

XV. O WYNIKACH NOWSZYCH BADAŃ NAD PROMIENIOWANIEM ¹⁾.

(Kosmos, Czasopismo polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika, zeszyt II i III, 1900; str. 74—87).

Zdaje mi się, iż ze stanowiska ogólnego filozoficznego może żadna inna część fizyki nie przedstawia takiego interesu, jak optyka. Podczas gdy w wielu innych działach fizyki n. p. w mechanice, nauce o przewodzeniu ciepła i t. d., do dziś dnia teorie pierwszych badaczy na tem polu (Newtona, Fouriera) prawie niezmiennione zachowały się, ograniczając się do szczegółowego ich wykończenia, przeciwnie w optyce ciągle mamy zmianę zapatrywań, ciągle walkę różnych teoryj.

Tak mianowicie w zapatrywaniach na kwestję zasadniczą, na istotę światła, trzy razy nastąpił zupełny przewrót.

Aż do czasu 1820—1830 panowała stara teoria emisyjna Newtona; według niej światło miało polegać na wyrzucaniu drobnych cząsteczek ze źródła światła na wszystkie strony, które przechodzą przez ciała przezroczyste, a wpadając w oko ludzkie, wywołują wrażenie światła. Wtedy dzięki badaniom Fresnela górę wzięła teoria undulacyjna, która uważa światło za ruch mechaniczny eteru, ruch drgający, poprzeczny do kierunku promienia, a w najnowszych czasach wreszcie ta ostatnia kompletnie wyparta została przez teorię elektromagnetyczną Maxwella.

Wiadomo, że według tej ostatniej teorii drgań światła nie należy pojmować jako drgania mechaniczne, jak n. p. drgania ciał sprężystych, tylko jako drgania względnie falowania elektromagnetyczne, t. j. jako peryodycznie powstające siły elektryczne i ma-

¹⁾ Odczyt wygłoszony na walnym zgromadzeniu Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika 19 Intego 1900 r.

gnetyczne, naturalnie także skierowane poprzecznie do kierunku promienia.

Wiadomo także, że wytwarzamy sztucznie w naszych laboratorjach drgania elektryczne, powodujące falowania elektromagnetyczne w otaczającym nas powietrzu (to są owe fale Hertza, których Marconi używa w telegrafie bez drutu), które pod względem odbijania, załamania, uginania, polaryzacji etc. całkiem analogiczne mają właściwości jak światło i od niego tylko ilościowo się różnią, nie jakościowo, mianowicie długością fal.

Im mniejszych używamy aparatów do tworzenia fal elektrycznych — tak zwanych vibratorów — tem krótsze są fale przez nie wydawane; nie zdołano jednak jeszcze tym sposobem dojść do fal krótszych niż $\lambda = 4$ mm. (zwykle fale Hertzowskie mają długość kilku cm. aż do kilku km.), ponieważ nasze dotychczasowe aparaty zawsze jeszcze zanadto są niezgrabne i nieczułe. Tymczasem najdłuższe fale świetlne ¹⁾, które zresztą już weale nie działają na oko ludzkie i które tylko spostrzec można wskutek ich wpływu ogrzewającego, wynoszą $\lambda = 40 \mu = 0.04$ mm. (zwykle fale świetlne, wi-dzialne, mają $\lambda = 0.0003$ do 0.0008 mm).

Ciekawą jest kwestja — wobec tak znacznej różnicy — jaki może być ów mechanizm elektryczny zawarty w cząsteczkach czy w atomach ciał materjalnych, wydający fale elektryczne tak krótkie a stosunkowo silne; jakimi są zwykle promienie świetlne. Na tę samą kwestję później jeszcze w inny sposób naprowadzeni zostaniemy, gdy bliżej poznamy historyczny rozwój naszej nauki w ostatnich latach.

Otóż zdaje mi się, że teraz znów odbywa się przewrót w optyce, ale przewrót innego rodzaju, bo nie zasadnicza zmiana teorii, lecz ogromne rozszerzenie zakresu optyki, zdobycie nowego pola działalności przez to, iż rozpoczęto gruntowne badanie zjawisk promieniowania.

Jeżeli weźmiemy do ręki jakiś z dotychczasowych podręczników optyki teoretycznej albo jakąś książkę szkolną, to znajdziemy tam następujący podział przedmiotu: 1. Katoptryka t. j. nauka o odbiciu światła. 2. Dioptryka (załamanie światła). 3. Interferencja

¹⁾ Używam tutaj wyrażenia „fale świetlne“ w trochę obszerniejszem znaczeniu, niż się to zwykle czyni, stosując tę nazwę także do promieni ciemnych, t. zw. promieni ciepła, aby nacisk położyć na to, że w istocie wszystkie te rodzaje promieni są takie same, równie jak mówimy o tomach 50 000 drgań, chociaż i tych nikt nie jest w stanie usłyszeć.

i uginanie światła. 4. Polaryzacja i podwójne załamywanie. Ledwie że kilka słów bywa dodanych o analizie spektralnej Kirchhoffa.

Wspólną cechą tamtego wszystkiego jest to, że uważamy fale światła za zjawisko dane, nie troszcząc się o źródło, z którego ono pochodzi; badamy tylko zmiany, które następują podczas przechodzenia promieni przez różne ośrodki wskutek tego, że natrafiają na różne ciała załamujące, polaryzujące i t. d.

Teraz rzecz ta stanowczo się zmieni; w najnowszych czasach wszyscy zwrócili się do badania zjawisk promieniowania t. j. do badania warunków, w których światło powstaje i do zbadania praw, od których zależy jakość i natężenie światła; a z czasem zapewne ta teoria promieniowania stanie się najważniejszą częścią, fundamentem optyki, podobnie jak teraz analogiczna teoria głosu w zależności od instrumentów muzycznych główne miejsce zajmują w akustyce.

Dokładniej zbadano dotąd pod owym względem tylko normalny typ powstania promieni, polegający na podniesieniu temperatury.

Wszystkie ciała bowiem już w zwykłej temperaturze wysyłają promienie, w miarę podnoszenia temperatury zawierające coraz więcej fal krótkich i wzmagające się w natężeniu, aż koło 500° C rozpoczyna się żarzenie. Tym normalnym typem promieniowania — można je nazwać termicznym — mianowicie także zależnością jego od temperatury, tutaj specjalnie będziemy się zajmowali.

Za podstawę teorii promieniowania należy uważać sławne prawo Kirchhoffa, które tenże wywiódł rozumowaniem teoretycznym z zasad termodynamiki i które także u niego służyło jako teoretyczna podstawa analizy spektralnej.

Powiada ono, że stosunek promieniowania ciała do jego zdolności absorptywnej (dla każdego gatunku promieni) jest wielkością, która nie zależy od natury ciała, tylko od jego temperatury i którą on nazwał: promieniowaniem ciała doskonale czarnego.

Innymi słowy:

Porównajmy promieniowanie różnych ciał, ogrzanych do pewnej temperatury n. p. 2000° C. Każde ciało będzie wysyłało promienie różnych rodzajów, które przedstawiamy sobie uporządkowane według długości ich fal λ n. p. w ten sposób, że przepuścimy je przez pryzmat załamujący, albo jeszcze lepiej, że rzucimy je na siatkę dyfrakcyjną, tak że rozłożą się one na widmo; jeżeli długości fali wykreśliśmy jako odcięta, a natężenie odpowiednich promieni jako

rzędną, otrzymamy krzywą, która będzie przedstawiała natężenie i skład promieni wydzielanych przez to ciało, n. p. ϵ (fig. 1).

Najsilniejsze promienie wszystkich gatunków ϵ będzie jednak wysyłało ciało zwane doskonale czarnem t. j. takie, które pochłania wszystkie promienie na nie padające (w przybliżeniu zrealizowane przez ciała pokryte sadzą); a stosunek między natężeniem pewnych promieni tego czarnego ciała a ciała specjalnego, badanego t. j. stosunek rzędnych $\frac{\epsilon}{\epsilon}$ będzie równy, współczynniki absorpcji ciała badanego dla tychże promieni, który prawie jest niezależny od temperatury.

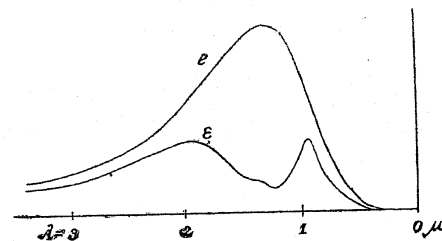


Fig. 1.

Jeżeli znamy więc skład i natężenie promieni wysyłanych przez ciało doskonale czarne w jakiejś temperaturze, możemy znaleźć skład promieni wysyłanych przez każde inne ciało w tej temperaturze, jeżeli znamy jego zdolność absorptywną, którą można mierzyć za pomocą innych metod.

To znaczy, że możemy wtedy zredukować zjawiska promieniowania do zjawisk absorpcji i odwrotnie. Tak n. p. para sodu nie pochłania prawie żadnych innych promieni jak te, które mają długość fali $\lambda = 0.000589616$ mm. i $\lambda = 0.000589019$ mm., więc i odwrotnie, nie wysyła ona innych promieni jak właśnie te dwa gatunki, które tworzą znaną żółtą linię podwójną D .

Zatem zadanie nasze będzie dwojakie: 1) musimy zbadać promieniowanie ciała doskonale czarnego w zależności od jego temperatury; 2) zdolność absorptywną ciał indywidualnych, która w pewien sposób w związku być musi z ich innymi własnościami chemicznymi i fizycznymi.

Pierwsze zadanie, zbadanie składu i natężenia promieni wysyłanych przez ciało czarne, jest problematem niemal klasycznym, dla rozwiązania którego wiele pracy użyto od kilkudziesięciu lat, aż dopiero w ostatnich czasach udało się rozwiązać kwestję równocześnie drogą doświadczalną i teoretyczną.

Nadzwyczaj ciekawy jest wywód teoretyczny prawa tutaj zachodzącego, podany przez W. Wiena, którego na tem miejscu jednak niestety szczegółowo roztrząsać nie mogę. Tylko o historii tego wywodu kilka słów powiem, ponieważ ilustruje ona dobrze różnicę między terażniejszą metodą badania a dawniejszą.

Otóż Stefan już w roku 1878 wygłosił hipotezę, że całkowita ilość promieniowania proporcjonalna jest do 4-tej potęgi bezwzględnej temperatury (T^4); tymczasem była to tylko hipoteza, z którą nawet ówczesne spostrzeżenia niezbyt dobrze się zgadzały; później jednak Boltzmann, opierając się na myśli, podanej przez Wiocha Bartoliego, teoretycznie dowiódł ścisłości prawa Stefana; to stanowi jeden ważny punkt wywodu Wiena.

Amerikanin Michelson starał się znaleźć drogą teoretyczną ogólne prawo promieniowania; wywód jego porzuceno, ale Wien zatrzymał z niego jedno założenie t. j., że długość fali promieni wysyłanych przez cząsteczkę gazu zależy od prędkości, z którą ta cząsteczka się porusza; oprócz tego uwzględnił zasadę Dopplera. (patrz dalej), według której barwa światła zależy w pewien sposób także od prędkości, z jaką się przybliżamy lub oddalamy od źródła światła, wreszcie jeszcze Maxwella prawo co do rozkładu prędkości między cząsteczkami gazu. Te wszystkie pierwiastki połączył, zmieszał je razem, ujawniwszy je w schemat termodynamiczny i z tego powstało prawo promieniowania Wiena.

Więc jest to konglomerat myśli, na które złożyło się przynajmniej sześciu albo siedmiu ludzi, co porównać należy z powstaniem teorii undulacyjnej, owego olbrzymiego dzieła, zawierającego teorię polaryzacji, dyfrakcji, podwójnego załamania etc., skonstruowanego przez Fresnela samego, jedyne; zdaje się, że i na tem polu dzisiaj mrówcza praca ogółu zastępuje dawniejszy sposób postępu: pracę pojedynczych geniuszów.

Prawo Wiena mówi, że natężenie J_λ promieni pewnej długości fali λ (t. j. rzędna w figurze (1)) w następujący sposób zależy od temperatury T ciała promieniującego:

$$J_\lambda = \frac{A}{\lambda^5} e^{-\frac{B}{\lambda T}}.$$

gdzie e oznacza podstawę logarytmów naturalnych, A i B dwie wielkości stałe, które doświadczalnie oznaczyć trzeba.

Znaczenie tej formuły okazuje system krzywych umieszczony w fig. 2, przedstawiający natężenie promieni wysyłanych przez ciało czarne ogrzane do temperatury 2160°, 1880°, 1440° (abs).

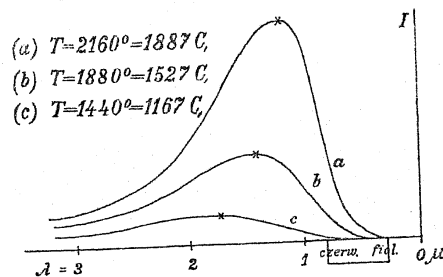


Fig. 2.

Uderzającym faktem jest, jak dalece wzmagają się całkowita ilość promieniowania, to jest wielkość pola ograniczonego przez te krzywe, z podwyższeniem temperatury (ponieważ, jak wspominaliśmy, jest proporcjonalna do czwartej jej potęgi). Powtórze, oczywiście jest, że równocześnie powiększa się zawartość procentowa fal krótkich, tak że maximum przesuwa się w tymże kierunku (według prawa: $T_{\text{max}} = \text{const} = 2940$).

W dolnej części figury zaznaczyłem część widma, która działa na oko ludzkie jako światło (t. j. od $\lambda = 0.35$ do 0.8μ). Widoczny jest z tego, jak mało z całkowitej wydawanej energii użyt-

1) Wiadomo obecnie, że t. zw. prawo promieniowania Wiena nie jest ani teoretycznie uzasadnione ani z doświadczeniem zgodne. W dobrej zgodzie z doświadczeniem okazało się prawo promieniowania czarnego odkryte przez Plancka wkrótce po ukazaniu się niniejszej pracy Smoluchowskiego. Gdy iloczyn λT w powyższej formule promieniowania jest mały w stosunku do stałej B , prawo Plancka przeobraża się w prawo Wiena, które zatem jest tylko szczególnym przypadkiem prawa Plancka. Wywody powyższe (str. 252-254) wymagają więc pewnego sprostowania (I rzyp. wyd.).

kowane zostaje jako światło i jak wiele się traci jako „ciepło promieniste”. Oczywiście, że zwykłe sposoby oświetlania zapo-
mocą ciał ogrzanych tylko do kilkunastuset stopni (świec, gazu,
węgla w lampach żarowych) nadzwyczajnie są nieekonomiczne i że
stosunkowo najkorzystniejszym byłoby źródło światła o temperaturze
około 6000°, do czego zbliża się nieco więcej światło auerowskie
i zwłaszcza łuk elektryczny.

Ze składu światła n. p. z położenia maximum a jeszcze lepiej
z natężenia całkowitego promieniowania można także odwrotnie
obliczyć temperaturę ciała promieniującego w założeniu, że można
je uważać za ciało czarne. Tak n. p. oznaczono temperaturę owych
warstw słońca, z których otrzymujemy nasze światło dzienne, okrągło
na 6000° C.

Astronom amerykański Very oznaczył tym samym sposobem
temperaturę księżyca, wznoszącą się w części oświetlonej tarczy
wskutek 14-dniowego ciągłego ogrzewania przez promienie słoneczne
do +100°, a spadającą w części nieoświetlonej wskutek również
długiego oziębiania do -150° C.

Co do zdolności absorbyjnej różnych ciał, najciekawszymi zdają
się być gazy, ponieważ w nich absorbcja jest ograniczona do pew-
nych pojedynczych gatunków promieni, wskutek czego widma ab-
sorbyjne okazują znane linje czarne Fraunhofera, a widma
emisyjne — odpowiednie jasne linje na czarnym tle. Jak wiadomo,
pozycja tych linij jest charakterystyczna dla każdego pierwiastka
chemicznego, na czym właśnie polega analiza spektralna. Ogromny
materiał doświadczalny nagromadzono od czasów Kirchhoffa aż
do dziś dnia pod tym względem, kilkadziesiąt tysięcy tych linij
oznaczono co do ich długości fali i to z nadzwyczajną dokładno-
ścią. Pozycje ich należą wogóle do najdokładniej znanych stałych
fizycznych, przeciętne błędy prawdopodobnie nie wynoszą więcej niż
0.01 do 0.001 procentu.

Naturalnie starano się dopatrzeć jakiegoś prawa, według któ-
rego te linje rozdzielone są w widmie, ponieważ przecież przy-
puszczać nie można, żeby one całkiem przypadkowo właśnie
zajmowały pewne miejsca; ale długi czas napróżno. Uwzględniano
analogję optyki z akustyką: tak jak wiele naszych instrumen-
tów muzycznych wydaje tony górne harmonijne t. j. takie, któ-
rych liczby drgań są w stosunku liczb całkowitych 1:2:3:4:5:6,
szukano także tutaj podobnych związków: ale tą drogą do żądanych

zadawalniających wyników nie można było dojść, długości fal linij
widmowych nie pozostają w tak prostych stosunkach.

Nareszcie Szwajcar Balmer (1855) zrobił ważne odkrycie:
udało mu się znaleźć formułę matematyczną nadzwyczaj prostą,
która oznacza z wszelką możliwą dokładnością długość fali linij
wodoru: $\lambda = A \frac{n^2}{n^2 - 4}$, gdzie należy wstawić stałą $A = 0.00036472$,
a za n wszystkie liczby całkowite, począwszy od 3.

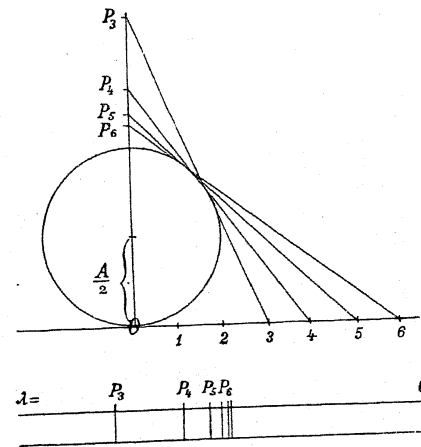


Fig. 3.

W części widocznej widma wodór ma tylko 4 linje, ale w części
pozafoletowej znaleziono jeszcze 10 innych, a wszystkie 14 otrzy-
mujemy z powyższego wzoru, wstawiając za n liczby od 3 aż
do 17.

Jeszcze dziwniejszą wydaje się ta rzecz, jeżeli się uwzględni,
w jak prosty sposób geometrycznie związek między temi 14 linjami
można określić (fig. 3).

Wykreślmy koło o promieniu $r = \frac{A}{2}$ na osi Y , a na osi X
odetnijmy odcinki $\frac{r}{2}, \frac{2r}{2}, \frac{3r}{2}, \frac{4r}{2}, \dots$, wtedy styczne wykreślone
z tych punktów do koła będą odcinały na osi Y odcinki $OP_3,$

OP_4 , OP_5 etc., które są równe (uwzględniając różnicę rozmiarów figury) długościom λ linii wodoru.

Później Kayser i Runge a także niezależnie Szwed Rydberg pokazali, że podobne, chociaż więcej skomplikowane związki zachodzą także dla innych pierwiastków. Na pierwszy rzut oka widmo ¹⁾ potasu, sodu etc. (fig. 4 a) nie przedstawia żadnej regularności; wiadomo jednak, że między niektórymi liniami istnieją pewne podobieństwa: niektóre są grubsze, inne cieńsze, niektóre są ostro narysowane, inne więcej zamazane i t. p., a jeżeli się odosobni te gatunki, to widać, że każda grupa b), c), d), dla siebie znów two-

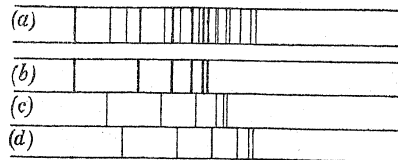


Fig. 4 a).

rzy szereg, albo serję podobną do owej serji linii widmowych wodoru i każdą serję znów można przedstawić zapomocą formuły podobnej do tamtej, choć trochę więcej skomplikowanej. N. p.:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = A - \frac{B}{n^2} - \frac{C}{n^4}$$

Najciekawszy jednak jest związek z naturą chemiczną pierwiastków. Mianowicie: pierwiastki należące do tych samych grup systemu perjodycznego Mendelejewa mają widma analogicznie budowane.

Tak n. p. wzór właśnie przytoczony, który określa ugrupowanie podobne do widma wodoru, odnosi się tylko do trzech pierwszych grup, a między nimi znów pewne zachodzą różnice; pierwsza grupa (*Li, Na, K*) posiada 3 serje linii, z których każda jest podwójną (dublet); druga (*Mg, Ca, Sr, Jn, Cd, Hg*) dwie serje linii potrójnych (triplets), trzecia (*Al, Jn, Tl*) dwie serje linii podwójnych.

¹⁾ Nie zawsze wszystkie linie występują wyraźnie, w zwykłych aparatach widać tylko główne, najsilniejsze, tutaj zawsze mowa o wszystkich widzialnych.

a pośród pojedynczych grup znów okazują się pewne regularności w wartościach stałych *A, B*, charakterystycznych dla każdej serji. Widma grup IV, V, VI i t. d. są więcej skomplikowane, zdołano częściowo rozłożyć je w serje takie, że ugrupowanie jest analogiczne — widma tlenu, siarki, selenu składają się aż z sześciu takich serji — ale odpowiednich wzorów matematycznych jeszcze nie posiadamy.

W każdym razie dokonaliśmy ogromnego postępu w teorii promieniowania; poznaliśmy dziwne regularności zachodzące w widmach gazowych i znaleźliśmy proste matematyczne wzory, które określają długości fal, więc jakoś promieni, wysyłanych przez gazy.

Ale teraz zachodzi pytanie: jakie jest znaczenie tych praw, jak sobie te zjawiska można wytłumaczyć? Pod tym względem nie jeszcze nie można powiedzieć, gdyż tej zagadki jeszcze nie rozwiązano ¹⁾. Chodzi oczywiście o to, aby wyułaś jakiś mechanizm, któryby wysyłał właśnie tylko fale tych pewnych gatunków; więc jeżeli się powołamy znów na analogję z akustyką: chodzi o to, aby odgadnąć konstrukcję jakiegoś instrumentu muzycznego, jeżeli wiemy, jakie tony ten instrument wydaje. Nie jest to rzeczą tak zupełnie dziwną, bo dane są nam nie tylko tony fundamentalne, lecz także wszystkie tony harmoniczne, więc to, co w akustyce nazywamy barwą głosu ²⁾. W akustyce moglibyśmy rozwiązać cały szereg takich zadań, tutaj jednak napotykamy na odmienny typ formuł, określających drgania swobodne; a do rozwiązania tej kwestji jeszcze najmniejszej wskazówki nie posiadamy ³⁾. Przytem trzeba by przetłumaczyć wszystko na język elektromagnetyczny, t. j. należałoby szukać mechanizmu elektrycznego, vibratora hertzowskiego, któryby mógł wywołać owe falowania elektryczne. Jeszcze ciekawszem staje się to zadanie, jeżeli uwzględnimy kilka innych zjawisk nowo odkrytych, o których jeszcze chciałbym krótko wspomnieć.

¹⁾ W r. 1913 ukazała się pierwsza praca Nielsa Bohra o budowie atomu wodoru; od tego czasu budowa materji w związku z zagadką promieniowania jest przedmiotem licznych i owocnych poszukiwań naukowych (*Przyp. wyd.*).

²⁾ Co prawda, materiał doświadczalny tutaj o tyle jest niekompletny, że 1) ogranicza się on do stosunkowo małej części widma i 2) nie mamy jeszcze wcale pomiarów natężenia różnych linii.

³⁾ Należy o tem pamiętać, że powyższa praca była pisana w r. 1900. (*Przyp. wyd.*).

Otóż Kirchhoff jeszcze początkowo sądził, że pozycja linii widmowych jest całkiem niezmienna, że gaz we wszystkich możliwych warunkach wydaje tylko właśnie te same promienie. Później spostrzeżono jednak, że czasem n. p. linie wodoru w protuberancjach na słońcu trochę się przesuwają i słusznie tłumaczono to, powodując się na zasadę Dopplera już przedtem wspomnianą. W akustyce jest to dobrze znane zjawisko, że n. p. ton świstawki lokomotywy wydaje się nam wyższym, gdy lokomotywa się zbliża a niższym gdy się, oddala, co polega na tem, że, zbliżając się do lokomotywy, chwytamy większą ilość fal wskutek naszego ruchu, aniżeli oddalając się. Tak samo i tu w optyce: jeżeli się zbliżamy do źródła światła, będzie się ono wydawało trochę więcej niebieskawe i wszystkie linie widmowe przesuną się w kierunku ku niebieskiemu końcowi widma a jeżeli się oddalamy — ku czerwonemu. Naturalnie te przesunięcia są stosunkowo bardzo małe, n. p. wynosiłyby $\frac{1}{10000}$ długości fali wskutek ruchu postępowego ziemi (4 mile geogr. na sek.).

Wiadomo, że mierzono tym sposobem także prędkość ruchu obrotowego słońca, prędkości gazów wybuchających na słońcu (osiągających w protuberancjach czasem 500 km/sec), że obliczono prędkości, z którymi tak zwane stałe gwiazdy zbliżają lub oddalają się od nas, i nawet wyznaczono punkt nieba, ku któremu prawdopodobnie cały nasz system słoneczny się porusza (układ Herkulesa). Ten ostatni wynik wszakże jest znacznie więcej hypotetyczny, bo opiera się na nieprawdopodobnem przypuszczeniu, że prędkości gwiazd są rozdzielone nieregularnie, przypadkowo.

Ale innych czynników, któreby były w stanie spowodować przesunięcie linii widmowych, nie znano. Dopiero przed czterema laty fizycy amerykańscy Humphreys i Mohler odkryli niespodziewane zjawisko tego rodzaju, mianowicie, że wszystkie linie widmowe przesuwają się trochę w kierunku ku czerwonemu końcowi widma, jeżeli gaz świecący (n. p. wskutek iskier elektrycznych) lub absorbujący poddajemy większemu ciśnieniu.

W pierwszym momencie powstało zamieszanie między tymi, którzy obrachowywali prędkości gwiazd z przesunięcia linii, bo ktoś teraz mógł rozstrzygnąć, czy przesunięcie pewnej linii widmowej zawdzięczamy temu, iż gwiazda się oddala od nas czy też temu, że gazy świecące na niej pod wielkiem znajdują się ciśnieniem?

Na szczęście rzecz nie jest tak niebezpieczną, bo po pierwsze

te przesunięcia wskutek ciśnienia zwykle jeszcze są wiele mniejsze niż owe, które powstają wskutek znacznych prędkości gwiazd, a powtórę można do pewnego stopnia jedne od drugich odróżnić, ponieważ wielkość przesunięć przedtem omawianych — wskutek prawa Dopplera — równa jest dla wszystkich linii wszystkich pierwiastków, a wielkość przesunięć wskutek ciśnienia nierówna.

Albowiem tu znów dziwne zachodzi zjawisko: pokazuje się, że linie, które należą do tej samej serii widmowej (przedtem omawianej), więc które określone są przez wspólną formułę matematyczną, także według tego samego prawa się przesuwają. Jeżeli podzielimy przesunięcie odpowiadające jednostce ciśnienia przez długość fali λ , to dla wszystkich linii jednej serii otrzymujemy tę samą liczbę, a ta liczba — określająca zatem przesuwalność linii — znów w dziwnym związku jest z perjodycznym systemem pierwiastków:

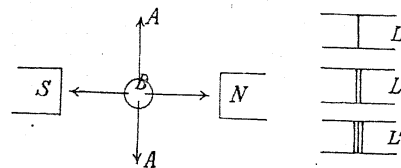


Fig. 5.

jest ona funkcją perjodyczną ciężaru atomowego, osiągającą największe wartości w pierwiastkach pierwszej grupy (Li, Na, K, Rb, Cs).

Nie dosyć to, odkryto jeszcze trzeci czynnik działający na pozycję linii widmowych — dawniej uważaną jako niezmienną stałą — mianowicie siły magnetyczne. Zeeman, fizyk holenderski, spostrzegł w r. 1897, że linie widmowe rozszczepiają się, jeżeli wielkie siły magnetyczne działają na źródło światła. Jeżeli postawimy n. p. płomień Bunsena B , żółto zabarwiony przez sól, między bieguny elektromagnesu, to w widmie promieni wychodzących w kierunku linii sił BN, BS (fig. 5) każda linia widmowa L podwoi się (L') a w widmie promieni wychodzących w kierunku prostopadłym (AB) na jej miejscu pokaże się linja potrójna (triplet L''). Rozszczepienie, stosunkowo nadzwyczaj małe (przy doświadczeniach Zeemana wynosiło ono tylko $\frac{1}{40}$ część odstępu

dwóch linii sodowych D) jest proporcjonalne do siły pola magnetycznego.

Zeeman uwiadomił o swoim odkryciu prof. H. A. Lorentza w Leydzie, który mu odpowiedział, że właśnie takie zjawisko wypływa z teorii promieniowania, przez niego podanej i że z tej teorii dalszy wniosek wysnuć można, że te linie muszą się składać ze światła spolaryzowanego w pewien sposób, mianowicie że dublet musi okazywać polaryzację kołową (cyrkularną) a triplet polaryzację prostoliniową.

Zeeman powtórzył swe doświadczenie i potwierdził rzeczywistość teoretycznych przypuszczenia Lorentza, przez co naturalnie teoria tego ostatniego ogromnego nabyła rozgłosu. Polega ona na założeniu, że drgania światła powstają wskutek tego, iż małe ciała naelektryzowane, t. zw. elektrony, z wielką szybkością krążą koło cząsteczek materialnych gazu, przez które one są przyciągane. Ilość obrotów na sekundę odpowiada ilości drgań światła. Wskutek działania pola magnetycznego według praw elektrodynamiki ruch elektronów w jednym kierunku będzie przyspieszony a w przeciwnym zwolniony, tak że powstanie światło o większej i mniejszej ilości drgań aniżeli pierwotnie.

Później pokazało się jednak, że przypadek tu omawiany jest najprostszy, że niektóre linie rozkładają się na 4, 5 etc. składników, przy czem znów linie, należące do seryj wspólnych, jeduakowo się zachowują.

Tę teorię Lorentza już nie może wytłómaczyć; pokazuje się, że rzeczywisty mechanizm nie może być tak prosty, jak w niej przypuszczano.

Niemiecki fizyk Voigt ogłosił znów inną teorię, która wszystkie dotychczas znane zjawiska obejmuje i nawet na inne odkrycia naprowadziła (anormalny skręt płaszczyzny polaryzacji, podwójne załamywanie w bliskości linii, asymetria zjawiska etc.), ale jest to tylko teoria matematyczna. Voigt pokazuje, że do równań określających ruch światła według teorii elektromagnetycznej trzeba wstawić jeszcze pewne wyrażenia uzupełniające (wpływ pola magnetycznego), ażeby one oddać mogły owe zjawiska. Ale czemu właśnie takie równania zachodzą, jakiego rodzaju mechanizm przyjęte należy, zadość czyniący owym równaniom — to znów pozostaje zagadką aż dotąd nierozwiązaną.

Pozналиśmy więc zjawiska trojakięgo rodzaju: regularność rozmieszczenia linii widmowych, skutki powiększenia ciśnienia gazu i wpływ pola magnetycznego, które wszystkie są w związku między sobą i z naturą chemiczną pierwiastków i które muszą stanowić drogi do rozwiązania ostatecznej kwestji: jaki jest mechanizm wysyłający światło wśród atomów ciała? Ale jak już wspomniałem, połączenie tych rezultatów i rozwiązanie owej zagadki jest jeszcze zadaniem przyszłości.

Nie wspominałem aż dotąd jeszcze wcale o tem, co teraz każdemu najpierw przychodzi na myśl, gdy słyszy o promieniowaniu, t. j. o promieniach Röntgena, Becquerela i t. d.

Istotnie namnożyło się w ostatnich latach bardzo wiele najróżniejszych gatunków promieni. Dawniej znaliśmy tylko świetlne i ciepłe — które okazały się identycznymi — i fale (promienie) hertzowskie. A teraz mamy promienie katodowe Lenarda, diakatodowe i parakatodowe Thomsona, promienie anodowe, kanałowe Goldsteina, promienie Röntgena, promienie Z i S. Sagnaca, „effluvium“ Thomsona, promienie Van Heena, promienie Wiedemanna, promienie Becquerela, promienie ciemne Le Bona etc. Panowała przez jakiś czas formalna epidemia odkrywania nowych promieni, ale zdaje się, że liczba gatunków faktycznie odrębnych z czasem bardzo się zredukuję: już teraz znaczna część owych nazwisk wymarła, ponieważ pokazało się, że zjawiska odpowiednie albo mylnie były interpretowane, albo też okazały się identycznymi z innymi już przedtem znanymi; a ogólny interes wciąż jeszcze koncentruje się na promieniach katodowych, Röntgena i Becquerela.

Co do istoty tych promieni jednak jeszcze ani mowy niema o jakichś pewnych wynikach. Co do promieni katodowych, (które wychodzą z katody we wnętrzu rurki Crookesa albo rurki Röntgena i które, uderzając o ściany naczynia, powodują powstanie promieni Röntgena) ogólnie została przyjęta teoria emisyjna, przypominająca starą teorię Newtona, ale z tą odmianą, że cząsteczki ruchome obdarzone być mają silnemi ładunkami elektrycznymi.

Co do promieni Röntgena może najwięcej zwolenników znajduje teoria Stokesa, która uważa je za ruch drgający eteru (lub w języku elektromagnetycznym za perturbacje elektroma-

gnetyczne eteru), składający się jednak nie z ruchów regularnie okresowych jak światło, tylko z wstrząśnięć nieregularnych ¹⁾.

Nie będę się jednak wdawał tutaj w dalsze szczegółowe roztrząsanie tych i innych hipotez, ponieważ wszystkie te badania doświadczalne i teoretyczne jeszcze w zanadto mglistym stanie się znajdują i mianowicie także z tego powodu, że wszystkie te zjawiska, należące do zakresu zjawisk fosforescencji, fluorescencji etc., nie są w związku bezpośrednim z promieniowaniem normalnem, termicznem, którem się tutaj specjalnie zajmowaliśmy.

Moznaby mi wogóle zarzucić, że trzymałem się tym razem zasady: „multa sed non multum“, gdyż musiałem poruszać wiele specjalnych kwestyj, nie zgłębiając ich należyte, ale nie chodziło mi wogóle tak dalece o podanie specjalnych wiadomości jak raczej o to, ażeby dać ogólne wyobrażenie o kierunku pracy teraźniejszej w tej części nauki i o prądach umysłowych, które popychają fizykę współczesną do największych postępów właśnie na polu nauki o promieniowaniu.

¹⁾ Na podstawie tej teorii Sommerfeld doszedł nawet już do ciekawych wniosków co do dyfrakcji promieni Röntgena. (Zaczynamy rozumieć coraz jaśniej w optyce, że mniemana prawidłowość drgań świetlnych jest pozorna; *przypr. wyjd.*).

XVI. ÜBER DIE ATMOSPÄRE DER ERDE UND DER PLANETEN ¹⁾.

(Physikalische Zeitschrift, 2. Jahrgang, Nr. 20, 1900; pp. 307—313).

Über die Zustände in den höheren Atmosphärenschichten, namentlich auch über die Frage, ob die Gashülle der Erde begrenzt ist, und ob auf anderen Himmelskörpern eine Atmosphäre vorhanden ist, herrschen noch so verworrene Ansichten, daß es wünschenswert scheint zu untersuchen, inwieweit man durch rein theoretische Erwägungen zu einer kritischen Sichtung der diesbezüglichen Hypothesen gelangen kann. Solche Betrachtungen, nicht aber eine Zusammenstellung der bisherigen experimentellen Ergebnisse (siehe diesbezügl. z. B. Günther Geophysik) bilden den Zweck dieser Zeilen.

Wäre die Erdatmosphäre ein ruhendes Gas von gleichförmiger Temperatur, so wäre der Druck in der Entfernung r vom Mittelpunkte gegeben durch die Formel

$$p = p_0 e^{-\frac{p_0 a}{2Rg} \left(1 - \frac{a}{r}\right)}$$

wo a den Erdradius, R die Gaskonstante bedeutet. Daraus würde sogar für unendliche Entfernung eine endliche Dichte folgen, nämlich $\rho = \rho_0 \cdot 10^{-356}$, und die Gesamtmasse wäre natürlich unendlich (Mascart C. R. 114).

Nach Melanderhjelm und Laplace soll jedoch die Zentrifugalkraft der Erdrotation eine Begrenzung der Gasmasse bewir-

¹⁾ Auszug aus einer Abhandlung gleichen Titels, erschienen in dem anläßlich der 500-jährigen Gründungsfeier der Krakauer Universität von der Lemberger Universität herausgegebenen Jubiläumswerke.