

termodynamiczne właściwości różnych substancji, przy pomocy poglądów atomistycznych. Wreszcie nowoczesna teoria elektryczności tłumaczy wszelkie zjawiska mechaniczne, a tem samem także termodynamiczne, jako objawy sił elektromagnetycznych i wskazuje równocześnie drogę rozwoju teorii atomistycznej, dowodząc, że atomy dawnej teorii mechanicznej są to układy, złożone z elektronów, że sposób ich ułożenia może wytłumaczyć zasadnicze właściwości atomów różnych substancji. Owe trzy metody rozumowania mają każda swój właściwy zakres zjawisk, w którym okazują się najdogodniejsze do użytku; z tego punktu widzenia podział powyższy może zachować rację bytu, bez względu na głębokie problemy, związane z usystematyzowaniem fizyki.

Spotykamy się niekiedy z odmiennymi systematami podziału. Tak np. Bouasse dołącza jako osobny dział: fizykę kryształów, w przeciwstawieniu do teorii ciał bezpostaciowych, równokierunkowych. Może to być poniekąd praktyczne, ze względów dydaktycznych, ale nie ma oczywiście żadnego uzasadnienia logicznego, gdyż badania nad tworzeniem się kryształów i nad ich budową należą do termodynamiki i teorii kinetycznej, a zjawiska sprężystości, optyki i t. d. w kryształach — do odpowiednich działów ogólnych.

W innych dziełach spotykamy się z podziałem fizyki na fizykę materji: mechanika, akustyka, ciepło, chemja fizyczna, i na fizykę eteru: elektryczność i magnetyzm oraz optyka. Nie można jednak tego podziału uznać za pomysł szczęśliwy. Pominąwszy, że dzisiaj wielu fizyków nie uznaje wogóle istnienia eteru, widzimy, że pociąga to za sobą liczne niekonsekwencje; w takim razie trzeba umieścić w fizyce eteru różne zjawiska, w których właściwości materji występują wybitnie i w których nawet po części posługujemy się metodami termodynamiki, jak np. elektrochemja lub promieniowanie.

XIII. KIERUNKI I ZAGADNIENIA FIZYKI DZISIEJSZEJ.

Poradnik dla Samouków. Wskazówki metodyczne dla studjujących poszczególne nauki. — Fizyka, Geofizyka, Meteorologia. — Wydawnictwo A. Heflicha i St. Michalskiego z zapomogi Kasy im. Dra J. Mianowskiego. Tom II. Warszawa 1917; str. 333—353¹⁾.

1. Kto zdał gimnazjalną maturę albo egzamin nauczycielski, zwykle przypuszcza, że posiadał nie tylko całą mądrość naukową, ale że nauka dopięła już swego celu ostatecznego, że wszystko już zbadala, że żadnych dla niej niema tajemnic. Podobny jest do człowieka, który, przejechawszy zbytkownym wagonem z Petersburga do Władywostoku, osądziłby na podstawie swych wrażeń ogólne stosunki w Syberji; jakie tam wygodne życie, jakie doskonałe komunikacje. Skąd pochodzą takie złudzenia co do stanu nauki, łatwo wyjaśnić. Uczący się nie przyjrzał się pracom badaczy, lecz jedynie posiadał znajomość specjalnie ułożonych podręczników, które zawierały właśnie tylko wiadomości dostępne zrozumieniu i ułożone w piękny systemat; przy egzaminie stawiano mu pytania tylko z tego zakresu, nie poruszając zagadnień niewyjaśnionych. Wskutek tego dziwi on się, że do doktoratu wynagana jest samodzielna, twórcza praca. „Gdzież wogóle w fizyce można znaleźć jakiś nowy, nieopracowany jeszcze temat?“ Dziwne zapytanie. Dla fizyka eks-

¹⁾ [Artykuł ten stanowi „Zakończenie“ działu „Fizyka“, opracowanego przez M. Smoluchowskiego w wydaniu nowem *Poradnika dla Samouków*. Czytając piękną tę pracę, winniśmy o tem pamiętać, że powstała ona w latach 1915 i 1916; z takim zastrzeżeniem wypada rozumieć użyty w tytule wyraz *dzisiejszej*. Po upływie lat kilkunastu, które przyniosły tyle odkryć i przezwyciężyć tak wiele trudności, *kierunki i zagadnienia fizyki* wyglądają *dzisiaj* inaczej. Tem bardziej pouczający jest zarys wczorajszych kierunków, niedawnych jeszcze zagadnień, obraz rzucony pewną ręką znawcy i myśliciela; tem żywiej objaśnia ewolucję nauki, tem uwydatnia dobitniej, jak jej dążenia są zbieżne, jak zmierzają różnemi drogami do coraz trwalszego wyniku; *przyp. wyd.*].

perymentalisty pole pracy pozostanie wiecznie niewyczerpane. Istnieją pewne dziedziny, w których i dzisiaj jeszcze prawie zupełny jest brak dokładnych danych liczbowych. W analizie widmowej np. ograniczono się, od czasów odkryć Kirchhoffa i Bunsena aż do dziś dnia, niemal wyłącznie do oznaczania barwy czyli długości fal świetlnych, odpowiadających linjom widmowym. Są to pomiary, dające się wykonać bardzo łatwo i z wielką dokładnością; nad liczbami jednak wartościami współczynników absorpcji i nad warunkami, które na tę wielkość wpływają (temperatura, gęstość) zaczęto zaledwie dziś dopiero zastanawiać się. Nawet słynne prawo Kirchhoffa, o związku emisji z absorpcją, opiera się do dziś dnia przeważnie na rozumowaniu teoretycznym i doświadczeniach jakościowych, ilościowa zaś kontrola była dotychczas zupełnie niedostateczna.

Podobnie, w zakresie zjawisk fosforescencji i fluorescencji nie mamy do dziś dnia prawie żadnych oznaczeń ilościowych; bardzo mało wogóle wiemy o tych zjawiskach. Jakże tu odkrycia czekają nas jeszcze, tego przykłady dają nam prace Becquerela, Leonarda, Wooda, Kowalskiego i t. d. Tu jest jeszcze pole do zastosowania typowej, indukcyjnej metody badania. Podobne dziedziny, mało jeszcze zbadane, są np.: współczynniki sprężystości kryształów, plastyczność ciał stałych, zależność lepkości cieczy od ciśnienia, wyznaczanie współczynników dyfuzji, ciśnienia pary nasyconej substancji małych, napięcia powierzchniowe na granicy różnych cieczy, zależność właściwości optycznych od temperatury i t. d.

Nie trzeba zresztą daleko szukać. Niech eksperymentator podejmie się oznaczenia jakiegokolwiek współczynnika fizycznego dla większej liczby substancji, dla których jeszcze jego wartość nie jest dokładnie znana. Niech bada jego zależność od temperatury, ciśnienia lub innych warunków w obszerniejszych granicach, niż to uczynili jego poprzednicy; wszak dzisiaj dostępne są dla badań doświadczalnych temperatury od -271° aż do $+2000^{\circ}$; niech w swych oznaczeniach postara się o większą dokładność, niż jego poprzednicy. Będzie to przyczynek nowy, cegiełka do wykończenia całego gmachu. Niema pomiaru w fizyce, którego nie byłoby warto powtórzyć i którego nie możnaby wykonać dokładniej, niż to dotychczas uczyniono. Chodzi o to, żeby osiągnąć postęp w dokładności przez użycie lepszych metod; powtórzyć doświadczenie z mniejszą

precyzją jest oczywiście pracą bezcelową. W tej myśli rzesze pracowników są zajęte zbieraniem wciąż nowego materiału naukowego z mrówczą skrzętnością; coraz nowe wydania tablic współczynników i stałych fizycznych są świadectwem postępu na tem polu. Środków ku temu dostarcza doskonaląca się bezustannie technika naukowa; pod tym względem ostatnie czasy zaznaczyły się niejednym ważnym odkryciem, które ułatwia eksperymentatorom pracę i rozszerza granice jej dostępne: pompy Gädęgo; ewakuacja za pomocą węgla, oziębionego przez ciekłe powietrze; udostępnienie temperatury ciekłego wodoru i helu; ultramikroskop; mikrowąga Ramsaya i t. p.).

Trzeba wszakże przyznać, że wartość albo raczej ważność różnych takich pomiarów dla nauki jest oczywiście bardzo rozmaita. Nie chodzi o sporządzanie jakichkolwiek cegiełek, lecz takich, jakie przy budowie gmachu są właśnie pożądane. Doniosłość pracy doświadczalnej zależy nie tylko od ścisłości pomiarów, lecz głównie od tego, czy wynik jest faktem izolowanym, czy też można z niego wyprowadzić wnioski ogólniejsze, czy rozstrzyga on o wartości pewnej teorii i t. d. Miarodajna jest jednym słowem doniosłość teoretyczna doświadczenia t. j. jego związek z fizyką teoretyczną. Dlatego też eksperymentator, chcący pracować owocnie, musi śledzić bezustannie rozwój fizyki teoretycznej; ona powinna być dla niego przewodnikiem w doborze tematu pracy.

Przechodząc do prac teoretycznych, wyróżnić możemy przedewszystkiem jedną charakterystyczną kategorię badań. W różnych gałęziach fizyki podstawy teoretyczne są oddawna znane w postaci pewnych równań zasadniczych; ażeby zaś móc objaśnić zjawisko szczególne, trzeba umieć zastosować do niego te równania, trzeba znaleźć rozwiązanie danego przykładu; zależy to od umiejętnego przewidywania większych lub mniejszych trudności matematycznych. Tak np. ogólne zasady matematyczne teorii potencjału, rządzące rozdziałem elektryczności na powierzchni przewodników, są dokładnie znane od stu lat blisko. Gdy jednak chodzi o pytanie, jak rozdzieli się elektryczność na ciele o danym geometrycznie kształcie, stanowi to problemat matematyczny, który tylko w niewielu, stosunkowo prostych przypadkach (kula, elipsoida, krążek, pierścień kołowy i t. p.) udało się dokładnie rozwiązać. Zastosowanie owych równań zasadniczych do coraz nowych przykładów, szukanie takich przypadków, gdzie rozwiązania potrafimy dokonać,

wynajdywanie nowych metod rozwiązania, to jest obszerne, nigdy nie wyczerpujące się, pole pracy teoretycznej. Charakter jej jest czysto dedukcyjny; jest to poprostu matematyka, stosowana do fizyki. Praca taka, bardzo zresztą pożyteczna, gdyż dopiero przez nią zasady ogólne stają się przydatne do praktycznego użytku, odbywała się w połowie wieku XIX-go głównie na polu teorii potencjału i związanej z nią hydrodynamiki cieczy idealnych. Obecnie także teoria fal elektromagnetycznych, teoria sprężystości i hydrodynamika cieczy lepkich doznaje coraz bardziej wyczerpującego w ten sposób opracowania. •Problematem aktualnym jest np. zbadanie matematyczne t. zw. ruchów kłębiących się (turbulente Flüssigkeitsbewegungen), pochodzących ze współdziałania bezwładności i lepkości cieczy. Te dopiero badania mogą kiedyś powiązać teoretyczną hydrodynamikę z t. zw. hydrauliką techniczną i umożliwić jej zastosowania praktyczne. Wspominaliśmy już o trudnościach matematycznych, występujących w tej dziedzinie, w której dopiero usiłowania Lorentza, Sommerfelda, Karmana, Oseena i innych wskazują drogę postępu, acz jeszcze niewyraźną.

Praca na polu tej „matematyki fizycznej“ o której rozmiarach obecnych świadczą np. dzieła Lamba, Love'a, oraz Encyklopedia matematyczna, musi rozrosnąć się z czasem jeszcze ogromnie i objąć wszystkie działy fizyki. Nie wyczerpuje ona jednak zadania teorii; jakkolwiek bardzo pożyteczna, nie jest najwyższym szczeblem badań teoretycznych. Jest to uprzystępnianie i wykańczanie szczegółów, ale zasadniczo nowych myśli, nowych horyzontów badania nie stworzy się tym sposobem.

Praca twórcza na polu fizyki, w najwyższym znaczeniu słowa, polega na odkrywaniu zjawisk nowych oraz na stwarzaniu nowych teorii; oświeclających znane zjawiska z nowych punktów widzenia i wskazujących drogi dalszego badania. Badania takie są przywilejem umysłów twórczych, właściwych artystów w nauce, nie ograniczających się do gromadzenia cegiełek, ani do wykańczania szczegółów ornamentacyjnych, lecz samodzielnie prowadzących budowę gmachu nauki. Takie badania nadają nauce nowe kierunki; stwarzają one nowe prądy umysłowe i warunkują postęp myśli ludzkiej.

2. Jakież są kierunki, które w tych badaniach ujawniają się w dobie obecnej? Jakież są zagadnienia, dające się dzisiaj prze-

widzieć dla najbliższej przyszłości? Chcąc scharakteryzować naczelnym kierunkiem zawrotnego rozwoju fizyki teoretycznej w ciągu ostatnich lat dwudziestu, trzeba go nazwać odrodzeniem atomistyki i rozszerzeniem jej zakresu do zjawisk elektrycznych. Starajmy się wmyśleć się w atmosferę naukową fizyków w połowie ostatniego dziesiętka lat wieku ubiegłego. Panowała wówczas pewna stagnacja, nie pod względem pracy naukowej (ta wrzała jak zawsze) lecz pod względem idei, otwierających szersze horyzonty. Teoria atomistyczno-kinetyczna, tłumacząca właściwości ciał na podstawie hipotez co do ich budowy z atomów, doszła do punktu martwego. Po wspaniałym rozwoju w rękach Clausiusa, Maxwella, Boltzmann'a, po zadziwiających zdobyczach, odniesionych w dziedzinie fizyki gazów, zdawało się, że płodność jej wyczerpała się. Zastosowanie do cieczy nie dawało wyników, trudności matematyczne uniemożliwiały wykończenie ścisłych rachunków, bezwartościowość prymitywnych, uproszczonych rozważań była oczywista. Przedewszystkiem jednak teoria ta weszła w konflikt z zapatrywaniem termodynamiczno-energetycznym; według niej t. zw. druga zasada termodynamiki (twierdząca, że nie może istnieć perpetuum mobile „drugiego rodzaju“) nie byłaby ściśle ważna. Termodynamika była wówczas kierunkiem panującym i świeciła istotne tryumfy, co prawda nietylne we właściwej fizyce, ile na pograniczu zjawisk chemicznych¹⁾. Horstmann, Gibbs, Duhem, van't Hoff, Planck, Nernst, Ostwald wskazywali metody stosowania prawideł termodynamiki w dziedzinie roztworów oraz stanów równowagi chemicznej. Coraz wzrastająca falanga badaczy zajmowała się systematyzowaniem i porządkowaniem chaotycznego do owego czasu materiału empirycznego oraz jego uzupełnianiem z tych punktów widzenia. Śledząc występowanie tych samych wszędzie rysów zasadniczych we wszystkich owych zjawiskach, zdolali oni ująć je w ramy jednolitej teorii termodynamicznej. I dzisiaj jeszcze ta metoda badania gromadzi liczne grono badaczy około pracy pogłębiania dotychczasowych wiadomości oraz rozszerzania zakresu systematycznej nauki do coraz nowych zjawisk (np. struktura aljaży). Niema w tem może myśli zasadniczo nowych, ale dawne okazują się wciąż jeszcze użytecznymi i płodnymi.

¹⁾ [Termodynamika t. zw. zrównoważonego promieniowania była również doniosłą zdobyczą owej epoki. Czysta termodynamika pogłębia się, stosowana rozrasta się, jeszcze dziś, nieustannie; *przyp. wyd.*].

W innych działach fizyki termodynamika nie odnosiła jednak takich powodzeń. Wobec zjawisk nieodwracalnych była bezsilna, a nawet we właściwym sobie zakresie pozostawiała pewne luki i musi je zawsze pozostawiać, gdyż dyktuje tylko ogólne formy praw fizycznych, indywidualne zaś różnice we właściwościach rozmaitych substancji musi przytem uważać za dane, nie usiłując wcale ich tłumaczyć.

W dziedzinie elektryczności rozwój teorii ówczesnych doszedł był również do punktu martwego. Odkrycie fal elektrycznych przez Herta z r. 1887 zwróciło uwagę fizyków kontynentu na teorię Maxwella i dowiodło naocznie jej wyższości nad dawnymi teoriami elektryczności i magnetyzmu. Rozważania teoretyczne, jakoteż liczne dowody doświadczalne (prędkość światła, związek stałej dielektrycznej ze współczynnikiem załamania, badania Rubensa i Hagen a nad zdolnością odbicia zwierciadeł metalicznych i t. d.) nie pozostawiały żadnej wątpliwości, że w teorii Maxwella tkwi jądro zdrowe; ale i to było oczywiste, że ta teoria jeszcze nie wyczerpuje sprawy, że wymaga jakiejś zmiany, czy jakiegoś uzupełnienia. Wszak np. zjawiska magnetyczne w żelazie nie dawały się w niej wcale pomieścić, zjawisko diamagnetyzmu pozostawało zagadkowe, optyczna dyspersja różnych ośrodków okazywała się sprzeczna ze wzorami [pierwotnej, prostej] elektromagnetycznej teorii światła. Niektórzy odczuwali instynktownie, że w tych zjawiskach ujawniają się właściwości wewnętrznej budowy atomów, własności, których teoria Maxwella nie uwzględnia. Ale gdzie znaleźć klucz do rozwiązania tych tajemnic? Myśli, mające w tych kierunkach stworzyć zupełnie nowe drogi badań, były już gotowe, były nawet po części już wyraźnie wypowiedziane (Crookes, Helmholtz, J. J. Thomson, H. A. Lorentz); ale nikt nie miał odwagi oprzeć na nich nowych poglądów; prawie nikt nie rozumiał szerszego ich znaczenia. Wtem przyszły trzy nieoczekiwane odkrycia, które wstrząsnęły światem uczonych, wskazując naocznie, ile jeszcze jest rzeczy, których najbujniejsza fantazja nie przewiduje: promienie Röntgena, 1895; promienie uranu, 1896; zjawisko Zeemana, 1896. Za nimi posypały się dalsze odkrycia w dziedzinie promieni katodowych, kanalikowych, promieniotwórczości i t. d. a zarazem coraz śmielsze prace teoretyczne.

Zrozumiano wkrótce, że w tych doświadczeniach miało się pod ręką dobitne dowody atomistycznej budowy elektryczności. Lorentz

wyjaśnił zjawisko Zeemana w sposób nadzwyczajnie prosty, wskazując wpływ pola magnetycznego na drgania elektronów, będące źródłem światła. Promienie zaś katodowe oraz promienie β , wysyłane przez ciała promieniotwórcze, składają się właśnie z cząstek elektryczności, wyrzucanych z wielką prędkością, promienie β — przy automatycznym rozpadaniu się atomów. Wreszcie promienie Röntgena są to wstrząśnienia, wywoływane przez spadanie elektronów na ciała materialne.

Ujęcie tych zjawisk w formę matematyczną umożliwiło obliczenie w prosty sposób prędkości promieni katodowych i kanalikowych, na podstawie ich odchylenia przez siły magnetyczne i elektryczne; wyniki obliczone zostały później stwierdzone przez nadzwyczaj pomysłowe, bezpośrednie pomiary prędkości owych promieni (Wiechert, des Coudres) i przez obliczenia na mocy t. zw. efektu Dopplera, odkrytego przez Starka w promieniach kanalikowych. Genjalna metoda J. J. Thomsona i Wilsona obliczania naboju elektronowych, na mocy doświadczeń nad opadaniem kropelek mgły, elektrycznie naładowanych, pozwoliła wyznaczyć równocześnie rząd wielkości tego naboju. Okazał się on identyczny z wartością, dającą się przewidzieć z porównania równoważnika elektrochemicznego z liczbą gazowych cząsteczek, co oczywiście wzmocniło także zaufanie do teorii kinetycznej gazów.

W ścisłej łączności z utwierdzeniem podstaw doświadczalnych teorii elektronowej postępowało pogłębianie i rozszerzanie jej do innych zjawisk elektrycznych lub optycznych; elektronika okazała się tutaj tak nieomylnym przewodnikiem w badaniach, otwierała takie nowe perspektywy, wskazywała tak nieoczekiwane przedtem związki, łącząc wszystko w jednolitą całość, że w ciągu kilku lat uznana została za długo szukane dopełnienie teorii Maxwella i [zwyklej, dawniejszej] atomistyki materji. Rozrost, który już osiągnęła, scharakteryzujemy, zaznaczając, że większa część prac ogłaszanych przez pisma naukowe, odnosi się dzisiaj do elektroniki oraz do dziedzin, z nią związanych.

Są to niewątpliwie dopiero początki obszerniejszej syntezy. Dotychczasowe zdobycze teorii elektronowej polegają na założeniu, że elektryczność ujemna składa się z cząstek elementarnych jednokowej wielkości, oraz na rozpatrywaniu warunków, pod którymi elektrony ujemne występują jako związane, lub też jako swobodne, t. j. cząstki oddzielone od materji. Natomiast badania nad dodatnią

elektrycznością są dopiero w zączątku, a od nich przedewszystkiem zależy obecnie rozszerzenie podstaw elektroniki, a co za tem idzie, wykończenie budowy teoretycznej.

Bardzo dziwnym, ale przez doświadczenia stwierdzonym faktem jest zasadnicza różnica właściwości elektryczności ujemnej a dodatniej. Wiemy, że w najrozmaitszych zjawiskach powstają promienie katodowe, t. zn., że zostają wyrzucane swobodne, od atomów materji oddzielone elektrony, których masa jest tylko dwutysięczną częścią masy atomów wodoru. Kiedykolwiek jednak stwierdzamy istnienie analogicznych cząstek dodatnich, okazują się one zawsze związane z materjalnemi atomami. W promieniach α są to atomy helu, w promieniach anodowych lub kanalikowych atomy materiału, z którego składa się anoda lub gaz otaczający, lub też cząstki inne, podobnego rzędu wielkości, których rozpoznawaniu J. J. Thomson poświęcił w ostatnich czasach nadzwyczajnie piękne badania.

Łączy się z tym przedmiotem także zagadkowa do dziś dnia kwestja, skąd pochodzi układ linii w widmach pierwiastków w „serje widmowe“, odkryte przez Balmera¹⁾; łączy się z nim również kwestja t. zw. charakterystycznych promieni Röntgena, dalej zagadnienie mechanizmu dyspersji światła, mechanizmu promieniowania, a także wielki problemat wartościowości chemicznej i układu perjodycznego pierwiastków chemicznych. Nie brakło prób rozwiązania tych zagadek, jak spekulacje J. J. Thomsona, Rutherforda, Starka, w ostatnich czasach genialna hipoteza Bohra, tworząca niejako pomost z teorii elektronów do teorii kwantów. Zapewne, że z tych prowizorycznych spekulacyj mało co ostanie się w dotychczasowej formie; przekonały one przecież skeptyków, że cel jest wogóle do osiągnięcia, że możemy spodziewać się w przyszłości wykrycia takiego mechanizmu podstawowego, który umożliwi syntezę, łączącą wszystkie te zjawiska.

Po rozpatrzeniu badań podstawowych elektroniki, rzućmy okiem na zakres jej stosowania w różnych działach fizyki. Na pierwszym miejscu wymienić tu należy zjawiska rozbrojeń elektryczności w gazach, które też naodwrot elektronikę wzbogaciły pierwszymi, prawie namacalnemi dowodami. Już Faraday i Maxwell przepowiadali,

¹⁾ [W chwili, w której słowa te były pisane, Niels Bohr rzucał nieoczekiwany snop światła na zagadnienie *serji widmowych*. Dzisiaj, jak wiadomo, Bohra teoria budowy atomu już się przekształca, ustępuje już miejsca nowym widokom; *przyp. wyd.*].

że zjawiska te dostarczą kiedyś nauce elektryczności najważniejszych odkryć, ale przez pół wieku napróżno usiłowano je zrozumieć albo choć w głównych zarysach poznać ich ilościowe prawa. Na zupełnie błędnej drodze byli dawniej niemieccy badacze, zwłaszcza Hertz i Lenard, w swych zapatrywaniach na istotę promieni katodowych, uważając je za fale eteru. Na niewłaściwej drodze był początkowo też J. J. Thomson, kiedy szukał w gazach ścisłej analogji do przewodnictwa elektrolitycznego cieczy. Gdy jednak otrzymano klucz do rozwiązania tych zagadek w elektronice, połączonej z kinetyczną teorią gazów, w ciągu kilku lat cały zakres tych tak nadzwyczajnie różnorodnych zjawisk został w głównych zarysach zbadany i wyjaśniony, mianowicie zwłaszcza dzięki pracom J. J. Thomsona i jego uczniów. Jest to klasyczny przykład, wykazujący potęgę dobrej teorii a niemoc usiłowań, pozbawionych podstaw teoretycznych. Stwierdzono, że w niektórych z tych zjawisk (w gazach rozrzedzonych) przewodzenie elektryczności polega na ruchu elektronów swobodnych, w innych (przy normalnem ciśnieniu) na ruchu jonów, t. j. elektronów, związanych z cząsteczkami lub też z grupami molekuł. Nauczono się odróżniać przewodzenie samoistne i niesamoistne; zbadano rozmiary i prędkości jonów, zjawiska ich rekombinacji, dyfuzji i t. d. Co najważniejsza, poznano też, że pozornie tak różne zjawiska jak przewodnictwo gazów, elektrolitów i metali polegają w zasadzie na jednakowym mechanizmie, że istnieją tylko ilościowe, stopniowe różnice w czynnikach warunkujących te zjawiska. Główne linje wytyczne już zarysowują się wyraźnie, jakkolwiek pozostaje jeszcze ogromne pole pracy, w kierunku rozszerzenia praw, poznanych w gazach, do innych ośrodków.

Do tego też działu należą doświadczenia, imponujące zarówno prostotą pomysłu, jak ścisłością wykonania, zapomocą których Amerykanin Millikan zdołał wydoskonalic dawną metodę Thomsona i Wilsona i zmierzyć naboje pojedynczych elektronów. Pomiary owe wykazują, że naboje elektryczne występują tylko jako całkowite wielokrotności pewnego naboju elementarnego. Stanowią one tak dobitny dowód niepodzielności elektronów i dają tak dokładny sposób wyznaczenia ich wielkości, jakiego nie posiadamy w dziedzinie atomistyki materji. Wogóle pojedyncze elektrony, właśnie wskutek swego naboju elektrycznego, nadają się bezporównania łatwiej do indywidualnej obserwacji niż atomy lub cząsteczki obo-

jętnej materji, gdyż przez siły elektryczne można je wprawić w ruch dowolnie szybki.

Rozwój wiadomości o jonach gazowych dał równocześnie klucz do skuteczniejszego, niż dotychczas, prowadzenia badań nad elektrycznością atmosferyczną. Tajemnicze i żywiołowe objawy elektryczności, które ludy pierwotne uosabiali i ubóstwiali, które Franklin zdołał ujarzmić wolą ludzką, zaczynamy dzisiaj wreszcie rozumieć, dzięki tej nowej gałęzi nauki, łączącej fizykę z meteorologią.

Jeszcze donioślejszy w skutkach dla nauki jest rozwój badań nad promieniotwórczością, które dzisiaj wyodrębniają się jako nowa dziedzina nauki, pośrednia między elektroniką a chemją. Przypadkowe odkrycie promieni Becquerela, genialną, celową metodą osiągnięte odkrycie radu i polonu przez małżonków Curie, dziwne właściwości tych substancji, transformacja pierwiastków chemicznych, stwierdzona bezpośrednio w przypadku wytwarzania się helu z radu, obecność tych substancji promieniotwórczych na powierzchni całej kuli ziemskiej, związane z tem problemy geofizyczne, skutki fizjologiczne i lecznicze, liczenie metodą scyntylacji cząstek wyrzucanych, fotografowanie toru promieni, odkrycie wstecznych promieni, odkrycie izotopów, żadna inna dziedzina nie przyniosła chyba w kilku latach tylu sensacji naukowych. Eksploatacja tego pola nauki przyciąga coraz większy zastęp pracowników. Badania te należą po części do fizyki i posiadają znaczenie fundamentalne dla teorii elektronowej i dla teorii budowy materji; po części zaś, o ile chodzi o zbadanie specjalnych właściwości różnych rodzajów atomów promieniotwórczych, badania te mają charakter typowo chemiczny, ale fizyczne metody mierzenia odgrywają w nich główną rolę.

Dla lepszego scharakteryzowania doniosłości poglądów elektronowych wystarczy może lakoniczne wyliczenie szeregu innych dziedzin fizyki, w których one znalazły i znajdują zastosowanie: termoelektryczność, elektryczność kontaktu, paramagnetyzm i diamagnetyzm, zjawisko Halla i pokrewne z niem zjawiska, dyspersja i absorbcja światła, właściwości stanu metalicznego. W nich wszystkich poglądy elektronowe okazały się nieocenionym przewodnikiem badania i zdołały wyświetlić odnośne zjawiska choć częściowo, jakkolwiek w niejednym punkcie jeszcze występują trudności, pozostające w związku z zagadnieniem co do istoty elektryczności dodatniej, a zapewne także z tak zwaną teorią quantów.

Zwróćmy jeszcze uwagę na stosunek hipotez elektronowych do

atomistyczno-kinetycznej teorii materji; wspinały rozwój elektroniki oddziałal silnie i na ową teorię. Nietylko wzmocnił zaufanie do atomistyki, ale dał sposobność bezpośredniego stwierdzenia wniosków, wypływających z teorii kinetycznej, w szeregu zjawisk z dziedziny przewodzenia elektryczności w gazach. Przebudziwszy się z chwilowego letargu, teoria kinetyczna okazała nową żywotność, nie tylko przewidując szereg zjawisk dawniej nieznanych (przewodzenie ciepła w gazach rozrzedzonych, transpiracja gazów rozrzedzonych, siły radjometryczne), ale podejmując ze skutkiem rozstrzygnięcie dawnego sporu z termodynamiką. Zwrócono na to uwagę, że w t. zw. ruchach Browna (ruchach bezustannych, wykonywanych przez mikroskopijnie małe cząstki, zawieszone w cieczach lub gazach), mamy naoczny przykład ruchów cząsteczkowych, co prawda w mikroskopijnie małych rozmiarach. Wzory teoretyczne, wyprowadzone na tej podstawie, zostały potwierdzone przez staranne pomiary Perrina i jego współpracowników i dały równocześnie jeden z najściślej-szych wśród znanych dotychczas sposobów wyznaczania liczby cząsteczek. Doniosłość tych badań polega po części na tem, że rzuciły światło na dawny, sporny problemat co do istoty zawiesin, roztworów koloidalnych i krystaloidalnych, wykazując identityczność praw zasadniczych i stopniowość przejść z jednej kategorii do drugiej. Tem samem nadały one nowy impuls badaniom na polu roztworów koloidalnych, które dzisiaj budzą zainteresowanie chemików. Dla samych zasad fizyki najważniejsze jest to, że dowiodły one pewnej wyższości teorii kinetycznej nad termodynamiką. Pogląd termodynamiczny jest usprawiedliwiony i tworzy znakomite narzędzie badania, o ile chodzi o ogólne (makroskopijne) rysy zjawisk i zdarczenia przeciętne, najprawdopodobniejsze. Tam jednak, gdzie występują sprzeczności z teorią kinetyczną, w mikroskopijnych szczegółach zjawisk, w przypadkowych zboczeniach od normalnego przebiegu rzeczy, wyższość kinetyki jest dzisiaj niewątpliwie ustalona. Inne, analogiczne zjawiska (np. opalescencja gazów) nabierają z tego punktu widzenia również doniosłości zasadniczej.

Omawiane tu zjawiska są przypadkami szczególnymi, w których porównanie wniosków, z obu poglądów wypływających, jest łatwe. Cechą wybitną termodynamiki jest ogólna postać jej twierdzeń. Zwolennicy teorii kinetycznej dążą zatem do wyprowadzenia analogicznych wniosków dla ogólnych układów mechanicznych, bez specjalnych założeń co do rodzaju cząsteczek, sił międzycząstecz-

kowych i t. d. Zadanie to przyświeca jako cel t. zw. mechanice statystycznej. Najwyższy i najbardziej abstrakcyjny ten szczebel nauki, któremu Maxwell i Gibbs poświęcili najgłębsze swe badania, wszedł obecnie również w stadium żywszego rozwoju; można tu oczekiwać doniosłych, dla ogólnego naszego poglądu, wyników teoretycznych.

Do najważniejszych, obecnie roztrząsanych, a po części już wyjaśnionych problematów teorii kinetyczno-atomistycznej należy rozszerzenie tej teorii do ciał stałych. Doniedawna badania fizyki odnosiły się przeważnie do stanu gazowo-ciekłego; tymczasem wiadomości nasze o własnościach ciał stałych są zadziwiająco niedostateczne. Pochodzi to stąd, że niejednorodność i krystaliczno-ziarnista struktura materiałów utrudnia tu bardzo otrzymanie ścisłych wyników doświadczalnych; z drugiej strony stąd, że proste założenia teoretyczne, które przyjmujemy w fizyce gazów, tutaj nie wystarczają. Pole do pracy, w zakresie fizyki ciał stałych, jest olbrzymie. Do dziś dnia nie potrafimy ściśle podać warunków, od których zależy pęknięcie czy złamanie materiału. Zaledwie rozpoczęto badania nad plastycznością ciał stałych. Posiadamy zaledwie nieco danych co do sprężystości kryształów. Sporne dotychczas, zasadnicze kwestie co do istoty struktury krystalicznej dopiero teraz wyjaśniają się, dzięki wspólnie, nowoodkrytej metodzie badania, t. j. analizie widmowej zapomocą promieni Röntgena. Teoria kinetyczna ma tu wielkie zadanie do spełnienia, o wiele trudniejsze niż w fizyce gazów, gdyż w tej dziedzinie, jeszcze w wyższym stopniu niż w gazach, okazuje się potrzeba reformy w założeniach zasadniczych: potrzeba powiązania ich z teorią elektronową oraz z teorią quantów, do której obecnie przechodzimy.

3. Współczesny kierunek w nauce, który nazwaliśmy „odrodzeniem atomistyki“, pociągnął za sobą postawienie dwóch zagadnień fundamentalnych, które przedstawiają się dzisiaj jako najaktualniejsze zadania przyszłości: teorii quantów i zasady względności. Teorię quantów można krótko, choć niezupełnie ściśle, określić jako przeniesienie poglądów atomistycznych z materji i elektryczności na energję — pomysł, który nasunął się Planckowi i Einsteinowi w ciągu badań teoretycznych nad zjawiskami promieniowania. Chodziło o dawny problemat: obliczyć natężenie promieni, wysy-

łanych przez ciało czarne o danej temperaturze, oraz znaleźć ich skład z promieni o różnych długościach fal. Ostateczne rozwiązanie tego problemu zawdzięczamy ścisłemu współdziałaniu i wzajemnej kontroli eksperymentatorów (Paschen, Lummer, Pringsheim, Kurlbaum) i teoretyków (Wien, lord Rayleigh, Planck). Do wyprowadzenia pewnych wniosków ogólnych co do tego problemu wystarczyły Wienowi twierdzenia termodynamiki wraz z założeniem, że promieniowanie polega na falach elektromagnetycznych. Ażeby jednak dojść do wzoru zupełnego, okazało się rzeczą niezbędną wprowadzenie rozważań statystycznych, wzorowanych na teorii kinetycznej. Planck przeniósł zatem z teorii kinetycznej gazów na promieniowanie ten sam wzór, który wyraża w niej związek między entropją i prawdopodobieństwem danego układu. Ale trzeba było przytem uczynić założenie, konieczne do wyprowadzenia właściwego, doświadczalnie stwierdzonego wzoru: że wibratory albo rezonatory atomowe, które wysyłają promienie, są w stanie pochłaniać tylko całkowite wielokrotności pewnej minimalnej ilości energii, nie zaś ilości dowolne. Te minimalne quanta energii zależą od częstości drgań wibratora, są mianowicie do niej proporcjonalne. Wprowadza się zatem pojęcia atomistyczne do dziedziny teorii promieniowania, ale nie można przecież mówić o „atomach energii“, gdyż ich wielkość trzeba przyjmąć za zmienną, mianowicie zależną od częstości drgań. Niezmienny jest tylko iloraz owych ilości przez częstości drgań, który Planck i Einstein nazywają „Wirkungsquantum“.

Gdyby zjawiska promieniowania były jedynym argumentem, wymagającym wprowadzenia tak dziwnych, z dotychczasową fizyką niepowiązanych hipotez, teoria quantów nie znalazłaby może wielu zwolenników, jakkolwiek, mimo usiłowań różnych autorów (H. A. Lorentz, Jeans, Poincaré) nie udało się znaleźć innego wyjścia z tych trudności. Ale i liczne inne zjawiska wyjaśniają się z tego punktu widzenia, jak up. różne szczegóły z dziedziny zjawisk fotoelektrycznych, zwłaszcza zaś pewne odkrycia z fizyki ciał stałych. Że ciepło właściwe ciał stałych spada do wartości znikomo małych w temperaturach bardzo niskich, że tak samo współczynnik rozszerzalności cieplnej maleje, można to przewidzieć w prosty sposób, przyjmując teorię quantów; nie dałoby się to zaś pogodzić z poglądami dawnej teorii kinetycznej. Jeszcze wyraźniejsze wskazówki

w tym samym kierunku daje odkrycie nagłego zmniejszania się ciepła właściwego wodoru w niskich temperaturach.

Teoria quantów wiąże się tutaj również z teorią, ogłoszoną przed kilku laty przez Nernsta i w nieco odmienny sposób sformułowaną przez Plancka; według tej teorii, entropja ciała stałego powinna zdążyć asymptotycznie do zera w bliskości temperatury -273° . Teoria Nernsta została podana jako hipoteza, bez żadnego uzasadnienia, ale długi szereg wniosków, wyprowadzonych z niej w zakresie chemji fizycznej, zgadza się zadziwiająco dobrze z doświadczeniem; co do własności ciał stałych w niskich temperaturach prowadzi ona do podobnych konsekwencji, jak teoria quantów.

Mamy tu więc niewątpliwie wyraźne empiryczne wskazówki, że teoria quantów jest uzasadniona, jakkolwiek zasadniczych jej założeń nie zdołano jeszcze pogodzić z powszechnie przyjętymi zasadami mechaniki i elektrodynamiki¹⁾. Cała sprawa jest do dziś dnia zagadkowa. Skąd może pochodzić niezmiennosc „quantów działania”? Niektórzy przyjęli ją poprostu jako nowy postulat fizyki, nie troszcząc się o kwestję wytłumaczenia. Inni znów są zdania, że przyjęcie niezmienności i niepodzielności owych quantów jest tylko hipotezą prowizoryczną, która przy bliższem zbadaniu mechanizmu promieniowania sprowadzi się do pewnych właściwości struktury atomów lub elektronów i będzie wymagała tylko pewnych zmian w zasadach fizyki, o ile odnoszą się do wnętrza atomów²⁾. Jesteśmy tu w każdym razie na tropie ważnych odkryć w dziedzinie promieniowania i wszelkich z tem związanych zjawisk; będą one miały zasadniczy wpływ na kierunek dalszego rozwoju fizyki.

Całkiem odmienny, ogólniejszy charakter mają badania dzisiejsze w drugim z poprzednio wspomnianych kierunków: nad zasadą względności. Punktem ich wyjścia była znów teoria elektronowa. Według poglądu określonego przez tę nazwę, prądy elektryczne polegają na przenoszeniu się elektronów z miejsca na miejsce. Nasuwa się zatem pytanie, względem czego elektrony przesuwają się;

¹⁾ [Teoria *quantów*, przenikając do coraz nowych dziedzin fizyki, oparowała myśl współczesnego pokolenia badaczy i umocniła się w niej nadzwyczajnie; *przyp. wyd.*].

²⁾ [Dzięki współczesnym pracom P. L. de Broglie, prof. E. Schrödingera i innych uczonych, to właśnie (drugie) przewidywanie potwierdza się dziś coraz bardziej, prowadząc do niezwykłych, przepięknych widoków ustroju Natury; *przyp. wyd.*].

wszak może być tylko mowa o ruchu względnym. Radzono sobie początkowo w ten sposób, że pojmowano ruch jako przesuwanie się względem eteru, uważanego za ośrodek bezwzględnie nieruchomy. Przy takim założeniu, przebieg niektórych zjawisk elektromagnetycznych, np. świetlnego falowania, musiałby zależeć od ruchu obserwatora w przestrzeni wypełnionej eterem. Zjawiska takie musiałyby zmieniać się do pewnego stopnia na kuli ziemskiej w ciągu 24 godzin, potrzebnych do wykonania jednego obrotu ziemi. Tymczasem pomiary precyzyjne nad pewnego rodzaju interferencją świetlnych promieni, wykonane przez Michelsona, dały rezultat ujemny. Wpływu ruchu ziemi na sposób rozchodzenia się światła nie można stwierdzić, pomimo, że metoda doświadczalna, użyta przez Michelsona, jest dostatecznie czuła, aby zjawisko takie wykazać, gdyby ono istniało.

Dla wytłumaczenia tego ujemnego wyniku H. A. Lorentz musiał uciec się do hipotezy, że każde ciało, poruszające się względem eteru, zmienia automatycznie swoje rozmiary w kierunku ruchu, że doznaje pewnego skurczenia, w zależności od prędkości ruchu; natomiast Einstein, idąc dalej tokiem myśli Lorentza, wygłosił śmiało hipotezę, że każde wogóle zjawisko fizyczne przebiega według jednakowych zawsze praw we wszystkich ciałach, które poruszają się wzajemnie z prędkością jednostajną. Obserwator z przebiegu zjawiska fizycznego nigdy zatem wnioskować nie może, czy ciało, w którym zjawisko odbywa się, porusza się, czy też nie porusza się.

Ujęcie matematyczne tej hipotezy Einstein połączył z zasadniczą rewizją naszych pojęć o czasie i przestrzeni. On dopiero zwrócił na to uwagę, że dotychczas błędnie przyjmowano jednakoży przebieg czasu dla układów, będących w spoczynku i poruszających się, nie zastanawiając się wcale nad sposobem porównywania czasu. Określając w racjonalny sposób metodę porównywania zegarów (na podstawie sygnałów świetlnych), dochodzi się do wniosku, że czas dla układu znajdującego się w ruchu inaczej wpływa niż dla układu pozostającego w spoczynku (względem danego zegara); miary długości są również różne w owych dwu układach. Wydaje się to w pierwszej chwili tak dziwaczne, jest to tak sprzeczne z tradycyjnymi poglądami, że aż trudno wmyśleć się w znaczenie nowych określeń; ale do czegożby człowiek nie przyzwyczaił się? W ciągu kilku lat wszyscy wybitniejsi badacze nauczyli się myśleć nowym sposobem i dziwią się dawniejszej swej ślepotcie. A kto się

jeszcze nie nauczył, kryje się wstydliwie i nie śmie oponować; nikt zaprzeczyć nie może logicznej ścisłości i wyższości nowych założeń.

Czy jednak doświadczenie Michelsona nie jest za słabą faktyczną podstawą, żeby na niej opierać takie, pełne doniosłości rozumowania? Doświadczenie to, wraz z szeregiem innych analogicznych (Trouton and Noble i inne), jest potężnym argumentem za teorią względności; nasze jednak zaufanie do niej pochodzi może raczej stąd, że łączy ona, jak to czynią wszystkie istotnie dobre teorie, różne oddzielne, po części zagadkowe zjawiska w ramy jednolitego poglądu, tem samem wyjaśnia je i otwiera niespodziewane, nowe perspektywy. Nietylko doświadczenie Michelsona, również zjawisko aberracji światła, którego wytlumaczenie sprawiało teorii undulacyjnej nadzwyczajne trudności, doświadczenia Fresnela nad „unoszeniem“ światła przez cieczę płynącą, oraz zjawisko Dopplera, wyjaśniają się, z punktu widzenia teorii względności, w nader prosty sposób.

Zasada względności stosuje się wogóle do wszelkich zjawisk związanych z ruchem, gdy tymczasem dla ciał nieruchomych nie nowego wypowiedzieć ona nie zdoła. Dawny problemat znalezienia równań elektromagnetycznych, ważnych dla ciał poruszających się, który Hertz napróżno usiłował rozwiązać, który następnie H. A. Lorentz potężnie naprzód posunął, znalazł w teorii względności swe rozwiązanie; przedewszystkiem zaś zjawiska mechaniki, właściwej nauki o ruchu, zostają tu oświetlone w sposób zasadniczo nowy. Z teorii elektronowej H. A. Lorentz wyprowadził wniosek, że prawa zwykłej, klasycznej mechaniki są tylko przybliżenie ważne dla ciał złożonych z elektronów; że, przy bardzo wielkich prędkościach ruchu, pozorna masa takich ciał musi okazać się zależną od prędkości. Wiadomo, że pomiary doświadczalne Kaufmanna, Bucherera, Hupki nad odchyłaniem się (w polu magnetycznym) promieni katodowych, t. j. strumieni elektronów, nadzwyczajnie szybko poruszających się, dały istotnie wyniki, potwierdzające te rozumowania, wskutek czego utwierdził się ów pogląd rewolucyjny na istotę praw mechaniki.

Wnioski te wypływały jednak z zawilego obliczenia, opartego na równaniach teorii elektronowej; podlegały one jeszcze pewnym wątpliwościom co do ilościowej strony zjawisk, zależnie od specjalnych założeń o naturze elektronów. Tymczasem, z punktu widzenia nowej teorii względności, zmienność masy, zależnie od prędkości,

wynika w prosty sposób jako prawo ogólne, niezawisłe od teorii elektronowej. Teoria względności, jakkolwiek wyrosła na tle owej teorii, jest obecnie zupełnie od niej niezależna; jest teorią, przypominającą, pod względem ogólności i doniosłości, zasadę zachowania energii lub zasadę entropii; wkracza jednak jeszcze głębiej w zasadnicze pojęcia fizyki a nawet geometrii.

W związku też z tą nauką niektórzy uczeni (Einstein, Abraham i inni) zwrócili się znowu do spekulacji nad jednym z największych, a przez długi czas już nieporuszanym zagadnieniem, mianowicie nad pytaniem o istocie grawitacji. Idzie zwłaszcza o kwestię, czy i w jaki sposób zjawiska grawitacji, które dotychczas zajmują w fizyce stanowisko zupełnie odrębne, dają się objąć przez ogólne prawidła zasady względności. Wspaniałą perspektywę pod tym względem otwierają ostatnie zwłaszcza badania Einsteina. Usilne dążenia uczonych są obecnie ku temu skierowane, żeby w tej dziedzinie wynaleźć sposób doświadczalnego rozstrzygnięcia wobec różnych, napozór możliwych teorii grawitacji¹⁾.

Za mało było jeszcze sposobności do krytyki teoretycznej i kontroli doświadczalnej zasady względności; tyle jednak można powiedzieć, że jest najżywszem pragnieniem uczonych, aby ona sprawdziła się i utrzymała, w znakomity bowiem sposób stwarza jednolitość i harmonijną prostotę tam, gdzie bez niej panowałaby chaotyczna komplikacja różnorodnych, niepowiązanych ze sobą zjawisk. Matematycy zajmują się nią również z zapałem; prace Minkowskiego nad umysłowieniem przebiegu zjawisk fizycznych w wielowymiarowej przestrzeni otworzyły pole badań, nadzwyczajnie pociągające dla umysłów, zdolnych do wzniesienia się do wyżyn abstrakcji i znajdujących upodobanie w harmonii i w prostocie ogólnych symbolów matematycznych.

Wracając nakoniec do punktu wyjścia naszych rozważań, przypominajmy sobie różnicę atmosfery naukowej dzisiaj a przed laty dwudziestu. Jakżeby dziwili się obecnym prądom w nauce owi trzeźwi i ostrożni, albo raczej bojaźliwi uczeni, gdyby przebudzili się nagle w czasach dzisiejszych. Zwyciężyli w nauce romantycy. Z lekkim sercem burzymy czcigodne, tradycją usłębione dogmaty, jak niezmiennność pierwiastków chemicznych lub niewzruszoność

¹⁾ [Teoria grawitacji Alberta Einsteina i związane z nią dalsze badania i prace przeobrażają naukę; abstrakcyjnemu pojmowaniu zjawisk Natury nadają postać nową, której doniosłość jest nieobliczalna; *przyp. wyd.*].

zasad mechaniki, jeżeli one wydają się nam nieodpowiednie. Dzisiaj w teoriach fizycznych nie upatrujemy trwałej treści nauki, lecz raczej narzędzie badania. Nikogo też nie razi śmiałość nowych teorii. Nawet pozornie dziwaczne pomysły przyjmujemy z entuzjazmem, jakby objawienia, jeżeli okazują się pożyteczne jako drogowskazy w nowych badaniach, lub jeżeli ułatwiają syntezę znanych działów nauki. Nie znaczy to bynajmniej, by obecnie zwyciężyli bezkrytyczni fanteści. Kto nie wyszkolił się w ścisłym myśleniu matematycznym, kto nie przyzwyczaił się do precyzji w pracy doświadczalnej lub we wnioskowaniu logicznym, kto nie posiadał gruntownych wiadomości z całego obszaru fizyki, niech trzyma się zdaleka od twórczej pracy naukowej; fizyka pozostaje, jak była, pierwowzorem ścisłej nauki przyrodniczej.

XIV. ZARYS DZIEJÓW FIZYKI W POLSCE.

Poradnik dla Samouków. Wskazówki metodyczne dla studujących. Fizyka, Geofizyka, Meteorologia. — Wydawnictwo A. Heflich i St. Michalskiego. Z zapomogi Kasy im. Dra J. Mianowskiego. — Wydanie nowe. Tom II. Warszawa 1917, str. 300—309.

Fizyka w dawniejszych wiekach nie była uważana za osobny dział nauki; łączono ją zwykle z matematyką, a po części z astronomią; w pracach przedstawicieli tych nauk musimy doszukiwać się przyczynków do tych działów, które dzisiaj obejmujemy nazwą fizyki. W tem znaczeniu możemy do fizyków polskich zaliczyć jednego z najwybitniejszych uczonych średniowiecza (około r. 1270): Ciołka (Vitellio), którego dzieło o optyce zyskało szeroki rozgłos pomiędzy ówczesnymi uczonymi europejskimi, tak że wyparło nawet dzieło Peckhama: *Perspectiva communis*, uważane dawniej za klasyczne. Dzieło to, składające się z dziesięciu ksiąg, oparte jest w znacznej części na arabskiej optyce Alhazena, ale zawiera też liczne własne przyczynki autora. Znajdujemy w niem traktowane: geometrię odbicia od zwierciadeł płaskich, kulistych, walcowatych i parabolicznych, oraz przechodzenie promieni przez ciała przezroczyste. Między innemi autor tłumaczy tęzę, jako skutek załamania i odbicia się światła w kropelkach wody i porównywał zjawisko to z załamaniem się światła w pryzmacie. Dzieło Ciołka wyszło w druku w Bazylei w r. 1572 p. t. *Opticae libri decem*, str. 474 in folio.

Największy wpływ wywarła nauka nasza na rozwój fizyki pośrednio, gdy Kopernik położył podwaliny pod dzisiejszy systemat mechaniki nieba i tem samem zbudował podstawy późniejszego rozwoju dynamiki ogólnej, który zawdzięczamy Galileuszowi, Keplerowi i Newtonowi. Łącząc się tym sposobem ogólna hi-