego szeregu zatrzymuje się na neonie i że we wszystkich atomach o wyższych liczbach porządkowych wewnętrzna grupa dwóch atomów i tylko co uzupełniona grupa ośmiu atomów pozostają bez zmiany, podczas gdy dalsze dodatkowe elektrony znajdują swe miejsca w nowych grupach. I tak sód, podobnie jak lit, posiada jeden elektron w najdalej nazewnątrz wysuniętej grupie, magnez dwa, jak beryl i t. d. Chlor, podobnie jak fluor, ma niemal uzupełnioną powłokę zewnętrzną z ośmiu elektronów; podczas gdy argon tak, jak hel, posiada tę powłokę już całkiem uzupełnioną. Począwszy od potasu, zaczyna się znowu dalsza grupa; wapń posiada dwa elektrony w tej najnowszej grupie i t. d. Ta ostatnia grupa zostaje całkowicie uzupełnioną dopiero, gdy obejmie ośmnaście elektronów; wiemy o tem na podstawie wyników badań chemicznych. Zbytecznem jest jednak dla nas dalsze rozważanie tego zagadnienia, tem bardziej, że staje się ono

coraz to bardziej skomplikowane w miarę wzrastania liczb porządkowych.

Rozumując w ten sposób, pojąć możemy, dlaczego członzy tej samej kolumny w własnościach swych są do siebie podobne. Pytamy się teraz, jaki jest związek pomiędzy szczególnymi własnościami danego atomu a szczególną liczbą elektronów, tworzących jego zewnętrzną powłokę, która to liczba jest taka sama dla wszystkich członów jednej kolumny. Na to pytanie również znaleźć możemy swego rodzaju odpowiedź, która najlepiej da się ująć w następujący sposób. Rozejrzawszy się w całokształcie obficie nagromadzonych wiadomości z zakresu wiedzy chemicznej, ujawniających dążenie atomów do tworzenia połączeń i w odpowiednich okolicznościach do ich rozkładania i tworzenia nowych, stwierdzić możemy pewne prawa, które pozostają w bezpośrednim związku z liczbami elektronów w najdalej nazewnątrz wysuniętych grupach. Przedewszystkiem istnieje zawsze dążenie do zajęcia miejsc wolnych w nieuzupełnionej jeszcze grupie elektronów. Tak np. jeśliby chlor posiadał o jeden elektron więcej w zewnętrznej swej grupie, grupa ta zostałaby przez to uzupełniona w tem znaczeniu, że objęta nią ilość elektronów pozostawałaby bez zmiany przy przechodzeniu od atomu do atomu w dalszych działach tablicy. Naskutek tego chlor zachowuje się tak, jakby ustawicznie pragnął wchłonąć brakujący elektron, i wywierać może potężne działanie na inne atomy, aby oderwać od jednego z nich brakujący elektron, niedostatecznie mocno z tym ostatnim atomem związany. Prawda, że ładunki elektryczne atomu wyprowadzone zostają przytem ze stanu równowagi, gdyż dodatkowy elektron daje przewagę ładunkowi ujemnemu; pomimo to jednak jakaś siła, istoty której narazie nie rozumiemy, działa w kierunku uzupełnienia zewnętrznej powłoki do ośmiu elektronów. W samej rzeczy ta posiadana przez chlor zdolność odrywania i wchłaniania w siebie elektronów z innych atomów, których połączenia zostają

przez to zniweczone, jest przyczyną tego, że chlor jest tak silnie działającą trucizną. Podobnie siarka posiada dwa miejsca w swej zewnętrznej powłoce do uzupełnienia i zachowanie się jej w znacznym stopniu jest od tego uzależnione.

Z drugiej strony lit, sód i potas posiadają każdy grupę zewnętrzną, która tylko co zaczyna się tworzyć: narazie składa się ona z jednego elektronu. Siła, wiążąca ten elektron z układem atomu, jest słaba, naskutek czego elektron z łatwością przechodzi do układu znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie atomu chloru. W wyniku tego przejścia elektronu mamy to, że zewnętrzne grupy obydwu atomów są obecnie uzupełnione: chlor nazewnątrz przedstawia się jak argon, a jeśli owym drugim atomem jest sód, podobny on staje się do atomu neonu. Oba atomy są teraz naładowane elektrycznością: chlor naładowany jest ujemnie, gdyż posiada o jeden elektron więcej ponad normalną swą liczbę, podczas gdy atom sodu naładowany jest dodatnio, ponieważ brak mu o jeden elektron dla zrównoważenia dodatniego ładunku jądra z ujemnym ładunkiem pozostałych elektronów. Naskutek tego pomiędzy obydwoma atomami działa przyciągająca siła elektryczna i tworzą one teraz cząsteczkę zwyczajnej soli kuchennej. Sód jest miękkim białym metalem. Jak zobaczymy następnie, charakterystyczną cechą metali jest obecność w ich układzie atomowym jednego lub dwóch elektronów, które z łatwością dają się od niego oderwać. W rozpatrywanym przez nas związku biały metal i trujący gaz skojarzyły się ze sobą, tworząc przezroczystą sól krystaliczną. Jest to gwałtowna zmiana właściwości, nie zdziwi nas to jednak, gdy uprzytomnimy sobie, że układ zewnętrzny elektronów w cząsteczce musi być całkiem różny od zewnętrznych układów elektronów w obydwu atomach przed ich skojarzeniem się, i że właściwości zarówno atomu, jak cząsteczki uzależnione są od tego zewnętrznego układu.

Istnieją niezliczone przykłady tego rodzaju połączeń.

Jako przykład połączenia raczej bardziej skomplikowanego przytoczyć możemy fluorek wapnia, który jako kryształ znany jest pod nazwą fluspatu. W tym wypadku mamy dwa atomy fluoru, z których każdemu brak po jednym elektronie (patrz powyższą tablicę), wspólnie atakujące wapń, który posiada dwa elektrony w swej zewnętrznej grupie, i każdy z atomów fluoru zabiera sobie po jednym elektronie do swego układu. Naskutek tego cząsteczka zawiera trzy atomy. W wypadku glinu znowu, który w kształcie krystalicznym występuje jako rubin albo szafir, mamy dwa atomy glinu, z których każdy zniewolony jest do odstąpienia trzech elektronów, tworzących grupę zewnętrzną, na korzyść trzech atomów tlenu, z których każdy wchłania dwa elektrony.

Poza tym przekazywaniem i przejmowaniem elektronów istnieje inny sposób, zapomocą którego atomy dążą do uzupełnienia swoich grup zewnętrznych: mogą one posiadać wspólne elektrony tak, że każdy z atomów zaliczać może te wspólne elektrony do swego własnego układu, podobnie jak dwa sąsiadujące ze sobą domy posiadać mogą wspólną ścianę. I tak dwa atomy wodoru, z których każdy ma do rozporządzenia jeden elektron, łączą się w ten sposób, że wspólnie posiadają grupę z dwóch elektronów, podobnie, jak atom helu, i w ten sposób powstaje cząsteczka wodoru. Dwa atomy tlenu łączą się ze sobą, tworząc cząsteczkę tlenu, w której każdy z atomów tlenu otoczony jest ośmioma elektronami, z których cztery są wspólne obydwu atomom. W djamentcie, jak to zobaczymy, każdy atom węgla otoczony jest czterema innymi atomami węgla, z każdym z których posiada po dwa wspólne elektrony. W ten sposób każdy atom ma powłokę zewnętrzną z ośmiu elektronów, z których żaden nie należy wyłącznie do układu tego atomu. Ten rodzaj łączenia się atomów jest zwykle trwały, a utworzone w ten sposób cząsteczki bardzo silnie są ze sobą spójone. Co więcej, wiele cząstek tego rodzaju chętnie poprzestaje, że się tak wyrazimy,

na swem własnem towarzystwie; dążność ich do kojarzenia się z cząsteczkami innego rodzaju jest bardzo słaba. Dążą one do tworzenia gazów. Atoli naogół gazami najbardziej trwałemi są te, których atomy posiadają same przez się całkowicie wypełnione powłoki zewnętrzne — hel, neon, argon i pozostałe. Wykazują one, w całej pełni, te własności gazów, które rozważaliśmy jako wynikające z nader słabej dążności do kojarzenia się i z nieskrępowanego wpływu ruchu cząsteczek.

O ISTOCIE CIECZY

Różnica między gazem a cieczą polega na tem, że w pierwszym atomy i cząsteczki poruszają się swobodnie, zachowując swój byt niezależny, podczas gdy w płynie zawsze stykają się one ze sobą, chociaż wciąż zmieniają swoje bezpośrednie sąsiedztwo. We współzawodnictwie pomiędzy ruchem a siłami przyciągającymi ruch nie osiąga już całkowitej przewagi: działanie sił przyciągających jest już teraz dostateczne, aby utrzymać we wzajemnem zetknięciu ze sobą całkowity zespół cząsteczek, a przynajmniej tak znaczną ich ilość, że tworzą one określoną objętość płynu, posiadającego widoczną dla nas powierzchnię. Przewaga jednak sił przyciągających nie jest zupełną: nieustannie zachodzi zjawisko, które zwiemy parowaniem. Wyobraźmy sobie naczynie z wodą, umieszczone w pustym pokoju. Cząsteczki wody znajdują się wszystkie w ustawicznym ruchu — wciąż drgając, wirując, przesuwając się i zmieniając swe sąsiedztwo. Atoli ruch ich naogół nie wystarcza, aby nawzajem oderwać je od siebie, może to jedynie stać się na powierzchni, gdzie istnieją szczególne warunki. Naskutek tego cząsteczki skupiają się, tworząc ciało o określonej objętości i o odgraniczających je powierzchniach. Jedynie na powierzchni zjawiają się zbiegowie: w nieustannej wymianie ruchu zdarzyć się może, że niektóre z najbardziej nazewnątrz wysuniętych cząsteczek, uzyskują rozpęd dostateczny, aby oderwać się od cząsteczek, znajdujących się pod niemi, i wydostać się na stałe ponad powierzchnię. Gdyby to samo spotkało cząsteczki, znajdujące się wewnątrz płynu, zostałyby one pochwycone zpowrotem. Tak więc pokój, w którym znajduje się naczynie z wodą, zawierać będzie wzrastającą wciąż ilość cząsteczek wody, latających swobodnie, jak cząsteczki

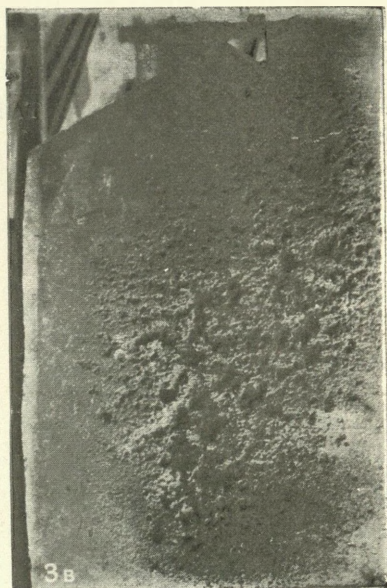
gazu. Gdy pokój jest zamknięty, ilość tych cząsteczek nie będzie wzrastała nieograniczenie, nastąpi bowiem chwila, gdy ilość ta będzie tak znaczną, że latające swobodnie cząsteczki zderzać się będą z powierzchnią wody i przenikać ją w tej samej ilości, w jakiej równocześnie inne ją opuszczają, wydostając się nazewnątrz. Wówczas pokój nasycony będzie parą wodną. Zdarzyć się to może, zanim miska będzie próżna; jeśli jednak powietrze w pokoju zmieniać się będzie nieustannie, unosząc z sobą parę wodną, woda w misce po pewnym czasie wyparuje całkowicie.

Nazewnątrz powierzchni wydostają się zawsze te cząsteczki, które posiadają większą od przeciętnej ilość energii; część tej energii tracą one, odrywając się od cząsteczek, z którymi sąsiadowały w cieczy; przeciętna energia pozostającej cieczy zmniejszać się będzie w miarę parowania. Innemi słowy woda ochładza się coraz to więcej i więcej. Znamy wszyscy dobrze to zjawisko. Machając mokremi rękoma, rychło poczujemy wzrastający w nich chłód; stosujemy w danym wypadku nieco przesadnie sposób, w jaki Przyroda ochładza nasze ciała do poziomu właściwej temperatury. Uczucie chłodu jest ostrzeżeniem dla naszego ciała, że wyrównać musi stratę energii, jaką uniosły ze sobą odparowujące cząsteczki. Stopień chłodzenia może być zwiększony przez użycie płynu, parującego szybciej od wody; tak np. chirurdzy posługiwali się w swoim czasie eterem, którym spryskiwali dane miejsce ciała, aby wywołać zamrożenie. W gorących i suchych krajach wodę do picia chłodzi się, umieszczając ją w worku z porowatego płótna, który zawiesza się w miejscu zacienionem i wystawionem na działanie wiatru, a im gorętszy i suchszy jest wiatr tem lepiej. W okresie gorącego lata australijskiego nieraz spostrzec można na prowincji taki worek, zawieszony na werandzie domostwa lub pod dachem stacji kolejowej. Woda sączy się przez płótno i szybko paruje na wietrze, dzięki czemu pozostała woda coraz to bardziej się ochładza.

Możemy wykonać tego rodzaju doświadczenie na stole sali wykładowej w bardzo uderzający sposób. Obie uwidocznione na rycinie bańki szklane zawierają wyłącznie wodę, powietrze zostało z nich wypompowane. Naprzód napełniamy wodą górną bańkę, poczem dolną zanurzamy w płynnem powietrzu; po upływie dwóch do trzech minut woda w górnej bańce zamarza, jakkolwiek bańka ta nigdzie nie stykała się z płynnem powietrzem. Zjawisko to tłumaczy się tem, że cząsteczki wody, wydobywające się nazewnątrz powierzchni płynu, przedostają się przez rurkę wdół aż do dolnej bańki. Miałoby to miejsce bez względu na to, czy dolna bańka zanurzona zostanie w płynnem powietrzu, czy też nie; jednak w tym ostatnim wypadku te wyswobodzone cząsteczki powróciłyby jeśli nie wszystkie, to w przeważającej ilości do górnej bańki z wodą, oddając jej nadmierną swą energję. Wówczas woda uległaby nieznacznemu tylko ochłodzeniu. Gdy jednak dolna bańka oziębiona zostanie płynnem powietrzem, wspomniane cząsteczki już nie powrócą. Ruch ich zostaje wstrzymany i osiadają one w dolnej bańce zrazu pod postacią wody, a następnie lodu. Woda zaś w górnej bańce szybko się ochładza i wkrótce również zamarza. Powietrze z obydwu baniek zostaje usunięte po to, aby ułatwić ruch cząsteczek wody i tem samem przyspieszyć parowanie. Gdyby było ono zbyt powolne, ciepło przenikałoby z otaczającego z zewnątrz powietrza w takim stopniu, że zamarzanie nie miałoby miejsca. Obecność powietrza nie powstrzymuje wyswabadzania się cząsteczek posiadających znaczniejszą energję z powierzchni płynu, lecz przeszkadza ich dalszym ruchom, sprowadzając całe ich działanie do rozpatrzonego już przez nas uprzednio zjawiska dyfuzji.

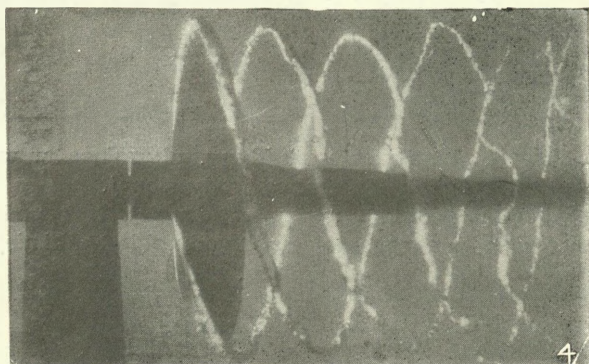
Gdy płyn się gotuje, temperatura jego jest natyle wysoką, że ilość i szybkość odparowujących cząsteczek są dostatecznie zwiększone, aby unieść powietrze z nad powierzchni płynu i całkowicie je stamtąd wyprzeć. W tym stanie rzeczy niema już mozolnego przedostawania się

TABLICA IX



A

Rycina po prawej stronie wskazuje przeżarcie części pierwotnej śmigły od śruby okrętu „Mauretania”. Widzimy też na tej rycinie małe wycięcie na kancie śmigły, przedstawionej w całości na rycinie z lewej strony.

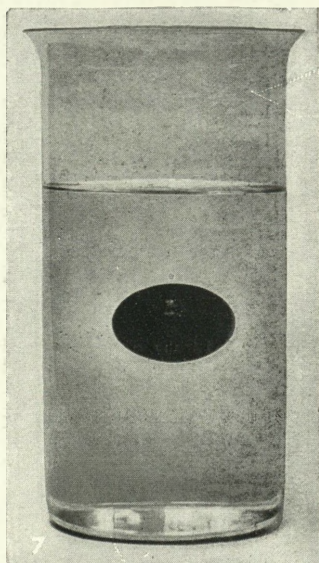


B

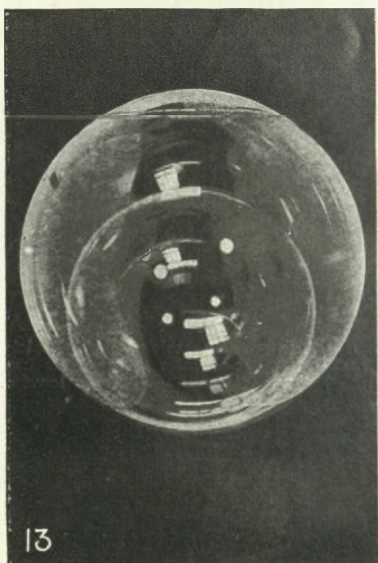
Zdjęcie, wykazujące wytwarzanie próżni przez śrubę okrętową w basenie doświadczalnym. Zakładów Parsons Marine Steam Turbine Co. Rolę śruby spełnia przyrząd w kształcie krążka, widoczny nieco na lewo od środka zdjęcia. Posiada on trzy śmigły, z których każda pozostawia za sobą w wodzie ślad w kształcie korkociąga, utworzony z pęcherzyków, w których powstała próżnia. Możemy też zauważyć miejsca na śmigłach, gdzie zaczynają się te spirale.

TABLICA X

A



B



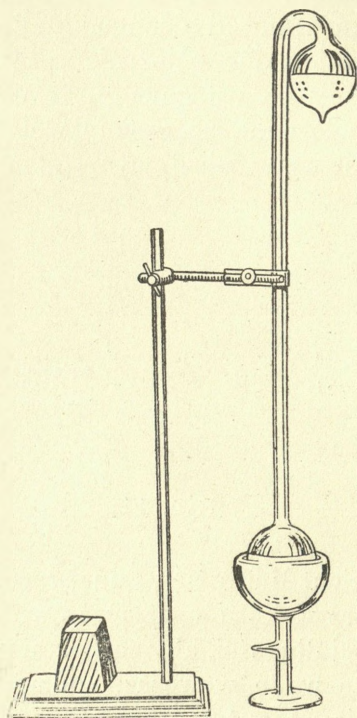
A. Duża kropla płynnej orto-toluidyny, pływająca w wodzie czystej nad warstwą wody słonej.

B. Jedna bańka spoczywa wewnątrz drugiej, lecz podobnie jak na rycinie 21 i z tego samego powodu obie bańki nie łączą się ze sobą.

pojedynczych cząsteczek poprzez ciżbę obcych cząsteczek. Całe zjawisko różni się tak wybitnie od zjawiska parowania, że z łatwością można nie dostrzec zasadniczego podobieństwa między nimi. Temperatura wrzenia płynu zależy od ciśnienia, jakie przewyższać muszą cząsteczki odparowujące: na szczycie Mont-Blanc woda wrząca jest o 15° C. chłodniejszą aniżeli u podnóża.

Ilość ciepła, konieczna dla odparowania płynu, jest miarą energii, jaka musi być zużyta na oderwanie się cząsteczek jednych od drugich. Być może, że to nie uwydatnia dostatecznie znaczenia tych sił, które, jakkolwiek wzięte pojedynczo są znikome, łącznie wywierają tak potężne działanie. Możemy jednak uprzytomnić sobie, jak wielką jest ilość ciepła, potrzebna na to, aby woda zmieniła się w parę, i jak olbrzymią pracę może wykonać para. Siły te ujawniają się bardziej bezpośrednio w każdej wiszącej kropki wody lub jakiegokolwiek innej cieczy.

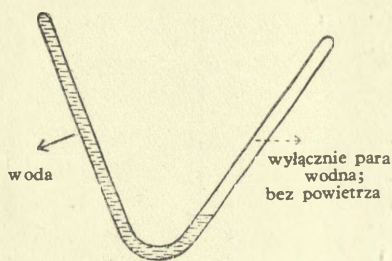
Cząsteczki szczepione są ze sobą, jak pszczoły w roju. Ogniwa, któremi cząsteczki najbardziej nazewnątrz położonej warstwy połączone są z powierzchnią, z której zwiesza się kropła, dźwigają cały ciężar tej ostatniej. Ale i w tem tak prostem zjawisku wielkość i doniosłość tych sił nie jest jeszcze dostatecznie widoczną; doświad-



Ryc. 13. Kriofor.

Dolna bańka próżna zanurzona jest w płynem powietrzu. Górna bańka zawiera wodę, która szybko zamarza.

czenie to jednak może być wykonane w sposób bardziej uderzający. Mamy tu zgiętą rurkę szklaną, zawierającą litylko wodę bez powietrza. W pewnem położeniu rurki jedno z ramion całkowicie wypełnione jest wodą. O ileby znajdował się w niej jeszcze pęcherzyk powietrza, musimy go stamtąd usunąć do drugiego ramienia, odpowiednio zmieniając położenie rurki i stukając nią lekko o stół. Gdy to osiągniemy, trzymać możemy rurkę w takim położeniu, że poziom wolnego końca słupa wodnego leży znacznie niżej od poziomu drugiego końca, w którym



Ryc. 14

woda przylega do końca rurki. Ciężar słupka wody w jednym ramieniu, znajdującego się ponad poziomem wody w drugim ramieniu, utrzymywany jest przez siły, z jakimi cząsteczki wody przywierają do rurki szklanej w tem drugim ramieniu oraz jedne cząsteczki wody do dru-

gich. Mamy tu w samej rzeczy kroplę wody o długości około trzydziestu centymetrów. Nie możemy utrzymać kropli tej długości, aby zawisała u palca, dla tej prostej przyczyny, że woda wówczas, zmieniawszy swój kształt, oderwałaby się. O ile temu przeszkodzimy, np. zapomocą naszej rurki szklanej, wielkość owych sił cząsteczkowych występuje na jaw w sposób daleko oczywistszy. Gdy staramy się rozciągnąć pręt żelazny, opór, jaki przytem przewyciężyć musimy, daje nam pojęcie o wielkości sił, spajających cząsteczki żelaza w stanie stałym; skłonni natomiast jesteśmy do mniemania, że z łatwością da się rozciągnąć dana masa wody, jednakże tak nie jest bynajmniej. Z łatwością zmienić możemy kształt wody, ale nie łatwo da się oderwać jedna warstwa cząsteczek od drugiej, do

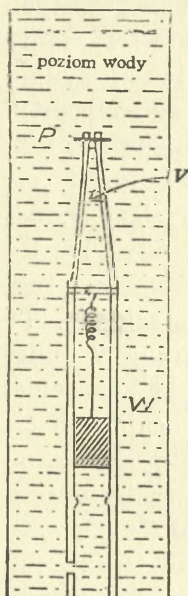
której przylega. Wodę istotnie równie trudno jest rozciągnąć, jak ścisnąć.

Odbiegnijmy na chwilę od naszego głównego tematu, aby omówić ciekawe zjawisko, jakie napotykamy, posługując się zgiętą rurką. Gdy nachylimy rurkę tak, aby woda spłynęła raptownie ku jednemu końcowi rurki, usłyszymy wyraźne stuknięcie, jak przy zderzeniu dwóch twardych ciał; uderzenie to daje się odczuć w ręce, którą trzymamy rurkę. Zjawisko to nieraz przytaczane bywa, jako przykład młota wodnego; tłumaczy się ono w sposób nader prosty. W rurce niema powietrza, woda uderza w koniec rurki tak, jakby była ciałem sztywnem; istotnie też zachowuje się jako takie naskutek swej nieściśliwości. Należy nader ostrożnie obchodzić się z takimi rurkami, gdyż bardzo łatwo woda może rozbić jeden z końców, zupełnie tak, jak młotek, którym uderzylibyśmy naczynie szklane. To samo zjawisko zauważyć się daje od lat kilku w nader ciekawej postaci, mającej skądinąd doniosłe znaczenie; mianowicie przy zużywaniu się szybko obracających się śrub okrętowych.

Na rycinie widzimy przeżarcie śmigi od śruby okrętu Mauretania (Tabl. IX A). Uszkodzenia te po raz pierwszy dały się zauważyć, gdy dzięki zastosowaniu turbin parowych Parson'a ilość obrotów śrub okrętowych i co za tem idzie szybkość statków zostały znacznie zwiększone; spowodowały one narazie znaczne straty finansowe i inne. Przyczyna tych uszkodzeń została ustalona przez stwierdzenie faktu, że szybkość statku i ilość obrotów śruby okrętowej wzrosły tak dalece, iż woda nie była w stanie wypełnić całkowicie próżni, którą pozostawiały za sobą śmigi. Rycina wykazuje miejsca, w których powstaje próżnia w basenie doświadczalnym Zakładów Turbinia w Newcastle (Tabl. IX B). Miejsca te w kształcie pęcherzyków tworzą linje spiralne; na rycinie rozpoznać możemy każdą ze spirali jako przynależną do danej śmigi.

Te miejsca puste znikają pod ciśnieniem otaczającej

wody, a ponieważ niema w nich powietrza, ścianki pęcherzyków przy zetknięciu uderzają o siebie z taką samą siłą, jak woda o szkło w naszej zgiętej rurce. Jeśli tedy dany punkt śmigi tworzy ściankę takiego pustego pęcherzyka, uderzenie może być tak silne, że oderwać zdoła cząstki



Ryc. 15. Młot wodny Parson'a.

metal. Całkowite wyjaśnienie tego zjawiska i wynalezienie środków, mogących jemu zapobiec, kosztowało dużo trudu: obecnie śmigi śrub okrętowych sporządzane są ze specjalnego stopu, niepodlegającego przeżarciu, równocześnie ulepszone został też sam kształt śmigi. Rycina 15 przedstawia nader ciekawe doświadczenie, wykonane w ciągu tych badań. Mocne naczynie metalowe, jakie widzimy w środku ryciny, napełniamy wodą i pozwalamy mu opaść na dno zbiornika, również napełnionego wodą. Przy zetknięciu się z dnem zbiornika ruch naczynia zostaje raptownie zahamowany. Rozpęd wody w stożku u góry naczynia łącznie z rozpędem ciężkiego odważnika W wystarczają, aby woda — po nagłym zahamowaniu naczynia — zachowała przez czas jakiś swój ruch, tworząc tem samem próżnię u wierzchołka stożka w V. Naskutek ciśnienia otaczającej wody próżnia

ta natychmiast potem znika, powracająca zaś na to miejsce woda z szybkością, zwiększającą się w miarę zwężania się stożka, uderza w wierzchołek tegoż z taką siłą, że wybija dziurę w płycie mosiądzu, umieszczonej u P.

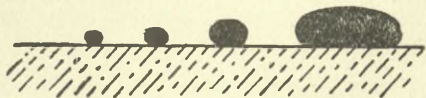
Znikanie pustych pęcherzyków, powstałych naskutek szybkich obrotów śruby okrętowej, powoduje tak duży hałas w wodzie, że zapomocą podwodnego odbiornika fal akustycznych usłyszeć można statek ze znacznej odległości.

Wielu ze słuchaczy jest zapewne oswojonych z mniej

doniosłego znaczenia przykładem uderzenia, jakie może spowodować woda naskutek swej nieelastyczności: można się silnie uderzyć o wodę, skacząc do niej z pewnej wysokości, nie przybrawszy przytem odpowiedniej postawy.

Skoro cząsteczki cieczy dążą wszystkie do skupienia się pod łącznem działaniem swych sił przyciągających, pozostawione same sobie skupią się one w kulę, o czem w sposób oczywisty przekonać się możemy, gdy rtęć rozleje się na stole, rozbijając się na okrągłe krople, toczące się tak, jakby były twardemi kulkami.

To samo stać się może z wodą, o ile nie zwilża ona stołu: naogół zwilża ona ciała stałe, z któremi się styka, lecz spotkamy się z licznemi wypadkami, gdy tak nie jest, np. gdy rozlejemy wodę na powierzchni zakurzonej.



Ryc. 16. Krople rtęci na stole.
Małe krople przybierają postać niemal doskonałych kul. Duże kule są spłaszczone.

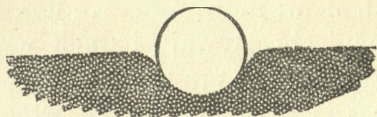
Co oznacza i na czem polega zwilżanie, to musimy jeszcze rozpatrzyć: jest to nader ważne zagadnienie w interesującym nas przedmiocie. Siła ciężenia również przeciwdziała dążeniu cieczy do skupiania się w kule. Gdy krople rtęci są bardzo małe, przybierają one niemal doskonałą postać kuli, lecz krople większe podobne są raczej do krążków o zaokrąglonych brzegach. Jeśli pragniemy znaleźć dobre przykłady tworzenia kul naskutek łącznego przyciągania się cząsteczek między sobą, starać się musimy o usunięcie wpływów zarówno zwilżania, jak i siły ciężenia. Małe kulki rtęci są udatną tego ilustracją. Zobaczyć też to możemy przy wyrobie śrótu. Roztopiony ołów spada w postaci deszczu z wierzchołka odpowiedniej wieży, tworząc przytem kuliste krople, tak zupełnie, jak to ma miejsce w zwykłym deszczu z kroplami wody.

Przytoczone ostatnio przykłady zdają się być w sprzeczności z tem, co poprzednio było powiedziane: wszak w wy-

padkach tych siła ciężenia nie została usunięta, przeciwnie działała w całej pełni, a pomimo to kropelki tworzyły się. Lecz niepożądany wpływ siły ciężenia jest tylko pośredni; opór, jaki ciecz przeciwstawia sile ciężenia, niweczy kształtowanie się kul. W wypadku dużych kropel rtęci, spłaszczenie ich spowodowane jest nie bezpośrednio siłą ciężenia, lecz ciśnieniem, skierowanym z dołu w górę, jakie wywiera stół, przeciwdziałając sile ciężenia. Gdy krople ołowiu dosięgają podstawy wieży, wpadają one do wody, w której zachowują kształt, jaki przybrały podczas spadania.

Oto doświadczenie, uwydatniające rozpatrywane przez nas zagadnienie. Ciemny płyn, a mianowicie orto-toluidyna, nie miesza się z wodą, czyli innemi słowy woda nie „zwilża“ go, gęstość zaś jego jest taka, że pływa swobodnie w warstwie wody czystej na warstwie wody słonej (Tabl. X A). Nawet, gdy przybiera on postać kulistą, spoczywa całą swą powierzchnią na wodzie; a nie w jednym punkcie tylko jak kropla rtęci o kształcie kuli na twardej podstawie. W warunkach naszego doświadczenia ani siła ciężenia ani zwilżanie nie mają żadnego wpływu, dzięki czemu, jak widzimy, powstać może duża kropla, mająca kilka centymetrów średnicy. Gdy wprowadzimy ją w ruch szklaną pałeczką, powoli przybiera zpowrotem swój kształt pierwotny; lub też, jakby z trudem przeszedłszy przez szereg dziwnych postaci, rozpada się na mniejsze kule. Gdy przytkniemy pałeczkę lekko do kuli, powstaje na powierzchni zagłębienie względnie dołeczek; dążenie toluidyny do przybrania postaci kulistej jest wtedy chwilowo zakłócone, lecz zastosowuje się ona możliwie jaknajlepiej do okoliczności. Podobnie, gdy puścimy na powierzchnię rtęci jakiekolwiek ciało stałe — np. żelazną kulę — powstanie zagłębienie; powierzchnia rtęci dookoła kuli przybierze kształt, uwidoczniiony na rycinie (ryc. 17). Gdy przypatrzymy się dokładnie kształtowi powierzchni rtęci u brzegu zawierającego ją naczynia, przekonamy się, że zarys jest taki sam.

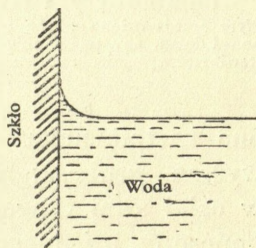
Stan rzeczy jest odmienny, gdy płyn zwilża ścianki naczynia, w którym się znajduje, lub też powierzchnię pływającego po nim przedmiotu. Gdy nalejemy czystej wody do czystego naczynia szklanego, zauważymy, że woda wzniesie się u ścianek (ryc. 18). Jest to zjawisko bardziej złożone od poprzedniego; najwidoczniej działają tu siły przyciągające pomiędzy szkłem a wodą.



Ryc. 17. Kula żelazna, pływająca po rtęci (w przekroju).

Gdy płytę szklaną zanurzymy do kувety, wypełnionej rtęcią, i przyciśniemy ją do dna kувety z taką siłą, że rtęć całkowicie zostanie usunięta z pomiędzy płyty a dna, płyta nader szczelnie przylgnie i tylko z wielkim trudem da się zpowrotem oderwać.

Tłumaczy się to w sposób nader prosty, zgodnie zresztą z zasadami, jakie tylko co rozpatrywaliśmy. Aby podnieść płytę, musimy umożliwić rtęci przedostanie się pod nią, w przeciwnym wypadku płyta nie mogłaby podnieść się dostatecznie, gdyż pod nią znajdować się będzie albo próżnia albo co najwyżej trochę powietrza, którego ciśnienie szybko spadać będzie w miarę podnoszenia płyty. Ponieważ ciśnienie nad płytą przekracza ciśnienie atmosfery, siły, działające na płytę z góry, przewyższają siły, dążące do podniesienia jej. Kształt powierzchni rtęci u brzegów płyty widzimy na rycinie 19; rtęć niełatwo daje się wyciągnąć w cienką warstwę pomiędzy płytą a dnem kувety.



Ryc. 18. Woda, wznosząca się w górę po szkłe, które zwilża.

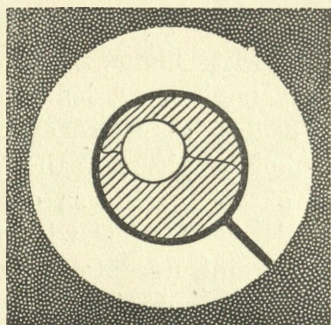
Kropla cieczy, dążąca do skupienia się w kształcie kuli, robi wrażenie, jakby znajdowała się w elastycznej powłoce. Atomy rtęci na powierzchni znajdują się w warunkach

słabe. Natomiast grupa CO_2Na u drugiego końca łańcucha jest daleko bardziej towarzyska: jest to grupa aktywna, dążąca do kojarzenia się z innymi, zwłaszcza zaś dąży ona usilnie do łączenia się z cząsteczkami wody, dzięki czemu mydło tak łatwo rozpuszcza się w wodzie. Ponieważ jednak tylko jeden koniec łańcucha jest tak wybitnie aktywny pod tym względem, podczas gdy drugi koniec i boki łańcucha zachowują się odmiennie, cząsteczki mydła skłonne są do pozostawania na powierzchni wody, gdy w ciągu swej wędrówki do niej dotrą. W ten sposób powstaje na powierzchni wody rzeczywista błona, składająca się z cząsteczek mydła, stojących pionowo, jednym końcem zanurzonych w wodzie, a drugim sterczących w powietrzu. Ustawione są one obok siebie, jak zboże na polu, lub jak włosie w sztuce aksamitu. Nie są one jednak tak nawzajem od siebie niezależne, jak włoski aksamitu, związane będąc ze sobą bokami, naskutek siły, przyciągającej nawzajem tak ustawione obok siebie cząsteczki. To samo zjawisko zaobserwować możemy w innych okolicznościach, jak to zobaczymy później.

Cząsteczki mydła tworzą jakby kolczugę względnie siatkę, pokrywającą powierzchnię wody; jest to więc istotnie prawdziwa powłoka. Błonka ta rozciągliwa jest w tem znaczeniu, że, gdy ma być rozciągnięta, inne długie cząsteczki wydostają się na powierzchnię zewnątrz płynu i wypełniają powstające wolne miejsca.

Bańka mydlana jest cienką kulistą warstwą roztworu mydła, ograniczoną zewnątrz i zewnątrz błonami mydlanymi; jest ona tak trwałą dzięki właśnie tym błonom. Kurczy się, gdy zewnątrz jej wypuści się powietrze: widocznie długie cząsteczki dążą do jak najściślejzego zzwarcia się z cząsteczkami wody. Musi jednak być jakaś zewnętrzna powierzchnia i z dwóch skupionych razem rodzajów cząsteczek owe długie cząsteczki łańcuchowe tworzą warstwę zewnętrzną. Nader proste doświadczenie uwidoczni nam jeszcze bardziej dążenie do kurczenia. Kółko druciane,

zanurzone na chwilę w roztworze mydlanym, pokrywa się rozpiętą na niem błoną. Na błonie tej znajduje się pętla z cienkiej nitki, którą przywiązaliśmy do kółka drucianego przed zanurzeniem do roztworu. Gdy błona wewnątrz pętli nicianej zostanie przerwana za dotknięciem rozgrzaną igłą, pętla natychmiast rozciąga się, przybierając kształt doskonałego koła, jak to widzimy na rycinie. Wynika z tego jasno, że cała błona jest w stanie napięcia i dąży do kurczenia się.



Ryc. 20. Pętla z cienkiej nitki pływa po błonie mydlanej. Dotykamy błony wewnątrz pętli rozgrzaną igłą. Pętla momentalnie rozciąga się, tworząc idealne koło.

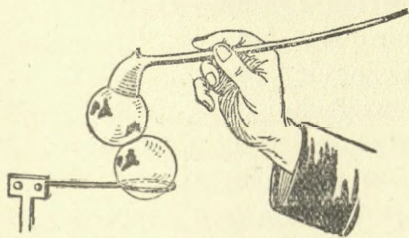
Ciekawą własnością bańki mydlanej jest jej niechęć do łączenia się z innymi. Puściwszy bańkę mydlaną tak, aby zawisała na kółku (p. ryc. 21), możemy uderzać o nią drugą bańką z siłą, zdawałoby się dostateczną, aby obie bańki się rozprysły. Bańki jednak odskakują od siebie, jak piłki gumowe. Być może da się to wytłumaczyć faktem, że w obydwu bańkach warstwę zewnętrzną tworzą te

właśnie końce cząsteczek, które, jak widzieliśmy uprzednio, wykazują bardzo słabe dążenie do łączenia się z innymi cząsteczkami lub częściami cząsteczek. Bańki mydlane przy zetknięciu się nie dążą do spojenia się ze sobą, ponieważ stykające się powierzchnie nie przyciągają się nawzajem.

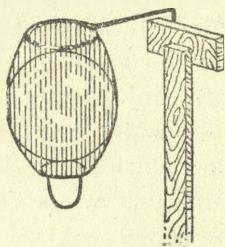
Można się też o tem doskonale przekonać z innego pięknego doświadczenia C. V. Boys'a.¹ Puszczamy bańkę mydlaną na kółko, umocowane w statywie (p. ryc. 21a). Kółeczko z drobnym ciężarkiem umieszczone zostało, jak widzimy, u spodu bańki. Wprowadzamy od góry do we-

¹ C. V. Boys: „Soap Bubbles and the Forces which Mould Them“ („Bańki Mydlane i Siły, które je tworzą“).

wnątrz bańki rurkę z roztworem mydlanym i zapomocą niej puszczaemy drugą bańkę; gdy osiągnie ona odpowiednią wielkość, puszczaemy ją swobodnie zręcznym ruchem rurki, którą następnie usuwamy. Wówczas ta druga bańka lekko osiada u spodu wewnątrz pierwszej bańki, z którą styka się wzdłuż koła, a nie w najniższym punkcie. Osiągnięte to zostało celowo przez wydłużenie zapomocą przywieszzonego ciężarku bańki zewnętrznej. Bańki nie wykazują żadnego dążenia do zlania się ze sobą, jakkolwiek



Ryc. 21.



Ryc. 21 A.

Ryc. 21. Zderzenie się dwóch bańek mydlanych.

Obie bańki naciskają jedna na drugą, można też trzeć jedną o drugą, pomimo to nie spajają się ze sobą, gdyż płyny ich nie mieszają się: jedynie bowiem nieaktywne końce cząsteczek łańcuchowych stykają się nawzajem. (Z dzieła Profesora C. V. Boys'a).

stykają się wzdłuż całego okręgu koła, dlatego zapewne, że zwrócone są do siebie powierzchniami, utworzonymi przez nieaktywne czyli nietowarzyskie końce cząsteczek łańcuchowych. Jeśliby bańka zewnętrzna nie została wydłużona, obie bańki stykałyby się ze sobą w najniższych swych punktach. Zwykle pozostaje kropla roztworu u spodu bańki wewnętrznej. Gdy kropla ta zetknie się z bańką zewnętrzną, obie bańki naogół zlewają się ze sobą. Kropla roztworu tworzy jakby most pomiędzy niemi. Gdy zapomocą rurki szklanej, przetkniętej przez bańkę zewnętrzną, uda się nam osuszyć spód wewnętrznej bańki, wówczas usunąć możemy ciężarek ze spodu bańki zewnętrznej, a wtedy bańki stykać się mogą w najniższym punkcie całkiem bezpiecznie (Tabl. X B).

Piana w płynach często powstaje naskutek obecności cząsteczek, posiadających własność wytwarzania błon na powierzchni. Powstawanie piany na rzekach jest skutkiem obecności cząsteczek różnych saponin, układów łańcuchowych, jakie trafiają się w wielu roślinach i drzewach. Tak samo piana u brzegu morskiego zbiera się naskutek podobnych cząsteczek, wchodzących w skład traw morskich.

W przeciągu lat ostatnich dowiedzieliśmy się wiele o kształcie tych długich cząsteczek łańcuchowych. W szczególności zawdzięczamy zgaślemu Lordowi Rayleigh'owi, Devaux we Francji, Langmuir'owi w Ameryce, Hardy'emu i Adam'owi w Anglii rozpoznanie zjawisk, związanych z rozpostarciem oliwy na powierzchni wody. Możemy odtworzyć parę z tych doświadczeń w celu zdania sobie sprawy z wielkości zjawisk, o jakich mówimy. Staramy się przedewszystkiem o otrzymanie czystej powierzchni wodnej, t. j. takiej, która wolnaby była od wszelkich zanieczyszczeń olejami, smarami lub tłuszczami. Wskazaniem jest przytwierdzenie do kranu z wodą rurki gumowej, której koniec swobodny spoczywa na dnie kuwety, tak, aby woda przelewała się przez brzegi, unosząc z sobą wszelki brud, jaki mógłby osiąść na powierzchni. Napiłamy następnie powierzchnię wody cienką warstwą talku lub innego odpowiedniego proszku. Zanurzamy cienką igiełkę szklaną w olej — odpowiednią będzie oliwa — i, obtarłszy prawie całkowicie z oliwy, zanurzamy nieco zatłuszczony koniec igły do powierzchni wody. Dookoła igły powstaje momentalnie krąg, wolny od pyłu (Tabl. XI A). Okazuje się, że długie cząsteczki i w tym wypadku ustawiają się obok siebie, na powierzchni, jak uprzednio; w bańce mydlanej przedostały się one zzewnątrz, obecnie wprowadzamy je zzewnątrz. Każda z tych cząsteczek stara się utkwic swój aktywny koniec w wodzie i staje pionowo, tak, jakby była wodną rośliną, tkwiącą korzeniami i rosnącą w wodzie. Udaje się to wreszcie wszystkim cząsteczkom

i wówczas cieniutka błona, grubości, odpowiadającej długości jednej cząsteczki, pokrywa powierzchnię wody; grubość jej wynosi parę dziesięciomiljonowych części centymetra. Określiwszy zapomocą wagi ilość oliwy, rozpostartej na powierzchni wody, — co nie jest łatwym zadaniem wobec tego, że ilość ta jest tak znikoma — i zmierzwszy powierzchnię wody, pokrytej oliwą, możliwem jest określenie w przybliżeniu grubości błony. Jest to właśnie metoda, stosowana przez wymienionych badaczy. W najnowszych czasach stało się możliwem dokonywanie ścisłych pomiarów tej samej wielkości zapomocą nowej metody, polegającej na zastosowaniu promieni rentgenowskich, którą spodziewamy się wkrótce objaśnić słuchaczom. Na podstawie wyników badań uprzednich możliwem było ustalenie, że grubość warstewki była taką, jaką należało przewidywać, o ileby warstewka ta była grubości, odpowiadającej długości jednej cząsteczki; rozumowanie to zostało w sposób dobitny poparte stwierdzeniem, że, gdy na powierzchni wody rozpościerano różne substancje, składające się z cząsteczek łańcuchowych różnej długości, grubość warstewki zależna była od długości odnośnej cząsteczki tak, jak być powinno.

Gdy kropelka oliwy jest dostatecznie mała, a warstwa pyłu na powierzchni wody dostatecznie cienka i równomierna, w miejscu, z którego oliwa usuwa pył, powstaje całkiem prawidłowe koło. Gdy dotkniemy powierzchnię wody w innem miejscu, powstanie tam również koło. Powstawanie kół jest zupełnie niezależne od obecności innych. Devaux widział w tem dowód, że działanie każdej kropli ograniczało się tylko do otaczającej bezpośrednio powierzchni, po której rozpościerała się dana kropla; było to zjawisko, nie obejmujące całości płynu. Odbywało się to zupełnie tak, jak należało się spodziewać, przypuściwszy, że kropla rozpościera się w warstewkę, coraz to cieńszą, aż do pewnej minimalnej grubości, po której osiągnięciu kropla już dalej rozpościerać się nie może.

Gdy puścimy na powierzchnię większą kroplę, przekonamy się, że większy obszar oczyszczony zostanie z pyłu. Możemy na przykład zapomocą niewielu kropel oliwy oczyścić z pyłu całą powierzchnię wody w dużej wannie kąpielowej. Gdy warstwa pyłu na powierzchni wody przez kilkakrotne puszczenie małych kropelek porozrywana została w drobne strzępy w kilku miejscach, a pozostała powierzchnia nie jest pokryta całkowicie błoną oliwy, zdać sobie możemy sprawę z szybkości rozpościerania się oliwy, dotknąwszy powierzchni zatłuszczonej igłą w pobliżu jednego ze strzępów; zauważymy wówczas, jak raptownie strzęp ten zepchnięty zostaje z danego miejsca. Gwałtowne ruchy, jakim — w oddawna znanem doświadczeniu — ulegają kawałki kamfory, rzucone na powierzchnię wody, wywołane są działaniem takich samych sił. W miarę rozpuszczania się kamfory powstający roztwór gwałtownie rozpościera się w postaci błony po powierzchni wody, sam zaś kawałek kamfory zostaje przytem odrzucony, jak działo przy wystrzale, lub jak rakietą, z której wydostają się gorące gazy. Okruchy kamfory pędzą tam i zpowrotem, lub bardzo szybko się obracają. Gdy puścimy na wodę łódeczkę z przyczepionym z tyłu kawałkiem kamfory, łódeczka szybko popłynie (Tabl. XI B). Gdy pewna ilość takich łódeczek kamforowych oraz kawałków kamfory znajduje się w ruchu, ciekawym jest widok, jak nagle wszystko zostaje zahamowane, gdy na wodę puścimy nieco oliwy. Błona oliwy w oka mgnienia pokrywa powierzchnię wody, skutkiem czego rozpuszczająca się kamfora nie może się po niej rozpościerać.

Wszyscy słyszeliśmy o uspokajaniu wzburzonych fal morskich zapomocą rozlewania oliwy. Możemy odtworzyć to zjawisko w długim zbiorniku, którym w tym samym celu posługiwał się tutaj Lord Rayleigh; pod naporem pędu powietrza z aparatu do odkurzania powstają fale, biegnące wzdłuż zbiornika. Jak widzimy, mamy tu prawdziwą burzę w minjaturze (Tabl. XII A, B). Jak za łaską czaro-

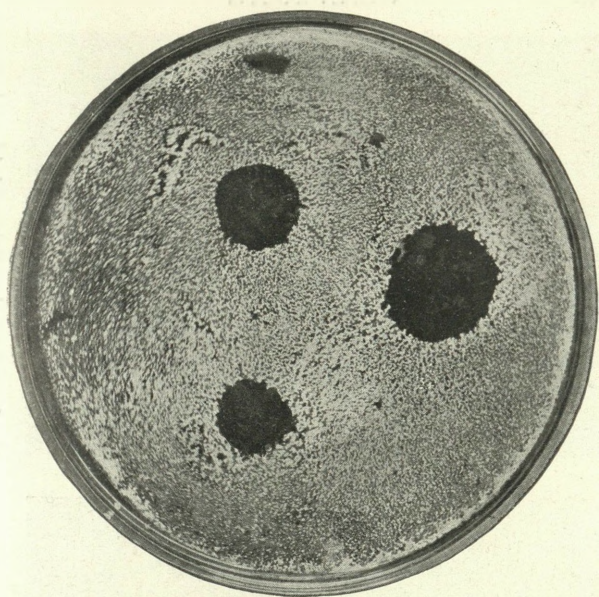
dziejską uspokaja się ona natychmiast po puszczeniu paru kropel oliwy na środek wzburzonej powierzchni wody w zbiorniku; po chwili warstwa oliwy zdmuchnięta zostanie ku końcowi zbiornika i fale znowu się podniosą. Powtarzać możemy doświadczenie to raz po raz. Musimy w danym wypadku przypuścić, że wiatr nie ma „chwytu“ na wodzie, pokrytej warstewką oliwy. Jak już wiemy, górną powierzchnię tej warstewki tworzą nieaktywne końce długich cząsteczek łańcuchowych; otóż jest bardzo możliwem, że cząsteczki powietrza, uderzając w tę powierzchnię, odbijają się od niej tak, jakby była całkiem gładka. Powierzchnia szorstka pchniętaby została naprzód naskutek uderzeń przez cząsteczki powietrza — mówimy o powierzchni szorstkiej w tem znaczeniu, że przerwy pomiędzy tworzącemi ją cząsteczkami są tej wielkości co uderzające cząsteczki powietrza. Ponieważ jednak powierzchnia błony oliwy jest bardzo gładka i nie wykazuje dążeń do zwarcia się z jakimikolwiek cząsteczkami, które w nią uderzają, powietrze nie zdoła jej pchnąć ani pomarszczyć w drobne fale, z których z czasem powstałyby fale duże. Tak więc oliwa uspokaja fale, niwecząc działanie wiatru, i ruch fal zamiera naskutek ich własnego tarcia.

Przechodzimy teraz do zagadnienia „zwilżania“ powierzchni. Wiemy na przykład, że woda zwilża czystą powierzchnię szkła, nie zwilża jednak powierzchni zatłuszczonej, chociażby nawet warstwa tłuszczu była prawie niewidzialna. Cząsteczki wody stanowczo sprzeciwiają się łączeniu się z cząsteczkami tłuszczu. Nie jest to może niespodzianką wobec tego, że, jak widzieliśmy, w niektórych przynajmniej wypadkach długie cząsteczki, z których składają się tłuszcze i oleje, zwracają się nazwewnątrz swojemi końcami nieaktywnemi, które nader słabo przyciągają cząsteczki wody. Tak np. woda, rozlana na tłustej powierzchni, skupia się w krople zupełnie tak samo, jak rtęć, rozlana na stole; kształt, jaki przybiera woda, spowodowany jest wzajemnem przyciąganiem się jej cząsteczek.

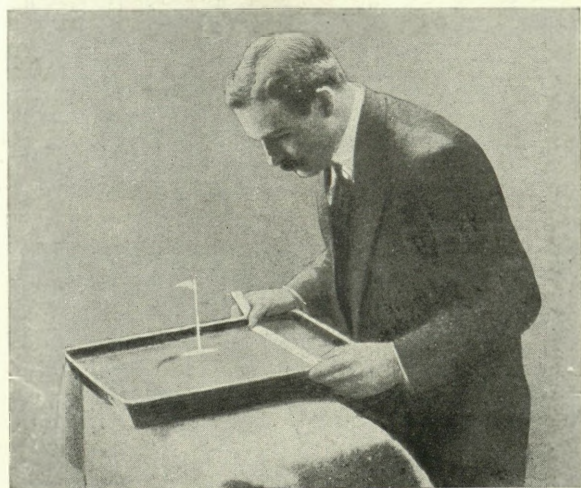
Naoliwioną igłę położyć możemy na wodzie, igła pograży się w wodzie natyle tylko, że na powierzchni powstanie zagłębienie tak zupełnie, jak gdyby woda pokryta była skórką, lekko uginającą się pod ciężarem igły. Jeszcze bardziej uderzającym jest widok pływającego sita drucianego, posmarowanego tłuszczem (ryc. 22). Sito zanurza się w roztopioną parafinę, po wyjęciu potrząsa się, aby oczka nie były zalepione, i wysusza się. Wskazanem jest nie dotykać sita palcami. Pływać ono będzie po wodzie z łatwością, dając się nawet obciążyć dosyć znacznym ładunkiem, jak to wykazał Boys podczas wykładów swych, wygłoszonych w okresie Świąt Bożego Narodzenia przed wielu laty. Sito można również napęłnić wodą; nie należy jednak lać wody do sita gwałtownie, lecz wlewać powoli na kawałek papieru, który można następnie usunąć. Aby pokazać, że oczka sita nie są zatkane, poruszyć możemy gwałtownie sitkiem, naskutek czego błonka wody się przerywa i woda rzęsimy deszczem spada na podłogę.

Gdy nalejemy wody sodowej do czystej i gładkiej szklanki, bardzo nieliczne pęcherzyki gazu wydostają się na powierzchnię; jeśli jednak powierzchnia szklanki będzie nieco zanieczyszczona lub szorstka, zobaczymy, że całe sznurki pęcherzyków unoszą się w górę. Zjawisko to zobaczyć możemy w oddawna znanem pięknem doświadczeniu „winnej jagody w szampanie“. Pozwolimy sobie jednak zastąpić szampan wodą sodową. Woda nie zwilża winnej jagody, gdy więc wrzucimy jagodę do szklanki z wodą sodową, opadnie ona na dno i na powierzchni jej zbierać się będą w dużej ilości pęcherzyki gazu (Tabl. XII C). Wkrótce jagoda cała pokryta zostaje warstwą pęcherzyków, wyglądających jak perełki, i naskutek ich lekkości wypływa na powierzchnię wody. Winna jagoda nie jest dużo cięższa od wody i z łatwością daje się unieść. Na powierzchni część pęcherzyków odrywa się od jagody, pękając przy zetknięciu z powietrzem, i jagoda znów opada na dno. Tam znowu osiadają na niej pęcherzyki, dzięki

TABLICA XI



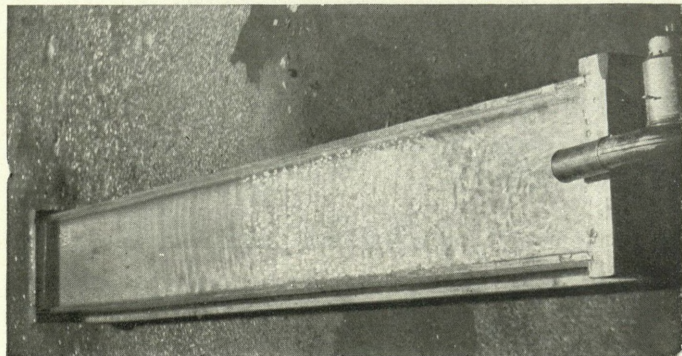
A. Kola, wytworzone przez rozpostarcie drobnych kropelek oliwy.



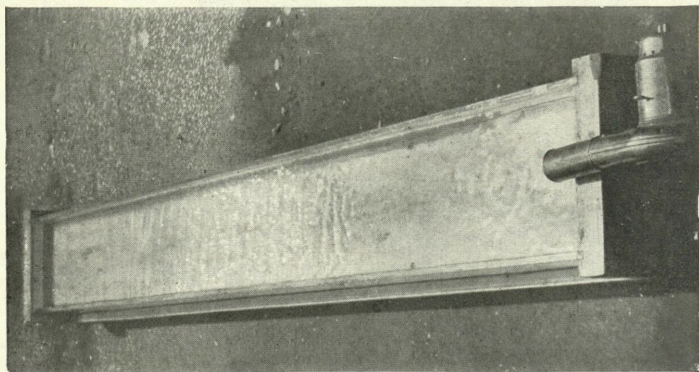
B. Łódź kamforowa.

Kawałek kamfory przytwierdzony zostaje do tyłu lekkiej łódeczki. Kamfora rozpuszcza się w wodzie i powstający roztwór wytwarza błonę na powierzchni wody. Dążenie to jest tak gwałtowne, że wytwarzająca się błona spycha łódeczkę. Gdy przez puszczenie na wodę kropli oliwy wytworzy się z niej błona, pokrywająca całą powierzchnię wody, ruch łódeczki ustaje. O ile oliwa częściowo tylko pokrywa powierzchnię wody, łódeczka zatrzymuje się natychmiast, gdy linia, trzymana przez eksperymentatora, którego widzimy na rycinie, zostanie posunięta naprzód tak, aby oliwa pokryła powierzchnię, po której poruszała się łódeczka.

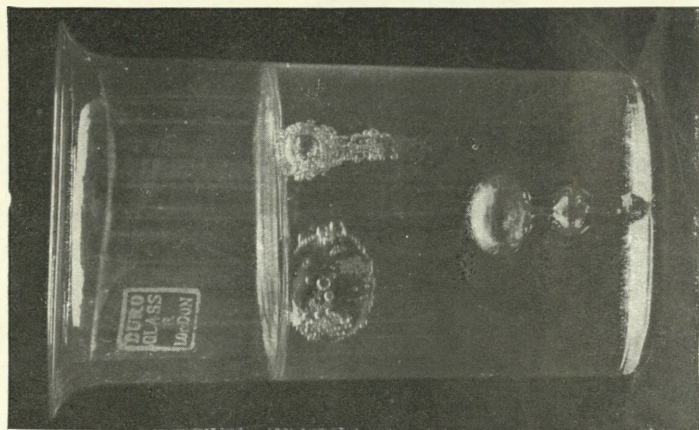
TABLICA XII



A. Woda wzburzona.



B. Oliwa uspokaja burzę.

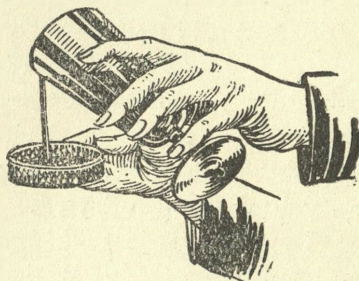


C. Jagody winne w wodzie sodowej.

A i B. Dmuchańca wywołuje burzę i fale bieżną wzdłuż zbiornika. Kropla oliwy natychmiast uspokaja fale i powierzchnia wody staje się gładką. Proszę zauważyć pustą przestrzeń na B. Po chwili oliwa zdmuchnięta zostaje ku końcowi zbiornika i fale powstają nanowo. Fotografje zretuszowano, aby uwidatnić odbicie światła na falach. — C. Jagoda winna i zatłuszczony nurek szklany uniesione zostały w górę przez pęcherzyki gazu; pęcherzyki nie osiadły na czystym nurku szklanym, który pozostał na dnie.

którym staje się ona dostatecznie lekką, aby ponownie wypłynąć na powierzchnię. Powtarzać się to będzie przez wiele minut aż do chwili, gdy woda sodowa wyczerpie się z gazu.

Zajmującym będzie, gdy zamiast winnej jagody wrzucimy do szklanki dwie kulki szklane. Zostały one przedtem umyte w wodzie z mydłem. Pęcherzyki nie tworzą się na nich i obie pozostają na dnie. Wyjmujemy jedną z kulek i nacieramy zatłuszczonym palcem. Po tym zabiegu, kulka, wrzucona ponownie do szklanki z wodą sodową, zachowuje się tak zupełnie, jak winna jagoda: wydostaje się na powierzchnię, gdy osiadzie na niej dostateczna ilość pęcherzyków, opada na dno, gdy część pęcherzyków się od niej oderwie, i t. d.



Ryc. 22. Sito posmarowane tłuszczem. (Z dzieła Prof. C. V. Boys'a)

Musimy sobie uprzytomnić, że, gdy w wodzie sodowej powstaje pęcherzyk dwutlenku węgla, cząstki gazu, aby móc się w danym miejscu zebrać, wypierają stamtąd wodę. Cząsteczki jednak wody, przylegając mocno do siebie, sprzeciwiają się rozerwaniu. Z tego też powodu widzimy, że pęcherzyki nie tworzą się pośrodku szklanki z wodą. U ścianki, gdy szkło jest czyste, woda zwilża szkło czyli, innymi słowami, cząsteczki wody jeszcze silniej przylegają do szkła, aniżeli do siebie wzajemnie. W tych warunkach i tu pęcherzyki powstawać nie mogą, gdyż oderwać musiałyby cząsteczki wody od szkła. Rzecz się przedstawia odmiennie, gdy powierzchnia szkła jest zatłuszczona, gdy przeto cząsteczki wody nie przylegają istotnie do szkła, a tylko są doń przyciśnięte parciem znajdującej się za nimi wody. W tym wypadku pęcherzyki mają gdzie powstawać i szybko powiększają swą objętość. Gdy pęcherzyki

osiągną już pewną wielkość, łatwiej wypierać mogą otaczającą je wodę. Zjawisko to bodaj że najpiękniej wyjaśnia jeszcze jedno z doświadczeń Boys'a z bańkami mydlanemi. Dwie bańki różnej wielkości uczepiamy u przeciwległych końców tej samej rurki, przedzielonej kurkiem. Gdy, przekręciwszy kurek, połączymy ze sobą wnętrza baniek, powietrze z mniejszej bańki przepływa całkowicie do większej i mniejsza bańka zanika. Wśród mnóstwa pęcherzyków w wodzie sodowej, gęsto osiadających na ścianie lub na winnej jagodzie, większe dążą do pochłonięcia mniejszych, a wszystkie razem do wspólnego złączenia się.

Sznureczki pęcherzyków, które niekiedy widzieć można, dążące w górę z określonych punktów powierzchni szklanki, powstają naskutek pewnej nierówności w szkłe — małej wyniosłości np. — na której nie może ukształtować się większy pęcherzyk, gdyż, gdy tylko zacznie się tworzyć, natychmiast się odrywa.

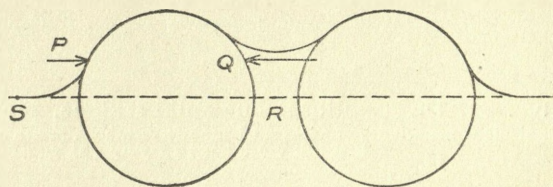
Ta właściwość niektórych ciał przyciągania do siebie pod wodą pęcherzyków i wydostawania się wraz z niemi na powierzchnię stała się w latach ostatnich podstawą wielkiego przemysłu metalurgicznego. Starte na proszek rudy różnych metali tworzą mieszaninę z cząstek kamiennych, jak kwarc i różne krzemiany, i z cząstek siarczków metali. Mieszaninę tę zaprawia się wodą i dodaje nieco oliwy. Można przytem osiągnąć, że cząstki, zawierające metal, pokryte zostaną błonką oliwy, której woda nie zwilża, podczas gdy powierzchnia cząstek kamiennych pozostaje się czystą i zwilża się. Powstałą ciastowatą masę ubija się następnie w pianę. Wszystkie cząstki, zawierające metal, pokrywają się pęcherzykami i wydostają się na wierzch, tworząc gęsty spieniony kożuch; reszta rudy pozostaje na dnie wanny, dzięki czemu obydwa składniki dają się łatwo oddzielić.

Jest jeszcze inne doświadczenie, które dopomoże nam do wyjaśnienia powyższych praw. Wiemy, że woda podnosi się u ścianek zawierającego ją czystego naczynia

szklanego. Cząsteczki przylegają do szkła i jakby jedna na drugą wspinają się po ścianie, aby przyczepić się do niej. Gdy wstawimy do wody blisko obok siebie dwie płyty szklane, woda między nimi podniesie się powyżej swego poziomu nazewnątrż. Cząsteczki, wspinające się po jednej ścianie, pomagają obecnie wspinającym się po drugiej. Powiadamy, że zjawisko to polega na działaniu „włoskowatości“; nazwa ta powstała stąd, że działanie, o którym mowa, tak wybitnie ujawnia się w rurkach bardzo cienkich

czyli „włoskowatych“. Woda w cienkim kanale podnosi się na bardzo znaczną wysokość, osiągając przeszło trzy centymetry w rurce o 1 mm. średnicy. Gdy

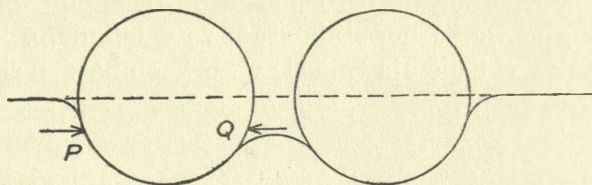
puścimy na powierzchnię wody pustą kulkę szklaną, woda podniesie się u jej obwodu. Gdy odległość pomiędzy dwiema pływającymi kulkami będzie nieznaczna — około półtora centymetra, — kulki zbliżać się będą do siebie z coraz to większą szybkością. Zrozumiemy to, przyjrzaawszy się rysunkowi na ryc. 23. Dwie kulki szklane pływają po wodzie. Ciśnienie w punkcie Q jest mniejsze aniżeli na poziomie, oznaczonym linią przerywaną, ponieważ punkt Q leży w wodzie na wyższym poziomie. Ciśnienie na poziomie linii przerywanej równa się ciśnieniu atmosfery, ponieważ linja ta jest przedłużeniem poziomu wody nazewnątrż. Tak więc obydwa ciśnienia, oznaczone przez P, równe mniejwięcej ciśnieniu atmosfery przewyższają obydwa ciśnienia oznaczone przez Q i popychają kulki ku sobie.



Ryc. 23. Dwie puste kulki szklane, pływające po wodzie.

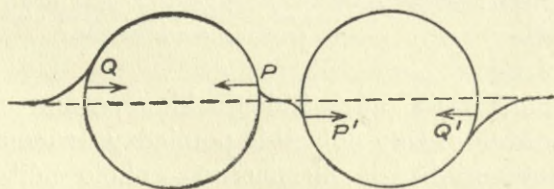
Ciśnienie w punkcie Q jest mniejsze aniżeli w punkcie R, ponieważ Q znajduje się w wodzie na wyższym poziomie. Ciśnienie w punkcie R jest takie same, jak w punkcie S, ponieważ punkty R i S leżą na tym samym poziomie. Ciśnienie w punkcie S jest ciśnieniem atmosfery, taksamo, jak w punkcie P. Stąd wynika, że ciśnienie w P jest większe od ciśnienia w Q, naskutek czego jedna kulka popchnięta zostaje ku drugiej.

Jeśli na powierzchni wody umieścimy dwie kulki z parafiny, albo też dwie kulki szklane, pokryte warstwą parafiny, obie kulki przyciągać się będą nawzajem tak, jak poprzednio czyste kulki szklane, jakkolwiek w tym wypadku działanie jest nieco odmienne. Jak widzimy na rycinie 24, obie kulki wspólnie wytwarzają wklęsnięcie



Ryc. 24. Dwie potłuszczone kulki szklane, pływające po wodzie. Ciśnienie w punkcie P jest większe od atmosferycznego, a przeto od ciśnienia w punkcie Q, naskutek czego kulki popychane są ku sobie.

na powierzchni wody, i znowu, gdy zbadamy siły, działające na kulki, przekonamy się, że ciśnienia tak są rozłożone, iż kulki popychane są ku sobie. Atoli czyste kulki szklane unikają zderzenia z kulkami z parafiny. W tym wy-



Ryc. 25.

Woda zwilża kulkę po lewej stronie; kulka po prawej stronie jest potłuszczona i nie jest zwilżona. Ciśnienie w P jest większe niżeli w Q, a ciśnienie w P' jest większe niżeli w Q'. Tak więc kulki odepchnięte zostają od siebie.

padku działanie jest nieco bardziej złożone, lecz można sobie zdać z niego sprawę zapomocą ryciny, na której pokazane są siły działające. Gdy naczynie z wodą jest czyste i woda podnosi się w górę wzdłuż ścianek, czyste kulki szklane przyciągane są również przez ścianki zupełnie tak, jak przyciągają się nawzajem. Kulki parafinowe natomiast unikają ścianek naczynia. Jeśli teraz ostrożnie napelnimy

naczynie wodą po same brzegi tak, że brzeg wody nie wygina się już w górę ku ściance, lecz nazewnątrz wdół ku brzegowi naczynia, czyste kulki oddalają się od ścianek ku środkowi naczynia, a parafinowe zbliżają się do ścianek.

We wszystkich tych rozpatrzonych przez nas faktach przejawia się jedno i to samo prawo, według którego powstają i kształtują się ciecze, mianowicie siła wzajemnych przyciągań pomiędzy atomami i cząsteczkami. Przyciągania te są dostatecznie silne, aby utrzymać stałą łączność pomiędzy temi atomami i cząsteczkami, nie są jednak dość silne na to, aby związać je w sztywne i stałe ciało. Zapamiętać też należy, że cząsteczki wiążą się ze sobą w całkiem określonych punktach; dana część cząsteczki zdolna jest silnie przywrzeć do danej części innej cząsteczki. Gdy te same cząsteczki zetkną się ze sobą, inaczej do siebie zwrócone, mogą one tylko słabo dążyć lub też nie dążyć wcale do połączenia się ze sobą.

ISTOTA KRYSTAŁÓW: DJAMENT

Widzieliśmy, że, gdy ruch atomów lub cząsteczek całkowicie przewycięża działanie sił wzajemnego przyciągania, atomy te lub cząsteczki zachowują swój byt niezależny, tworząc gaz; widzieliśmy następnie, że, gdy działanie przyciągania się nieco zwiększy lub gdy ruchliwość cząsteczek osłabnie, cząsteczki mogą przylgnąć do siebie, tworząc płyn. Przypuszczamy, że w stanie tym cząsteczki połączone są ze sobą na tyle luźno, że każda z nich z łatwością zmieniać może swe położenie i sąsiadować z coraz to innemi cząsteczkami. Obecnie rozpatrzeć musimy stan krańcowy, w którym siły przyciągania uzyskują całkowitą przewagę. Więzy, łączące cząsteczki, są teraz liczniejsze i prawdopodobnie mocniejsze: każda cząsteczka związana jest z sąsiadującemi z nią w paru conajmniej punktach swego układu, jest więc niejako przygwożdżona do miejsca. W ten sposób powstaje ciało stałe.

Cząsteczki różnią się bardzo znacznie pomiędzy sobą zarówno pod względem swego kształtu, jak też pod względem sił, z jakimi wzajemnie na siebie działają. Gdy siły te są znaczne, trzeba dużego ruchu na to, aby przewyciężyć działanie tych sił, wiążących cząsteczki w ciało stałe, innemi słowy temperatura topliwości jest stosunkowo wysoka. Cząsteczki w ciałach takich, jak djament lub wolfram, z którego sporządza się nitki w żarówkach elektrycznych, związane są ze sobą tak mocno, że dopiero przy temperaturze paru tysięcy stopni więz ich zaczyna się rozluźniać. Ciała takie, jak masło lub naftalina, już przy temperaturze zwykłej są u granicy stanu stałego, podczas gdy ciała inne, jak dwutlenek węgla, a tem bardziej tlen lub wodór, muszą być ochłodzone do bardzo niskich temperatur, zanim przejdą w stan stały. Wszystko polega na

równowadze pomiędzy dwoma przeciwdziałającymi sobie czynnikami, t. j. ruchem i wzajemnem przyciąganiem, wobec czego łatwo pojąć, że temperatury topliwości różnych ciał tak bardzo różnią się pomiędzy sobą.

Co więcej, nie powinniśmy wyobrażać sobie cząsteczki jako tworów o mglistym i nieokreślonym kształcie, przyciągającego inne cząsteczki w jakimkolwiek bądź kierunku. Gdy dwie cząsteczki zbliżą się do siebie, mogą one naskutek wzajemnego przyciągania bardzo ściśle przylgnąć do siebie, lub też nie, w zależności od tego w jaki sposób są do siebie zwrócone. Możemy powiedzieć, że każda cząsteczka ma określony kształt względnie zarys, pomieścić o tem jednak musimy, że przy bliższem wniknięciu w to zagadnienie, nader starannie rozważyć wypadnie, co istotnie przez te słowa rozumieć należy. Cząsteczki łączą się ze sobą tak, jakby posiadały całkiem określone punkty wiązania i jakby łączenie się zależało od wzajemnego zetknięcia się właściwych punktów. Nie można naogół porównywać wzajemnego oddziaływania cząsteczek do przyciągania się nawzajem dwóch ciał, naelektryzowanych ładunkami przeciwnych znaków, lecz raczej do znitowania dwóch części budowy mechanicznej, np. dwóch części żelaznego mostu. Tak, jak w tym ostatnim wypadku odnośne części znajdują się muszą w odpowiednim względem siebie położeniu, aby nity mogły być wpuszczone w przeznaczone sobie miejsca, tak samo okazuje się, że dwie cząsteczki ciała stałego dążą do takiego ułożenia się wzajemnego, że dane części jednej cząsteczki nader ściśle wiążą się z odpowiednimi częściami drugiej. Te same cząsteczki łączyć się mogą ze sobą w różny sposób, naskutek czego powstawać z nich mogą budowy różnego rodzaju; tak np. istnieją różne postacie siarki, kwarcu i wielu innych ciał. Często się zdarza, że przy danej temperaturze cząsteczki tworzą jeden układ, a przy innej temperaturze — układ odmienny.

Wnioskujemy stąd, że cząsteczki, składające się z wielu atomów i posiadające wskutek tego prawdopodobnie bar-

dzo złożoną budowę i niezwykle nieraz kształty, łączą się w ciało stałe, tworzące, jakby koronkę w przestrzeni. Porównać je możemy do mostu, zbudowanego z żelaznych dźwigarów i krzyżulców; konstrukcja taka pozostawia dużo wolnej przestrzeni, gdyż każdy z jej członów posiada kształt osobliwy, zazwyczaj długi i wąski, i związany jest z członami sąsiednimi w pewnych tylko punktach. Większość substancyj organicznych, jak naftalina i parafiny stałe, posiada taki złożony ustrój i skutek porowatej budowy gęstość ich jest niewielka. Nieliczne tylko substancje organiczne są dużo cięższe od wody. Gdy budowa i kształt cząsteczek są prostsze, mogą one szczelniej wypełniać sobą przestrzeń. Gdy cząsteczka składa się tylko z kilku atomów, jak cząsteczka rubinu lub pirytu, a tem bardziej z jednego tylko atomu, (atom i cząsteczka są wtedy sobie równoznaczne), jak w wypadku złota lub żelaza, wówczas cząsteczki wypełniają przestrzeń bardzo szczelnie i mamy do czynienia z substancjami względnie ciężkimi.

Nieskończona różnorodność własności ciał stałych, spotykanych na ziemi, jest w istocie wynikiem nieskończonej różnorodności sposobów łączenia się atomów i cząsteczek pomiędzy sobą i przeróżnej wielkości łączących je sił. Nigdy nie zdołamy poznać należycie używanych przez nas codziennie tworzyw, ani zdać sobie sprawy z ich budowy, dopóki przynajmniej nie ustalimy układu atomów i cząsteczek w ciele stałym i dopóki nie będziemy w stanie określić wielkości i innych cech znamienych sił, łączących atomy i cząsteczki ze sobą.

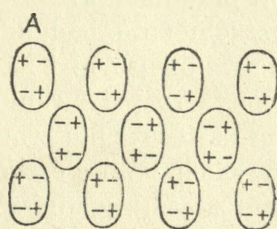
Otóż, w ciągu ostatnich lat odkrycie promieni Roentgena dało nam możność bardzo wnikliwego, dokładnego badania budowy ciał stałych, dzięki czemu szczegółowo zapoznać się możemy z rozplanowaniem tworzących je układów. Posunęliśmy się daleko na drodze do idealnego celu, który nam przyświeca, t. j. do osiągnięcia takiego stanowiska, dzięki któremu pojąć będziemy w stanie,

dlaczego tworzywo, składające się z takich a takich atomów posiada takie a takie cechy, gęstość, wytrzymałość, elastyczność, przewodnictwo ciepła lub elektryczności i t. p. lub też innemi słowy tak a tak zachowuje się pod wpływem elektryczności, magnetyzmu, sił mechanicznych, światła lub ciepła. Nie wiemy jeszcze, dokąd zaprowadzą nas te nowe potężne środki, w jakie zostaliśmy wyposażeni; jedno jest pewne, że zaprowadzą nas daleko i pozwolą nam wniknąć w przeróżne sposoby obchodzenia się z ciałami i ustrojami materjalnemi, bądź to stosowane świadomie lub nieświadomie w wytwórczości przemysłowej, bądź to przejawiające w czynnościach żywych organizmów.

Ta nowa metoda nadaje się szczególnie do badania ciał stałych, zamierzamy też opisać ją w niniejszym i następnych wykładach, które poświęcone są rozpatrywaniu stanu stałego. Polega ona na łącznem zastosowaniu własności kryształów i promieni rentgenowskich, wobec czego zająć się musimy choć pokrótce każdym z tych zagadnień. Zaczniemy od kryształu.

Wyobraźmy sobie, że powoli ochładzający się płyn doszedł do stanu wspomnianego już uprzednio, w którym ruch osłabł do tego stopnia, że cząsteczki lub atomy zaczynają mocno szepiać się ze sobą. Ułożą się one tak, że zwrócą się do siebie największą możliwie ilością znajdujących się na nich punktów, pomiędzy którymi możliwe jest wzajemne przyciąganie. Wyobrazić sobie możemy, że dwie cząsteczki, związane już ze sobą w jednym punkcie kołysać się będą dookoła tego wspólnego punktu coraz to wolniej aż do chwili, kiedy może całkiem raptownie zwiążą się ze sobą w innem miejscu. Wówczas możliwem jest, że na każdej z tych cząsteczek powstanie nowy, trzeci węzeł, łączący ją z drugą, lub też z jakąś trzecią cząsteczką, która przez to zostaje również unieruchomiona. Tak więc, w miarę ochładzania się płynu, cząsteczka po cząsteczce dołącza się do poprzednio wspólnie unieruchomionych, i tak rośnie ciało stałe.

Może też ciało stałe powstawać, wydzielając się z roztworu, w którym było rozpuszczone. Roztwór paruje, skutkiem czego cząsteczki ciała rozpuszczonego spotykają się coraz częściej, co ułatwia ich łączenie się. Gdy płyn ulotni się zupełnie, z roztworu pozostaje tylko ciało stałe. Jeśli parowanie jest powolne, cząsteczki w wędrówce swej w roztworze trafiają na niewielkie skupienia związanych już ze sobą cząsteczek i przyłączają się do nich, z wolna układając się w sposób odpowiedni, zanim zostaną unieruchomione; mają one dosyć czasu, aby zająć swe miejsca we właściwych względem siebie położeniach.



Ryc. 26.

Łatwo zrozumieć, że w tych warunkach powstaje układ całkiem prawidłowy. Przypuśćmy, że ciało płaskie, o kształcie podobnym do A na ryc. 26, posiada cztery ogniska przyciągania, na przemian dodatnie i ujemne, ułożone w sposób, wskazany na rycinie. Jeśli mielibyśmy ułożyć pewną ilość takich ciał na płaskiej powierzchni

w ten sposób, ażeby stale ognisko dodatnie sąsiadowało z ogniskiem ujemnem, jako możliwe rozwiązanie tego zadania otrzymalibyśmy zapewne układ podobny do wyobrazonego na rycinie 26.

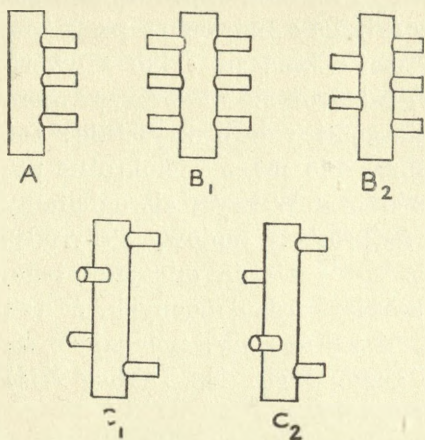
Jakikolwiek byłby układ, który otrzymalibyśmy tą drogą, zawsze zaznaczyłby się w nim musiała pewna prawidłowość, jaką widzimy też na rycinie. Widocznie też Przyroda postępuje w podobny sposób: cząsteczki układają się obok siebie w uporządkowanym szyku. Okoliczność ta posiada wagę pierwszorzędą. Porządek i prawidłowość układu są wynikiem pełnego działania sił przyciągających pomiędzy atomami lub cząsteczkami. Gdy budowa wzrosła na tyle, że widoczną się staje w mikroskopie, a nawet dla gołego oka, prawidłowość przejawia się w kształcie ciała stałego; wówczas mamy przed sobą to, co zwiemy

kryształem. Ograniczony on jest pewną ilością płaskich ścianek, mających nieraz pozór wysoce wypolerowanych, tak, że kryształ posiada swoiste piękno, które częściowo zawdzięcza swemu połyskowi i błyskotliwości, częściowo doskonałości swego prawidłowego kształtu. Wyczuwamy, że jakaś tajemnica i piękno leżą u źródła pociągających nas cech; tak też jest istotnie. Przyroda objawia nam, jak przepięknie układa cząsteczki, gdy ma pełną przy tem swobodę. Jednostka jej wzoru składa się tylko z dwóch lub trzech cząsteczek, lecz, zaledwie się utworzy, zawiera już w sobie wszystkie własności całego kryształu; ten ostatni bowiem powstaje już tylko przez wielokrotne powtórzenie jednostki danego wzoru. W kryształach oglądamy zatem niejako pierwotne, najprostsze budowy Przyrody, jakkolwiek oczy nasze nie są w stanie odczytać tego, co mają przed sobą, bez użycia bardzo mocnych, że tak powiemy, okularów, jakimi są metody, polegające na zastosowaniu promieni rentgenowskich. Na Tablicy XIII widzimy różne postacie kryształów.

Istnieją trzy fazy w rozwoju układów materji: atom pojedynczy, jaki znajdujemy np. w gazie helu; cząsteczka, będąca przedmiotem badań chemików, i jednostka kryształiczna, którą obecnie badać możemy zapomocą promieni rentgenowskich.

Jako przykłady przytoczyć możemy atomy krzemu lub tlenu. Cząsteczka dwutlenku krzemu składa się z jednej jednostki krzemu i dwóch jednostek tlenu, tworzących razem niewątpliwie pewien określony układ. Istnieje wreszcie minerał, zwany kwarcem, którego jednostka kryształiczna składa się z trzech cząsteczek dwutlenku krzemu, tworzących z kolei szczególny układ, jak wiemy, śrubowaty. Kryształ kwarcowy zawiera niezliczoną ilość takich jednostek. Każda jednostka posiada wszystkie własności kwarcu, jest też istotnie kwarcem; natomiast pojedyncza cząsteczka dwutlenku krzemu nie jest bynajmniej kwarcem. Jedną z najbardziej znanych własności kwarcu jest

naprzykład skręcanie płaszczyzny polaryzacji światła; własność ta jest w związku ze śrubową budową jednostki krystalicznej. Trzy cząsteczki tej jednostki tworzą śrubę. Gdy do okrągłej pałeczki (p. ryc. 27) przytwierdzimy kołeczki pod każdym względem jednakowe — t. j. gdy jednostką naszego wzoru będzie pojedynczy kołeczek, otrzymamy układ w rodzaju



Ryc. 27. — Modele, wyjaśniające budowę śrubową.

A. Jeden rodzaj kołeczków, to znaczy wszystkie kołeczki są jednakowe i jednakowo skierowane. B₁ i B₂. W każdym z modeli mamy dwa rodzaje kołeczków, t. j. kołeczki jednego rodzaju skierowane są na lewo, a kołeczki drugiego rodzaju — na prawo. Dwa różne układy.

C₁ i C₂. Trzy rodzaje kołeczków, skierowanych w trzy różne kierunki. Układ C₁ odpowiada śrubie, skręconej na prawo, układ C₂ — śrubie, skręconej na lewo.

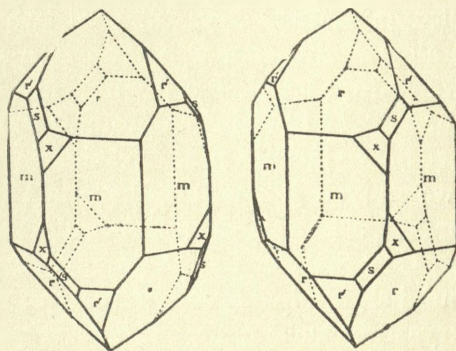
mamy układ w rodzaju A. Gdy jednostkę wzoru tworzyć będą dwa kołeczki, otrzymać możemy układy B₁ albo B₂. Jednostka wzoru, składająca się z trzech kołeczków da nam układ jak C, przyczem są dwie możliwości: C₁, gdy śruba skręca na prawo, C₂ gdy śruba skręca na lewo. Zapomocą promieni rentgenowskich istotnie stwierdzić możemy, że jednostka krystaliczna kwarcu składa się z trzech cząsteczek, ułożonych w kształcie śruby, co zgadza się w zupełności z postacią sa-

meo kryształu kwarcowego, która występuje w dwóch odmianach, jak to widzimy na ryc. 27 A. W jednej szereg sąsiadujących ze sobą ścianek x, s, r', wygina się, jak śruba skręcona na prawo, w drugiej — jak śruba skręcona na lewo. Można było przewidywać taką dwoistość układu, jako wynik dwóch rodzajów śruby w kształcie jednostki krystalicznej. Obecny stan naszych wiadomości nie pozwala nam jeszcze orzec, dlaczego właśnie wymieniony szereg ścianek tak znamien-

nie się wyróżnia. Kwarec czyli „kryształ górny“ zwał się u Greków „Krystallos“; mianem tem obdarzali też Grecy lód, gdyż nie rozróżniali oni tych dwóch substancyj. Słusznem więc było skądinąd, że, w celu wyjaśnienia, jak wyobrażamy sobie budowę kryształów i jednostkę krystaliczną, wybraliśmy jako przykład właśnie kwarec.

Możemy teraz zadać sobie pytanie, dlaczego wszystkie ciała nie posiadają budowy krystalicznej, skoro naturalnym układem cząsteczek jest układ prawidłowy. Na to odpowiedzieć musimy przedewszystkiem, że duży kryształ doskonale ukształto-

wany wzrosnąć może tylko dookoła pojedynczego ośrodka krystalizacji. Trudno jest orzec, co właściwie jest przyczyną wstrzymania ruchu wzajemnego dwóch lub trzech cząsteczek w ochładzającym się płynie i co za tem idzie wytworzenia ośrodka, do którego



Ryc. 27 A.

przyłączają się dalsze cząsteczki. Być może jest to tylko wynikiem ich przypadkowego spotkania się; możliwem też jest, że jakaś drobinka obcego ciała staje się tym ośrodkiem, skupiającym dookoła siebie łączące się ze sobą cząsteczki, lub też, że rolę takiego ośrodka odgrywa jakaś nierówność naczynia, zawierającego płyn. Jeśli w płynie znajdować się będzie duża ilość takich jąder, rosnać zaczną dużą ilość kryształów, ponieważ zaś spotykać się one będą naogół w przeróżnych przypadkowych położeniach wzajemnych, utworzą one w końcu bezkształtną masę małych kryształków zamiast pojedynczego dużego kryształu. Kryształki te mogą być tak drobne, że całość przedstawia się

naszym oczom jako ciało stałe, pozbawione jakiegokolwiek prawidłowego kształtu. Duży kryształ ukształtować się może w doskonałej postaci tylko wówczas, gdy cząsteczki będą mogły łączyć się ze sobą dookoła niewielu ośrodków. Poza tem wzrost kryształów odbywać się musi powoli i w całkowitym spokoju, aby każda cząsteczka zdążyła poprawnie osiąść we właściwem miejscu. Ruchliwość cząsteczek musi być skądinąd dostateczna, aby dostosowanie to było możliwe. Warunki te należyście uwzględnione są w metodach, stosowanych w krystalografji do otrzymywania większych kryształów. Pragnąc naprzykład otrzymać duży kryształ z roztworu soli kuchennej, krytalograf zawiesza w roztworze maleńki dobrze ukształtowany kryształek i utrzymuje roztwór w takiej temperaturze, przy której ruch atomów sodu i chloru zahamowany będzie wyłącznie przez zetknięcie ze skupieniem atomów, tworzących już układ doskonale prawidłowy, to znaczy, przez zetknięcie z zawieszonym kryształkiem.

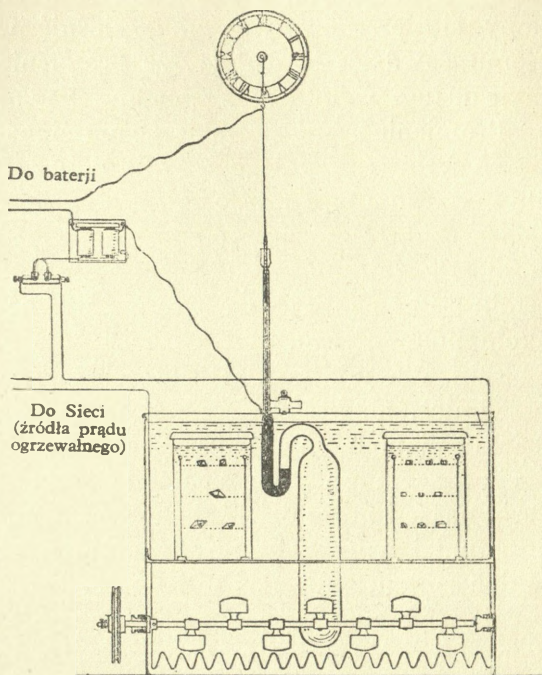
Gdy roztwór jest za gorący, zawieszony kryształek rozpuści się w nienasyconym roztworze; gdy jest on za zimny, kryształy zaczną się tworzyć w wielu miejscach. Czasami płyn utrzymywany bywa w bardzo powolnym ruchu, aby różne jego części po kolei stykać się mogły z zawieszonym kryształem. Najważniejszymi warunkami są: czas i spokój, roztwór soli nieco przesycony tak, żeby każdej chwili wydzielić się zeń mogły kryształy, co wymaga odpowiedniego dostosowania temperatury i stężenia roztworu, obecność doskonale ukształtowanego kryształka i powolny ruch cieczy względem niego. Nie jest, oczywiście, dla nas rzeczą całkiem zrozumiałą, w jaki sposób te lub inne z wymienionych warunków mogą być spełnione podczas wzrastania djamentu lub rubinu; wiemy jednak, że są one konieczne, aby udało się nam otrzymać większe kryształy w laboratorium.

Gdy warunki te spełnione będą tylko częściowo, w wyniku otrzymać możemy bezładną masę małych kryształów.

ków, a nawet budowę całkiem nieprawidłową, t. j. to, co zazwyczaj nazywamy ciałem bezkształtnem. To jedno tłumaczyłoby

pozorną rzadkość kryształów, poza tem pamiętać należy, że wiele ciał stanowi bardzo złożone mieszaniny, składające się z wielu substancyj, z których każda posiada swą przyrodzoną, właściwą sobie postać. Promienie rentgenowskie wykazują nam, że kryształy nie są tak rzadkie, jak to skłonni byliśmy przypuszczać; że nawet w tych wypadkach, gdy krystalizacja nie jest oczywistą, Przyroda starała się wytworzyć

układy prawidłowe, i że istnienie takich układów uprzednio uszło naszej uwagi dlatego, że środki, któremi rozporządzaliśmy, dla ich wykrycia, były nieskuteczne. Prawidłowość układów, jakie wytwarza Przyroda, przejawia się w widocznym dla oka kryształach, ale daje się też wy-



Ryc. 28. — Termostat.

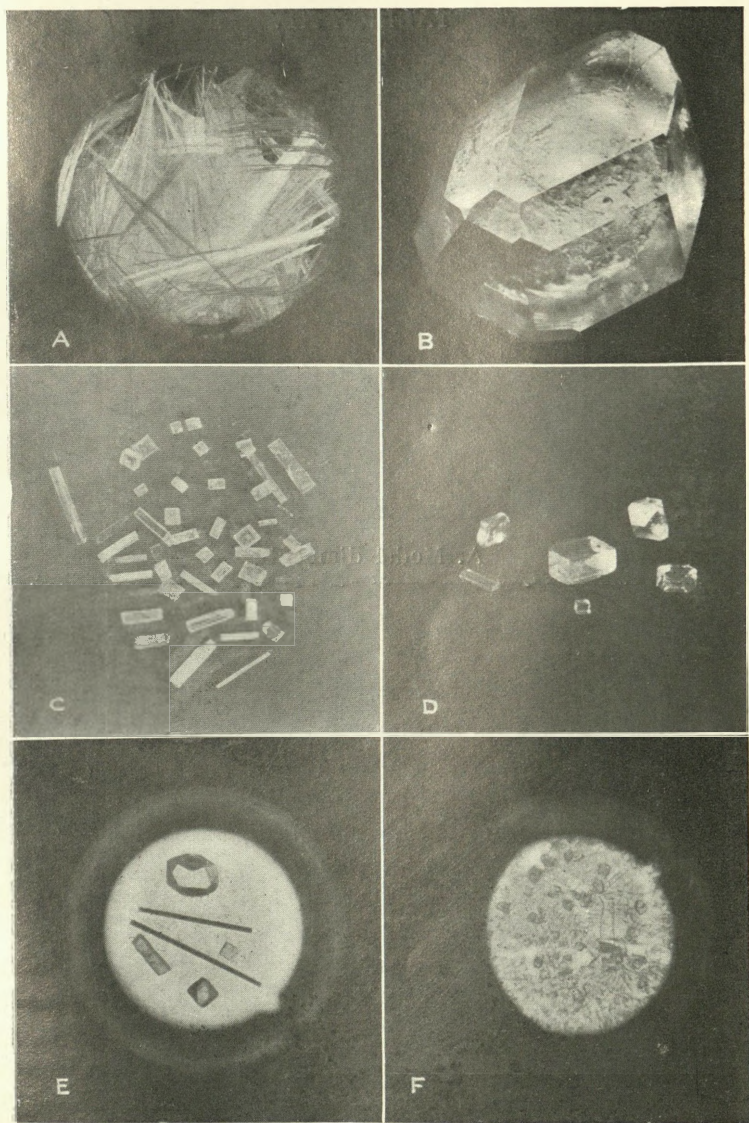
Temperatura kąpieli, w której umieszczone są słoje z rosnącymi kryształami, powinna powoli obniżać się z dnia na dzień bez nagłych i przypadkowych wahań. Temperaturę podtrzymuje grzejnik elektryczny: gdy jest ona za wysoka, prąd zostaje przerwany wskutek rozszerzenia się płynów w dużym termometrze, umieszczonym również w kąpieli. Podnosząca się w rurce termometru rtęć zamyka obwód pomocniczy, a znajdujący się w tym ostatnim elektromagnes przerywa prąd w obwodzie ogrzewalnym. Zapomocą zegara obniża się stale, bardzo powoli koniec drutu, który styka się z rtęcią w termometrze, przez co prąd w uzwojeniu grzejnika wyłącza się przy coraz to niższych temperaturach. Grzejnik znajduje się na dnie termostatu, a nad nim umieszczone jest mieszkadlo.

kryć gdzieindziej. Ta właśnie prawidłowość jest jedną z przyczyn skuteczności nowych metod analitycznych.

Zkolei zajmijmy się promieniami Roentgena. Postaramy się przede wszystkim wyjaśnić w kilku słowach, czemu zawdzięczać należy, że promienie te oddają nam takie usługi w interesujących nas badaniach.

Promienie rentgenowskie są odmianą światła, różniąc się od światła zwykłego jedynie długością fali. Widzialne dla naszego oka światło, wysyłane przez słońce, lampę elektryczną lub świecę, obejmuje tylko wąski zakres długości fal. Najdłuższe fale światła widzialnego mają około ośmiu stutysięcznych centymetra długości, najkrótsze zaś około połowy tego. Wielkości te dobrze dostosowane są do celu, dla jakiego nam służą. Przypomnijmy sobie, że przedmiot, na który się patrzymy, staje się widzialnym dzięki zmianom, wywołanym przez ten przedmiot w świetle, dochodzącem za jego pośrednictwem do naszego oka. Oczy nasze i mózg dzięki długotrwałemu ćwiczeniu nabyły doskonałej wprawy w postrzeganiu i trafnem kojarzeniu takich zmian. Może nas to jednak zawieść, gdy przedmiot będzie zbyt mały, i to nie tylko dlatego, że zmiany, wywołane w świetle przez mały przedmiot, są same przez się nieznaczne. Dzieje się to z innego jeszcze, bardziej subtelного powodu: istota samego zjawiska zmienia się, gdy rozmiary przedmiotu są tej samej mniej więcej wielkości co długość fali świetlnej, lub są od niej jeszcze mniejsze. Wyobraźmy sobie, że przechadzamy się po brzegu morskim, przyglądając się nadpływającym falom. Podczas przechadzki przychodzimy do miejsca, gdzie fale są słabsze, i, gdy rozejrzemy się dookoła, szukając przyczyny, spostrzeżemy skałę, wysuniętą w morze i zasłaniającą tę część plaży. Mamy tu odpowiednik cienia optycznego: daleką burzę, która spowodowała fale, porównać możemy do słońca, brzeg morski, o który uderzają fale, — do ziemi, oświetlonej promieniami słońca, a wysuniętą w morze skałę — do chmury, rzucającej cień na ziemię. Cień optycz-

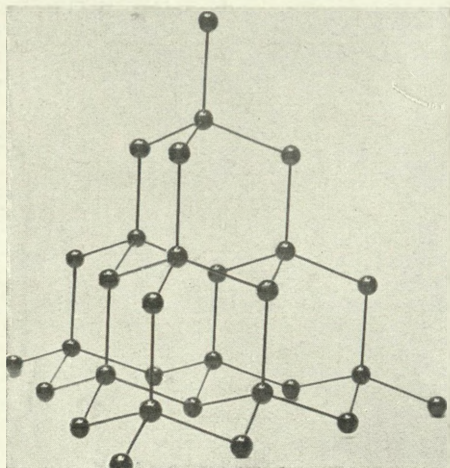
TABLICA XIII



Postacie kryształów.

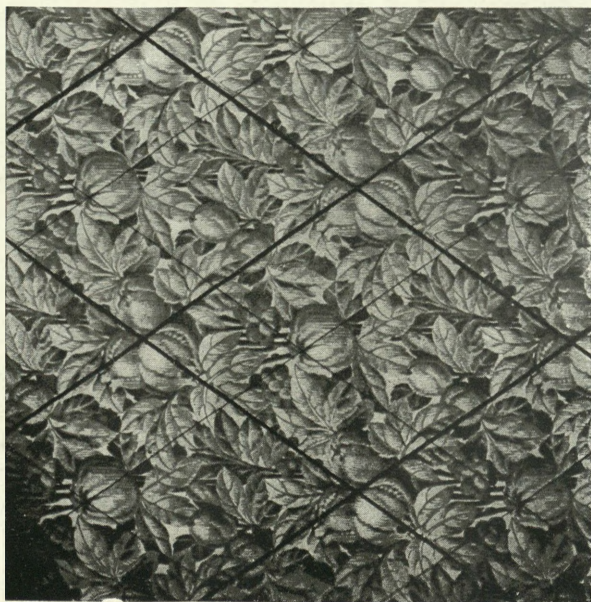
A. Kryształy trójtlenku siarki, które ukształtowały się z pary w naczyniu szklanem. B. Kryształ erytrytolu, wyrosły w roztworze. C. Chlorek amonu: kryształy o kształcie sześciątów prawidłowych i wydłużonych, powstałe w roztworze, zawierającym mocznik. D. Postacie kryształów: kwercyt i kokosyt. E. Postacie kryształów: alizaryna; alun rubidowy; chlorek sodu; siarczan amonowo-kobaltowy; kwas ftalowy. F. Chlorek amonu: kryształy w kształcie liści paproci, ośmiościanów i sześciątów, powstałe w roztworze, zawierającym mocznik.

TABLICA XIV



A. Model djamentu.

Model uwidocznia tylko układ atomów węgla, pomijając ich kształt i wielkość.



B. Tapeta.

Jednostka wzoru oznaczona została w dwojaki sposób: a) linjami grubymi, b) linjami cienkimi. W obydwu wypadkach kształt i zawartość jednostki są jednakowe, jakkolwiek położenie kątów każdej z jednostek inaczej zostało wybrane.

ny daje nam znać o chmurze, a cisza u brzegu pozwala nam domyślać się bliskiego sąsiedztwa skały. Otóż rozmiary skały są zapewne znacznie większe od długości fal. Jeśliby zamiast skały znajdował się u wybrzeża pal, wbity w dno morskie i wystający ponad powierzchnię, skutek byłby zbyt nikły, abyśmy go mogli zauważyć. Nie nastęcza to, oczywiście, żadnych wątpliwości. Ale nawet wówczas, gdyby takich pali było całe mnóstwo wbitych w dno morskie tak, żeby osiągnięty tą drogą skutek dorównał skutkowi, wywołanemu obecnością skały, z powstałego w ten sposób cienia nie moglibyśmy zdać sobie sprawy z obecności pojedynczych pali. Średnica pala jest zbyt mała w stosunku do długości fali, aby ta ostatnia ulec mogła jakiegokolwiek trwałej zmianie; fale omijają pal, łączą się zpowrotem i to wszystko. Jeżeli jednak tylko lekki podmuch wiatru muskać będzie powierzchnię spokojnego skądinąd morza, pokrywając ją drobniutkimi falami, każdy z pali rzucać będzie cień na pewną, nieznaczną choćby odległość w kierunku, w którym wiatr wieje. Długość tych drobniutkich fal jest mniejszą od średnicy pala, wskutek czego przy każdym z pali powstaje cień.

Tak samo zupełnie fale świetlne, przesuwające się ponad cząsteczkami, znacznie od nich mniejszemi, nie doznają żadnych zmian, któreby mogły dojść do oka i mózgu i dać się dostrzec, jako skutek zetknięcia z pojedynczemi cząsteczkami. Napróżno też staralibyśmy się zwalczać te trudności zapomocą jakiegokolwiek przyrządów. Mikroskop zwiększa wprawdzie zdolność naszą dostrzegania małych przedmiotów; przy jego pomocy dostrzeżemy zapewne przedmioty kilka tysięcy razy mniejsze niż te, jakie dostrzec możemy gołym okiem. Atoli zawodzi on, gdy chcemy zobaczyć drobinę, której rozmiary równają się długości fali świetlnej; nie pomogą tu i nie posuną nas naprzód żadne ulepszenia w budowie i wykonaniu mikroskopów. Atoli promienie rentgenowskie powstają z fal dziesięć tysięcy razy krótszych od fal światła zwykłego, o ile więc

oczy nasze zastąpić zdołamy odpowiedniami, dostatecznie czułymi przyrządami, promienie te dziesięć tysięcy razy zwiększą naszą zdolność wnikania w najdrobniejsze szczegóły budowy ciał. Wprowadzają nas one z łatwością w świat atomów i cząsteczek, których wymiary we wszystkich trzech kierunkach wynoszą parę setnych części centymetra, tego samego zaś rzędu są długości fal promieni Roentgena. Krótko mówiąc, promienie Roentgena zwiększyły siłę naszego wzroku dziesięć tysięcy razy, dzięki czemu obecnie „widzieć“ możemy atomy i cząsteczki.

Wypadnie nam teraz ustalić związek pomiędzy promieniami Roentgena a własnościami kryształów. I znowu zaczniemy od określenia tego związku w kilku słowach. Jakkolwiek pojedyncza cząsteczka może wywrzeć wpływ na promienie Roentgena tak samo, jak w przytoczonym przez nas podobnym wypadku pojedynczy pal może rzucać cień na marszczącą się wodzie, jednak wpływ ten jest zbyt nikły. W kryształach atoli mamy olbrzymią ilość cząsteczek prawidłowo ułożonych i zdarzyć się może, że, gdy wiązka promieni Roentgena padnie na kryształ, oddziaływania poszczególnych cząsteczek łączą się i dają się dzięki temu stwierdzić. I znowu użyć możemy porównania. Jeśliby pojedynczy żołnierz w polu wykonał ruch swym karabinem i bagnetem, błysk odbijającego się światła słonecznego, wywołany tym ruchem, mógłby z odległości kilometra ująć uwagi, będąc zbyt nikłym. Jeśliby natomiast w tej samej odległości maszerował cały oddział żołnierzy, z łatwością dojrzelibyśmy błysk, wywołany jednoczesnym ruchem broni wszystkich żołnierzy. Dzięki krótkości fali promieni Roentgena każdy pojedynczy atom lub cząsteczka może na nie oddziaływać, oddziaływania zaś wszystkich pojedynczych atomów lub cząsteczek sumują się dzięki prawidłowej budowie kryształu.

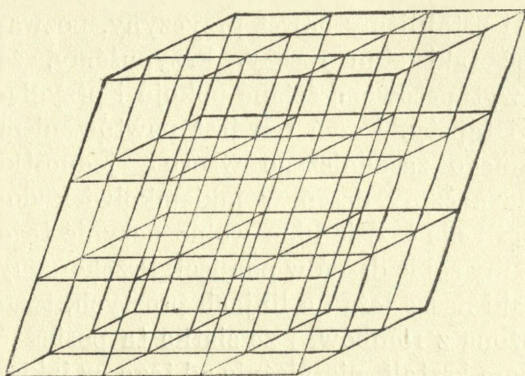
Po tych wstępnych uwagach możemy bardziej szczegółowo objaśnić sposób, w jaki łącznie wyzyskane zostały własności promieni Roentgena i kryształów w nowych

metodach analitycznych. Objaśnienie to jest może nieco mniej przystępnem, staraliśmy się wobec tego tak przedstawić zarówno to, co je poprzedza, jak i to, co po niem następuje, ażeby ci, którzyby sobie tego życzyli, mogli, narazie przynajmniej, ten ustęp opuścić. Kto jednak pragnie posługiwać się owymi nowymi metodami, prędzej czy później będzie musiał przyswoić sobie całkowicie i tę część naszego wykładu.

Widzieliśmy, że atomy i cząsteczki tworzą w kryształach układ prawidłowy, i ustaliliśmy nawet przyczyny, pozwalające przewidywać taki stan rzeczy. Przypuśćmy, że mamy przed sobą wytapetowaną ścianę pokoju i przyglądamy się deseniowi tapety. Deseń ten jest powtórzeniem jednego i tego samego zasadniczego wzoru — jednostki (Tabl. XIV B). Naznaczymy desień w jakimkolwiek dowolnem miejscu. Jeśli nie będzie nam wolno uczynić tego faktycznie, naznaczymy sobie desień w pamięci. Przekonamy się wówczas, że znaki nasze leżą na liniach prostych, tworzących siatkę, złożoną z rombów, i że siatka ta posiadać będzie zawsze ten sam kształt, niezależnie od tego, w jakim punkcie naznaczyliśmy desień. Romby, tworzące siatkę, będą różnej wielkości i różnego kształtu w różnych tapetach, zawsze jednak pozostając rombami t. j. czworokątami równobocznymi lub przechodząc niekiedy w kwadraty; nikt bowiem nie mógłby znieść tapety, osnutej na siatce, złożonej z dowolnych czworokątów. Rysunek, otrzymany z naznaczonych przez nas punktów, nazwijmy „siatką“. Każdy romb obejmuje całkowicie jednostkę wzoru ze wszystkimi szczegółami i nic ponad to.

Układ jednostek kryształu w przestrzeni podobny jest do układu jednostek wzoru tapety na ścianie z tą tylko różnicą, że siatka płaska zastąpiona została przez „siatkę przestrzenną“ (ryc. 29). Każda komórka tej siatki posiada sześć ścianek, równoległych do siebie parami. Krawędzie komórki mogą być różnej długości, taksamo różne być mogą jej kąty nachylenia; najprostszą i najbardziej

prawidłową jej postacią jest sześcian. Każda komórka obejmuje całkowicie jednostkę wzoru ze wszystkimi szczegółami i nic więcej: jest ona ową jednostką krystaliczną, posiadającą wszystkie własności kryształu bez względu na jego wielkość. W wypadku kwarcu naprzykład ma ona kształt szczególny, jaki widzimy na ryc. 30, i zawiera trzy cząsteczki dwutlenku krzemu. Fakt ten łatwo daje się stwierdzić zapomocą metod rentgenowskich, jak również



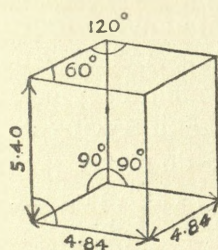
Ryc. 29. — Siatka przestrzenna.

wielkość i wymiary komórki, jak to niebawem zobaczymy; rzeczą daleko trudniejszą jest ustalenie rozmieszczenia atomów i cząsteczek wewnątrz komórki.

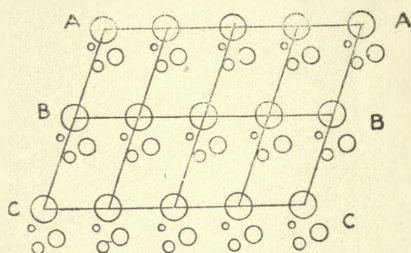
Przypuśćmy, że moglibyśmy zajrzeć do wnętrza kryształu

wzdłuż jednej z krawędzi komórki (p. ryc. 29) i utworzyć to, cośmy widzieli, w podobny sposób, jak na ryc. 31. W każdym z węzłów siatki znajduje się grupa atomów, którą wyobrażamy na rycinie w całkiem dowolny sposób zapomocą kółek różnej wielkości. Ilość i jakość atomów lub cząsteczek, skupionych w tej grupie, oraz kształt tej ostatniej są w danym wypadku bez znaczenia; grupa zawierać może każdą ilość atomów lub cząsteczek, lecz rzeczą zasadniczą jest, aby identycznie taka sama grupa znajdowała się w każdym z węzłów siatki, podobnie jak na deseni tapety. Przyjmijmy, że szereg fal promieni Roentgena pada na kryształ; na rycinie 32. A przedstawione są te fale przez linje równoległe WW. Gdy fale te zetkną się z szeregiem grup, leżącym wzdłuż linii AA —

każdej grupie odpowiada teraz pojedyncza kropka — przy każdej grupie powstanie nowy szereg fal podobnych, jakkolwiek pierwotna fala płynie dalej, zupełnie tak samo, jak to ma miejsce z szeregiem pali, wbitych w dno morskie, przez które przepływa fala: każdy z pali staje się ośrodkiem pewnego zaburzenia. W niewielkiej odległości od szeregu AA drobne te zaburzenia łączą się ze sobą w szereg fal, oznaczony linjami równoległymi aa. Zjawisko to jest podobne do odbicia głosu przez szereg pali lub przez kawałek



Ryc. 30.



Ryc. 31.

Ryc. 30. — Wielkość i wymiary jednostki krystalicznej kwarcu, podane w stumiljonowych centymetra.

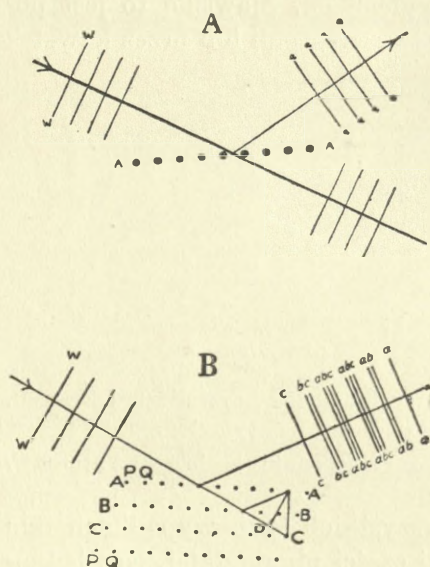
Ryc. 31. — W każdym z węzłów siatki znajduje się grupa atomów.

rozpiętego muślinu. We wszystkich tych wypadkach fala pierwotna w przeważającej części płynie dalej, lecz jednocześnie powstaje fala odbita, tworząca z warstwą odbijającą taki sam kąt, jaki tworzy fala pierwotna. Fale odbite tworzą jednolity szereg, posiadający tę samą długość fali, co pierwotny szereg fal, lecz oczywiście dużo odeń słabszy: zdawaćby się mogło, że przy odbiciu się fali powstaje bezładne kłębowisko drobnych fal, lecz tak nie jest bynajmniej. W bezpośrednim sąsiedztwie grup atomów istnieje pewien pozorny bezład, lecz nieco dalej w kierunku odbicia drobne fale zlewają się z sobą, tworząc spokojnie płynący szereg fal aa i t. d.

Poza szeregiem grup atomów, leżących wzdłuż AA znajduje się inny, dokładnie taki sam, wzdłuż BB (p.

ryc. 32 B). Fale pierwotne, które, jak to wykazuje doświadczenie, bardzo mało zostały osłabione przy przejściu przez AA, przepływają z kolei przez BB, i znowu następuje odbicie, oznaczone linjami równoległymi bb. Dalej poza tem znajduje się szereg grup CC, tworzący szereg fal cc, szereg grup DD, tworzący szereg fal dd i t. d.

Zazwyczaj linje aa, bb, cc nie pokrywają się nawzajem.



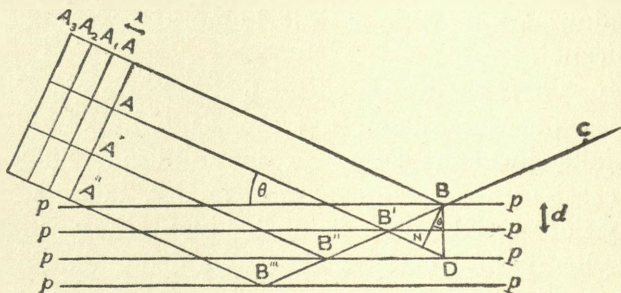
Ryc. 32. — Odbicie promieni Roentgena.

Atoli, gdy należycie dopasujemy długość fali promieni Roentgena, odległość pomiędzy AA i BB (które w istocie są płaszczyznami, leżącymi w wypadku ryciny 32 pionowo do płaszczyzny rysunku) i kąt, pod którym fale spotykają AA, BB, wówczas linje aa, bb i t. d. pokrywać się będą nawzajem. W rzeczywistości mamy do czynienia z tysiącami płaszczyzn odbicia, i, gdy wszystkie poszczególne fale odbite dokładnie się pokrywają, otrzymujemy w ogólnym

wyniku odbicie dostatecznie silne. Jeśli dopasowanie, o jakim powyżej wspomnieliśmy, nie jest całkiem dokładne, jak to widzimy na rysunku (p. ryc. 32 B), fale odbite nie łączą się ze sobą wydatnie; wierzchołki jednych, lub to, co odpowiada wierzchołkom fal wodnych, trafia na zagłębienia innych fal, czyli powstaje interferencja, wskutek której fale niweczą się nawzajem. Dopasowanie musi być niezmiernie dokładne z powodu tak wielkiej ilości płaszczyzn odbicia, leżących jedna za drugą. Łatwo otrzymać

możemy formułkę, określającą warunek właściwego dopasowania. Różnica długości linii łamanej $A'B'B$ i linii AB równać się musi liczbie całej długości fal. Jeśli oznaczymy długość fali przez λ , odległość pomiędzy płaszczyznami odbicia przez d i kąt, jaki tworzą promienie padające z równoległymi płaszczyznami odbicia przez θ , wówczas mamy: $n\lambda = A'B'B - AB = A'D - AB = DN = 2d \sin \theta$, w czym n oznacza jakąkolwiek liczbę całkowitą.

Jak już zaznaczyliśmy, nie jest koniecznem, aby czytelnik zapoznawał się z podaniem powyżej rozumowaniem,



Ryc. 33. — Prawo odbicia promieni Roentgena.

z którego wynika podstawowe równanie naszego zagadnienia.

Najistotniejszym jest to, że, gdy stopniowo zmieniać będziemy kierunek promieni pierwotnych, względem płaszczyzn AA , BB i t. d., nie otrzymamy wydatnego odbicia dopóki nie osiągniemy właściwego nachylenia; gdy to nastąpi, zjawia się nagle bardzo silne odbicie. Mierzmy wówczas kąt nachylenia; ponieważ zaś, jak zazwyczaj przy analizie kryształów, długość fali promieni jest nam znana, obliczyć możemy odległość płaszczyzn odbicia. Promienie odbite są, oczywiście, niewidzialne dla oka, można je jednak utrwalić na płycie fotograficznej lub też stwierdzić ich obecność w inny sposób zapomocą metod, których tu rozpatrywać nie będziemy. Przyrząd, którym posługu-

jemy się w tych doświadczeniach, nazywamy spektrometrem rentgenowskim. Mierzymy zapomocą niego kąty, pod któremi występuje odbicie; pomiary te służą przede wszystkim do określenia odstępów, t. j. odległości pomiędzy płaszczyznami siatkowymi w kryształach, a następnie do określenia kątów pomiędzy różnemi szeregami tych płaszczyzn. Tak np. możemy zapomocą tego przyrządu określić nie tylko odstęp pomiędzy płaszczyznami AA, BB, lecz również pomiędzy płaszczyznami PP, QQ (p. ryc. 32 B), a także kąt, zawarty pomiędzy płaszczyznami AA i PP. W ostatecznym wyniku otrzymujemy więc dzięki temu przyrządowi wymiary i kształt komórki czyli jednostki krystalicznej.

Gęstość kryształu daje się naogół z łatwością określić w drodze doświadczalnej, a wówczas obliczyć możemy masę, jaką posiada jednostka krystaliczna. Skoro zaś ciężar cząsteczki jest nam zawsze znany, łatwo określić możemy ilość cząsteczek w jednostce krystalicznej; jak już zaznaczyliśmy, liczba ta jest zawsze bardzo mała. Pomiary zapomocą spektrometru rentgenowskiego dają nam ponadto pewne pojęcie o wzajemnem położeniu cząsteczek, tworzących jednostkę wzoru. Dowiedzielibyśmy się z nich dużo więcej, gdybyśmy potrafili wysnuwać z nich właściwe wnioski, dotychczas jednak nie mamy jeszcze dosyć doświadczenia w tym zakresie. Znaleźliśmy nasz kamień z Rozetty, lecz uczymy się dopiero odczytywać znajdujące się na nim hieroglify.

Najważniejszą rzeczą, o której powinniśmy pamiętać, jest to, że dzięki promieniom Roentgena uzyskujemy odległość pomiędzy jakąkolwiek płaszczyzną, na której rozsiane są grupy atomów, a sąsiadującą z nią bezpośrednio taką samą płaszczyzną, usianą również grupami atomów. Odstęp ten jest niczem innem, jak odległością pomiędzy przeciwległemi ściankami jednostki krystalicznej. W zależności od tego, jakie węzły siatki przestrzennej łączyć będziemy ze sobą, otrzymamy różne postacie jednostki

krystalicznej. W kryształach mierzyć możemy w istocie nie tylko trzy różne odstępstwa, lecz dowolną ich ilość; zazwyczaj zadawaliśmy się pomiarem kilku z nich.

W niektórych wypadkach udało się analizę kryształów posunąć tak daleko, że dowiedzieliśmy się, jakie miejsce zajmuje każdy atom w jednostce wzoru. Ażeby to osiągnąć, posługiwaliśmy się nie tylko analizą zapomocą promieni rentgenowskich, ale również wieloma danymi z chemii i fizyki. Nie będziemy jednak wdawali się w dalsze szczegóły; to, cośmy powyżej wyjaśnili, powinno dać wystarczające pojęcie o metodach, stosowanych w tych badaniach. Sądzymy jednak, że niektóre z wyników zainteresować mogą czytelników.

Przedewszystkiem zajmijmy się djamentem, jako królem kryształów. Jest on nie tylko przepięknym i drogocennym kamieniem, lecz przez swą budowę uczy nas wielu rzeczy, dotyczących podstawowych prawd z dziedziny chemii a zwłaszcza chemii organicznej. Jeden tylko atom, mianowicie atom węgla, stanowi cegiełkę w budowie djamentu; lecz atom ten ma dla nas znaczenie żywotne. Jest on podstawowym składnikiem pokarmów, materiałów opałowych, barwników, materiałów wybuchowych, nasyżących ciał i wielu innych rzeczy. Budowa djamentu jest wybitnie prosta, jakkolwiek, jak wszystkie budowy w przestrzeni, z trudnością daje się odrazu pojąć. Przyzwyczajeni jesteśmy tak dalece do rysunków na płaszczyźnie, z papierem i ołówkiem jesteśmy tak oswojeni, że umysł nasz z łatwością ogarnia szczegóły płaskiego rysunku. Nie możemy jednak rysować w przestrzeni; możemy tylko budować modele z dużym nakładem czasu i energii, wobec tego zdolność nasza do wyobrażania sobie układów w przestrzeni jest słabą z powodu braku wprawy. Nieliczni posiadają tę zdolność, jako dar wrodzony, gdy inni, poświęcając się krytalografji, przez stałe ćwiczenia nauczyli się myśleć w trzech wymiarach. Większość z nas doznaje znacznej trudności, gdy po raz pierwszy stara się przed-

stawić sobie układy atomów i cząsteczek w kryształach. Tem niemniej, budowa djamentu, jaką widzimy na Tablicy XIV A, stanie się jasną, gdy poświęcimy jej nieco uwagi. Czarne kulki wyobrażają atomy węgla litylko co do ich położenia, bynajmniej zaś co do ich wielkości i kształtu, o których mało co wiemy. Każdy atom węgla znajduje się w środku ciężkości czterech innych; te cztery atomy tworzą wierzchołki czworościanu, środkowy zaś atom znajduje się od każdego z nich oczywiście w jednakowej odległości. Mamy podstawy do przypuszczenia, że atomy te związane są ze sobą bardzo mocno i że w całej budowie związane są one w jednakowy sposób. Nie ulega wątpliwości, że dzięki tej jednostajnej prostocie i prawidłowości swej budowy zajmuje djament pierwsze miejsce w skali twardości. Jeśli przyciśniemy go do jakiegokolwiek innego kryształu, wówczas atomy tego ostatniego ustąpić muszą, nie zaś atomy djamentu. Djament posiada płaszczyzną łupliwości. Na rycinie jest ona równoległą do powierzchni stołu, na którym stoi model. Istnieją cztery takie płaszczyzny łupliwości, każda z nich jest równoległą do jednej z czterech ścian czworościanu. Obracać możemy modelem tak, że po kolei podstawą jego będzie każda z czterech ścian, przyczem w każdym z tych położań wyglądać on będzie tak samo. Odległość pomiędzy środkami dwóch sąsiadujących ze sobą atomów węgla wynosi 1,54 jednostek Ångströma; jednostka ta równa się jednej stomiljonowej centymetra. Nic dziwnego, że ta właśnie płaszczyzna jest płaszczyzną łupliwości, skoro przecina ona pod prostym kątem pionowe połączenia pomiędzy warstwami poziomymi, widocznymi na rycinie. Każdą z tych warstw możemy określić, jako pofałdowaną sieć heksagonalną. Możemy sobie, oczywiście, przedstawić kryształ, jako składający się z szeregu takich warstw, równoległych do jakiejkolwiek z czterech ścian czworościanu, a nie koniecznie do tej ściany, która całkiem przypadkowo służy za podstawę modelu i niczem się poza tem nie wyróżnia.

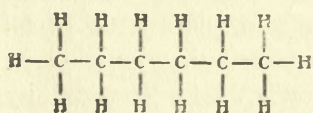
Istnienie tej łupliwości znane jest dobrze szlifierzom djamentów, którzy dużo czasu oszczędzają, umiejętnie ją wykorzystując. W Tower w Londynie oglądać można narzędzia, które rozłupano wielki djament Cullinan podczas szlifowania. Na Tablicy XV A widzimy djament w trzech częściach; a na Tablicy XV B — narzędzia, użyte do rozłupania. Można też rozłupać djament wzdłuż jeszcze innej płaszczyzny, która przechodzi przez jedną z krawędzi czworościanu i jest pionową do krawędzi przeciwległej; ten sposób rozłupywania jest jednak trudny i rzadko się używa.

Gdy przypatrzymy się budowie djamentu, nie możemy nie zauważyć, jak w uderzający sposób występuje wszędzie, w każdej części modelu, układ atomów węgla w kształcie sześciokątnego albo sześciobocznego pierścienia. Jeśli wyjmemy z modelu jeden z tych pierścieni, wyglądać on będzie tak, jak to widzimy na Tablicy XVI B, 2: widziany z góry wyglądać będzie, jak prawidłowy sześciokąt, lecz, patrząc nań z boku, przekonamy się, że pierścień nie jest płaski, t. j., że tworzące go atomy nie leżą w jednej płaszczyźnie.

Otóż pierścień z sześciu atomów węgla odgrywa już oddawna wielką rolę w chemji. Nikt jeszcze tego pierścienia nie widział, jest on zbyt małym. Jednakże chemicy wynioskowali jego istnienie na podstawie bardzo pomysłowego i ciekawego rozumowania. Nawet dla tych z pośród nas, którzy nie są chemikami, nie okaże się ono zbyt trudnem. Tak więc już w połowie zeszłego stulecia było rzeczą znaną, że mogą powstawać cząsteczki, w których szereg lub łańcuch atomów węgla tworzy niejako trzon budowy, dookoła zaś tych atomów węgla skupiają się atomy wodoru w ten sposób, że każdy atom węgla związany jest z czterema innymi atomami. Wiedzano o tem, gdyż stwierdzono, że cząsteczka nie może wchłonąć w siebie więcej wodoru: jest ona, jak mówią chemicy, „nasycona“, ponieważ pojedynczy atom węgla jest „nasycony“, gdy

związany jest z czterema innemi atomami, jak np. w gazie błotnym czyli metanie (CH_4). Stwierdzono również, że stosunek ilościowy atomów węgla do atomów wodoru w cząsteczce ściśle odpowiadał przewidywaniom tej hipotezy. Z sześcioma atomami węgla związanych być musi czternaście atomów wodoru, jak to widzimy na wzorze (p. ryc. 34) i co potwierdza doświadczenie. Substancje takie nazywamy „parafinami“ (p. drugą połowę następnego wykładu); różnią się one pomiędzy sobą odmienną liczbą atomów węgla w łańcuchu. Substancja, której wzór widzimy na ryc. 34 nazywa się heksanem.

Otóż w roku 1825 wydzielił Faraday ze smoły gazowej, t. j. osadu, znajdowanego w retortach przy wytwarzaniu



Ryc. 34. — Heksan.

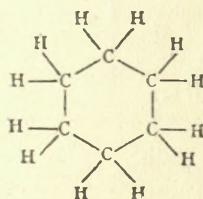
gazu świetlnego z węgla kamiennego, pewną substancję, którą nazwał „bikarburetem“ wodoru, a którą obecnie zwieemy benzolem. Parę kropel pierwszego preparatu Faraday'a prze-

chowuje się w Instytucie Królewskim, jako zabytek historyczny.

Cząsteczka tej substancji zawiera sześć atomów węgla, podobnie jak heksan, oraz sześć atomów wodoru. Może wchłonąć jeszcze sześć atomów wodoru, których wówczas będzie dwanaście, liczba ta jednak nie może być przekroczona. Powstała w ten sposób cząsteczka z dwunastoma atomami wodoru zachowuje się pod względem chemicznym podobnie, jak heksan, nie może jednak posiadać tej samej budowy, skoro ma o dwa atomy mniej wodoru. Zagadka została rozwiązana w roku 1867 przez Kekule'go, który poddał myśl, że cząsteczka benzolu posiada budowę w kształcie pierścienia a nie łańcucha, przyczem pierścień ten składa się z sześciu atomów węgla. Pierścień ten otrzy-
 maćbyśmy mogli z łańcucha, jak widzimy na rycinie 34, usuwając obydwaj atomy wodoru z końców łańcucha i zginając łańcuch w krąg aż do złączenia obydwu jego

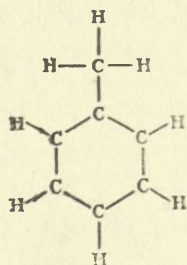
końców. Otrzymamy wówczas budowę według ryc. 35. Odnosna substancja nazywa się w chemji heksahydrobenzolem. Częsteczka samego benzolu posiada tylko po jednym atomie wodoru u każdego wierzchołka sześciokąta. Łańcuch i pierścień z atomów węgla stanowią podstawy dwóch wielkich działów chemji organicznej. Znajdujemy cząsteczki łańcuchowe nie tylko w parafinach, lecz również w tłuszczach, olejach, mydłach i w wielu innych ważnych rodzajach substancyj. Pierścień stanowi podstawę wielu tysięcy różnych znanych cząsteczek, pomiędzy innemi cząsteczek barwników, materiałów wybuchowych, lekarstw, jak chinina, sacharyna i t. p.

Wzór zamkniętego sześciokątnego pierścienia odrazu umożliwia proste i piękne wytłumaczenie szeregu godnych uwagi zjawisk chemicznych, z pośród których rozpatrzmy jedno dla przykładu. Częsteczka benzolu składa się z sześciu atomów węgla, ułożonych w pierścień sześciokątny oraz z sześciu atomów wodoru, po jednym u każdego wierzchołka sześciokąta. Każdy z atomów węgla sąsiaduje tylko z trzema innemi atomami; może on związać z sobą jeszcze czwarty atom, tak, że cała cząsteczka wchłonać jest w stanie jeszcze sześć atomów lub grup atomów, które związane zostaną u wierzchołków sześciokąta. Częsteczka benzolu może jednak doskonale obywać się bez nich. Badając cząsteczkę benzolu w stanie normalnym, chemicy przekonali się, że można zmienić jej skład, usuwając jeden lub kilka atomów wodoru i zastępując je innemi atomami lub grupami atomów. W bardzo znanym i ważnym wypadku usuniętym zostaje jeden atom wodoru i zastąpiony przez grupę, złożoną z jednego atomu węgla i trzech atomów wodoru, t. j. przez t. zw. grupę metylową. Nowa cząsteczka posiada budowę, uwidocznioną na ryc. 36, i tworzy bardzo ważną substancję, zwaną toluolem; przy temperaturze



Ryc. 35. — Heksa-
hydrobenzol.

zwykłej jest ona płynem. Możemy usunąć jeszcze jeden atom wodoru z cząsteczki o kształcie pierścienia i zastąpić go atomem, dajmy na to, bromu; tę nową substancję nazywamy bromotoluolem. Nader ciekawą jest rzeczą, że tą drogą otrzymujemy właściwie trzy różne substancje o jednakowym składzie, t. j. cząsteczka każdej z tych trzech substancyj składa się z sześciu atomów węgla, czterech atomów wodoru, jednego atomu bromu i jednej grupy metylowej, która, jak wolno nam przypuszczać, pozostaje się niezmienioną. W jaki sposób wytłumaczyć możemy



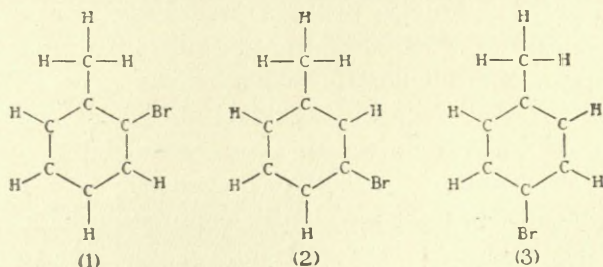
Ryc. 36. — Toluol.

istnienie tych trzech substancyj, posiadających różne własności, lecz ten sam skład chemiczny? Hipoteza pierścienia benzolowego pozwala nam odpowiedzieć na to natychmiast. Powyższe podstawienie da się uskutecznić tylko w trojaki sposób, jak to widzimy na rycinie 37. Atom bromu może albo bezpośrednio sąsiadować z grupą metylową, albo pomiędzy nimi znajdować się będzie jeden lub dwa atomy wodoru.

Trzy te cząsteczki różnią się od siebie kształtem, możemy więc przewidywać, że różnić się będą swemi własnościami; niema przeto wątpliwości, że mamy do czynienia z trzema różnemi substancjami. Chemicy zdołali nawet wyodrębnić każdą z nich. Możliaby przytoczyć wiele podobnych przykładów; ten jeden jednak wystarczy dla wykazania, że sposób rozmieszczenia atomów w układzie cząsteczki jest równie doniosłym, jak jej skład chemiczny, powyższe trzy cząsteczki różnią się bowiem jedynie w sposobie rozmieszczenia podstawionych składników. Metody analizy rentgenowskiej nadają się szczególnie do stwierdzenia takich różnic w budowie cząsteczek, zapomocą nich mierzymy bowiem wymiary jednostki wzoru, w której mieszczą się dwie cząsteczki lub więcej i poznajemy skutki,

jakie wywołać może zmiana w postaci cząsteczki. Osiągnięto już pewne wyniki w tym kierunku.

Bardzo ciekawem jest, że liczba atomów węgla w cząsteczkach łańcuchowych waha się w dużych granicach. Cząsteczka kwasu masłowego, charakterystycznego składnika zjełczałego masła, zawiera cztery atomy węgla, podczas gdy cząsteczka kwasu palmitowego, spotykanego w oleju palmowym i innych substancjach, posiada szesnaście atomów węgla (p. drugą część następnego wykładu). Z drugiej strony, wśród cząsteczek, zbudowanych w kształ-



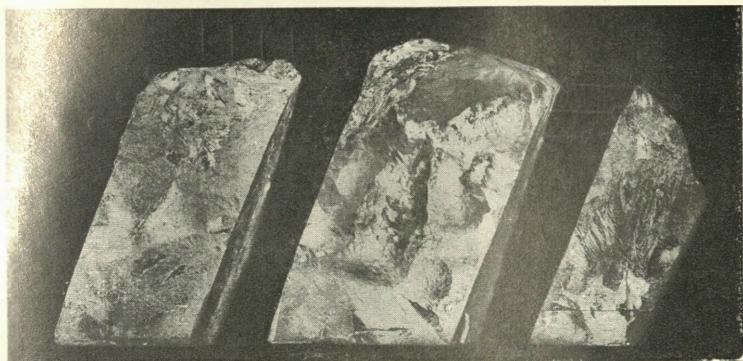
Ryc. 37. — Bromotoluol.

cie pierścienia, najczęściej występuje cząsteczka, której pierścień składa się z sześciu atomów węgla. Zapewne powstaje ona najłatwiej i posiada najtrwalszą budowę. Otóż budowa djamentu, który, poza grafitem, jest jedynym kryształem, składającym się litylko z atomów węgla, wypełniona jest pierścieniami sześciokątными. Całkiem naturalnem jest więc przypuszczenie, że przyczyna powstawania pierścienia z sześciu atomów leży w budowie djamentu. Ta ostatnia zaś opiera się na tej prostej zasadzie, że każdy atom węgla otoczony jest czterema innymi, rozmieszczonemi symetrycznie dookoła niego. Dwie proste, łączące atom węgla z dwoma sąsiadującymi, nachylone są względem siebie pod kątem $109^{\circ}28'$, co łatwo daje się wyliczyć. Jeśli w pewnych okolicznościach połączenie dwóch atomów węgla z trzecim nastąpić może tylko wtedy, gdy

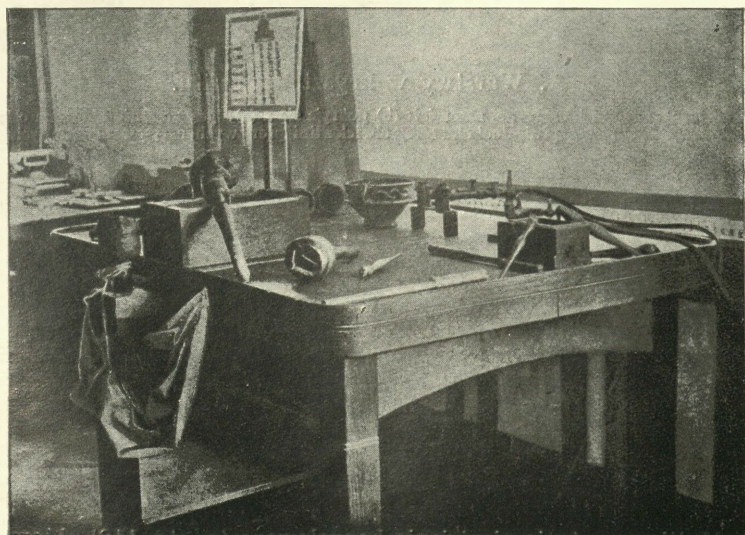
linje łączące atomy tworzyć będą taki właśnie kąt, to pierścień zamknięty zawierać musi conajmniej sześć atomów. (Aby to sobie wyjaśnić, możemy sporządzić model. Do tego celu użyć możemy kulek drewnianych dostatecznie prawidłowego kształtu, jakie w dowolnej ilości dostać możemy w fabrykach guzików. W każdej kulce wywiercamy w odpowiednich miejscach cztery dziurki i łączymy ze sobą kulki zapomocą igieł gramofonowych. W ten sposób zestawić możemy modele djamentu oraz różnych postaci cząsteczek pierścieniowych i łańcuchowych). Pięć atomów węgla, leżących w jednej płaszczyźnie, tworzy pierścień niemal zamknięty, ponieważ kąt pięciokąta prawidłowego wynosi 108° . Jeśli jednak kąt pomiędzy dwoma przyległymi bokami pierścienia zamkniętego równać się ma $109^\circ 28'$, pierścień ten składać się musi z sześciu atomów, leżących nie w jednej płaszczyźnie, lecz na powierzchni falistej, jak to widzimy na Tablicy XVI B 2. Nie możemy jeszcze orzec z całą pewnością, czy pierścień benzolowy posiada zawsze kształt falisty, czy też bywa płaski, w którym to wypadku kąt pomiędzy bokami wynosi 120° (p. Tablica XVI B 1), czy też mieć może nawet kształt, uwidoczniiony na Tablicy XVI B 3, który również wynika z podstawowego kąta czworościanu. W celu rozstrzygnięcia tego pytania zebrany już został pewien materiał doświadczalny, nie pozwala on jednak jeszcze wysnuć decydujących wniosków. Być może, że zdarzają się w rzeczywistości wszystkie trzy postacie. Tymczasem, w toku tych badań daje się ustalić wiele innych bardzo interesujących faktów.

Ciekawą substancją jest grafit, który podobnie, jak djament, składa się tylko z atomów węgla. Jest on dużo lżejszym, gęstość jego bowiem wynosi około 2,30, podczas gdy djament posiada gęstość 3,52. Widocznie mamy tu do czynienia ze zmienionym układem atomów, w którym przeciętna odległość pomiędzy niemi została zwiększona. Promienie Roentgena wykazują, że to zwiększenie odstępów pomiędzy atomami nastąpiło wyłącznie w jednym

TABLICA XV

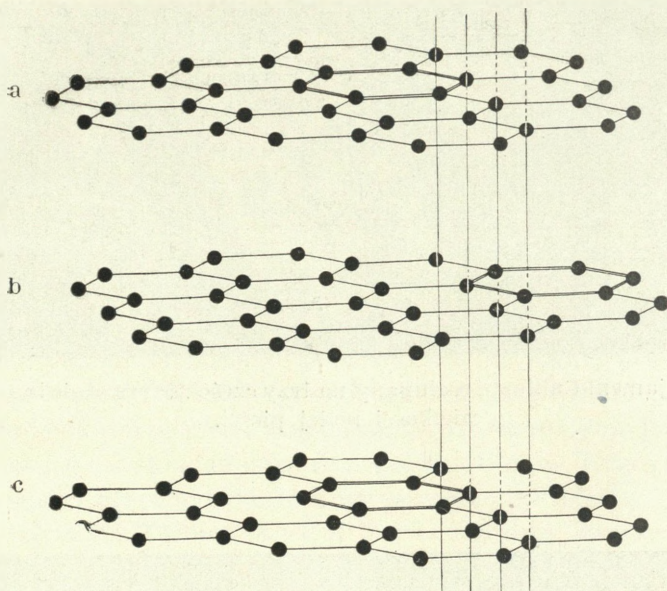


A. Djament Cullinan, rozłupany na trzy części. Pierwotnie był on wielkości małej pięści.



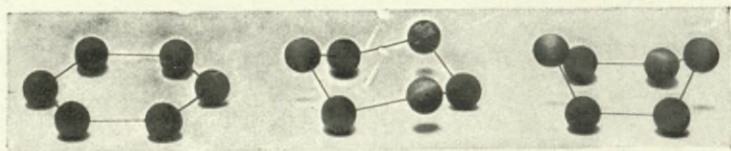
B. Stół i narzędzia do rozłupywania djamentów.

TABLICA XVI



A. Warstwy w kryształ grafitu.

a) i (c) są zupełnie identyczne, natomiast (b) pokryje się z (a), gdy zostanie obrócona o kąt półpełny w swej płaszczyźnie dookoła którejkolwiek z linii pionowych, narysowanych na rycinie.



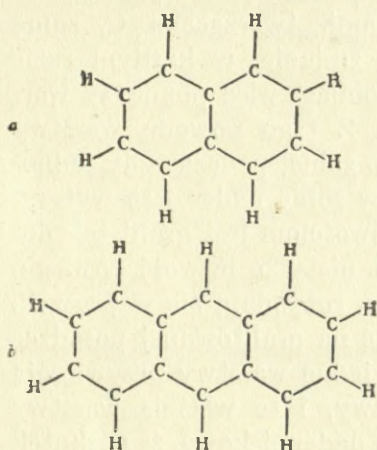
B. Możliwe postacie pierścienia benzołowego (p. str. 112). Atomy wodoru zostały pominięte.

kierunku. Podobnie, jak w budowie djamentu, mamy i w budowie grafitu warstwy (p. Tablica XVI A). Gdy patrzeć się będziemy na nią z góry, warstwa taka będzie miała ten sam wygląd siatki heksagonalnej; co więcej, bok sześciokątu ma niemal tę samą długość. Lecz odległość pomiędzy warstwami została znacznie zwiększona, i to właśnie tłumaczy, dlaczego grafit jest o tyle lżejszy. Najnowsze badania zdają się wykazywać, że warstwy zostały spłaszczone, tak, że każdy atom węgla otoczony jest trzema innymi, leżącymi w tej samej co on płaszczyźnie. O ile wogóle więc pomiędzy atomami, tworzącymi tę samą warstwę, uległa jakiegokolwiek zmianie, w każdym razie nie została ona osłabiona; natomiast więc pomiędzy warstwami jest znacznie słabszą. Z tego powodu warstwy z łatwością ślizgać się mogą po sobie, podczas gdy jednocześnie każda warstwa sama w sobie nader jest wytrzymałą. Dzięki tym dwóm właściwościom jest grafit tak doskonałym smarem. Ważną jest nie tylko łatwość poślizgu, lecz i to, że warstwy nie łatwo rozpadają się w proszek. Gdy zdarzy się nam poślizgnąć na grafitowanej posadzce kamiennej, przed kominkiem, jedne warstwy przywierają do kamienia, inne do podeszwy, i te właśnie warstwy ślizgają się po sobie. Jest rzeczą nader ciekawą, że naskutek jednej jedynej zmiany — której istota pozostaje jednak tajemnicą — ciało, które stało się dla nas wyobrażeniem twardości, przekształca się w jeden z najskuteczniejszych smarów, jakie posiadamy.

Na poparcie twierdzenia, że omawiany przez nas pierścień jest czemś rzeczywistym, co posiada wymiary, które dadzą się zmierzyć i uwzględnione być muszą w budowie kryształu, przytoczyć możemy jeszcze szereg faktów, jakie stwierdzamy przy porównaniu dwóch kryształów naftaliny i antracenu. Obie te substancje odgrywają dużą rolę w fabrykacji barwników, pierwsza służy do wyrobu sztucznego indyga, antracen zaś do wyrobu alizaryny, będącej składnikiem barwiącym marzanny farbiarskiej.

Naftalina jest substancją pospolitą; bezwątpienia większość z nas zna ją pod postacią białych kulek o silnym zapachu, które używamy jako środek przeciwko molom. Gdy rozpuścimy naftalinę w eterze, a powstały roztwór zwolna ochładzać będziemy, z łatwością powstawać będą kryształy. Ogólnym swoim wyglądem przypominają one kryształy, uwidocznione na Tablicy XIII D.

Badania chemiczne stwierdziły, że cząsteczka naftaliny składa się z dwóch związanych ze sobą pierścieni benzolo-

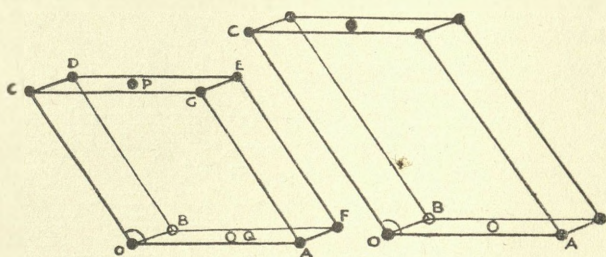


Ryc. 38. — Naftalina i antracen.

wych, jak to widzimy na ryc. 38, A; cząsteczkę antracenu tworzą trzy pierścienie (p. ryc. 38, B). Gdy kryształy obydwu substancyj zbadamy zapomocą promieni Roentgena, przekonamy się, że jednostka kryształiczna obejmuje dwie cząsteczki i że zawierająca ją komórka posiada kształt, jaki widzimy na ryc. 39. Wymiary odnośnych komórek podane są u dołu rycin. Przy porównaniu obydwu komórek zauważy-

my rzecz znamionną: wzdłuż dwóch krawędzi wymiary obydwu komórek są niemal takie same; wzdłuż trzeciej krawędzi znajdujemy natomiast znaczną różnicę. Wynikałoby z tego, że cząsteczki, składające się z dwóch względnie trzech pierścieni, leżą równolegle do OC w obydwu wypadkach i że różnicę pomiędzy liczbami 11,18 i 8,69 przypisać należy różnej długości cząsteczek. Cząsteczka antracenu obejmuje o jeden pierścień więcej aniżeli cząsteczka naftaliny, naskutek czego jest o 2,49 jednostek Ångströma dłuższą. Gdy zaś zmierzymy średnicę pierścienia, występującego w budowie djamentu, otrzy-

mamy 2,50 jednostek Ångströma. Tak więc znowu znajdujemy potwierdzenie poglądu, że pierścień posiada określony kształt i niemal stałe wymiary. Będziemy mogli się tem kierować w badaniach nad budową kryształów, składających się z cząsteczek pierścieniowych. Promienie Roentgena pozwalają nam określić wielkość i postać jednostki krystalicznej, ilość zawartych w niej cząsteczek oraz przybliżone ich rozmieszczenie. Gdy wiadoma nam jest, mniej lub więcej dokładnie, wielkość pierścienia względnie pierścieni, wchodzących w skład cząsteczki, oprócz możemy na tem



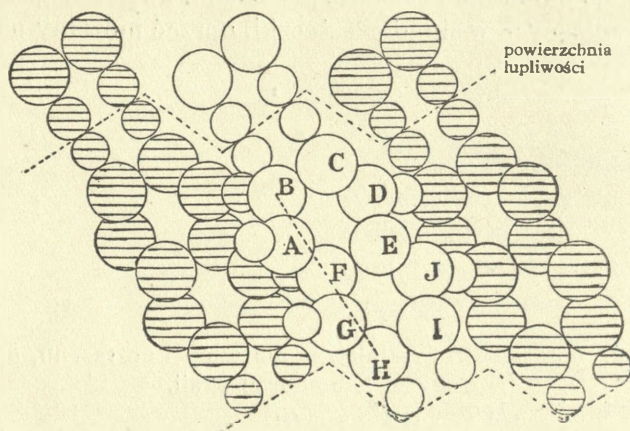
Ryc. 39. — Jednostki krystaliczne naftaliny i antracenu, narysowane w jednakowej skali.

	OA	OB	OC	
Naftalina	8,34	6,05	8,69	Liczby odpowiadają jednostkom Ångströma: p. str. 106.
Antracen	8,58	6,02	11,18	

badanie budowy, biorąc pod uwagę, że pomieścić mamy ciała o określonych wymiarach w komórkach określonego kształtu. Badania tego rodzaju są niezmiernie interesujące, skoro poznajemy dzięki nim układy atomów w cząsteczkach organicznych oraz siły, wiążące atomy w cząsteczce i cząsteczki w kryształach. Na tem nowem polu dociekań osiągamy wyniki, z których jedne są całkiem określone i jasne, podczas gdy inne są zawile i narazie trudne do wyjaśnienia dopóki nie zostanie zebrany większy materiał doświadczalny.

Na podstawie dotychczas osiągniętych danych cząsteczkę organiczną wyobrażamy sobie jako lekką a sztywną

budowę, mocno w sobie związaną, podczas gdy więź pomiędzy cząsteczkami, sąsiadującymi ze sobą w kryształach jest słabą. Substancje organiczne przeważnie są lekkie, niewiele cięższe od wody. Fakt, że gęstość naftaliny wynosi zaledwie 1,15, wskazuje na porowatowość jej budowy. Nawet diament jest pełen pustek, jak gąbka. Jeśliby te pustki wypełnione były przez atomy węgla, gęstość diamentu podwoiłaby się, ponieważ każda pustka pomieścić



Ryc. 40. — Na rycinie widzimy wzajemne położenie cząsteczek naftaliny i części cząsteczek przyległych.

może akurat jeden nowy atom węgla, a pustek jest tyleż właśnie, ile atomów.

Słabość połączeń pomiędzy cząsteczkami jest przyczyną miękkości kryształów organicznych i łatwości, z jaką się one topią. Z tej samej przyczyny naftalina „sublimuje“, t. j. ulatnia się, przechodząc bezpośrednio ze stanu stałego w stan lotny. Całe cząsteczki wyrzucane zostają z ciała stałego tworzą parę, która, zgęszczając się, w postaci drobnych kryształków osiada w chłodniejszych miejscach naczynia.

Naftalina antracen posiadają budowę płatkową i są łatwo łupliwe. Powierzchnie łupliwości oznaczone są na

rycinie linjami przerywanemi. Jak widać, cząsteczki łatwiej odrywają się jedna od drugiej u swych końców, aniżeli wzdłuż boków. W każdym płatku cząsteczki zwrócone są ku górze nieco pochyło, jak pochyłone wiatrem zboże.

Z rozważań powyższych wyciągnąć możemy ogólny wniosek, że „pierścień benzolowy“ jest istotnym materialnym układem, posiadającym całkiem określony kształt i wymiary, który w mało zmienionej postaci wchodzi w skład budowy kryształów. Przejdziemy teraz do rozpatrzenia cząsteczek „łańcuchowych“, które tworzą podstawę równie obszernego działu chemji organicznej, jak dział, którego podwaliną jest pierścień.

Wobec tego, że wykład niniejszy jest już dostatecznie długi, rozpatrzemy cząsteczki łańcuchowe w następnym wykładzie obok kryształu lodu, który będzie głównym przedmiotem owego wykładu.

ISTOTA KRYSTAŁÓW: LÓD I ŚNIEG

Gdy zaczniemy się rozglądać za kryształami, które należałoby zbadać nową naszą metodą analityczną zapomocą promieni Roentgena, zaciekawia nas przede wszystkim krystały lodu i śniegu. Woda jest jedną z najwzwyklejszych substancyj na ziemi, z którymi najbardziej jesteśmy oswojeni, oddziaływa ona na nasze życie w najróżnorodniejszy sposób, w niezliczonych wypadkach, to też wszystkie postacie, które przybierać może woda, muszą nas interesować. A i z punktu widzenia naukowego pragnęlibyśmy poznać budowę, powstałą z tak prostych cząsteczek, zawierających jeden atom tlenu i dwa atomy wodoru; możemy się też przekonać, że leży to w naszej mocy. Szczególne to nasze zainteresowanie ma atoli jeszcze inny powód: pociąga nas po prostu piękno kryształków śniegu, o tak delikatnym i doskonale wykończonym rysunku, i piękno kryształków szronu na zmarzniętych szybach, tworzących tak przedziwne i wdzięczne desenie. Prawda, że bloki sztucznego lodu mają kształt niepozorny, z przyjemnością jednak patrzymy, jak popychane szczypcami dostawcy prześlizgują się one po bruku. Fabrykacja sztucznego lodu jest zbyt szybka, aby wystąpić mogła na jaw jego budowa krystaliczna, istnieje ona wprawdzie, lecz masa lodu składa się z mnóstwa niewidzialnych dla oka kryształków, zwróconych we wszelkich możliwych kierunkach, i zawiera moc pęcherzy i szczelin, wypełnionych powietrzem.

Jeśli chcemy zobaczyć, co Przyroda zdziałać potrafi, gdy wykonać może plany swe bez przeszkód, przyjrzyjmy się płątkom śniegu podczas ostrej zimy na Północy. W Anglii nie zdarza się nam oglądać najpiękniejszych kryształów z powodu braku silnych mrozów. W innych

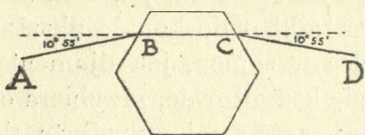
krajach, jak np. Szwecja lub Ameryka, zobaczyć możemy całe mnóstwo przepięknych rysunków, płatków śnieżnych, które umieszczane są po czasopismach fizycznych i meteorologicznych. Niektóre z nich odtworzone zostały na Tablicach XVII i XVIII.

Możemy sobie wyobrazić sposób, w jaki powstają płatki śniegu. W górnych warstwach powietrza łączy się ze sobą parę cząsteczek wody. Do opadającego a rosnącego wciąż kryształka przyłącza się cząsteczka po cząsteczce, wypełniając wszystkie szczegóły wzoru, aż sześcioramienny płatek lekko spocznie na ziemi. W czasie silnego mrozu płatek, po opadnięciu na ziemię, może wzrastać dalej w taki sam sposób, tak, że powstają kryształki o doskonale ukształtowanych ściankach, błyszczące w słońcu, jak djamenty. Gdy kryształ śniegu zaczyna się kształtować, przybiera on bardzo często postać pierzastą; sześć ramion wydłuża się, a wzdłuż każdego z nich wyrastają po obu stronach mniejsze ramiona, a z nich jeszcze mniejsze i t. d.; wszystkie zaś ramiona spotykają się pomiędzy sobą pod kątem 60° , tak, że całość wygląda, jak sześcioramienna gwiazda z delikatnej koronki. Te pierzaste postacie są właściwością pierwszych faz krystalizacji; przypuszczać należy, że powstają one naskutek nagłego i szybkiego zamarzania. Ramiona wydłużają się od środka nazewnątrz w miarę zużywania bliższych cząsteczek, które włączone być mogą do budowy. Po to, aby napotkać dalsze takie cząsteczki, muszą ramiona ogarniać coraz to większą przestrzeń. Zjawisko to często spotykamy w innych wypadkach szybkiej krystalizacji; wybitnym tego przykładem jest powstawanie szkieletów kryształów żelaza w tyglu z roztopionym i szybko ochładzającym się metalem. Jeśli chcemy, aby zachowały one swą postać, musimy odlać resztę roztopionego metalu, zanim nie zdążą się wypełnić wolne przestrzenie w kryształach. Te szkielety kryształów nazywamy „dendrytami“, ponieważ kształtem swym przypominają drzewa z pniami, konarami, gałęziami i gałązkami.

Różne jednak rozgałęzienia kryształu żelaza spotykają się pod kątem prostym, a nie 60° , ogólna zaś postać dendrytu ani w części nie jest tak wdzięczną, jak kształty pierzastych kryształków lodu.

Gdy kryształek śniegu miał dosyć czasu dla swego wzrostu, a ilość cząsteczek, które mógł włączyć do swej budowy, była dostateczna, luki zostają wypełnione i kryształek przybiera postać sześciokątnej płytki (Tablica XVII B). Czasami, jak można przypuszczać, kryształki od samego początku wzrastają w postaci takich płytek.

Ciekawem jest, że płytki bywają nieraz połączone parami zapomocą sześciokątnego graniastosłupa; jedna z dwóch płytek często jest większa od drugiej i całość wygląda, jak stoliczek dla krasnoludków (Tablica XVIII A). Graniastosłup występuje też w ciekawych budowach, jakie widzimy na Tablicy XVIII C, za-



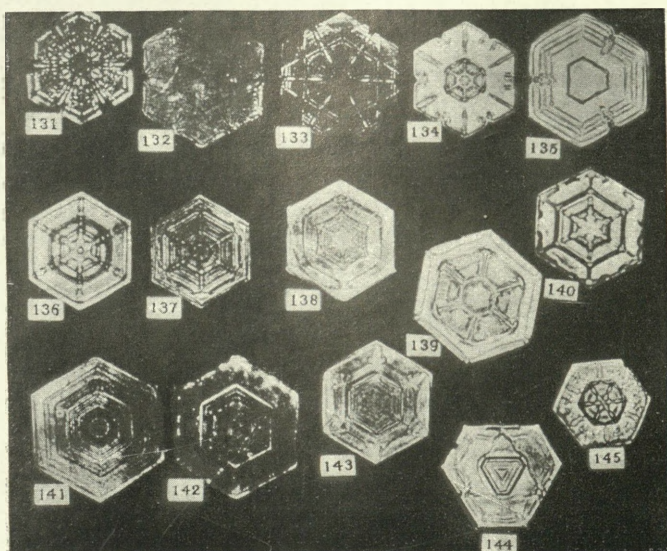
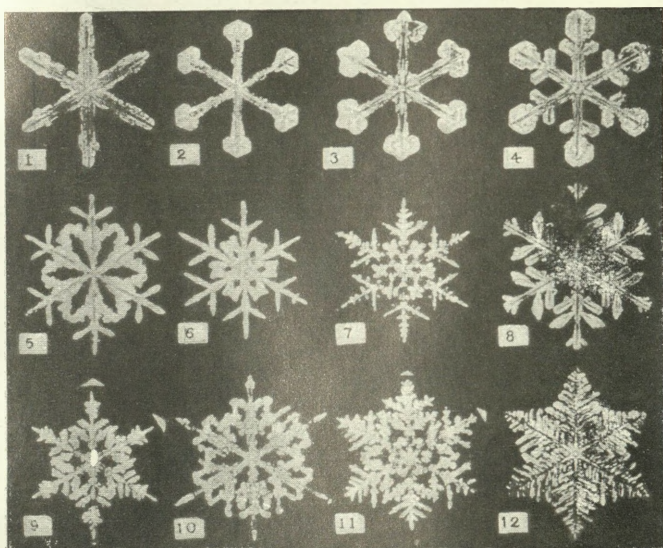
Ryc. 41. Sześciokąt wyobraża powiększony przekrój graniastosłupa lodowego. Linja łamana ABCD oznacza promień przechodzący przezeń.

pożyczonej z dzieła Wright'a i Priestley'a p. t. „Glaciology“, Brytyjska Wyprawa do Bieguna Południowego, 1910—1913.

Obecności tych graniastosłupów, płytek i „stoliczków“ w atmosferze przypisuje się powstawanie ubocznych, urojonych obrazów słońca i kręgów świetlnych czyli aureoli, jakie widzieć można w strefach o znacznej szerokości geograficznej (Tablica XIX).

Wyobraźmy sobie, że sześciokąt na ryc. 41 wyobraża przekrój jednego z owych graniastosłupów lub płytek, i niech linja ABCD oznacza drogę promienia świetlnego, przechodzącego przez ten przekrój. Światło załamuje się w punktach B i C, na skutek czego promień, po przejściu przez kryształek, odchyła się od swego pierwotnego kierunku o kąt, wynoszący co najmniej $21^\circ 50'$, t. j. co naj-

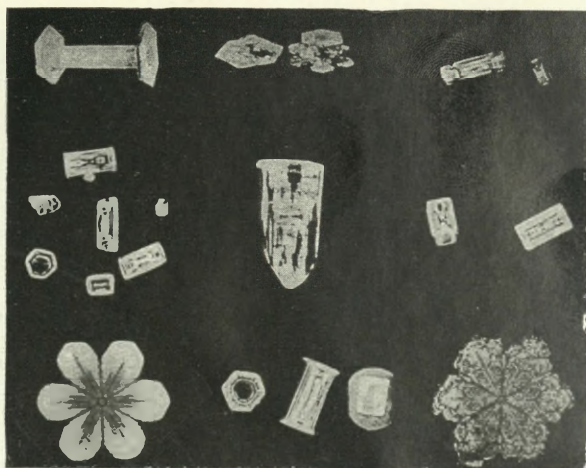
TABLICA XVII



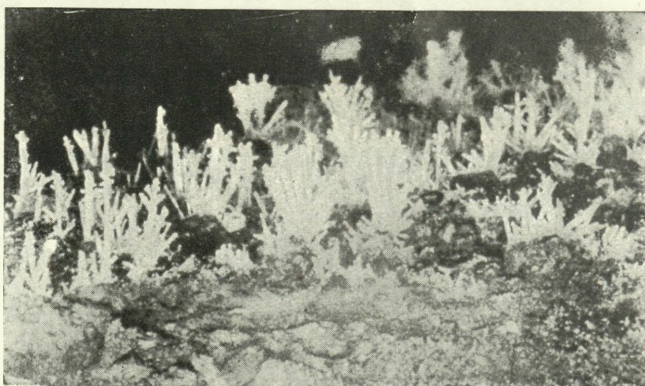
Różne postacie kryształków śniegu.
(Z Monthly Weather Review, U. S. A.)

TABLICA XVIII

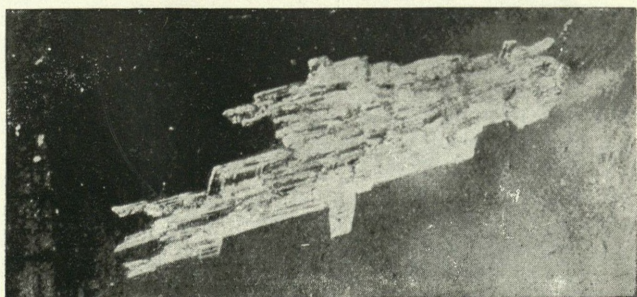
A



B

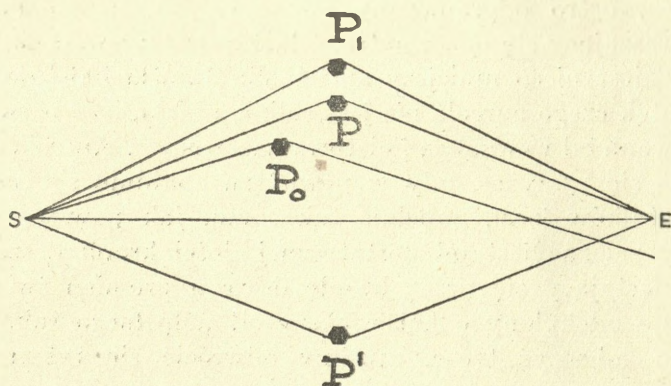


C



A. Kryształki śniegu. (Z Monthly Weather Bureau, U. S. A.) — B. Kwiaty z kryształków lodu, wyrosłe na krze. — C. Wiązka nieprawidłowych graniastosłupów. (Ze sprawozdania Brytyjskiej Wyprawy do Bieguna Południowego 1910—1913.)

mniej o t. zw. w fizyce kąt najmniejszego odchylenia. Gdy na ryc. 42 S oznaczać będzie źródło światła, a E — oko, wówczas promień z S załamuje się, przechodząc przez pryzmat P, i trafi do oka, o ile pryzmat P znajdować się będzie we właściwym położeniu. Na rycinie położenie to jest symetryczne, w tym wypadku zaś wiemy, że odchylenie SPE będzie najmniejsze. Jakikolwiek pryzmat, znajdujący się pomiędzy SPE i SPE' odchyłać będzie promień, wychodzący z S, w takim kierunku, że nie będzie on mógł osiągnąć oka, bez względu na położenie, w jakim znaj-



Ryc. 42.

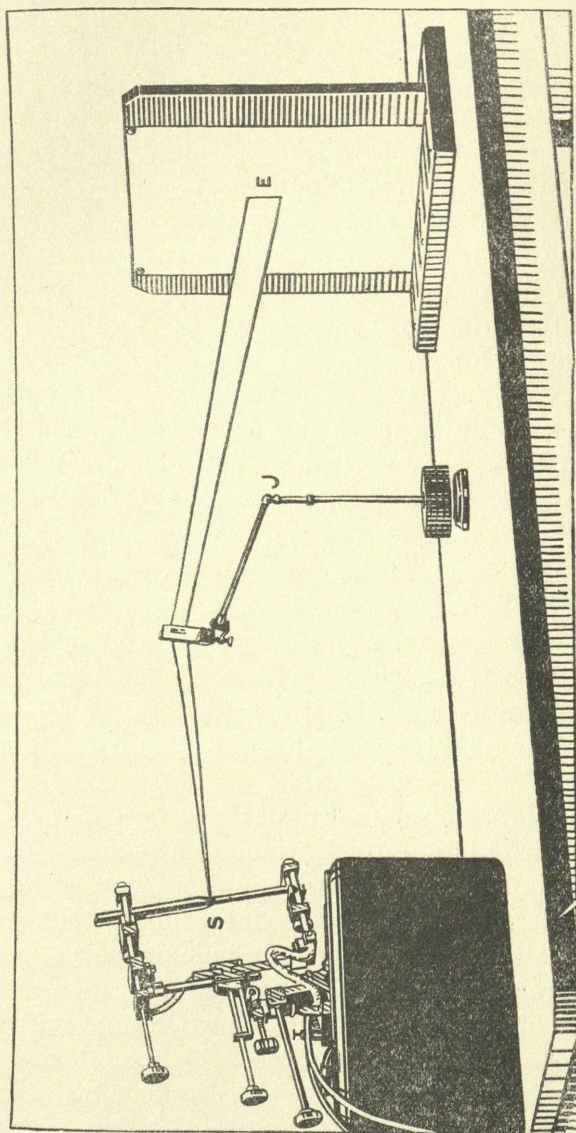
dować się będzie dany pryzmat. Do oka nie dojdzie więc żaden z promieni, załamanych przez którykolwiek z tych pryzmatów. Pryzmat, znajdujący się w P_1 , wysłać będzie promienie do oka, o ile znajdować się będzie w położeniu asymetrycznym, jak to zaznaczono na rycinie; kąt odchylenia musi być większy od najmniejszego i dlatego pryzmat znajdować się musi w położeniu krzywym względem prostej SE, tak, jak widzimy na rycinie. Jeśli tedy obserwator stać będzie w punkcie E zwrócony ku słońcu w S, widzieć on będzie światło w kierunkach PE i PE', a także w innych kierunkach nazewnątrz kąta PEP', jak np. PE₁,

w tych ostatnich jednak kierunkach światło będzie coraz słabsze, ponieważ najliczniejsze są odchylenia, których kąty nieznacznie tylko przekraczają kąt najmniejszego odchylenia. Im odchylenia są większe, tem są one rzadsze, zgodnie ze znanem prawem największych i najmniejszych wartości. Zwewnątrz kąta PEP' światło nie dochodzi zupełnie, naskutek czego tem wyraźniej występuje silne światło, pochodzące z najmniejszych odchyień.

Powyższe rozumowanie stosuje się do promieni, wychodzących we wszystkich kierunkach dookoła słońca. Tak więc obserwator ujrzeć musi krąg świetlny dookoła słońca, ostro odgraniczony od wewnątrz, a stopniowo rozpraszający się nazewnątrz. Dla światła czerwonego kąt PEP' jest nieco mniejszy aniżeli dla światła fioletowego, wskutek czego aureola nie jest całkiem biała, lecz barwna, czerwona od wewnątrz, fioletowa nazewnątrz. Aureola pojawia się wówczas, gdy w powietrzu znajduje się dosyć kryształków lodu, zupełnie tak samo, jak powstawanie tęczy zależne jest od dostatecznej ilości kropli deszczu. Przedostający się przez kroplę deszczu promień światła zostaje odchyłony o kąt większy od półpełnego tak, że, chcąc zobaczyć tęczę, musimy odwrócić się tyłem do słońca.

Zapomocą małego modelu uprzystępnić sobie możemy powyższe wytłumaczenie interesujących nas zjawisk. Źródłem światła jest lampa łukowa, widoczna na rycinie w S, oko znajduje się w E. Pomiedzy S i E umieszczony jest statyw z ruchomem ramieniem, w którym umocowany jest pryzmat szklany. Wymiary modelu tak są dopasowane, że promień światła, załamany przez pryzmat pada na E. Gdy ramię obracać się będzie dookoła J, oko wciąż będzie oświetlonem. Jeśliby całe mnóstwo pryzmatów rozmieszczonych było na okręgu koła, oko widziałoby dookoła źródła światła krąg świetlny.

Jeśliby z jakiegokolwiek bądź powodu graniastostupy wykazywały dążenie do zajmowania pewnych tylko okre-



Ryc. 43. Model, wykazujący powstawanie aureoli dzięki kryształkom lodu.

ślonych położen, aureola byłaby niezupełną. Coś w tym rodzaju zdarza się w rzeczywistości. Gdy długi graniastosłup opada w powietrzu, oś jego dąży do ułożenia się poziomo. Jeśli jednak u podstaw jego znajdują się płytki, lub gdy jest to po prostu płytka sześciokątna, którą uważać możemy za bardzo krótki graniastosłup, oś dążyć będzie do ustawienia się pionowo, lub, co na jedno wychodzi, płytka — do ułożenia się poziomo. Dziwne to zjawisko pozostaje w zgodzie z dobrze znanem prawem ruchu ciał w gazach i płynach. Ciała dążą do zajęcia takiego położenia, w którym stawiać mogą największy opór ruchowi. Jeśli parę listów lub pocztówek ułożymy na dłoni i zrzucimy z pewnej wysokości w ten sposób, że, trzymając je poziomo, nagle dłoń z pod nich usuniemy, spadać one będą, zachowując położenie poziome. Gdy jednak rzucimy je kaniem wdół, spadając, obracać się będą dookoła siebie. Gdy rzucimy talerz do wody, opadać on będzie, kołysząc się z boku na bok, dążąc jednak wciąż do osiągnięcia położenia poziomego. Z rozważań tych wynika, że wśród mnóstwa opadających kryształków lodu przeważać będą skierowane pionowo lub poziomo. Te części aureoli, które odpowiadają średnicom pionowej i poziomej, występują silniej w postaci jasnych plam na kręgu, są to właśnie uboczne obrazy słońca.

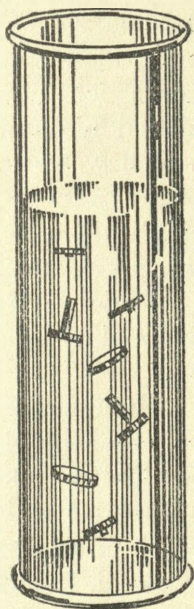
Z łatwością wykazać można dążenie wyglądających jak stoliczki kryształków do ustawiania się pionowo podczas opadania. Najlepiej nadaje się do tego bardzo wysokie naczynie, ale nawet, gdy wysokość słupa wodnego nie przekracza pół metra, powyższe dążenie daje się stwierdzić całkiem wyraźnie. Zastanawiającą jest rzeczą, że niektóre z tych modelików opadają krążkiem wdół, inne zaś z krążkiem, zwróconym ku górze. Rzeczą tę zbadał zapomocą obliczeń matematycznych Besson, wykazując, że, gdy średnica płytki jest małą w stosunku do długości graniastosłupa, płytka zwrócona jest ku dołowi, i odwrotnie. Możemy stwierdzić to doświadczalnie; najlepiej przytrzy-

mać modelik ze skierowaną poziomo osią pod powierzchnią wody i puścić go raptownie.

Zdarza się często, że linja pionowa, przechodząca przez środek aureoli jest również oświetlona, ma to jednak zgoła inną przyczynę: spowodowane jest mianowicie odbiciem się światła słonecznego od płaskich ścianek kryształków i płytek śniegu. Do oka obserwatora dochodzą promienie słoneczne, odbite przez płatki śniegu w różnych wysokościach, jednakże płatki te znajdować się muszą w płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez słońce. Pionowe pasmo świetlne nazywamy „słupem słonecznym“.

Lód, tworzący się powoli w otwartej przestrzeni na powierzchni wody, krystalizuje w postaci podobnej do kryształków śniegu, przyczem sześciokątne bryły ułożone są poziomo. Naogół nie daje się to stwierdzić w sposób całkiem oczywisty, znaleźć jednak można w dziełach, opisujących wyprawy podbiegunowe, ilustracje, przedstawiające rozpękanie wielkich mas lodowych na potężne sześciokątne słupy pionowe, podobne do słupów bazaltowych, jakie widzimy w Irlandji w t. zw. „Giant's Causeway“ (Grobli Olbrzymów). Powiadają też, że, gdy lód pęka na jeziorze, rozpada się na-przód na pionowe słupy, które przez czas jakiś nawzajem się podtrzymują. Z chwilą jednak ruszenia się lodu, słupy te przewracają się i powierzchnia jeziora w krótkim czasie staje się wolną.

W sprawozdaniach z wypraw do bieguna południowego znajdujemy szczególne wzmianki o tem, że na jeziorach



Ryc. 44. Płaskie krążki i graniastosłupy, niektóre mające u podstawy krążki, opadają w wysokiem naczyniu z wodą.

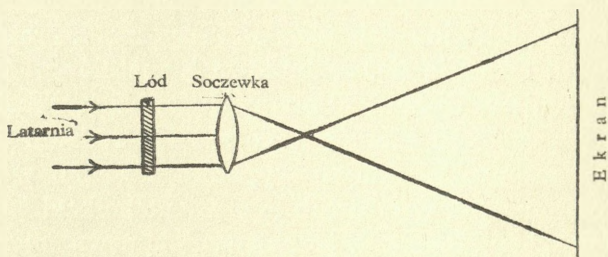
słodkowodnych spotykano lód, podzielony na sześciokątne graniastosłupy, stojące pionowo na powierzchni wody. Płaszczyzny rozgraniczające graniastosłupy, poznać można było po pęcherzykach powietrza. Zauważono natomiast, że przy powstawaniu kryształów w morzu wydzielala się sól, która osiadała w szczelinach pomiędzy kryształami, a nieraz wydobywała się na wierzch, ponad górną ich powierzchnię. Graniastosłupy w masie swej niemal nie zawierały soli, tak, że można było otrzymać z nich wcale możliwą słodką wodę po uprzednim roztopieniu warstw zewnętrznych. Kryształy te były przezroczyste do tego stopnia, że można było widzieć przez nie, jak przez rury, skaliste dno morskie.

Budowie krystalicznej lodu przyjrzeć się można w bardzo piękny sposób, opisany przez Tyndall'a w jego książce o „Ciepłe“.

Umieszczamy taflę lodu przed lampą łukową i rzucamy jej obraz na ekran, jak na ryc. 45. Pod wpływem ciepła od lampy łukowej kryształy zaczynają się rozluźniać i rozpadać się na części w odwrotnym porządku do tego, w jakim się ukształtowały. Zjawiają się małe sześciokątne komórki, podobne do kwiatów sześciopłatkowych, jak również inne komórki nakształt liści paproci, nachylonych względem szypułki o 60° . Wkrótce cały ekran pokryty zostaje temi lodowemi kwiatami, tak, że całość wygląda, jak piękna płaskorzeźba o niewielkiej wypukłości. Zwykły sztuczny lód nie wykazuje tego zjawiska; niezłe wyniki osiągnąć można ze sztucznym lodem, wytwarzanym w specjalnych płytach. Daleko jednak lepiej od wszelkich postaci lodu sztucznego, wytwarzanych w zwykłych warunkach fabrykacji, nadaje się do tego celu lód naturalny, powstający w ciągu nocy w otwartej przestrzeni. Zanim udało się przygotować w sposób zadawalniający niniejsze doświadczenie dla naszych wykładów, dokonano całego szeregu nieudanych prób. Wreszcie, korzystając z tego, że ubiegłej nocy, naszczęście, był mróz, pewien młody entu-

zjasta wybrał się na rowerze za miasto i przywiózł ze stawu kilka kawałków lodu, w których owe zjawisko występuje wspaniale. Najwidoczniej jest koniecznem, aby lód powstawał powoli. Przypuszczać też należy, że dalszym warunkiem jest, aby woda ochładzała się zwolna od jednej strony tak, jak to ma miejsce na stawie podczas spokojnej mroźnej nocy.

Często daje się zauważyć czarna plamka w środku kwiatu lodowego. Nader zaciekawiony tem Tyndall wyjaśnił powstawanie tych plamek. Gdy lód topnieje wewnątrz bryły, tworzą się w niej komory, w których po-



Ryc. 45.

wstała z topnienia woda zajmuje mniej miejsca, aniżeli zajmował lód. Być może, że z początku woda, znajdując się w stanie dużego napięcia, wypełnia pustkę całkowicie. Napięcie to jednak jest zapewne zbyt wielkie, naskutek czego woda odrywa się od lodowych ścianek komory i kurczy się do objętości sobie właściwej. Wobec tego w komorze tworzy się próżnia, która działa, jak mała soczewka, i rozprasza padające na nią światło. Naskutek tego widzimy czarną plamkę, która wskazuje, że światło nie przechodzi przez komorę.

W lodzie lodowców również zobaczyć możemy kwiaty lodowe, powstałe naskutek ciepła słonecznego. Gdy lodowiec powstał z odłamów lodu, pochodzących z innych przyległych lodowców, lub też z brył, które zwały się po jego bokach, całość jego przedstawiać się może jako rumo-

wisko zlepionych ze sobą mas lodowych, z których każda zawierać będzie kwiaty lodowe. Orientacja tych kwiatów wskazywać nam będzie w każdym poszczególnym wypadku pierwotne położenie bryły, kwiaty lodowe bowiem powstawać mogą tylko w płaszczyznach poziomych. Rycina na Tabl. XX A, wyjęta ze starego dzieła Aggasiz'a, przedstawia przekrój bryły lodu z lodowca. Przekrój ten uwidocznia przeróżne położenia komór, z których jedno widzimy nawprost, inne z boku lub z ukosa.

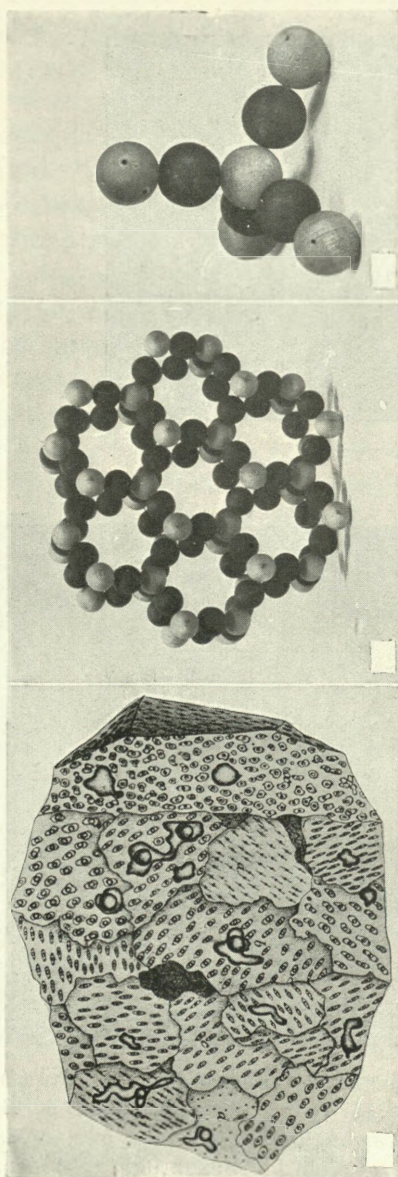
Zajmijmy się teraz budową kryształów lodu, której analiza umożliwioną została dzięki promieniom Roentgena. Analiza ta uzasadnić nam powinna zarówno kształt tych kryształów, jak i inne ich własności fizyczne, któreśmy rozpatrywali. Okazuje się, że budowa kryształów lodu przypomina budowę djamentu: mamy tu taki sam układ symetryczny z czterech atomów tego samego rodzaju dookoła każdego atomu. W danym wypadku zarówno w środku czworościanu, jak w czterech jego wierzchołkach znajdują się atomy tlenu. Poza tem jednak istnieją pewne nieznaczące różnice w budowie. Przedewszystkiem więc w djamencie atomy węgla bezpośrednio łączą się ze sobą. W lodzie pomieścić się też muszą atomy wodoru. Jeśli między każdymi dwoma atomami tlenu umieścimy atom wodoru, otrzymamy układ symetryczny, w którym atomy znajdować się będą we właściwym stosunku ilościowym. Każdy atom tlenu sąsiaduje z czterema atomami wodoru, a każdy atom wodoru — z dwoma atomami tlenu, z czego wynika, że liczba atomów wodoru jest dwukrotnie większą od liczby atomów tlenu. Na Tablicy XX B, C widzimy model, wyjaśniający tego rodzaju układ. Kulki białe wyobrażają atomy tlenu, czarne — atomy wodoru. Należy sobie jasno zdać sprawę z tego, że metody rentgenowskie nie wykazują wielkości atomów tlenu lub wodoru. Zapomocą ich określić jedynie możemy odległość pomiędzy środkami dwóch sąsiadujących atomów tlenu. Odległość ta równa się sumie średnic atomów tlenu i wodoru. Atom tlenu zajmować może całą przestrzeń,

TABLICA XIX



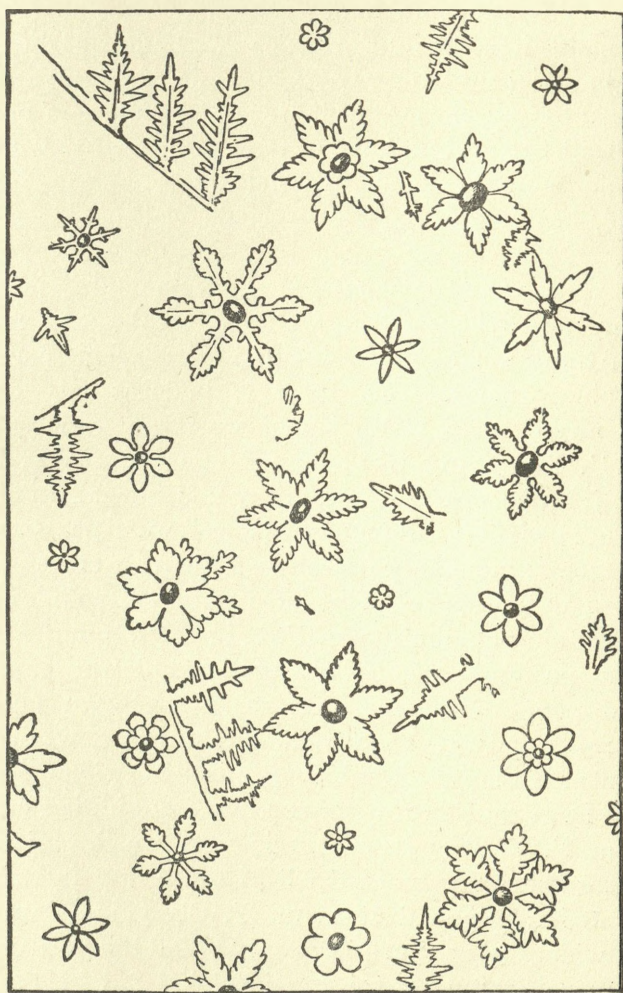
Górny obraz odtwarza zdjęcie, wykonane przez G. A. Clarke'a i zapożyczone z artykułu F. J. Whipple'a o optyce meteorologicznej w Słowniku Fizyki Stosowanej, Tom III, str. 529, u Macmillan & Co. Widzimy na nim aureolę i uboczne obrazy słońca. Dolny obraz odtwarza oryginalny szkic w posiadaniu Instytutu Królewskiego. Widzimy na nim aureolę i „ślup słoneczny“.

TABLICA XX



A. Rycina zapożyczona została z dzieła Agassiz'a. Wykazuje ona, że masa lodowca jest zlepek mniejszych brył, w których pierwotnie kwiały lodowe znajdowały się w płaszczyznach poziomych. Obecnie bryły pomieszczone zostały w przeróżny sposób, naskutek czego widzimy kwiały lodowe, jedne naprost, inne z boku lub z ukosa. B. Model sporządzony jest z kulek dwójakiego koloru, czarnych i białych; białe wyobrażają atomy tlenu, czarne — atomy wodoru. C. Częśćka modelu lodu, wykazująca rozmięszczenie atomów tlenu i wodoru.

atom wodoru zaś niemal żadnej, ponieważ, jak przypuszczamy, atom wodoru odstępuje swój elektron atomowi



Ryc. 45a.

tlenu tak, że składa się już tylko z jądra. Niewiadomo więc, jak należałoby oddać wielkość atomu wodoru w mo-

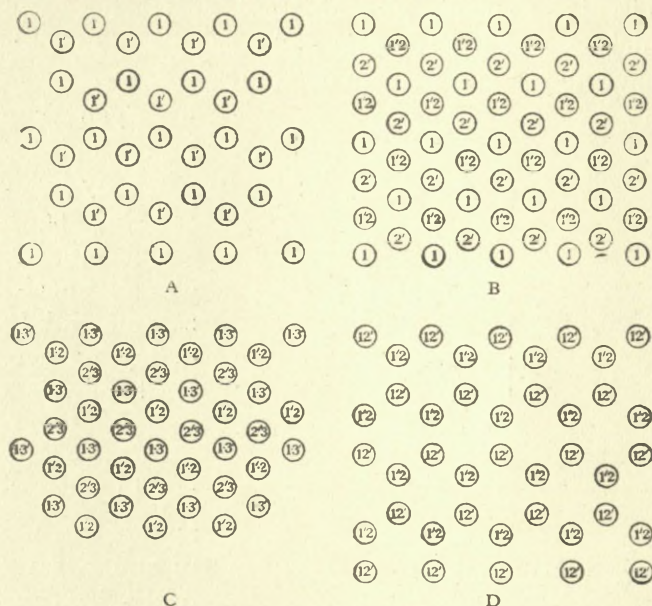
delu. Sporządzając takowy, musimy jednak nadać kulkom, wyobrażającym atomy, pewne rozmiary, do pewnego stopnia dowolne, co uwzględnić musimy, posługując się modelem dla wyjaśnienia budowy kryształów.

Istnieje jeszcze inna różnica w budowie djamentu i lodu bardziej subtelna i trudniejsza do ujęcia. Warto jest jednak, abyśmy się postarali zrozumieć, na czym ona polega. Jeśliby to czytelnikowi wydawało się nazbyt trudnem, może on poniższy ustęp, poświęcony temu zagadnieniu, opuścić, bez żadnej obawy utracenia wątku naszego wykładu.

Przypuśćmy, że, spoglądając z góry na model djamentu, widzimy pojedynczą falistą warstwę, wyobrażoną na ryc. 46 A. Atomy węgla, leżące w samej płaszczyźnie podstawy kryształu, oznaczone są przez 1, podczas gdy atomy, leżące nieco wyżej w tej samej warstwie, oznaczone są przez 1'. Przejdźmy teraz do następnej warstwy, takiej samej, jak pierwsza, i oznaczmy w niej przez 2 te atomy, które odpowiadają atomom pierwszej warstwy, oznaczonym przez 1; umieścimy następnie tę drugą warstwę ponad pierwszą w ten sposób, aby każdy atom 2 znajdował się bezpośrednio ponad atomem 1', t. j., aby atom, leżący na niższym poziomie drugiej warstwy, znajdował się bezpośrednio ponad atomem, leżącym w wyższym poziomie pierwszej warstwy. To właśnie ma miejsce w budowie djamentu. Odnośna kombinacja przedstawiona jest na ryc. 46 B. gdzie 1'2 oznacza, że atom 2 znajduje się ponad atomem 1'. Weźmy teraz trzecią warstwę, której atomy oznaczać będziemy przez 3 i 3', i umieścimy ją tak, aby atomy 3 leżały ponad atomami 2'. Otrzymamy wówczas układ, widoczny na ryc. 46 C, i, gdy układ ten powtórzymy wielokrotnie, zawsze w tej samej kolejności 1 2 3 1 2 3, otrzymamy budowę djamentu.

Zacznijmy teraz znowu od warstwy atomów 1 i 1' i umieścimy nad nią warstwę atomów 2 i 2' w sposób, wskazany na ryc. 46 D, który, jak zaznaczyć musimy, różni się

wybitnie od poprzedniego, gdyż warstwa atomów 2 i 2' została obrócona w swej płaszczyźnie o 180° — i tak utworzony układ powtórzymy wielokrotnie, umieszczając na przemian jedną nad drugą warstwę atomów 1 i 1' i 2 i 2'. Otrzymamy wówczas rozmieszczenie atomów tlenu w kryształach lodu. Całkowitą budowę tych kryształów otrzy-



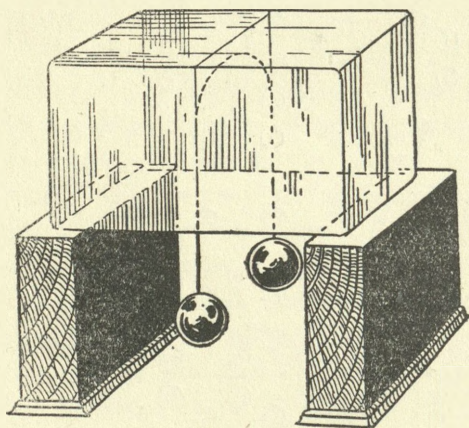
Ryc. 46. Rozmieszczenie atomów w djamencie i w lodzie.

mamy, gdy pomiędzy każdymi dwoma atomami tlenu umieścimy atom wodoru.

Gdy przyjrzymy się modelowi kryształu lodu, wyobrażanemu na Tablicy XX B, będziemy mogli zdać sobie sprawę z tego układu atomów. Trudno jest skądinąd pojąć, dlaczego w kryształach djamentu powtarzają się stale trzy warstwy, a w kryształach lodu tylko dwie.

Rozpatrując model, przedstawiający budowę lodu, zauważymy w nim wiele ciekawych cech, które dopomogą nam do wyjaśnienia tego, co wiemy o własnościach lodu.

Oczywiście i tu rzuca nam się w oczy budowa heksagonalna, a pustki, jakie widzimy w modelu, bezwątpienia są przyczyną lekkości lodu i puszystości śniegu. Lód pływa po wodzie; z modelu wynika jasno, że cząsteczki wody w budowie kryształu zajmować muszą więcej miejsca aniżeli w cieczy. Oczywiście też moglibyśmy zgnieść model, zmniejszając znacznie jego objętość, co też bezwątpienia ma miejsce, gdy lód topnieje pod ciśnieniem. Zjawisko to zobaczyć możemy w znanem doświadczeniu. Przez wspartą



Ryc. 47. Przenikanie drutu przez lód
(według Tyndall'a).

u swych końców bryłę lodu przewieszony jest cienki drut ze zwieszającymi się po obu stronach ciężarami, jak to widzimy na ryc. 47. Drut powoli opuszcza się wdół, wrzynając się w lód, który spaja się zpowrotem w miarę opuszczania się drutu, i, gdy wkońcu drut całkowicie

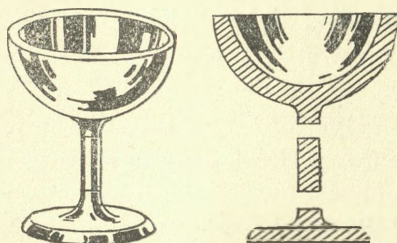
przedostanie się poprzez bryłę i spadnie na podłogę wraz z ciężarami, bryła okaże się nietkniętą. Przypuszczać można, że ciśnienie, wywierane przez drut na bryłę, miazdży budowę lodu, naskutek tego część cząsteczek wyswabadza się z więzi krystalicznej. Innemi słowy, pewna ilość lodu topnieje pod wpływem ciśnienia, powstała stąd woda wydostaje się z pod drutu i wypełnia wytworzoną przezeń szczelinę. Tam łączy się napowrót ze znajdującym się po obu stronach lodem. Wystawić sobie możemy, że cząsteczki usadawiają się na swoich miejscach, ponieważ z obu stron krystaliczna budowa lodu dąży do związania ich ze sobą.

Tłuczony lód przybierać może pod dużym ciśnieniem różne kształty w odpowiednich formach. I tak np., aby otrzymać puchar z kryształu lodu, użyć musimy trzy formy z drzewa bukszanowego o odpowiednich kształtach.

W jednej formie ukształtować możemy górną część puchara, w drugiej nóżkę, a w trzeciej podstawę; te trzy części łączymy następnie w jedną całość, przykładając jedną do drugiej i przytrzymując przez chwilę we właściwym położeniu. Formy, które użyliśmy do ukształtowania puchara, uwidocznionego na ryc. 48, służyły do tego samego celu Tyndall'owi.

Doświadczenia te pokazywał Tyndall w celu uprzystępnienia rozważań, na jakich opierał opracowywaną naonczas przez siebie teorię posuwania się lodowców.

Tyndall, jak wiemy, poświęcał dużo czasu pomiarom, wykazującym ruchy lodowców, które-



Ryc. 48. Formy do lodu i ukształtowany w nich puchar. (Według Tyndall'a.)

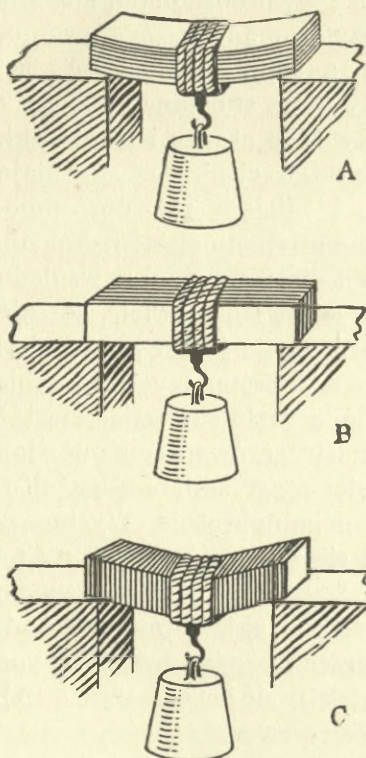
mi interesował się i z punktu widzenia naukowego i jako zawołany alpinista. Lodowce opuszczają się z pokrytych śniegiem gór, posuwają się wzdłuż dolin i wydostają się na równiny niemal tak, jak gdyby tworzyła je ciecz, co prawda bardzo gęsta i lepka, jak klej lub melasa; posuwanie się bowiem lodowców jest bardzo powolne, osiągając w niektórych wypadkach zaledwie po kilka centymetrów dziennie, czasami zaś wiele metrów. Wspaniały widok posuwających się zwolna lodowców od dawna wzbudzał podziw i zaniepokojenie, w jaki sposób substancja tak krucha i krystaliczna płynąć może, jak rzeka, omijać zakręty w dolinach i spuszczać się po skałach, nie ulegając rozerwaniu. Za czasów Tyndall'a wielkiem uznaniem cieszyła się teoria, wedle której lód top-

nieje wewnątrz lodowca w miejscach, gdzie ciśnienie jest znaczne, a powstała woda odsącza się, zmniejszając tem samem ciśnienie. Woda ta, twierdzono, zamarza zpowrotem, przedostając się do pustych szczelin i komór, gdzie już niema takiego ciśnienia, przy którym woda pozostaje w stanie płynnym. Tak więc lodowiec do pewnego stopnia mógłby zmniejszać swą objętość pod wpływem ciśnienia w jednym miejscu, a zwiększać ją gdzieindziej, dostosowując się w ten sposób do swego łożyska. Objasnienie to nastęrczać może pewne trudności w zastosowaniu do lodowców w strefach podbiegunowych, które posuwają się również, jakkolwiek temperatura jest tak niska, że żadne możliwe do pomyślenia ciśnienie nie byłoby w stanie wywołać topnienia lodu.

Być może, że, gdy dokładniej zbadamy zachowanie się budowy krystalicznej, będziemy mogli wyjaśnić sobie ruch lodowców w inny sposób, nie odbiegający zresztą zbyt daleko od poglądu, wysuwanego przez Tyndall'a, a nastęrczający mniej powodów do krytyki. Istnieje wiele substancyj, dających się doprowadzić do stanu płynności, w jakim znajdują się lodowce: można przeciskać metale przez otwory; ciągnąć z nich druty; walcować blachę. Można nawet, jak to wykazał Sir George Beilby, wprowadzić w stan płynności powierzchnię szkła lub doskonale ukształtowanego kryształu, jak szpat islandzki. A wszak wszystkie te ciała są krystaliczne; o ile przedtem mogliśmy o tem nie wiedzieć, to obecnie dzięki promieniom Roentgeną uzyskaliśmy całkowitą pewność, że tak jest istotnie. Ciała te, przeszedłszy przez stan płynności, są tak samo krystaliczne, jakimi były uprzednio. Będziemy to mogli stwierdzić na paru przykładach, gdy przejdziemy do omawiania odnośnych własności metali. Dana substancja przystosowuje się do ciśnienia, jakiemu podlega, zmieniając przytem swą postać. Całe warstwy atomów lub cząsteczek przejściowo wyrwane zostają ze swego normalnego położenia, przeslizgują się niejako ponad atomami, na których

dotąd spoczywały, i osiadają w nowem położeniu lub też przez czas jakiś pozostają w ruchu. Gdy osiądą one chwilowo, postać kryształu staje się znowu doskonałą, gdy zaś zostaną wyrwane, więź pomiędzy atomami ulega zerwaniu, jak gdyby substancja zaczynała topnieć. Musi to mieć miejsce zwłaszcza wtedy, kiedy dana substancja tak, jak lód, kurczy się topniejąc, kiedy więc atomy i cząsteczki, nie związane już ze sobą naskutek ciśnienia, zmieniają swe położenia, zajmując mniej miejsca niż uprzednio. Gdy kawałek metalu przy zgięciu lub pod uciskiem zmienia swój kształt, kryształy, z których się on składa, bez względu na to, czy są one liczne, czy też jest ich niewiele, zostają „ścięte“, t. j. części ich przesuwają się jedna po drugiej; zrozumiałem więc jest, że szereg następujących po sobie „ścięć“ spowodować może zmianę kształtu. Dziać się też to może i w wypadku lodu, gdzie zarówno ścinanie, jak topnienie odgrywać mogą rolę przy zmianie kształtu. „Ścinanie“ lodu obserwowano niejednokrotnie. Wycinamy bryłę z lodu, który wytworzył się w sposób naturalny na powierzchni wody. Gdy bryła wsparta zostanie u swych końców w takim samem położeniu, jakie zajmowała podczas powstawania lodu na powierzchni wody, wygnie się pod działaniem ciężaru tak, jak wygięłaby się belka (p. ryc. 49 A). Gdy bryłę przekreślimy i umieścimy w ten sposób, że warstwy, które przedtem były poziome, leżeć będą pionowo i równoległe do linji, łączącej punkty oparcia (p. ryc. 49 B), wówczas bryła tylko bardzo nieznacznie poddawać się będzie ciężarowi. Gdy płaszczyzny, które poprzednio były poziome, leżeć będą pionowo do linji, łączącej punkty oparcia, przesuwac się one będą jedna po drugiej i bryła zostaje odkształconą (p. ryc. 49 C). Gdy naskutek spowodowanego ciśnieniem topnienia w jednym miejscu pewna ilość cząsteczek uzyska natyle swobody, że jako płyn przedostać się będzie mogła do innego miejsca, wówczas cząsteczki te tak, jak to ma miejsce w wypadku drutu, z łatwością połączą się z budową krystaliczną lodu po obu

stronach, poprostu dlatego, że zawsze znajdą odpowiednie dla siebie miejsca. Jednakże zjawisko to w całokształcie



Ryc. 49. Szereg desek, ułożonych jak w A, zgina się pod działaniem ciężaru. Gdy deski ułożone będą na kant, jak w B, zginać się będą znacznie mniej. Ułożone zaś jak w C i sklezione bardzo lepką substancją poddawać się będą stopniowo i stale działaniu ciężaru.

swym rozpatrywać możemy jako skutek przesuwania się płaszczyzn jednych po drugich.

Z zaciekawieniem widzimy, z jaką łatwością spajają się ze sobą kawałki lodu. Jeżeli kawałek lodu o względnie płaskiej powierzchni położymy na drugim kawałku, będziemy mogli po chwili, wzięwszy do ręki ten drugi kawałek, odwrócić obydwą górą w dół, a dodany kawałek nie spadnie. Gdy dwa kawałki lodu trzymać będziemy zetknięte ze sobą pod wodą, nawet ciepłą, spoją się one ze sobą.

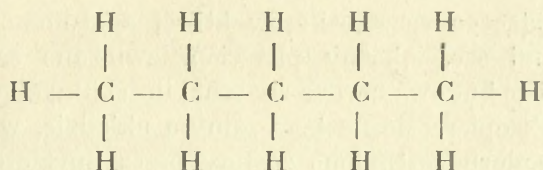
Powróćmy teraz do zagadnienia, dotyczącego owych osobliwych części łańcuchowych, któremi — z powodu braku czasu — nie mogliśmy się zająć w poprzednim wykładzie. Rozpatrując budowę djamentu, przekonaliśmy się, że występuje w niej wszędzie i stale pe-

wien układ atomów węgla. Jest to układ z sześciu atomów w kształcie pierścienia. Widzieliśmy również, że podobny układ tworzy podstawę tak zwanego pierścienia benzolo-

wego, będącego cząsteczką, w której z atomami węgla, tworzącymi sześciokątny pierścień, związane są atomy wodoru, i że budowa bardzo znacznej ilości innych ważnych cząsteczek opiera się na tym samym układzie, w którym atomy wodoru zastąpione zostały przez inne atomy lub grupy atomów. Badania nad temi cząsteczkami stanowią przedmiot jednego wielkiego działu chemji organicznej. Cząsteczki te tworzą substancje, zwane „aromatycznymi“, ponieważ wiele z nich wyróżnia się przyjemnym zapachem.

Istnieje drugi wielki dział chemji organicznej, obejmujący substancje innego rodzaju. Substancje te nazywamy „alifatycznymi“, pragnąc przez tę nazwę zaznaczyć, że własności tych substancyj najwybitniej występują w olejach i tłuszczach. Chemikom udało się wykazać, że w tym wypadku cząsteczka składa się z atomów węgla, tworzących łańcuch, oraz z innych atomów, a zwłaszcza atomów wodoru, związanych z atomami węgla wzdłuż łańcucha i u jego końców. Pierścień występował całkiem wyraźnie w budowie djamentu. Jak zdają się wykazywać najnowsze badania, w djamencie stwierdzić również można układy łańcuchowe. Tak więc djament zawiera w sobie zasadnicze układy obydwu wielkich działów chemji organicznej.

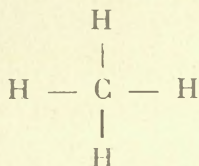
W rozdziale poprzednim rozpatrzyliśmy parę przykładów cząsteczek pierścieniowych, odkładając bliższe zapoznanie się z cząsteczkami łańcuchowymi do niniejszego wykładu. Łańcuch posiadać może dowolną liczbę ogniw, z których każde zazwyczaj składa się z jednego atomu węgla i dwóch atomów wodoru. Końce łańcucha tworzą różne grupy atomów, nieraz bardzo pospolite, nadające danemu łańcuchowi wybitne, powszechnie znane cechy. W najprostszym wypadku końce tworzą atomy wodoru i wtedy mamy cząsteczkę węglowodanu lub parafiny. Wzór pentanu np. piszą chemicy w sposób następujący:



Pentan jest płynem łatwopalnym, używanym w lampach wzorcowych, t. j. lampach, które służą jako wzorzec dla innych lamp, palą się one bowiem równym i stałym płomieniem. Wzór powyższy wskazywać ma sposób, w jaki poszczególne atomy związane są ze sobą. Każdy atom węgla połączony jest z czterema innymi atomami. Liczba atomów, z którymi związać się może trwale atom węgla, nie może przekraczać czterech, wobec tego liczba atomów w cząsteczce nie będzie mogła być zwiększoną bez uprzedniego naruszenia jej układu w jakimkolwiek miejscu. Nazywamy taką cząsteczkę nasyconą. We wzorze cząsteczka przedstawiona jest tak, jak gdyby wszystkie jej atomy leżały w jednej płaszczyźnie, po części ze względu na ułatwienie rysunku, po części dlatego, że istotny jej układ tak mało jest znany. Jednym z celów analizy rentgenowskiej jest określenie wzajemnego położenia atomów w cząsteczce w sposób dokładniejszy, aniżeli to było możliwe dotychczas, oraz zmierzenie wymiarów liniowych. Odnośnie tych długich cząsteczek łańcuchowych badania zapomocą promieni Roentgena uwieńczone zostały niedawno nadspodziewanem powodzeniem. Wyniki tych najnowszych badań wyjaśnić sobie możemy jedynie na modelu lub też zapomocą szkicu w perspektywie. Model, przedstawiający prawdopodobną postać pentanu, widzimy na Tablicy XXI A.

W szybach naftowych znajdujemy wiele zmieszanych ze sobą substancyj, należących do szeregu parafin. Są one łatwo palne, ponieważ odpowiednio pobudzone w zetknięciu z tlenem łatwo rozpadają się i atomy ich gwałtownie łączą się w nowe układy, wytwarzając duże ilości ciepła.

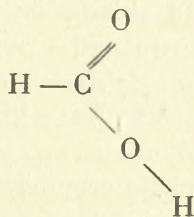
Najkrótsze z cząsteczek łańcuchowych składają się tylko z jednego ogniwa. Tworzą one gaz, zwany metanem lub gazem błotnym, który przedstawiamy zapomocą następującego wzoru:



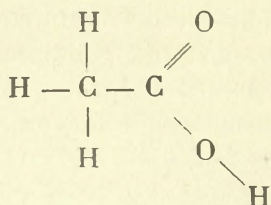
Wydobywa się on pod postacią pęcherzyków ze stojącej wody, zawierającej butwiejące części roślinne. W miarę wydłużania się łańcucha, tworzącego cząsteczkę, odnośna substancja staje się coraz to bardziej spoistą. Pentan, którego cząsteczka składa się z pięciu ogniw, jest płynem w zwykłej temperaturze i wrze przy 36°C ; pentadekan z cząsteczką o piętnastu ogniwach wrze przy 257°C , podczas gdy pentakozan, którego cząsteczka posiada dwadzieścia pięć ogniw, w temperaturze zwykłej jest ciałem stałym i topi się przy 54°C . Przypuszczać możemy, że długie cząsteczki dążą do układania się obok siebie, jak zapalki w pudełku; pogląd ten, jak zobaczymy, potwierdzają wyniki analizy rentgenowskiej. Z tego też powodu należało przewidywać, że im dłuższe będą te cząsteczki, tem większej siły potrzeba, aby je od siebie oderwać, i to jedno już dostatecznie tłumaczy, dlaczego im dłuższy jest łańcuch, tworzący cząsteczkę, tem wyższe są punkty wrzenia i topliwości. Naogół jednak cząsteczki ciał, należących do tej grupy, słabo są ze sobą związane, a co za tem idzie ciała te odznaczają się niskimi temperaturami wrzenia i topliwości. Powłoka z atomów wodoru, która otacza każdą z cząsteczek tych ciał, zapewne nie dopuszcza do łączenia się tych cząsteczek z innymi, w szczególności zaś z cząsteczkami różnych kwasów. W samej rzeczy nazwa parafiny pochodzi od dwóch słów łaciń-

skich, oznaczających razem „mało pokrewny“. Jak już jednak zaznaczyliśmy, ciała te łatwo łączą się w odpowiednich warunkach z tlenem.

Zachowanie się tych cząsteczek łańcuchowych znacznie się zmieni, gdy jedną z grup, stanowiących końce łańcucha, zastąpimy przez inną. Podstawiając zamiast jednego z końcowych atomów wodoru określoną grupę, zawierającą jeden atom węgla, dwa atomy tlenu i jeden atom wodoru, otrzymujemy nowy szereg substancyj, zwanych „kwasami tłuszczowemi“. Wspomniana grupa znana jest pod nazwą karboksylowej. Łańcuchy, tworzące cząsteczki tych substancyj, również mogą być dowolnej długości. Cząsteczkę tego rodzaju, posiadającą litylko jeden atom węgla, chemicy przedstawiają zapomocą wzoru:

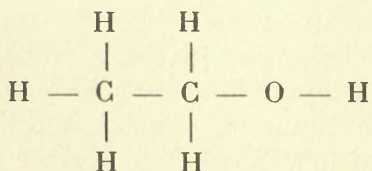


zaznaczając przez to, że z czterech węzłów, jakimi rozporządzać może atom węgla, aby złączyć ze sobą cztery inne atomy, jeden wiąże atom wodoru, następny — atom tlenu, związany skądinąd z innym atomem wodoru, a pozostałe dwa wiążą nader mocno pojedynczy atom tlenu. Cząsteczka ta jest cząsteczką kwasu mrówczanego, wydzielanego przez mrówki, który, jak dobrze wiemy, bardzo drażniąco działa na skórę. Gdy do łańcucha dołączone zostanie dalsze ogniwo, otrzymamy cząsteczkę kwasu octowego, nadającemu kwaśność octowi. Odnośny wzór jest następujący:



Cząsteczka kwasu masłowego zawiera cztery atomy węgla; kwas ten nadaje zjełczałemu masłu charakterystyczny smak i zapach. Cząsteczka kwasu laurowego posiada dwanaście atomów węgla; kwas ten zawierają oleje laurowy i kokosowy. Cząsteczka kwasu mirystynowego ma czternaście atomów węgla, kwas ten znajduje się w gałce muszkatułowej. Wszystkie te kwasy są cieczeniami. Cząsteczka kwasu palmitowego, wchodzącego w skład oleju palmowego, zawiera szesnaście atomów węgla, a kwasu stearynowego — osiemnaście. Ostatnie dwa kwasy w temperaturze zwykłej są ciałami stałymi. Używane są one przy wyrobie świec stearynowych, a w nieco zmienionej postaci są najważniejszymi składnikami tłuszczów zwierzęcych.

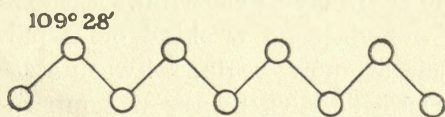
Alkohole stanowią dalszy szereg substancyj, składających się z cząsteczek łańcuchowych. Cząsteczka alkoholu powstaje z cząsteczki parafiny przez zastąpienie jednego końcowego atomu wodoru atomem tlenu, złączonym z atomem wodoru. Tak np. wzór



przedstawia cząsteczkę zwykłego alkoholu etylowego.

Idąc dalej, moglibyśmy w ten sposób opisać niezmierną ilość ciał, których cząsteczki tworzą łańcuchy, złożone z ogniów CH_2 , a zakończone przeróżnemi grupami atomów.

W niektórych wypadkach jeden lub więcej atomów wodoru wzdłuż łańcucha zastąpionych bywa przez inne atomy lub grupy atomów; czasami zachodzą jeszcze dalsze komplikacje. Pełnemi uroku są zarówno zasadnicza prostota budowy tych cząsteczek, jak zadziwiająca różnorodność szczegółów, oraz wpływ, jaki szczegóły te wywierają na własności odnośnych substancyj. Co powoduje, że przeróżne rośliny i zwierzęta, albo też przeróżne części tej samej rośliny lub zwierzęcia zawierają owe łańcuchy atomów węgla różnej długości, od których w znacznym stopniu zależą ich wzrost, własności i cechy znamienne? Bez wątpienia, przyczyna tego tkwi w pierwszym rzędzie we własnościach samego atomu węgla, z tego też wła-



Ryc. 50. Łańcuch w budowie djamentu.

śnie powodu muszą w nas wzbudzać szczególnie zainteresowanie djament i grafit, jako postacie krystaliczne węgla.

Przyjrzyjmy się ponownie modelowi djamentu i zobaczmy, czy nie da się w nim zauważyć zarys łańcucha, tak, jak uprzednio zauważyliśmy w tymże modelu zarys pierścienia. Model (Tablica XIV A) istotnie wykazuje, że możemy z niego wydzielić łańcuchy dowolnej długości, posiadające postać, jaką widzimy na ryc. 50.

Przy każdym zagięciu łańcucha powtarza się kąt, wynoszący, jak to można obliczyć, $109^{\circ} 28'$. Moglibyśmy przypuścić, że jest to jedna z najprostszych postaci łańcucha. Oczywiście są to tylko przypuszczenia, za pomocą których staramy się znaleźć możliwe rozwiązanie naszych zagadnień, dające się sprawdzić doświadczalnie. Jeśliby nawet doświadczenie zdawało się potwierdzać nasze rozumowanie, nie powinniśmy zbytnio na tem polegać. O ileby łańcuch istotnie posiadać miał taką postać, dwa atomy wodoru musiałyby oczywiście być związane z każdym atomem węgla w takich punktach, które wraz

z dwoma punktami złączenia z sąsiednimi atomami węgla tworzyłyby układ symetryczny podobny do tego, jaki tworzą cztery punkty, w których każdy atom węgla związany jest z czterema sąsiednimi atomami w djamencie, jak to widzimy na Tablicy XXI A. W obrazie tym uwzględnione zostają szczegóły, które pomija wzór, stosowany zazwyczaj przez chemików. Ten ostatni bowiem przedstawia cząsteczkę tylko w płaszczyźnie, podczas gdy nasz nowy obraz wyobraża ją w trzech wymiarach. Nie ulega też wątpliwości, że jedynie wyobrażenie w trzech wymiarach odpowiadać może prawdzie. Jeśli w chemii nie było ono dotychczas stosowanem, to dlatego, że materiał doświadczalny nie dawał żadnych wskazówek, jakby to czynić należało. Staramy się obecnie postąpić o krok dalej; czynimy to z pewnem wahaniem, gdyż nie potrafimy jeszcze wysnuwać całkiem pewnych wniosków z wyników, osiągniętych zapomocą nowych naszych metod, jakkolwiek pełni jesteśmy nadziei co do wartości, jaką one wkońcu dla nas mieć będą.

W ciągu ostatnich paru lat udało nam się dokonać dokładnych pomiarów długości cząsteczek łańcuchowych zapomocą promieni Roentgena. Wynalezienie tej metody zawdzięczamy ciekawemu przypadkowi. Badano pewien kryształ zapomocą promieni Roentgena, a ponieważ kryształ ten łatwo mógł być naruszony przez wilgoć, pokryto go cienką warstwą stałej parafiny, jaką zazwyczaj używa się w pracowniach do izolacji elektrycznej. Zauważono przymtem odbicia promieni Roentgena w pewnych kierunkach, które nie dawały się uzgodnić z tem, co poprzednio było już wiadome o budowie danego kryształu. Istotnie też stwierdzono, że owe odbicia przypisać należało parafinie. Znajdująca się w handlu parafina jest mieszaniną różnych kwasów tłuszczowych, składających się z cząsteczek łańcuchowych, nie nadaje się przeto do precyzyjnych doświadczeń. Zdarzyło się jednak tak szczęśliwie, że zapalony badacz chemii organicznej, Dr. Le Sueur, przygotował był

cały szereg substancyj, składających się z cząsteczek łańcuchowych, w stanie zupełnie czystym i że substancje te użyć było można do wspomnianych doświadczeń. Obecnie zbadano już te substancje, jak też wiele innych, osiągając nader interesujące i proste naogół wyniki.

Dana metoda jest typowym przykładem stosowania promieni Roentgena do badań nad budową cząsteczkową. Umieszczamy na kawałku szkła niewielką ilość badanej substancji stałej i rozplaszczamy ją. O znaczeniu tego roz-

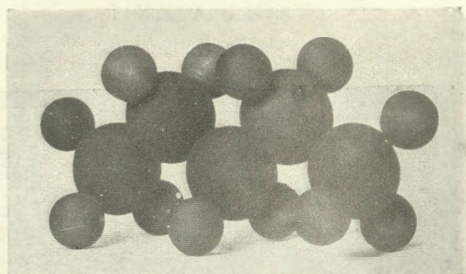


Ryc. 51. Schemat układu cząsteczek w warstwach substancji w rodzaju kwasu stearynowego, lub węglowodanu w rodzaju pentanu.

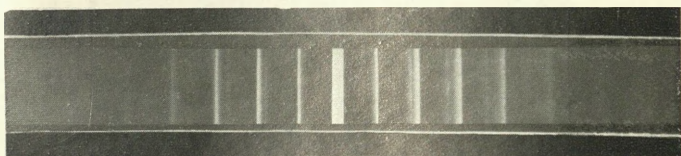
plaszczania pomówimy niebawem. Jak się okazuje, warstwy substancji układają się przytem równolegle do powierzchni szkła. Cząsteczki w każdej warstwie stoją mniej-więcej pionowo do tej powierzchni i połączone są ze sobą bokami. Można je przedstawić w sposób, zastosowany na ryc. 51, na której widzimy trzy warstwy. Grubość każdej warstwy wynosi zaledwie kilka jednostek Armströnga, t. j. kilka stumilionowych części centymetra, będąc proporcjonalną do długości cząsteczki. Gdy wiązka promieni Roentgena przenika przez szereg takich warstw, każda z warstw odbija część padających na nią promieni

zupełnie tak samo, jak to ma miejsce, gdy wiązka zwykłego światła przechodzi przez szereg płytek szklanych. Zasada, na której opiera się to doświadczenie, została już opisana na str. 103. Przypuśćmy, że S (p. ryc. 52) jest źródłem promieni Roentgena, a P_1P_1 wyobraża płytkę szklaną z warstwami badanej substancji. Gdy promień Roentgena wzdłuż SC pada na płytkę pod właściwym kątem, odbicia od poszczególnych warstw będą wszystkie w jednakowej fazie i, sumując się, dadzą ogólne silne odbicie. Przypuśćmy dalej, że promień odbity zostaje w kierunku CR_1 i że pozostawia ślad w punkcie R_1 na płycie fotograficznej DD. Gdy następnie obrócimy płytkę do-

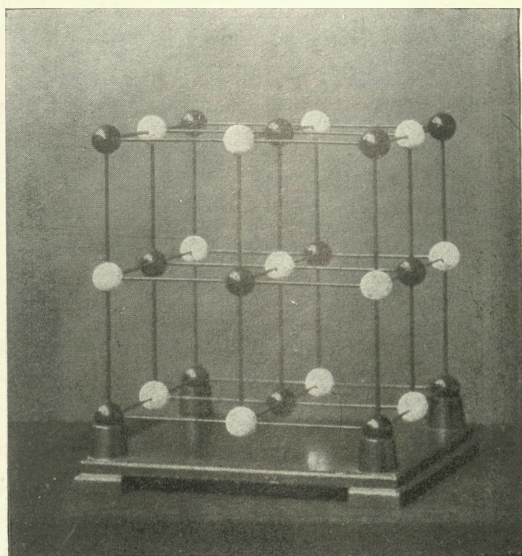
TABLICA XXI



A. Model łańcucha węglowodanu, zwanego pentanem, zawierającego pięć atomów węgla. Większe kulki wyobrażają atomy węgla, mniejsze — atomy wodoru.

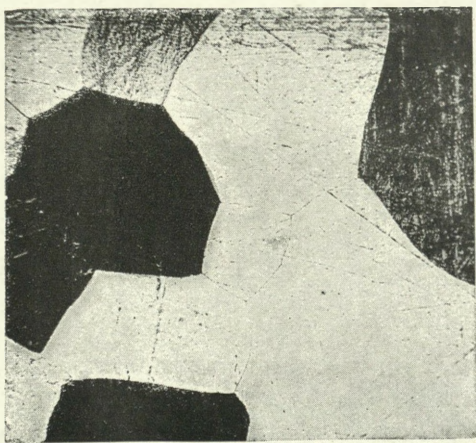
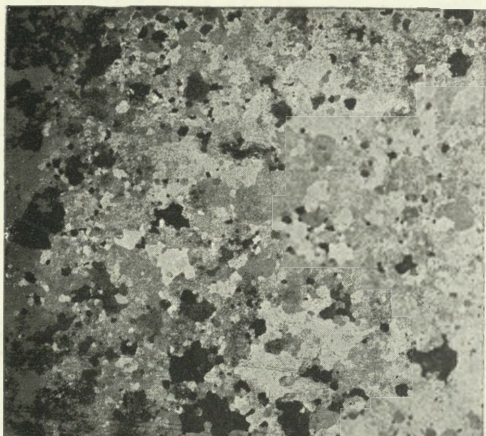


B. Widmo rentgenowskie węglowodanu, zawierającego 18 atomów węgla, otrzymane za pomocą metody, uwidocznionej na ryc. 52. (Müller.)



C. Model uwidocznia układ atomów sodu i chloru w soli kamiennej: kulki ciemne wyobrażają atomy sodu, kulki jasne — atomy chloru, lub też odwrotnie. Zapomocą tego modelu przedstawiono sam układ, nie uwzględniając wielkości ani kształtu atomów.

TABLICA XXII



Dwa zdjęcia fotograficzne glinu, którego powierzchnia została specjalnie przygotowana (trawiona), aby uwypatnić kryształy.

Kryształy rozpraszają padające na nie światło w przeróżny sposób, gdyż tkwią one w masie metalu w najrozmaitszych położeniach, i co za tem idzie naskutek trawienia odsłonięte zostają różnorodnie ich powierzchnie. Na jednej rycinie zdjęcie zostało nieco zmniejszone, na drugiej znacznie powiększone. (Z referatu Carpenter'a i Elam, wygłoszonego w Institute of Metals, we wrześniu 1920)

z każdej zaś strony zaznaczają się odbicia różnych rzędów. Na tablicy XXI B widzimy rzeczywiste zdjęcie, wykazujące odbicie od parafiny o 18 atomach węgla w cząsteczce. Wykonane ono zostało przez Dra Müllera. Jak widzimy odbicia różnych rzędów doskonale są na niem zaznaczone. Dzięki temu można zmierzyć dokładnie odstępów pomiędzy niemi, a z odstępów wyliczyć grubość pojedynczej warstwy substancji, odbijającej promienie. Nie możemy być całkiem pewni, że cząsteczki stoją wpoprzek warstwy i pionowo do jej powierzchni, mamy jednak poważne podstawy do sądzenia, że tak jest istotnie, czego tu uzasadniać nie będziemy. W wyniku tych pomiarów przekonywujemy się, że długość cząsteczek łańcuchowych wzrasta jak najprawidłowiej w miarę przybywania dalszych atomów węgla, jako nowych ogniów. Znajdujemy istotnie, że wiele z tych cząsteczek posiada taką właśnie długość, jaką należałoby przewidywać, gdyby posiadały one układ, przedstawiony na ryc. 50.

Cały szereg doświadczeń tego rodzaju potwierdza wypracowany przez chemików pogląd na budowę i kształt tych cząsteczek: wyobrażenia ich były zadziwiająco trafne. Dzięki promieniom Roentgena pogląd powyższy został ściślej ujęty, ujawniona też została konieczność wyobrażania cząsteczki w trzech wymiarach i jednocześnie umożliwiające pomiary jej długości. Dodać możemy, że poprzeczne wymiary cząsteczki również mogą być zmierzone.

Powrócić teraz możemy do ciekawego faktu, że otrzymujemy znacznie lepsze odbicia promieni Roentgena, gdy badaną substancję rozplaszczymy na płytce szklanej. Jest nader prawdopodobnem, że substancje takie same przez się dążą do układania się w płatki, w każdym zaś płatku cząsteczki stoją pionowo. Jak już mówiliśmy, łączą się one bokami, i w ten sposób spojone są ze sobą znacznie silniej, aniżeli związane są pomiędzy sobą płatki. Te ostatnie połączone są końcami cząsteczek, gdzie węzły są dużo słabsze. Jest to dokładnie to samo zjawisko, jakie zauważyliśmy,

rozpatrując budowę grafitu, w której płatki same w sobie są nader odporne, lecz łatwo ślizgają się jeden po drugim. To właśnie sprawia, że zarówno smary i tłuszcze, jak i grafit są tłuste i śliskie w dotyku. Gdy substancję taką poddajemy ciśnieniu, warstwy rozpościerają się tak, jak przy rozcieraniu grafitu na jakiejś powierzchni, i wówczas otrzymujemy dobre odbicia promieni Roentgena, ponieważ warstwy ułożone zostały w sposób prawidłowy. Gdy substancja zostanie przetopiona i ochłodzona, warstwy zostają poprzerywane i, jakkolwiek bezwątpienia, wytwarzają się ponownie, leżą jednak nieprawidłowo; odbicia promieni Roentgena są wówczas nieszczególne. Z tem samem zjawiskiem spotykamy się w wypadku płatków złota, jak to zobaczymy w następnym wykładzie.

Długie cząsteczki łańcuchowe odznaczają się jeszcze inną ciekawą własnością, którą warto się zająć. Łańcuch w cząsteczce parafiny zakończony jest z obydwu stron atomami wodoru. Grubość każdego płatka równa się długości cząsteczki. Atoli w kwasach tłuszczowych (p. str. 140), jak wykazały promienie Roentgena, mamy po dwie cząsteczki w warstwie, przystające do siebie końcami. Było to w samej rzeczy do przewidzenia, wiadomo bowiem, że grupy karboksylowe mają dążność do łączenia się pomiędzy sobą. Naskutek tego łańcuchy łączą się ze sobą parami, tworząc łańcuch podwójnej długości, u końców którego znajdują się atomy wodoru, podczas gdy obydwie grupy karboksylowe leżą pośrodku. Wynik ten zawdzięczamy pomiarom, dokonanym zapomocą promieni Roentgena. W tym wypadku znowu promienie Roentgena potwierdzają wniosek, wysnuty z badań chemicznych i rzucają nań nowe światło.

Istnieje inny typ budowy krystalicznej, który, różniąc się całkowicie od rozpatrzonych przez nas dotychczas, posiada tak doniosłe znaczenie, że nie możemy go pominąć. Kryształy zwykłej soli kamiennej są odpowiedniami przykładami tego typu.

Zdarzają się, jak już widzieliśmy, wypadki, kiedy cząsteczka powstaje z dwóch atomów, z których jeden, dążąc stale do wchłonięcia w siebie dodatkowego elektronu, zaspokoił to dążenie kosztem drugiego atomu. Odstąpiony elektron związany był luźno z układem owego drugiego atomu. I tak np. atom chloru posiada siedmnaście elektronów, z których dwa w najbardziej nawewnętrz leżącej powłoce, a ośm w następnej powłoce. W powłoce zewnętrznej znajduje się siedm elektronów, działanie atomu chloru na zewnątrz jest bardzo silne, ponieważ dąży on do uzupełnienia tej powłoki do pełnej liczby ośmiu atomów. Gdy to nastąpi, atom chloru nazewnątrz przedstawiać się będzie jak atom argonu. Atom sodu posiada w stanie normalnym jedenaście elektronów: dwa tworzą najbardziej nawewnętrz leżącą powłokę, ośm powłokę następną, podczas gdy na powłokę zewnętrzną przypada zamiast siedmiu elektronów, jak w atomie chloru, jeden tylko elektron. Elektron ten nie jest mocno związany w układzie atomu sodu tak, że z łatwością daje się wchłonąć przez atom chloru. Po utracie tego elektronu atom sodu posiada zewnętrzną postać atomu neonu. (P. str. 56).

W tym stanie rzeczy obydwa atomy naładowane są elektrycznie, a mianowicie atom chloru posiada ładunek ujemny, ponieważ ma o jeden elektron więcej ponad właściwą sobie liczbę, atom zaś sodu posiada ładunek dodatni, ponieważ brak mu jednego elektronu. Dodatnio naładowane atomy sodu i ujemnie naładowane atomy chloru przyciągają się nawzajem. Decydującym czynnikiem w powstawaniu i budowie kryształów soli kamiennej jest dążenie atomów sodu i chloru do takiego układu, w którym wzajemne przyciąganie pomiędzy nimi byłoby możliwie zrównoważone. W układzie tego rodzaju, wytworzonym przez Przyrodę, każdy atom chloru otoczony jest sześcioma atomami sodu i odwrotnie. Układ ten uwidoczniony jest na Tablicy XXI C. Jest to nader prosty układ sześcienny, w którym atomy sodu i chloru ułożone

są naprzemian w szeregi, równolegle do krawędzi sześciątów. Białe kulki wyobrażać mogą atomy chloru, a czarne — atomy sodu, lub też odwrotnie. Z powodu takiego właśnie układu atomów sól wykryształizowuje z roztworu w postaci sześcienniej. Kryształy te niekoniecznie posiadać muszą postać prawidłowych sześciątów, są to naogół prostokątne bryły o ściankach jednakowego typu. Często zdarzające się różnice w wielkości i w wyglądzie spowodowane są przypadkowemi, odmiennemi warunkami wzrastania kryształów.

Bardzo wiele kryształów posiada budowę, wynikającą z tej samej zasady: w szczególności zaś wszystkie sole metali, w których atom metalu stracił jeden lub więcej elektronów, odstąpiwszy je grupie atomów, stanowiącej resztę cząsteczki. Wynikająca stąd budowa nie zawsze jest tak prostą jak budowa soli kamiennej, chociażby z tego powodu, że wspomniana grupa atomów posiadać może postać mniej prawidłową niż pojedynczy atom chloru. W kalcycie atom metalu odstępuje dwa elektrony grupie CO_3 , w wyniku czego powstają romby, cechujące postać szpatu islandzkiego. I w tym wypadku wprawdzie każdy atom metalu otoczony jest sześcioma naładowanemi ujemnie skupinami atomów, z których naodwrot każda otoczona jest sześcioma atomami metalu; kształt kryształu jednak nie jest już prostokątny, gdyż grupa CO_3 nie jest kulistą.

ISTOTA KRYSZTAŁÓW: METALE

Zużytkowanie metali było jednym z wielkich czynników w rozwoju działalności rodzaju ludzkiego. Sięga ono czasów tak niezmiernie odległych, że tylko domyślać się możemy okoliczności, w jakich ludzie sporządzać zaczęli z metalów narzędzia i broń. Być może po raz pierwszy natknęto się na miedź w stanie rodzimym, a niezwykle ciężar tego metalu nasunął myśl, że może się on przydać w walce. Jednakże miedź jest zbyt miękka, aby można jej nadać ostrze, zdatne do cięcia, i zapewne nie minęło dużo czasu, gdy wynaleziony został stop z miedzi i cyny, znacznie twardszy i użyteczniejszy od czystej miedzi. Być może, że kamienie, z których budowano piece do wytapiania miedzi, zawierały cynę, lub też, że miedź i cyna znajdowały się w tej samej rudzie. I tak zaczęła się epoka brązu. Żelazo pojawiło się, oczywiście, znacznie później. Od owych czasów aż po dzień dzisiejszy trwa praca kowali i hutników, ważnych zaiste członków społeczności ludzkiej. Wystarczy tylko wspomnieć, jak wielkim jest przemysł metalowy, aby zdać sobie sprawę z tej doniosłej roli, jaką odgrywają metale w życiu całego świata.

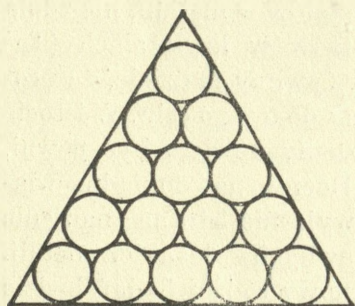
W ciągu tak wielu tysiącoleci zdobyty został olbrzymi zasób doświadczenia. Częściowo zawarty on jest w księgach, częściowo przekazują go z ust do ust wytrawni majstrowie swoim czeladnikom. Istnieje nawet pewne wyuczucie istoty, stanów lub własności metali, które nie daje się ująć w słowach, a które przyswoić sobie mogą jedynie przez praktykę ludzie, w tym kierunku szczególnie uzdolnieni. I nie jest to bynajmniej rzecz błaha: zależeć może od tego rozwój całego handlu i dobrobyt narodu.

Składiną własności metali zależeć muszą przedewszystkiem od własności poszczególnych atomów, a następnie od

układu atomów, powodującego stan krystalizacji. W ośrodkach przemysłu metalowego uświadomiono sobie w ciągu ostatnich lat, że badacz naukowy ze swoim mikroskopem uporządkować może bezładną masę nagromadzonych wiadomości, ulepszyć jakość wyrobów i zapewnić normalny bieg produkcji. Jak już jednak zaznaczyliśmy, mikroskopem posługiwać się możemy tylko do pewnej granicy. Od granicy tej jest jeszcze bardzo daleko do celu, który musimy osiągnąć, aby się przekonać, jak z zachowania się atomów w przeróżnych tworzywach wynikają szczególne własności tych ostatnich. Mikroskop może wykazać istnienie oddzielnych kryształów w metalu, nie zdoła jednak uwidocznić układu atomów w kryształach (Tablice XXII, XXIII). Natomiast żywimy nadzieję, że promienie Roentgena doprowadzą nas do owego celu. W istocie jest to więcej niż nadzieja. Możemy bowiem być pewni, że zdobyte dzięki promieniom Roentgena dokładne wiadomości pozwolą nam wkońcu wyjaśnić istotne znaczenie wszelkich najbardziej nawet zawitych własności metali. Dużo czasu upłynie, zanim ten nowy rodzaj badań będzie powszechnie stosowany i uznany, jako nieodzowny dla dalszego postępu i rozwoju metalurgji. Wszak badania te muszą ogarnąć doświadczenie, nagromadzone w ciągu tysiącoleci, i wyjaśnić je z punktu widzenia naukowego. Całkiem inaczej rzecz się ma z takimi gałęziami wiedzy praktycznej, jak elektrotechnika lub wchodząca w jej zakres radjofonja. Powstały one wyłącznie dzięki badaniom naukowym w pracowniach fizycznych, a rozwój ich odbywał się na podstawie zdobytych tą drogą wiadomości i umożliwionego przez nie przewidywania. Praca nad użytkowaniem metali natomiast od niepamiętnych czasów posuwała się naprzód poprzez próby i błędy drogą doświadczeń, opartych na szczupłym tylko zasobie wiedzy. Był to proces nader powolny, rozwijał się jednak od dawien dawna, dając wyniki, godne szacunku. Wyniki te jak

najstaranniej zbadane być winny w nowem świetle, jakiego użyczają nam promienie Roentgena.

Zapoczątkowane w tym kierunku badania pozwalają nam już wytłumaczyć w pewnym stopniu niektóre właściwości metali. Uwarunkowane są one budową krystaliczną, jak tego należało się spodziewać. Kryształy widzieć możemy niekiedy gołym okiem; czasami stają się one widoczne pod mikroskopem po odpowiedniem przygotowaniu powierzchni metalu. Najłatwiej jednak i najskuteczniej zbadać je można zapomocą promieni Roentgena, które pozwalają nam wnikać w najsubtelniejsze szczegóły budowy.

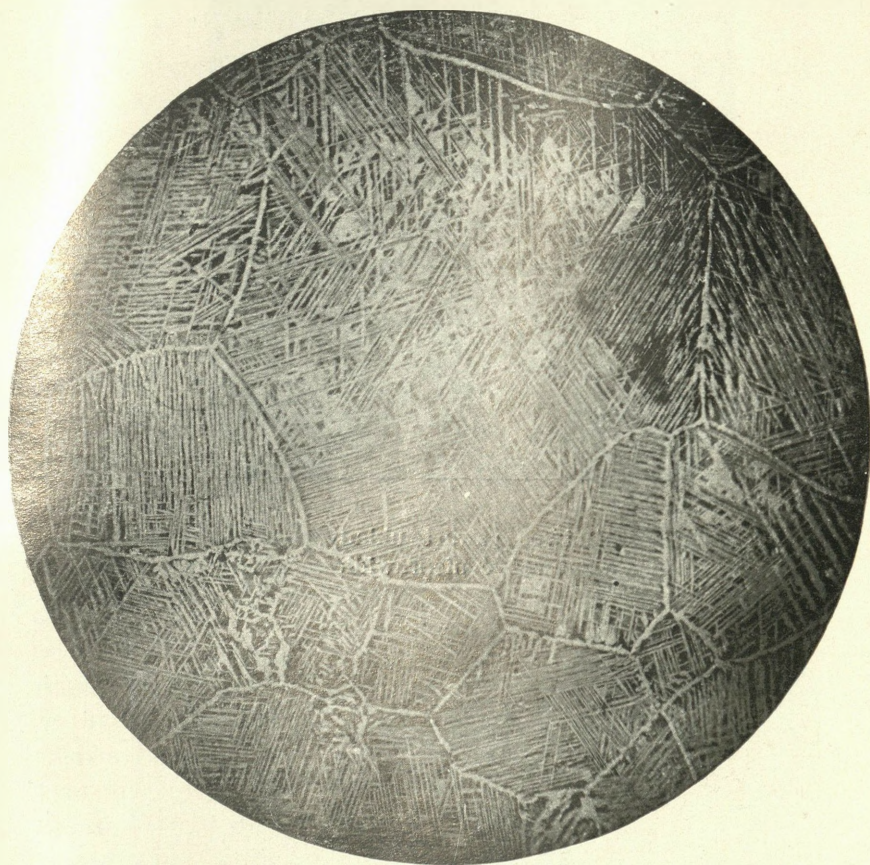


Ryc. 53. Szczelny układ kul w jednej warstwie.

Zapomocą promieni Roentgena zbadana została budowa kryształów niemal wszystkich metali i okazało się, że jest ona zazwyczaj nader prosta. I tak na przykład atomy złota, srebra, miedzi i glinu ułożone są w taki sam sposób, jak owe kule armatnie, które przed stu laty układano w stosy przy ar-

matkach. Warto przyjrzeć się nieco bliżej temu układowi, jakkolwiek będzie to w istocie przypomnieniem porównania, jakie przeprowadziliśmy pomiędzy budowami lodu a djamentu (p. str. 131). Przypuśćmy, że pewną ilość kul uszykujemy w układ trójkątny, jaki widzimy na ryc. 53, i umieścimy je w trójkątnej ramce tak, zupełnie, jak szykuje się kule bilardowe do gry w piramidkę. Na tak uszykowanych kulach układamy nową warstwę, tworzącą nieco mniejszy trójkąt, potem dalsze warstwy aż otrzymamy trójkątną piramidę (Tabl. XXIV B). Trudno wyobrazić sobie inny sposób bardziej szczelnego układania kul. Jeśli teraz przypatrzymy się w jaki sposób poszczególne warstwy ułożone są jedna

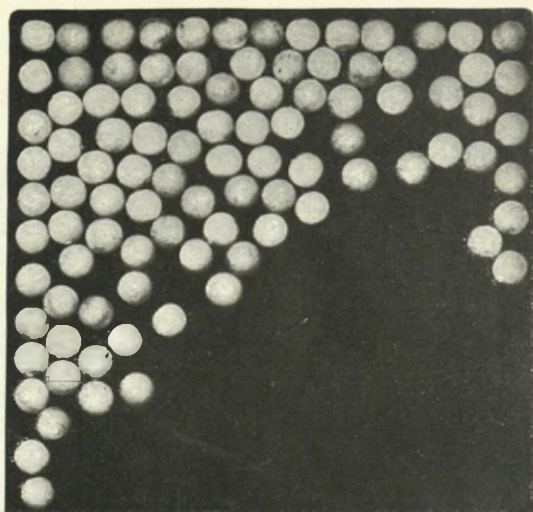
TABLICA XXIII



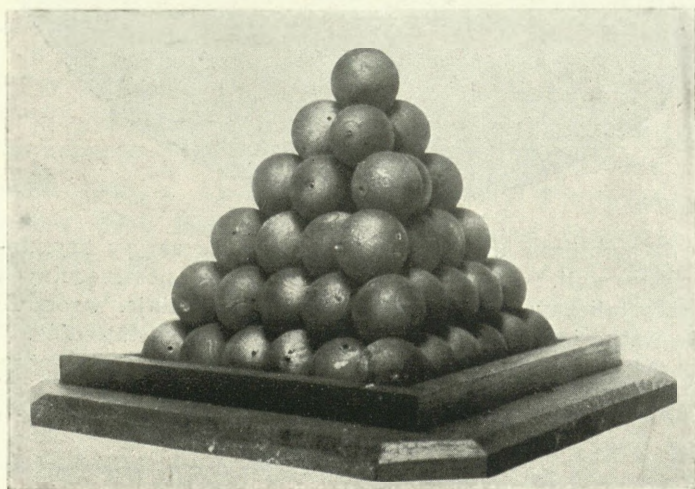
Zdjęcie fotograficzne uwidocznia nieprawidłowe zarysy kryształów w próbce stali, poza tem wewnątrz przekrojów poszczególnych ziaren krystalicznych widzimy krzyżujące się linie, tworzące gęstą siatkę i znane pod nazwą „linij Widmannstätten’a“.

Linie te są śladami przeciętych przy polerowaniu „warstw atomów“, podobnie jak przy polerowaniu masy perłowej przecięte zostają jej warstwy. (Według „Krystalizacji Metali“ Biełajew’a).

TABLICA XXIV



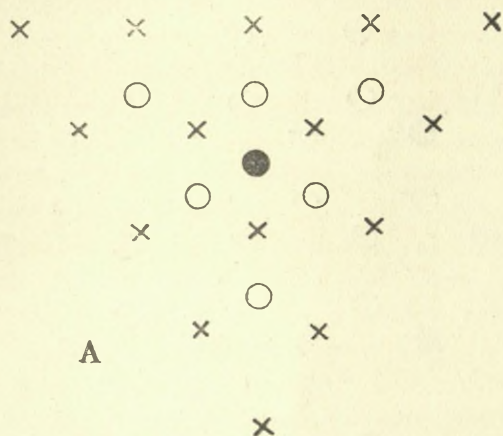
A. Małe skupiny śrótu tworzą zwarte układy, pomiędzy skupinami dają się zauważyć nieprawidłowe przerwy.



B. Piramida, utworzona z warstw, odpowiadających ryc. 53.

na drugiej, przekonamy się, że kule w każdej warstwie leżą dokładnie ponad kulami warstwy, oddzielonej od danej warstwy dwiema innymi. W braku modelu zdać sobie możemy z tego sprawę zapomocą ryc. 54 A. Środki kul danej warstwy oznaczone są krzyżykami, warstwy sąsiedniej — kółkami, a warstwy następnej czarnymi kropkami. Środki kul czwartej warstwy leżeć będą ponad krzyżykami, piątej — ponad kółkami, a szóstej — ponad kropkami i t. d.

Gdy kule ułożone są w powyższy sposób, z zespołu ich dają się wykrajać sześciany, jak to widzimy na Tablicy XXV A. Jest to zazwyczaj niespodzianką dla każdego, kto się po raz pierwszy spotka z tym faktem. Warto jest jednak zrozumieć jego przy-



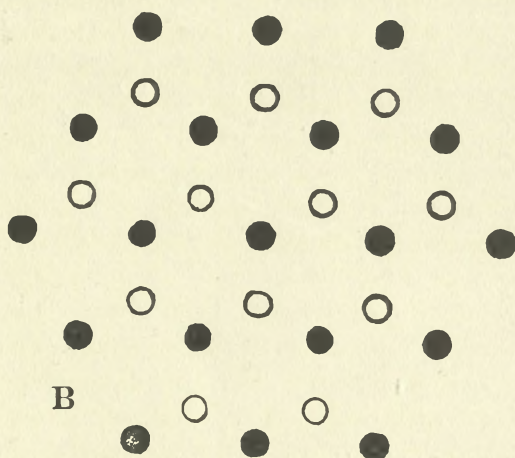
Ryc. 54A. Układ A odpowiada takiemu uszykowaniu warstw, jakie widoczne jest dla patrzącego wzdłuż przekątnej sześcianu z Tablicy XXV A.

Czarna kropka wyobraża kulę narożną. Kółka odpowiadają sześciu kulom warstwy sąsiedniej, a krzyżyki — piętnastu kulom warstwy następnej.

czynę, ponieważ w wielu kryształach atomy ułożone są w sposób powyższy i ponieważ tak często kryształy powstają w kształcie sześcianów lub też wykazują w jakimkolwiek sposób swój bliski związek z tym kształtem.

Gdy teraz na dwóch już ułożonych warstwach umieścimy trzecią w ten sposób, że każda kula tej warstwy znajdować się będzie dokładnie ponad jedną z kul pierwszej t. j. najniższej warstwy, otrzymamy wówczas inny rodzaj układu kul, równie szczelny, jak poprzedni. W tym

wypadku kule w każdej warstwie leżą dokładnie ponad kulami warstwy najbliższej poza sąsiednią, a zamiast układu według ryc. 54 A i Tablicy XXV A mamy układ według ryc. 54 B i Tablicy XXV B. Układ ten nie będzie mógł utrzymać się samodzielnie w przestrzeni bez wspierających go ścian, o ile model nasz zawierać ma dostateczną liczbę kul; musimy zatem w jakikolwiek sposób łączyć



Ryc. 54 B. Układ B odpowiada układowi warstw, jaki widzimy, patrząc się z góry na model z Tablicy XXV B.

Dziewiętnaście czarnych kropek odpowiada kulom wierzchniej warstwy, a dwanaście kółek — kulom warstwy następnej. Trzecia warstwa jest taka sama, jak pierwsza, a czwarta taka sama, jak druga, i t. d. W układzie tym powtórzenie następuje co dwie warstwy, podczas gdy w układzie według ryc. 54 A powtórzenie następuje co trzy warstwy.

ze sobą kule drutami. Gdy na model taki patrzeć się będziemy z góry, ujrzymy coś w rodzaju sześciokątnych szybów, przenikających model nawskróś; w żadnym innym kierunku nie spostrzeżemy nic podobnego. Model posiada jedną jedyną oś w kierunku pionowym, dookoła zaś tej osi mamy układ tego

rodzaju, że powstające według niego kryształy z łatwością tworzą kolumny sześciograniaste.

W wypadku sześcianu w czworaki sposób wyobrażać sobie możemy uszykowanie warstw: zauważyć możemy szereg warstw, leżących pionowo do każdej przekątnej sześcianu, a ponieważ sześcián posiada cztery przekątne, mamy więc cztery szeregi warstw. Nie znaczy to bynajmniej, aby atomy, tworzące jedną z tych warstw, szcze-

gólnie mocno związane być miały w płaszczyźnie danej warstwy; wskazuje to jedynie na możność wyodrębnienia atomów kryształu w tego rodzaju warstwy czterema różnymi sposobami.

Otóż, okazuje się, że warstwy te mają doniosłe znaczenie ze względu na własności kryształów metali, zbudowanych na zasadzie szczelnie wypełnionego układu sześciennego. Ze złota, srebra, miedzi, glinu i z innych podobnych metali z łatwością możemy wyciągać druty, walcować blachy i kuć przedmioty o przeróżnych kształtach. Są one, jak mówimy, zarówno rozciągliwe, jak kowalne. Możemy je giąć i rozciągać, nadając im przeróżne odpowiednie kształty. Wydaje się nawet rzeczą możliwą wprowadzić metal w taki stan płynności, w jakim znajduje się melasa. Złoto daje się kuć w płatki tak cienkie, że metal, zawarty w złotej monecie jednego funta sterlingów, może pokryć duże pole. Właściwemu wykorzystaniu tych dwóch tak ważnych swoistych własności zawdzięczamy wyrób puharów i innych naczyń wszelkiego rodzaju, łańcuchów i ozdób, oraz niezliczonych użytecznych przedmiotów. To też pierwszym zagadnieniem, jakie chcielibyśmy, o ile to możliwe, wyjaśnić bliżej zapomocą promieni Roentgena, są te właściwości budowy metali, które nadają im owe tak nader cenne własności. Pragnęlibyśmy też zrozumieć istotę hartowania i innych zmian, zachodzących w metalach wskutek t. zw. „obróbki na zimno“, to znaczy wskutek kucia lub rozciągania metalu przy temperaturze zwykłej. A na czem właściwie polega wyżarzanie, odpuszczanie i usuwanie napięć wewnętrznych, powodowane działaniem ciepła? Dlaczego zjawiska te i własności tak są oczywiste w wypadku metali, a nie występują np. w djamencie, w soli kamiennej lub kwarcu?

Powoli zaczynamy przenikać te tak zawile zagadnienia, a w szczególności wiemy już coś nie coś, na czem polega poddawanie się metali działaniu sił zewnętrznych np. przy rozciąganiu, przekonaliśmy się mia-

nowicie, że stoi ono w związku z omówionemi przez nas warstwami.

Metale rzadko kiedy występują w postaci pojedynczych kryształów, zazwyczaj składają się one z mnóstwa kryształków, najrozmaiciej skierowanych. Kryształki te niekiedy z łatwością dojrzeć można gołym okiem; w innych wypadkach dają się one spostrzec tylko zapomocą mikroskopu. Bardzo często jednak są one tak znikome, że nawet przez mikroskop nie są widoczne, a jedynie promienie Roentgena są w stanie je ujawnić.

Gdy na tacę wysypiemy trochę śrótu i, nachylając odpowiednio tacę, skupimy śrócinę w ten sposób, że ułożą się one w pojedynczą warstwę (p. Tablica XXIV A), zauważymy, że dążą one do układania się w podobny sposób, jak kule na ryc. 53. Nie często się zdarza, że wszystkie śróty skupia się w jednym tylko układzie, zazwyczaj powstaje szereg oddzielnych skupin, z których każda tworzy układ prawidłowy, które jednak względem siebie położone są całkiem dowolnie. Zupełnie tak samo atomy w metalach tworzą szereg poszczególnych układów, czyli innemi słowy mamy do czynienia z krystalizacją w oddzielnych skupinach, mniejszych lub większych, przylegających do siebie w mniej lub więcej dowolny sposób. Winniśmy jednak odrazu zaznaczyć, że skupiny te niekoniecznie połączone są ze sobą słabiej aniżeli związane są pomiędzy sobą atomy w poszczególniej skupinie. Dlaczego tak jest istotnie, trudno orzec. Nie powinno to nas dziwić, ponieważ więz pomiędzy atomami jest zjawiskiem nader złożonem, mało nam dotychczas znanem, nie możemy też dokładnie przewidzieć, co może nastąpić w każdym poszczególnym wypadku. Jak twierdzą, przy wysokiej temperaturze kryształki złota przy złamaniu pozostają nietknięte, natomiast przy temperaturze zwykłej złamanie następuje poprzez kryształki; przykład ten dostatecznie uwydatnia zawilość zjawiska.

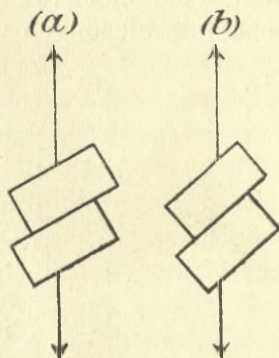
Możemy tedy całkiem słusznie oczekiwać, że bryły

każdego z tych metali składają się z mnóstwa większych lub mniejszych kryształów, co też w zupełności potwierdzają promienie Roentgena nawet w tych wypadkach, w których kryształki są zbyt małe, aby mikroskop mógł je wykazać.

Gdy teraz weźmiemy kryształ pojedynczy i będziemy starali się go zgiąć lub skręcić, zawsze będziemy musieli przytem stwierdzić, że kryształ ulega wkońcu wywieranemu nań działaniu przez osunięcie wzdłuż określonej płaszczyzny: część kryształu, leżąca po jednej stronie owej płaszczyzny przesuwają się względem części, leżącej po drugiej stronie. Są to właśnie te płaszczyzny, o których już mówiliśmy uprzednio, a w których atomy ułożone są, jak na ryc. 53.

Kryształ pojedynczy nie poddaje się dokładnie w tym kierunku, w jakim jest rozciągany. Dwa kawałki szkła, spojone ze sobą za pomocą np. tłuszczu, poddawać się będą rozciąganiu wzdłuż dzielącej je płaszczyzny spójnienia (p.

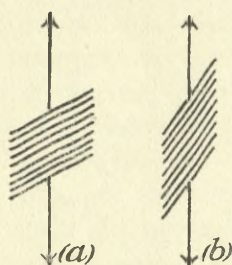
ryc. 55). Całkiem naturalnie przesuwają się one raczej będą względem siebie wzdłuż tej płaszczyzny, aniżeli miałyby one same ulec rozerwaniu. W wypadku metalu mamy nie tylko jedną taką płaszczyznę, lecz cały ich szereg. Warstwy metalu przesuwają się albo jednocześnie wzdłuż wielu takich płaszczyzn, albo też po kolei wzdłuż szeregu różnych płaszczyzn. Możemy przedstawić kryształ za pomocą szeregu linii równoległych, odpowiadających poszczególnym warstwom, jak to widzimy na ryc. 56 (a). Gdy kryształ ulegnie rozciąganiu w kierunku strzałek, warstwy poddadzą się zmieniając swe po-



Ryc. 55. Oba kawałki szkła są spojone ze sobą, mogą jednak ślizgać się jeden po drugim. Przy rozciąganiu zmieniają wzajemne swe położenie (a) na położenie (b).

łożenie, w sposób, wskazany na ryc. 56 (b). Często zauważyć można na powierzchni pojedynczego kryształu metalu, który poddany był rozciąganiu, ślady linii, wzdłuż których nastąpiło przesunięcie się warstw.

Zjawisko to wykazane zostało niedawno przez profesora Carpentera i pannę Elam w sposób bardzo piękny na przykładzie kryształów glinu. Zwykły kawałek tego metalu składa się, jak już wiemy, z mnóstwa kryształków, beładnie ułożonych we wszelkich możliwych kierunkach.



Ryc. 56. Rycina przedstawia w sposób schematyczny przesuwanie się po sobie warstw w kryształach glinu.

Zapomocą jednak pewnego, dosyć złożonego sposobu nagrzewania i rozciągania metalu osiągnąć można, że owe liczne kryształki uszykują się bardziej prawidłowo i skupią się wreszcie w niewielką liczbę dużych kryształów. Zupełnie tak samo wystawić sobie możemy, że gdy wyobrażoną na Tablicy XXIV tacę ze śrótem nachylać i potrząsać będziemy w odpowiedni sposób, wszystkie mniejsze układy prawidłowe śrócin połączą się w jeden duży.

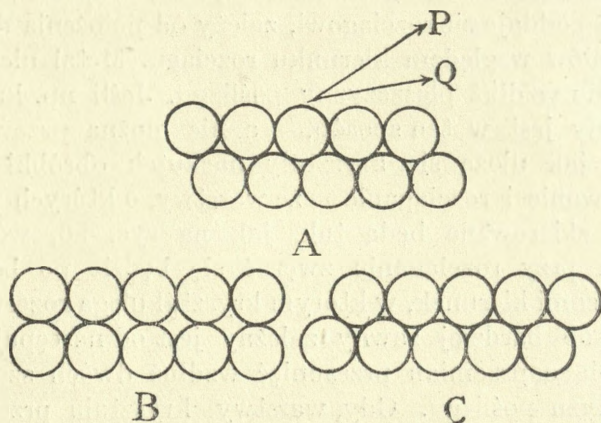
Użyte do tych doświadczeń próbki metalu posiadały kształt, nadawany zwykle próbkom przy badaniach wytrzymałości na rozerwanie, a uwidoczniiony na Tablicy XXVI. Początkowa długość każdej próbki wynosiła 20 cm. Szerokie końce służą do umocowania próbek w szczękach maszyny do rozrywania. Część węższa próbek ulega rozciąganiu. Odkształcenie, oraz wielkość zastosowanego rozciągu pozwalają określić wielkość oporu, jaki metal przeciwstawia siłom rozciągającym.

Gdy jedną z takich próbek, obrobioną w wyżej wspomniany sposób, umieścimy w maszynie do badania wytrzymałości i będziemy rozciągać, poddawać się ona będzie rozciągowi w bardzo ciekawy sposób, który bywa różny dla różnych próbek (Tablica XXVI, 1 do 4). W niektórych

wypadkach szerokość próbki pozostaje bez zmiany, natomiast staje się ona coraz to cieńszą w miarę wydłużania naskutek rozciągania. Próbka wydłużyć się może o kilka centymetrów zanim ulegnie rozerwaniu. W innych wypadkach grubość próbki pozostaje ta sama, natomiast próbka ulega zwężeniu, boki jej stają się wklęsłe i w miejscu najwęższem następuje rozerwanie. Czasami zdarzają się jeszcze ciekawsze zmiany. Próbki te badane były za pomocą promieni Roentgena i okazuje się, że sposób, w jaki próbka poddaje się rozciągowi, zależy od położenia dużych kryształów względem kierunku rozciagu. Metal ulega rozerwaniu wzdłuż płaszczyzny poślizgu. Jeśli np. kryształ położony jest w ten sposób, — a nie można przewidzieć zgóry, jak ułożą się kryształy naskutek obróbki przez nagrzewanie i rozciąganie — że warstwy, o których mówiliśmy, skierowane będą tak, jak na ryc. 56, wówczas próbka przy rozciąganiu zwężać się będzie po bokach.

Czasami kierunek, w którym kryształ ulega rozerwaniu, w sposób bardziej zawily zależny jest od następujących po sobie naprzemian przesunięć wzdłuż dwóch szeregów płaszczyzn poślizgu. Gdy warstwy kryształu przesuwają się mogą nie tylko wzdłuż jednego szeregu płaszczyzn, przesunięcie nastąpi raczej wzdłuż tego szeregu płaszczyzn, którego położenie względem kierunku rozciagu bardziej zbliżone jest do pionowego. Stanie się to zrozumiałem, gdy zważymy, że przesuwanie się warstw polega na przesuwaniu się jednego szeregu atomów ponad innym, ruch zaś ten następuje daleko łatwiej przy działaniu siły, dążącej do oderwania jednej warstwy od drugiej. Jeśliby ciało stałe składało się z szeregu kul tak, jak górna warstwa na ryc. 57, i spoczywało na podobnym szeregu kul, odpowiadającemu dolnej warstwie, wówczas łatwiej moglibyśmy przesunąć górną warstwę po dolnej, ciągnąc ją w kierunku P aniżeli w kierunku Q. Ponieważ, jak to widzimy na ryc. 55, płaszczyzna poślizgu zawsze zmienia swe położenie w kierunku ciągnięcia, warstwy kryształu przesuwają się będą

wzdłuż jednego szeregu płaszczyzn poślizgu aż do chwili, gdy płaszczyzny te znajdują się w położeniu niemal równoległym do kierunku ciągnięcia, następnie warstwy przesuwają się będą wzdłuż innego szeregu płaszczyzn. Wkońcu kierunek ciągnięcia przepoławia kąt pomiędzy obydwoma szeregami płaszczyzn. Osiągnięcie takiej równowagi pomiędzy dwoma szeregami płaszczyzn poślizgu daje się nieraz poznać po kształcie przełomu; na Tablicy XXVI, 3,

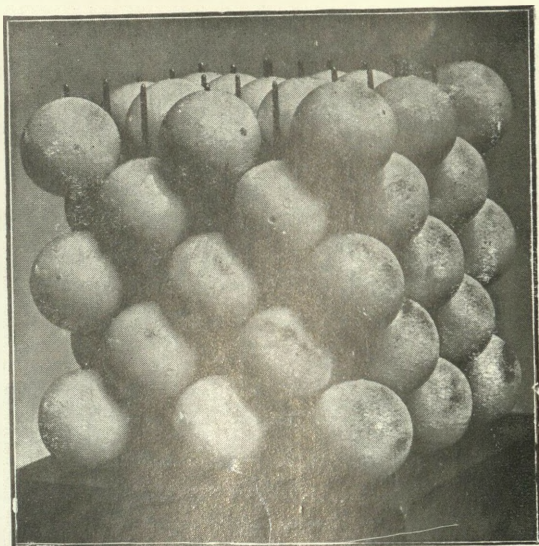


Ryc. 57. Górna warstwa, jako całość, dałaby się łatwiej przesunąć z położenia A poprzez położenie B do położenia C, jeśli ciągnąć się ją będzie w kierunku P aniżeli w kierunku Q.

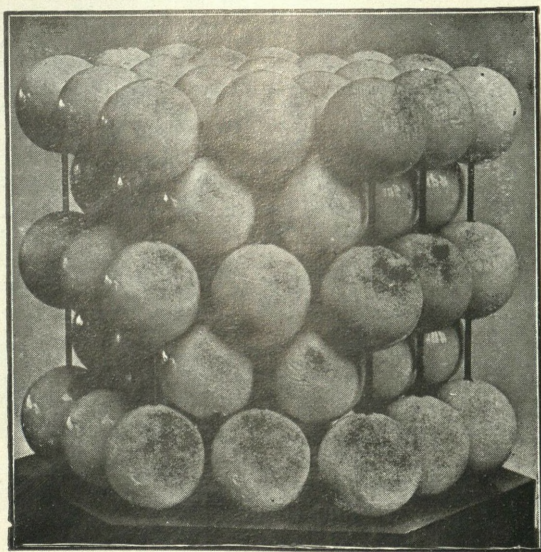
np. daje się zauważyć w punkcie rozerwania jakby ostra grań. Tworzące je powierzchnie są równoległe do dwóch różnych szeregów płaszczyzn poślizgu i nachylone jednakowo względem kierunku ciągnięcia, które wkońcu spowodowało rozerwanie metalu na dwie części.

Glin poddaje się tak łatwo, że dosyć grubą blachę z łatwością zgiąć można pomiędzy palcami, gdy tworzy ją jeden kryształ pojedynczy. Zwykła blacha aluminiowa jest jednak wcale sztywna. Różnica ta tłumaczy się tem, że, gdy kryształy w metalu znajdują się we wszelkich możliwych położeniach, zawsze znajdują się wśród nich takie, które

TABLICA XXV



A



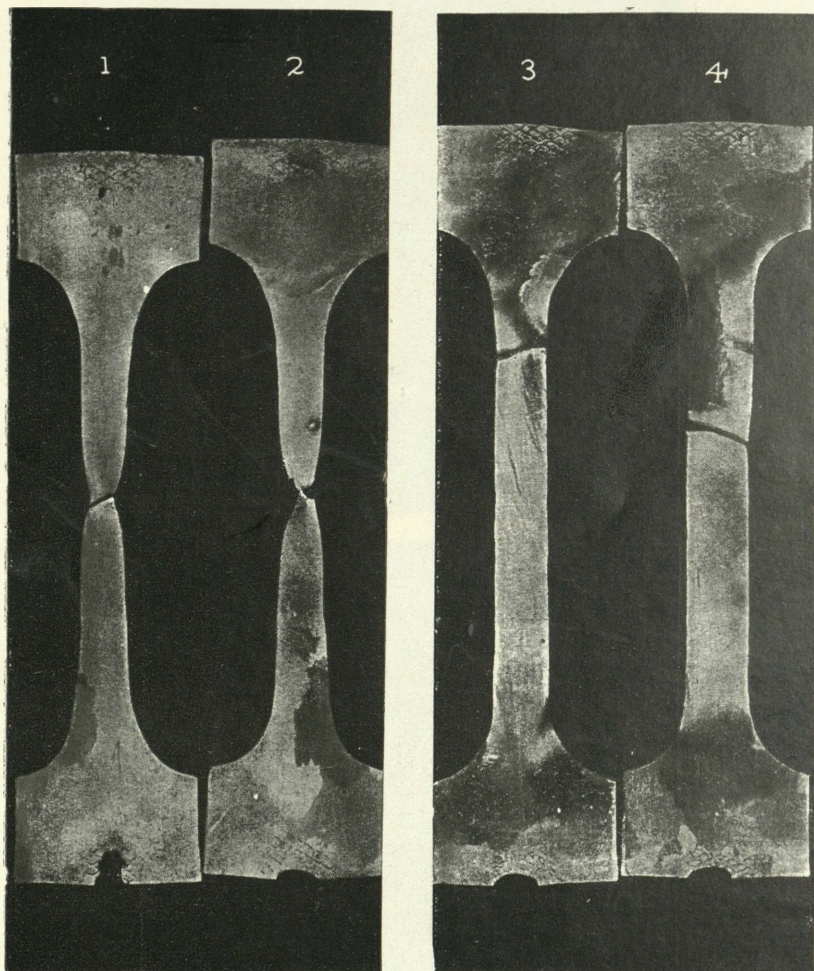
B

A. Układ sześcienny. B. Układ sześciokatny.
(Według dzieła Pope'a „Nowoczesne poglądy teorii cząsteczkowej“).

A uwidocznia sposób ułożenia kul w szescian. Jest to ten sam sposób, jaki zastosowany został w modelu, wyobrażonym na Tablicy XXIVB. Szczelnie wypełnione warstwy, odpowiadające ryc. 53., leżą poziomo w modelu według Tablicy XXIVB, podczas gdy w modelu według Tablicy XXVA leżą one pionowo do jednej z przekątnych szescianu.

B uwidocznia drugi sposób szczelnego ułożenia kul. Każda pozioma warstwa jest szczelnie wypełnioną warstwą według ryc. 53.

TABLICA XXVI



Powyższe zdjęcia fotograficzne zapożyczone są z rozprawy Profesora Carpenter'a i panny Elam (Proceedings of the Royal Society, A., 100, str. 346).

Wykazują one poddawanie się glinu przy rozciąganiu. Ostateczne rozerwanie nastąpiło w tej najwęższej części próbki, którą tworzył duży kryształ pojedynczy. Na zdjęciach (1) i (2) płaszczyny poślizgu położone są względem patrzącego w taki sam sposób, jak warstwy na ryc. 56. Próbką została zwężona i boki jej stały się wklęsłymi, jak to widzimy na tych zdjęciach. W kierunku od przodu do tyłu zwężenia nie ma. Na zdjęciach (3) i (4) widzimy zjawisko odwrotne: aż do chwili rozerwania szerokość próbki nie uległa zmianie, natomiast zmniejszyła się jej grubość (czego na zdjęciach zobaczyć nie możemy).

stawić będą mogły opór napięciu w jakimkolwiek kierunku. Cały łańcuch jest o tyle mocny, o ile mocne jest jego najsłabsze ogniwo, a najsłabszem miejscem w kryształach jest jego płaszczyzna poślizgu. Jest to okoliczność niezmiernie doniosła przy obróbce metali, jakkolwiek bywa ona nieraz połączona z tylu innymi, że trudno jest wyodrębnić jej wpływ wśród innych. Przy wyrobie stali o specjalnem przeznaczeniu uwzględnia się wiele czynników, lecz wśród nich bezwątpienia zawsze pierwszorzędą rolę odgrywać będzie drobnoziarnistość krystalicznej budowy stali. Im kryształy są drobniejsze i im bardziej jednostajne są ich rozmiary, tem większą stal posiada wytrzymałość i tem wyższą jest naogół jej jakość.

Gdy kryształ pojedynczy glinu poddaje się wzdłuż jednej z warstw, przypuszczać możemy, że nastąpi moment, w którym szereg atomów przesuwają się po innym, poczem zatrzymuje się znowu w nowym położeniu, podobnem do początkowego. Z położenia A przechodzi poprzez położenie B do położenia C (ryc. 57). Gdy to ostatnie zostanie osiągnięte, atomy tworzą ponownie układ szczelnie wypełniony. Metal wciąż jest jeszcze kryształem. Jak wiemy, prawidłowy układ krystaliczny jest układem naturalnym ciała stałego. Tak więc ciało to przechodzi z łatwością z jednego układu naturalnego w drugi, dostosowując się w ten sposób do działania sił zewnętrznych. Bezwątpienia jest to jedną z przyczyn, i to bardzo ważną, rozciągliwości.

Lecz dlaczego metal staje się nieraz twardszy wskutek kucia? Jakie zmiany zachodzą w metalu podczas wyżarzania? Być może, że odpowiedź na te pytania nasunie się nam po rozpatrzeniu zmian, jakim podlega złoto, gdy przekuwane jest w płatki i następnie rozgrzewane do wysokiej temperatury. Jak już widzieliśmy płatki złota są nadzwyczaj cienkie. Są one nawet przezroczyste, pochłaniają jednakże część widma przechodzącego przez nie światła tak, że przepuszczają światło zielonkawe. W świetle odbitem, jak wiemy, są one koloru żółtego. Jest rzeczą nader ciekawą,

że po rozżarzeniu do koloru ciemno-czerwonego płatki złota stają się na stałe przezroczyste i białe w świetle odbitem. Faraday interesował się bardzo tem zjawiskiem; aby je wyjaśnić choć częściowo, przypuszczał on, że cienka warstwa złota pod wpływem gorąca rozrywa się i przekształca się w siatkę bardziej rzadką, w której węzłach skupia się metal, a przez której otwory światło przechodzi swobodnie. Sir George Beilby na podstawie dokonanych przez siebie licznych doświadczeń znacznie powiększył posiadany przez nas zasób wiadomości odnośnie zachowania się złota i innych metali, poddanych w taki sam sposób działaniu ciepła. Jeśli w płatkach metalu podczas rozgrzewania pojawiają się otwory, muszą one być, jego zdaniem, znikomo małe, niewidzialne nawet pod mikroskopem. I tu znowu pomocne nam być mogą promienie Roentgena. Gdy zapomocą tych promieni zbadamy płatki złota, przekonamy się, że składają się one z mnóstwa kryształów złota w kształcie sześciątów, ułożonych ściankami równolegle do powierzchni płatka. Oczywiście, nie są to koniecznie prawidłowe sześciiany. Tak samo, jak w soli kamiennej, która posiada układ sześcienny, są to czworograniaste bryły różnej wielkości. Bryły te posiadać muszą postać niezmiernie cienkich tafelek, których grubość jest bezwątpienia znacznie mniejsza aniżeli szerokość i długość. Gdy płatek poddany został działaniu gorąca, tafelki te układają się w sposób całkiem bezładny; bardzo być może, że jak to już przypuszczał Faraday, częściowo gromadzą się one w skupiny, które atoli są zbyt małe, aby były widoczne pod mikroskopem. I to tłumaczyłoby, dlaczego płatki złota i srebra stają się przezroczystymi naskutek nagrzania. Dlaczego przytem złoto, widziane pod światło, jest zielone, to pozostało dotychczas tajemnicą. Widzimy jednak, że, naskutek przekuwania złota na płatki, tafelki krystaliczne układają się w ten sposób, że u wszystkich jedna ścianka leży w płaszczyźnie płatka, podczas gdy gorąco niweczy tę osiągniętą dzięki przekuwaniu prawidłowość układu.

Gdy nagrany piatek złota przyciśniemy do przedmiotu o gładkiej i twardej powierzchni, jakim jest agat, wówczas kryształki, tworzące piatek, powracają do poprzedniego prawidłowego układu, co mogliśmy przewidywać, ponieważ pod wpływem ciśnienia tafelki układać się muszą znowu na płask. W obydwu wypadkach metal posiada budowę krystaliczną, lecz w zwykłej swej postaci piatek złota ma układ bardziej prawidłowy aniżeli, gdy zostanie wyżarzony. To samo zjawisko występuje w wypadku srebra. Aby móc je wykazać w wypadku miedzi, musielibyśmy wykonać doświadczenie w warunkach, niedopuszczających działania powietrza na metal. Gdy miedź nagrzewamy w zetknięciu z powietrzem, rychło pokrywa się ona całkowicie warstwą tlenku, co również daje się stwierdzić zapomocą promieni Roentgena. Często zauważyć możemy powstawanie tego nalotu na miedzi nawet przy zwykłej temperaturze. Z łatwością jednak wykazać można zapomocą promieni Roentgena, że w płatkach miedzi mamy taki sam układ tafelek krystalicznych, jak w płatkach złota. W bryle zwykłej miedzi natomiast nie znajdujemy takiego układu, kryształy rozrzucone są bezładnie.

Tak więc przyczyna tego, że wspomniane metale stają się twardszemi wskutek obróbki na zimno, pozostaje w pewnym związku z faktem, że metale te przechodzą przytem w stan napięcia, spowodowany zmianą układu kryształów, jaką wykazują promienie Roentgena. Wyżarzanie usuwa ten stan napięcia, niwecząc układ bardziej prawidłowy. Jaka jest istotna tego przyczyna, dotychczas orzec nie możemy; wystarczyć nam narazie winno, że posunęliśmy się o krok naprzód na drodze do rozwiązania tego zagadnienia.

Warto zaznaczyć, że, gdy metal w powyższy sposób wprowadzony zostanie w stan napięcia, naogół łatwiej ulega on działaniu odczynników chemicznych, co można było przewidywać. Ten stan napięcia, w jakim znajduje się metal, jest poniekąd stanem anormalnym.

Zkolei winniśmy przejść do rozpatrzenia innych szczególnych właściwości metali; skoro przypuszczać możemy, że wynikają one wszystkie z tych samych przyczyn, należy je rozpatrywać łącznie. Dwie z najwybitniejszych własności metali polegają na łatwości, z jaką przewodzą one ciepło i elektryczność. Wiemy wszyscy, jak szybko ciepło rozchodzi się w metalu: skłonni bylibyśmy nawet twierdzić, że własność ta jest cechą znamioną metali. Wiemy też wszyscy, że metale, zwłaszcza zaś miedź, używane są, jako przewodniki prądu elektrycznego.

Gdy przypomnimy sobie nasze poprzednie rozważania, dotyczące istoty atomów i różnic, zachodzących pomiędzy poszczególnymi rodzajami atomów, odrazu uderzy nas pewna cecha, która wyjaśnić nam może w zadowalający sposób, dlaczego metale są naogół dobrymi przewodnikami ciepła i elektryczności. Niewątpliwie też cecha ta stoi w bliskim związku z budową krystaliczną metali i ich rozciągliwością. Atomy metali zawierają zawsze jeden lub więcej elektronów, luźno związanych z układem. I tak np. atom sodu posiada naogół jedenaście elektronów, z których dwa znajdują się najbliżej jądra, a ośm dalszych tworzy nader odporną powłokę dookoła dwóch pierwszych. Pozostały t. j. jedenasty elektron należy już do innej, dalej nazewnętrz położonej powłoki, która zostaje stopniowo uzupełnioną, gdy przejdziemy od atomu sodu do atomu magnezu, w którym powłoka ta składa się z dwóch elektronów, a następnie do atomu glinu, w którym składa się ona z trzech elektronów i t. d. Ów nadliczbowy elektron nie jest mocno związany z układem atomu. Gdy zostanie od niego oderwany, atom przybiera nazewnętrz postać nietowarzyskiego atomu „neonu“, z tą różnicą, że posiada dodatni ładunek elektryczny naskutek utraty jednego elektronu, przez co naruszoną została równowaga ładunków elektrycznych układu. Kryształ glinu przedstawiać sobie możemy jako nagromadzenie kul, podobnych do atomów neonu; kule te, jak widzieliśmy, tworzą szczelnie

wypełniony układ, wśród którego poruszać się mogą mniej lub więcej swobodnie elektrony nadliczbowe. Musimy atoli zaznaczyć, że obraz ten jest niewątpliwie zbyt uproszczony, aby mógł on w całości oddawać istotny stan rzeczy; rozpatrywana przez nas budowa w rzeczywistości musi być daleko bardziej złożona i zawierać daleko więcej szczegółów, których dotychczas nie znamy. W pewnym stopniu jednak obraz nasz odpowiadać musi prawdzie. Pojmujemy teraz odrazu, dlaczego metale są dobrymi przewodnikami elektryczności: przyczyna leży w tem, że elektrony, owe podstawowe jednostki elektryczności ujemnej, z taką łatwością mogą się poruszać. Prąd elektryczny, przechodzący przez drut metalowy jest niczem innym, jak ruchem elektronów, dążących w pewnym kierunku. Ciekawem jest, że elektrony, będąc naładowane elektrycznością ujemną, poruszają się w kierunku odwrotnym do tego, jaki zazwyczaj przypisujemy t. zw. prądowi elektrycznemu. To opowiadanie o przepływającym prądzie elektrycznym polegało tylko na słowach, poza którymi nie wyobrażano sobie żadnej istotnej treści. Jest to całkiem niespodziewanem odkryciem, że w danym wypadku rzeczywiście coś znajduje się w ruchu, nie możemy się też dziwić, że kierunek tego ruchu w rzeczywistości jest odwrotnym do tego, jaki przypuszczaliśmy.

To też nie możemy przedstawiać sobie działania baterji elektrycznej lub dynamomaszyny w ten sposób, że wytwarzają one elektryczność, lecz uważać musimy, że wprowadzają one w ruch wzdłuż zamkniętego obwodu elektrony, które znajdowały się już tam uprzednio i mogą się poruszać mniej lub więcej swobodnie. Tak samo zupełnie, gdy maszyna parowa wprowadza w ruch skórzany pas napędny dookoła pędni, nie wytwarza ona skóry.

Podczas nagrzewania metalu bezładny ruch zawartych w nim elektronów staje się coraz szybszy tak, że wydostać się one mogą nawet nazewnątrż. W lampie radiowej elektrony nieprzerwanym strumieniem wydostają się

z rozżarzonego drutu i jest to podstawą działania lampy.

Elektrony poruszają się mniej swobodnie w metalu rozgrzanym aniżeli w metalu chłodnym. I w tym wypadku łatwo domyślić się możemy przyczyny. Jest bowiem zrozumiałem, że elektrony tem trudniej przedostawać się będą poprzez atomy, im szybciej te ostatnie poruszają się będą naskutek ciepła, zagrządzając tem częściej drogę elektronom. Daleko trudniej wytłumaczyć jest dziwne zjawisko, odkryte przez Kamerlingh Onnes'a w Lejden, polegające na tem, że niektóre metale przy pewnych bardzo niskich temperaturach — różnych dla różnych metali — nie przeciwstawiają żadnego oporu ruchowi elektronów tak, że puszczone przez nie prąd utrzymywać się będzie całemi dniami, zanim zacznie zanikać, gdy metal utrzymywany jest stale w tej niezmiernie niskiej temperaturze.

Podobnie, jak elektrony powodują przewodnictwo elektryczności, muszą się one przyczyniać w pewnej mierze do przewodnictwa ciepła w metalach, gdyż elektrony, znajdujące się u gorącego końca metalowej sztaby przekazywać muszą część nadmiernej swej energii elektronom, znajdującym się u zimnego końca.

Tak więc obecność w metalach elektronów, mogących poruszać się swobodnie wśród atomów w układzie krystalicznym, bardzo dobrze tłumaczy, dlaczego metale przewodzą zarówno ciepło, jak i elektryczność. Oczywiście, naszkicowaliśmy jedynie obraz w grubych zarysach. Wiele szczegółów musi go jeszcze dopełnić, zapewne też nie uwzględniliśmy w nim wielu istotnie ważnych a nieznanym nam jeszcze faktów.

Powróćmy jeszcze do zagadnienia rozciągłości metali i zbadajmy, czy i pod tym względem obecność elektronów może odgrywać pewną rolę. Przedstawiamy sobie obecnie atomy jako kule, naładowane wszystkie elektrycznością dodatnią i szczerlnie ułożone; nie bez słuszności przypuszczając zapewne możemy, że spoidłem, które je ze sobą

wiąże, są właśnie elektrony. Najważniejszym jest jednak to, że w metalach atomy nie są związane ze sobą zapomocą wspólnych elektronów, jak to ma miejsce w budowie djamentu, przeciwnie — muszą się one raczej odpychać nawzajem, skoro wszystkie naładowane są elektrycznością dodatnią. Mogą one toczyć się lub ślizgać jedne po drugich, nie będąc ze sobą związane w określonych punktach, jak to często ma miejsce w innych kryształach. Powinno nam to ułatwić wytłumaczenie, w jaki sposób odbywa się przesuwanie jednej warstwy ponad drugą wzdłuż płaszczyzny poślizgu.

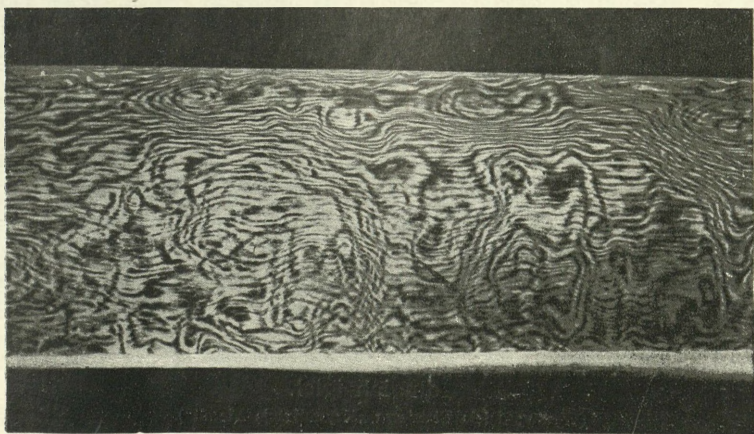
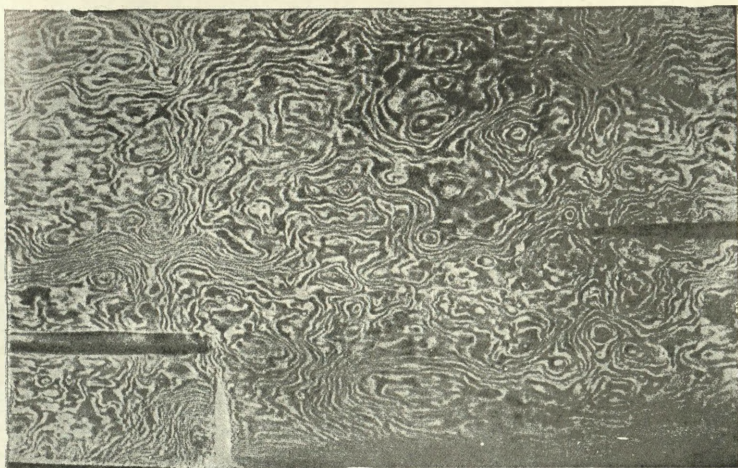
Rozpatrywaliśmy dotychczas budowę krystaliczną oraz własności szeregu metali w stanie czystym. W praktyce jednak spotykamy się daleko częściej ze stopami aniżeli z czystymi metalami, a to z tego powodu, że stopy posiadają nader cenne swoiste własności. Stopy stanowią w samej rzeczy niezmiernie interesujący przedmiot badań zarówno ze względu na ich olbrzymią rozmaitość, jak też ze względu na szeroki zakres ich użyteczności. Wynajdywane są wciąż coraz to nowe rodzaje stopów. Jakakolwiek byłaby szczególna zaleta, wymagana dla pewnego, całkiem określonego celu, zawsze pojawi się pewien rodzaj stopu, mogący w większym lub mniejszym stopniu sprostać temu wymaganiu. Spróbujmy wyjaśnić sobie te właściwości stopów, o ile to będzie możliwe, na podstawie zdobytych przez nas ostatnio wiadomości. Oczywiście, wiemy dotychczas tak mało i tyle pozostaje się jeszcze do wyjaśnienia, że po niewielu latach zapewne z pewnem politowaniem patrzeć się będziemy na obecne nasze próby, musimy jednak zrobić początek.

Zdarza się bardzo często, że bardzo mała domieszka innego metalu lub nawet innej jakiejś substancji powoduje w danym metalu znaczne zwiększenie twardości. Czyste metale są naogół bardzo miękkie, ponieważ płaszczyzny poślizgu tak łatwo się w nich poddają. Jako pierwszy z najbardziej znanych stopów pojawił się bronz, miesza-

nina miedzi i cyny, znacznie twardsza od każdego z tych dwóch metali, wziętych oddzielnie. Mieszanina miedzi z cynkiem daje tak użyteczny mosiądz, którego różne odmiany zależne są od stosunku, w jakim mieszanina zawiera obydwie metale. Stal powstaje naskutek nieznaczej domieszki węgla do czystego żelaza. Istnieją stopy miedzi z glinem, bardzo odporne i nie ulegające wyżarciu, lecz których obróbka na strugarce jest nader trudna. Istnieje też stop miedzi z niklem, który nie podlega korozji i daje się łatwo formować, używa się zaś do wyrobu płaszczków kul karabinowych. Najzylber (nowe srebro) jest to stop koloru białego, rozciągliwy, nie ulegający wyżarciu, używany do wyrobu nakrycia stołowego, jak łyżki i widelce platerowane, które następnie posrebrza się zapomocą galwanoplastyki. Stop niklu z chromem jest nader wytrzymały w wysokich temperaturach, używa się przeto do uzwojeń w piecach elektrycznych. Mieszanina, zawierająca określone ilości chromu, kobaltu i wolframu daje stop, zwany stellite, nadzwyczaj twardy i niepodlegający korozji; sporządzone są z niego niektóre odważniki wzorcowe w National Physical Laboratory. Istnieją stopy do odlewania dzwonów, stopy bardzo miękkie do odlewania czcionek, jak również wielka rozmaitość stopów do spawania metali. Bronz aluminjowy, z którego wyrabia się tanią biżuterję, jest stopem glinu z niewielką domieszką miedzi. Gdybyśmy chcieli tak dalej wymieniać różne rodzaje stopów, otrzymalibyśmy spis bardzo długi.

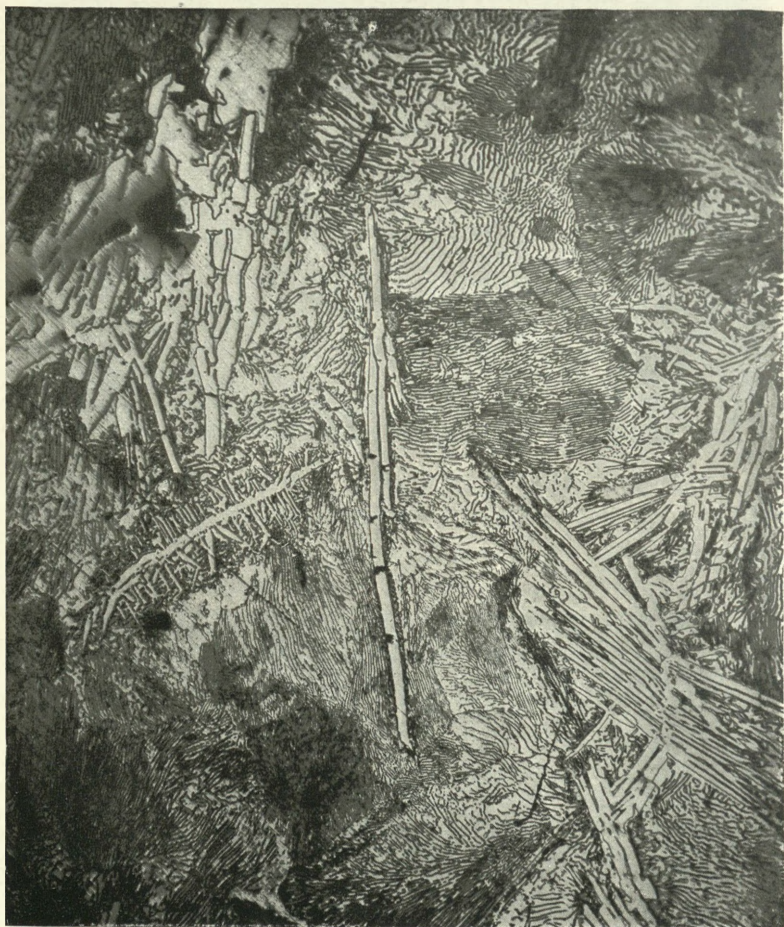
Weźmy, jako przykład, jeden z prostszych wypadków, w którym niewielka domieszka glinu do miedzi powoduje zwiększenie twardości. Promienie Roentgena wykazują, że budowa kryształów miedzi naogół pozostaje ta sama, a tylko tu i owdzie atomy miedzi zastąpione zostały przez atomy glinu. Jak widzieliśmy, słaba budowa kryształu polega na łatwości, z jaką jedne jego części przesuwają się mogą po innych wzdłuż pewnych określonych płaszczyzn. W wypadku rozpatrywanego przez nas obecnie stopu, nie

TABLICA XXVII



Klingi damasceńskie.
(Z dzieła Bielajewa „Krystalizacja metali“).

TABLICA XXVIII



Kryształki cementytu, tkwiące w masie stali, widoczne są w postaci długich igieł.

(Według dzieła Bielajewa „Krystalizacja Metali“).

mamy już do czynienia z płaszczyznami gładkimi, rozsiane są na nich atomy glinu, przypuszczać więc słusznie możemy, że owo przesuwanie się jednych części po drugich zostało utrudnione i że to właśnie jest przyczyną większej twardości.¹ Słuszność naszego przypuszczenia zdaje się potwierdzać pewne ciekawe zjawisko. Atomy glinu wprowadzać muszą zapewne w stan napięcia budowę krystaliczną miedzi, gdyż miedź nie jest w stanie wchłonąć ich więcej ponad pewną określoną ilość. Gdy sporządzimy stop zawierający więcej niż około 10% glinu, promienie Roentgena wykazują, że kryształy miedzi rozpadają się i zastąpione zostają przez całkiem odmienną budowę krystaliczną.² Atomy glinu w miarę zwiększania ich ilości zniekształcać muszą kryształy miedzi, co zgadza się w zupełności z tem, że dzięki nim miedź staje się twardszą. Gdy natomiast do miedzi dodamy niklu, atomy tego ostatniego zastąpić mogą atomy miedzi w dowolnej ilości; widocznie mogą one zająć miejsca atomów miedzi, nie wywołując znaczniejszych napięć wewnątrz kryształów.¹ W tym wypadku twardość zwiększa się względnie nieznacznie, co właśnie mogliśmy przewidywać. Zwiększenie twardości nastąpić może tylko wówczas, gdy do budowy wewnętrznej metalu wprowadzimy atomy, które wywołują w kryształach istotne napięcia i dzięki którym płaszczyzny poślizgu przestają być gładkimi. Płaszczyzny te zostają niejako zaklinowane.

W wypadku stali mamy do czynienia z podobnym stanem rzeczy z tą jednak różnicą, że atomy węgla, dzięki którym zwiększa się twardość, nie zastępują atomów żelaza, lecz umieszczone zostają w przerwach pomiędzy temi ostatnimi. Łatwo możemy pojąć, że to również zniekształcić może kryształy żelaza, uniemożliwiając tak,

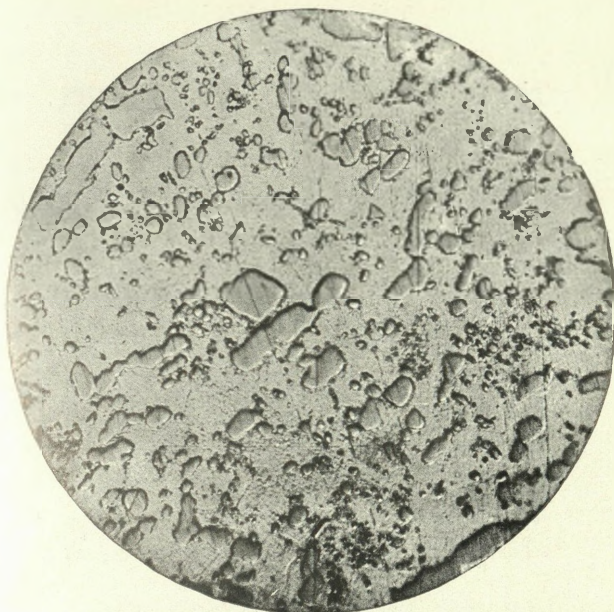
¹ Rosenhain, „Wewnętrzna budowa stopów“, Institute of Metals, Maj 2, 1923.

² Jette, Phragmen i Westgren, Institute of Metals, Marzec 1921.

jak w poprzednim wypadku, ruch wzdłuż płaszczyzny poślizgu. I tu również istnieje pewna maksymalna ilość domieszki. Normalna prosta budowa żelaza ostać się może bowiem tylko przy bardzo nieznacznej domieszce węgla.

Zagadnienia, dotyczące żelaza i stali, są jednak powikłane pod niejednym jeszcze względem. Wystarczy, że zapytamy, co się stanie, gdy dodamy węgla więcej, aniżeli wchłonąć w siebie może budowa krystaliczna żelaza; staniemy wówczas przed nowem zagadnieniem. Okazuje się, że pomiędzy innemi pojawia się nowy kryształ, składający się z cząsteczek, zawierających trzy atomy żelaza i jeden węgla; nazywamy go cementytem. Te nowe kryształy są bardzo twarde i odporne, występują one w postaci igieł (Tablica XXVII). Obecność ich czyni stal bardzo twardą i trudną do obróbki. Bardzo pięknym przykładem wpływu ich na zalety stali są dawne miecze i szable, które przed wiekami przedostały się z Indyj przez Damaszek do Europy. Stal damasceńska ceniona była wysoko ze względu na swe niezrównane zalety. Piękne jej okazy zobaczyć można w zbiorach Wallace'a. Posiadają one ów charakterystyczny deseń z linii falistych (Tablica XXVII), który uchodził zawsze za dowód autentyczności. Pod mikroskopem linje te rozpadają się na mnóstwo oddzielnych punktów, tworzących jakby drogę mleczną na tle stali. Punkty te są to kryształki cementytu. Według pułkownika Bielajewa pierwotny sposób wyrobu stali damasceńskiej był niezmiernie żmudny. W niewielkim piecu kował rozżarzał stal do czerwoności i przystępował do jej kucia, lecz już po niewielu uderzeniach młota zmiękczone stal stawała się znów twardą. Rozżarzanie usuwało tylko przejściowo twardość, spowodowaną kryształkami cementytu. Znowu trzeba było stal rozżarzać, wykonać parę uderzeń młotem i czynności te powtarzano kolejno po wiele razy aż powoli stal stawała się mniej sztywą. Wynik ten osiągnano dzięki temu, że w ciągu długotrwałej obróbki kryształki cementytu stopniowo zmieniają swą postać. Pierwotne igły wyginają się

TABLICA XXIX



A. Przekrój, powiększony tysiąckrotnie, wykazujący rozłamywanie i skręcanie się igiełek cementytu.
(Według dzieła Bielajewa „Krystalizacja Metali”).

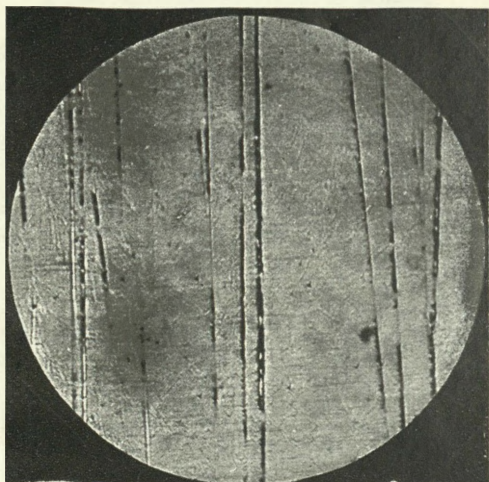


B. Ciemna wstęga jest znacznie powiększona rysa, wykonana za pomocą cienkiej igły na kawałku metalu zwierciadłowego.

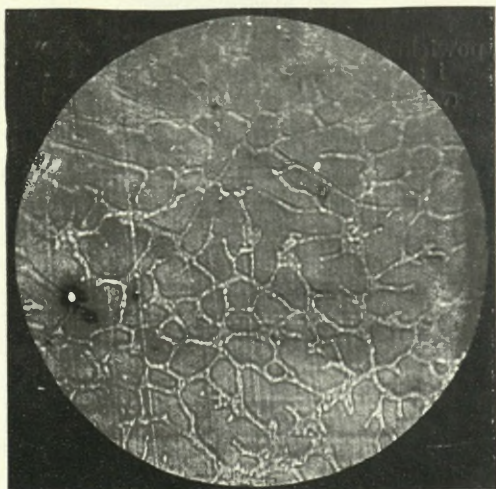
Cienkie rysy pionowe powstały wskutek polerowania proszkiem szmerglowym. Wiele drobnych cząstek zostało przytem oderwanych i osiadło w wyżłobieniu, zrobionem przez igłę.
(Według dzieła Beilby'ego „Stany skupienia i płynności ciał stałych”).

TABLICA XXX

A



B



A jest powiększeniem kawałka metalu zwierciadłowego, który po natarciu delikatnym szmergłem, polerowany był skórą z różem polerskim.

Metal, wprowadzony w stan płynności, pokrywa rysy, pozostałe po szmergłu; przypomina to nieco smarowanie bulki masłem. W B widzimy skutki dłuższego polerowania różem. Rysy od szmergłu zniknęły całkowicie, natomiast stają się widoczne zarysy ziaren krystalicznych metalu. (Według dzieła Beilby'ego „Stany skupienia i płynności ciał stałych” za zgodą autora).

i skręcają w przeróżny sposób i stal staje się przez to bardziej giętką (Tablica XXIX A). Otrzymywano wkońcu doskonałą stal damasceńską, tak wytrzymałą a jednocześnie tak elastyczną. Bardzo możliwe, że ostrość tych kling w znacznej mierze zawdzięczać należy obecności owych bardzo twardych kryształków, tkwiących w masie miększego żelaza. Możemy wyobrażać sobie ostrze takiej klingi jako piłę o niezmiernie drobnych zębach. Podczas prób zręczności, w których, jak to opisuje Walter Scott w swoim „Talizmanie“, współzawodniczyli ze sobą Saladyn i król Ryszard, pierwszy, rzuciwszy w górę szal, cienki jak pajęczyna, przeciął go swą szablą, co było wspaiałym dowodem ostrości klingi i zarazem zręczności. Ryszard Lwie Serce zaś użył swego miecza, jak topora, rozcinając na dwoje sztabę żelaza, mianowicie maczugę jednego ze swych rycerzy. Wyczyn ten wymagał również wielkich zalet stali, wykazana jednak przez wykonawcę zręczność polegała raczej na straszliwej sile uderzenia niż na subtelności dotknięcia.

Nader ciekawymi czynnościami są szlifowanie, ostrzenie i polerowanie. Podczas ostrzenia noża na kamieniu do szlifowania, twarde kryształy tegoż wyłabiają drobne rysy, usuwając przytem część tworzywa. Jest to jedną z faz ostrzenia. Polerowanie atoli na kamieniu naoliwionym lub na pasku do ostrzenia jest czemś zupełnie odmiennem. W tym wypadku istotnie wprowadzamy stal w stan płynności, dzięki czemu rysy zostają wygładzone i, jak to wykazał sir George Beilby, większe nieraz zagłębienia pokrywają się warstwą metalu. Jak się zdaje, metal przez cały czas zachowuje przytem swą budowę krystaliczną, zapomocą promieni Roentgena z łatwością stwierdzić możemy obecność kryształów w ostrzu brzytwy. Polerowanie polega prawdopodobnie na tem samem zjawisku, jak to, któreśmy zauważyli przy wyżarzaniu płatków złota. Użycie oliwy przyspiesza wygładzanie. Przejściowy stan płynności wprowadza metal w stan napięcia, który stop-

niowo zanika; szczególnie nagrzanie przyspieszyć może to zanikanie napięć wewnętrznych, a tem samem stępić ostrze (Tablice XXIX B, XXX, XXXI).

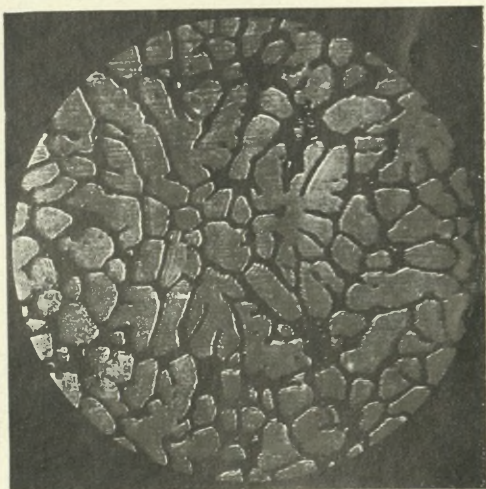
Stopy są naogół znacznie gorszymi przewodnikami elektryczności od czystych metali. Bardzo być może, że, gdy obce atomy przenikną do budowy krystalicznej czystego metalu, a co za tem idzie płaszczyzny, wzdłuż których uszykowane są jego atomy, przestają być gładkimi, ruch elektronów poprzez metal zostaje utrudniony. Utrzymanie tego ruchu zużywa więcej energii, naskutek czego stop więcej się nagrzewa od prądu elektrycznego, aniżeli czysty metal. Jak już zaznaczyliśmy, opór, jaki metal czysty przeciwstawia ruchowi elektronów, wzrasta z temperaturą. Możemy sobie wystawić, że elektrony z większą trudnością przedostają się poprzez atomy, gdy te ostatnie są bardziej ruchliwe; wiemy zaś, że im wyższa jest temperatura, tem szybsze są drgania atomów. W stopach podwyższenie temperatury nie odgrywa takiej roli, ponieważ ruch elektronów jest w nich już tak utrudniony, że ciepło nie może wywołać większych zmian. Możemy to wykazać zapomocą prostego doświadczenia:

Prąd elektryczny z baterji przechodzi przez obwód, posiadający dwa rozgałęzienia, jak to widzimy na rycinie (Tablica XXXII A). W jednym rozgałęzieniu znajduje się zwój drutu miedzianego M i żarówka L_1 , w drugim zwój z jakiegoś stopu np. drutu najzyłbrowego oraz żarówka L_2 . Opory elektryczne obydwu zwojów tak są dopasowane, że, gdy przechodzi przez nie prąd, obydwie żarówki zaledwie się żarzą. Gdy zwój M umieścimy w naczyniu z płynnem powietrzem, żarówka L_1 świecić będzie jasno. Oziębienie drutu miedzianego obniżyło opór, stawiany przezeń ruchowi elektronów, naskutek czego wzmocił się prąd, przechodzący przez żarówkę. Gdy jednak umieścimy w płynnem powietrzu zwój ze stopu, nie wywoła to żadnej zmiany.

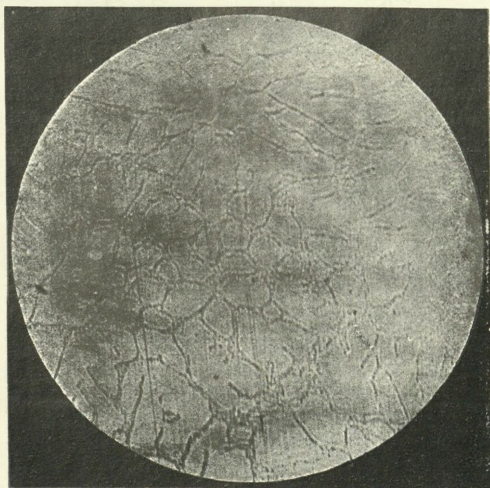
Niekiedy metale występują w paru odmianach, róż-

TABLICA XXXI

A



B



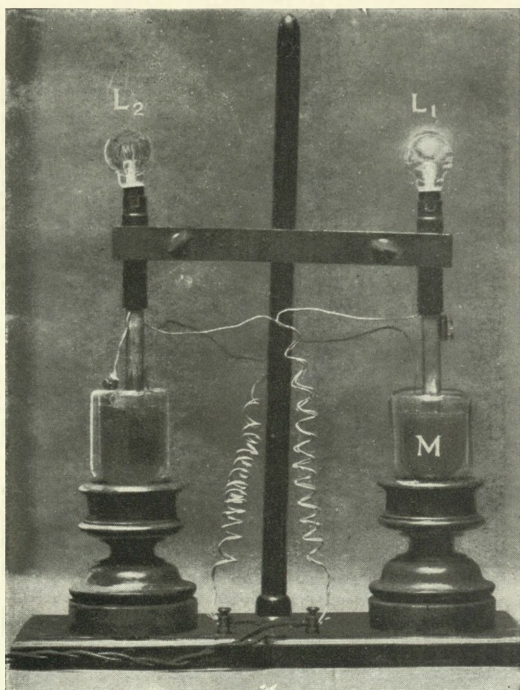
W A metal trawiony był kwasem.

Te jego części, które uprzednio wprowadzone były w stan płynności, z łatwością uległy działaniu kwasu i zostały usunięte, dzięki czemu ziarna krystaliczne występują bardzo wyraźnie.

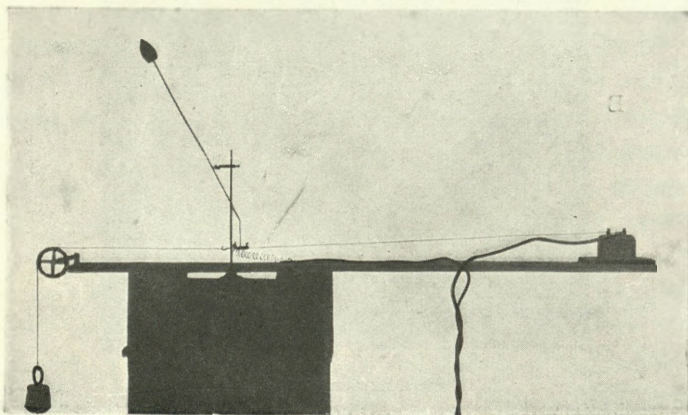
W B uwidocznione są skutki dalszego polerowania.

(Według dzieła Beilby'ego „Stany skupienia i płynności ciał stałych“ za zgodą autora.)

TABLICA XXXII



A. Opór zwoju drutu z metalu czystego został zmniejszony wskutek umieszczenia zwoju w mieszaninie oziębiającej.



B. Drut żelazny naciągnięty jest zapomocą zwieszającego się ciężarka.

Wydłużenie i kurczenie się drutu powoduje dający się łatwiej zauważyć ruch strzałki, połączonej z drutem zapomocą dźwigni. Drut nagrzewa się przechodzącym prądem elektrycznym.

niących się pomiędzy sobą budową krystaliczną. Jednym z najprostszych i najbardziej uderzających przykładów jest żelazo. W zwykłej temperaturze atomy żelaza układają się w ten sposób, że każdy z nich sąsiaduje z ośmiu innymi, tworzącymi wierzchołki małego sześcienu. Nie jest to najszczelniejszy rodzaj układu, o czym niebawem przekonamy się z doświadczenia. Omówiony przez nas poprzednio układ, jaki tworzą uszykowane w stos kule armatnie, jest najszczelniejszym, każda kula sąsiaduje w nim z dwunastoma innymi, z których sześć leży wzdłuż równika a po trzy z pozostałych wzdłuż równoleżnika w każdej z półkul; albo też, innymi słowami, sześć leży w tej samej warstwie, co kula, którą otaczają, a po trzy w warstwach sąsiednich. Ten rodzaj układu spotykamy u złota, srebra, miedzi i glinu. Otóż jest rzeczą nader ciekawą, że, gdy żelazo rozżarzone zostanie do czerwoności o odcieniu wiśniowym, następuje zmiana układu atomów, a mianowicie wspomniany powyżej układ mniej szczelny zastąpiony zostaje przez układ najszczelniejszy, t. j. taki, jaki tworzy stos kul armatnich. Zjawisko to najłatwiej daje się zauważyć, gdy rozgrzemy drut żelazny do temperatury wyższej niż wskazana i następnie pozwolimy mu się ochłodzić. Gdy dojdzie on do temperatury krytycznej, atomy nagle przechodzą do układu mniej szczelnego i drut nieco się wydłuża. Wydłużenie to łatwo daje się stwierdzić za pomocą odpowiedniej uwydatniającej je przekładni. Ciekawem też jest, że przy przejściu od układu szczelniejszego do luźniejszego wyzwolona zostaje pewna ilość energii, naskutek czego drut nagle się znowu rozżarza. To wydłużanie się i ponowne rozżarzanie znane już było oddawna, dopiero jednak w ostatnich czasach udało nam się ustalić, że przyczyna ich tkwi w istnieniu dwóch różnych układów krystalicznych, jakie tworzyć mogą atomy żelaza (Tabela XXXII B).

Tych parę przykładów związku pomiędzy własnościami metali a ich budową krystaliczną zaczerpniętych zostało

z olbrzymiej dziedziny zjawisk, których większość czeka jeszcze na zbadanie zapomocą naszego nowego tak skutecznego narzędzia pracy, jakim są promienie Roentgena. Nie możemy zgóry przewidzieć wyników, jakie mogą być osiągnięte. Możemy być jednak zupełnie pewni, że, im lepiej poznamy nasze tworzywa, tem lepiej potrafimy je zużytkować.

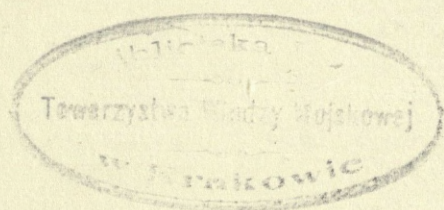
PRZYPISEK

Po wypróbowaniu wielu sposobów sporządzania modeli budowy cząsteczkowej oraz wielu materiałów, z jakich te modele sporządzać należy, doszliśmy do wniosku, że dwa poniżej wskazane są najodpowiedniejsze:

Kulki, wyobrażające atomy, zrobić możemy z wosku, używanego przez dentystów, który mięknie we wrzącej wodzie i któremu nadać możemy żadaną postać, ugniatając go w odpowiednich formach metalowych, tak, jak się to dawniej robiło przy naprawianiu piłek do golfa. Kulista forma składa się z dwóch połówek, przyczem jest wskazaniem, zacisnąć je na tokarni, jedną połówkę w szczękach, a drugą w suwniku. Małe kulki twardnieją natychmiast, i robić je można szybko; większe kulki pozostawić trzeba czas jakiś w formach. W twardym wosku z łatwością wiercić można otwory bez obawy, aby uległ on zmiękczeniu lub zniekształceniu wskutek rozgrzania, spowodowanego wierceniem. Modele, wykonane z tego wosku, mają bardzo piękny wygląd i nie ulegają zmianom przy zwykłych temperaturach. Wosk ten jednak jest dosyć kosztowny.

Daleko tańszymi są kulki drewniane. Otrzymać je można tylko w pewnych wielkościach, które jednak względnie dobrze dają się zastosować. Nie posiadają, co prawda, te kulki tak prawidłowego kształtu, jak kulki z wosku, ale nadają się w zupełności do celów praktycznych.

Kulki łączyć można bardzo dobrze zapomocą igieł gramofonowych, po wywierceniu uprzednio odpowiednich otworów w kulkach drewnianych lub woskowych. Otwory wiercić należy dokładnie w kierunku promienia kulki i w odpowiednich miejscach. Pomocne być mogą przytem proste urządzenia, jakie zastosować można na tokarni.



TREŚĆ

	Str.
WYKŁAD I.	
Atomy, z których zbudowana jest materja	1
WYKŁAD II.	
Istota gazów	31
WYKŁAD III.	
O istocie cieczy	62
WYKŁAD IV.	
Istota kryształów: Djament	86
WYKŁAD V.	
Istota kryształów: Lód i śnieg	118
WYKŁAD VI.	
Istota kryształów: Metale	150



S P I S T A B L I C

Tablica	Przystr.
I. (A) Model kryształu bizmutu. (B) Skrzynka wstrząsana z piaskiem	16
II. Aparatura Szimicu-Wilsonska do ujawnienia przebiegu promieni	17
III. Ślady przebiegu promieni alfa	24
IV. (A) Magnesy prętowe na sprężynach spiralnych. (B) Modele atomów z ich elektronami	25
V. (A) Pływające magnesy. (B) Kryształki w rurce, zawierającej emanację radu	32
VI. (A) Kamerton umieszczony nad otwartym naczyniem. (B) Przyrząd do wytwarzania mgły	33
VII. Dym z papierosa	44
VIII. Doświadczenia, wykazujące ciśnienie atmosfery	49
IX. Pustki w wodzie, powodujące przeżarcie śmig śrub okrętowych	64
X. (A) Duża kropla płynnej orto-toluidyny. (B) Bańki mydlane jedna wewnątrz drugiej	65
XI. (A) Koła, wytworzone przez rozpostarcie drobnych kropelek oliwy. (B) Łódź kamforowa	80
XII. (A) Woda wzburzona. (B) Oliwa uspokajająca burzę. (C) Jagody winne w wodzie sodowej	81
XIII. Postacie kryształów	97
XIV. (A) Model djamentu. (B) Siatka płaska w rysunku tapety	98
XV. Djament Cullinan	112
XVI. (A) Warstwy w kryształach grafitu. (B) Możliwe postacie pierścienia benzołowego	113
XVII. Różne postacie kryształków śniegu	120
XVIII. Różne postacie kryształków śniegu	121

Tablica	Przy str.
XIX. Aureola i uboczne obrazy słońca	128
XX. (A) Lód z lodowców. (B-C) Modele budowy krystalicznej lodu	129
XXI. (A) Model cząsteczki pentanu. (B) Widmo rentgenowskie węglowodanu. (C) Model budowy krystalicznej soli kamiennej	144
XXII. Dwa zdjęcia fotograficzne glinu	145
XXIII. Ziarna krystaliczne w próbce stali	152
XXIV. Modele, uwidoczniające układ zwarty	153
XXV. (A) Układ sześcienny. (B) Układ sześciokątny	161
XXVI. Poddawanie się glinu przy rozciąganiu	162
XXVII. Klingi damasceńskie	168
XXVIII. Kryształki cementytu	169
XXIX. (A) Kryształki cementytu rozłamywane i skręcane. (B) Rysa od igły na wypolerowanym kawałku metalu zwierciadłowego	170
XXX. Powierzchnia metalu zwierciadłowego po natarciu delikatnym szmerglem i po polerowaniu skórą z różem polerskim	171
XXXI. Dalszy ciąg Tablicy XXX.	172
XXXII. (A) Doświadczenie, wykazujące wpływ temperatury na opór elektryczny. (B) Doświadczenie, wykazujące zmianę budowy krystalicznej żelaza przy temperaturze krytycznej	173



38339 /
2