

Werner Carl Heisenberg

Fizyka a filozofia

Przekład Stefana Amsterdamskiego

OD REDAKCJI

Polski przekład książki W. Heisenberga, który oddajemy w ręce czytelników, został dokonany na podstawie oryginalnego tekstu angielskiego. Uwzględnione w nim zostały merytoryczne zmiany i uzupełnienia wprowadzone przez autora do wydania niemieckiego (*Physik und Philosophie*, S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1959).

I. STARE I NOWE TRADYCJE

Gdy mówi się dziś o fizyce współczesnej, na myśl przychodzi przede wszystkim broń atomowa. Wszyscy zdają sobie sprawę z tego, jak ogromny wpływ ma istnienie tej broni na stosunki polityczne w świecie współczesnym, wszyscy zgodnie przyznają, że nigdy jeszcze wpływ fizyki na ogólną sytuację nie był tak wielki, jak obecnie. Czy jednak polityczny aspekt fizyki współczesnej rzeczywiście jest najbardziej doniosły? W jakiej mierze i na co fizyka miałaby wpływ, gdyby struktura polityczna świata została przystosowana do nowych możliwości technicznych?

Aby odpowiedzieć na te pytania, należy przypomnieć, że wraz z produkcją nowych narzędzi zawsze rozpowszechniają się idee, dzięki którym zostały one stworzone. Ponieważ każdy naród i każde ugrupowanie polityczne niezależnie od położenia geograficznego i tradycji kulturowych danego kraju musi w tej lub innej mierze interesować się nową bronią, przeto idee fizyki współczesnej przenikać będą do świadomości wielu narodów i zespalać się w rozmaity sposób ze starymi, tradycyjnymi poglądami. Jaki będzie wynik oddziaływania poglądów z tej dziedziny nauki współczesnej na głęboko zakorzenione stare tradycje? W tych krajach, w których powstała nauka współczesna, już od dawna niezmiernie żywo interesowano się praktycznymi zagadnieniami produkcji i technologii oraz ściśle z nimi związaną racjonalną analizą wewnętrznych i zewnętrznych warunków zastosowania odkryć naukowych w przemyśle. Narodom tych krajów dość łatwo będzie zrozumieć nowe koncepcje; miały czas na to, by powoli, stopniowo przyswajać sobie metody nowoczesnego myślenia naukowego. W innych krajach nastąpi starcie nowych idei z religijnymi i filozoficznymi poglądami stanowiącymi podstawę rodzimej kultury. Skoro prawdą jest, że teorie fizyki współczesnej nadają nowy sens tak podstawowym pojęciom, jak rzeczywistość, przestrzeń i czas, to w wyniku konfrontacji starych i nowych poglądów mogą zrodzić się zupełnie nowe kierunki rozwoju myśli, których dziś nie sposób jeszcze przewidzieć. Jedną z istotnych cech tej konfrontacji współczesnej nauki z dawnymi metodami myślenia będzie to, że nauce właściwy będzie całkowity internacjonalizm. W tej wymianie myśli jeden z partnerów - stare tradycje - będzie miał różne oblicze na rozmaitych kontynentach, drugi zaś, nauka - wszędzie będzie taka sama. Toteż wyniki owej wymiany idei będą docierały tam wszędzie, gdzie będą się toczyły dyskusje.

Z wymienionych wyżej względów może okazać się pożyteczna próba wyłożenia - w sposób możliwie przystępny - koncepcji fizyki współczesnej, rozpatrzenia wniosków filozoficznych, które z nich wynikają, i porównania ich z pewnymi starymi, tradycyjnymi

poglądami.

Najlepszym zapewne wprowadzeniem w problemy fizyki współczesnej jest omówienie historycznego rozwoju teorii kwantów. Oczywiście, teoria kwantów to jedynie mały wycinek fizyki atomowej, która z kolei jest niewielkim tylko fragmentem nauki współczesnej. Ale najbardziej zasadnicze zmiany sensu pojęcia rzeczywistości spowodowało właśnie powstanie teorii kwantów, w której wykrystalizowały się ostatecznie i skupiły nowe idee fizyki atomowej. Innym jeszcze aspektem tej dziedziny nauki współczesnej, odgrywającym nader istotną rolę, jest posługiwanie się niezwykle skomplikowanym wyposażeniem technicznym niezbędnym do prowadzenia fizycznych badań nad zjawiskami mikro-świata. Jednakże, jeśli chodzi o technikę doświadczalną fizyki jądrowej, to polega ona na stosowaniu niezwykle udoskonalonej, lecz tej samej metody badań, która warunkowała rozwój nauki nowożytnej od czasów Huyghensa, Volty czy też Faradaya. Zupełnie podobnie, onieśmielająco trudny aparat matematyczny niektórych działów teorii kwantów można traktować jako ostateczny wynik rozwoju metod, którymi posługiwali się Newton, Gauss i Maxwell. Natomiast zmiana sensu pojęcia rzeczywistości spowodowana przez mechanikę kwantową nie jest skutkiem kontynuacji dawnych idei; wydaje się, że jest ona zmianą przełomową, która naruszyła dotychczasową strukturę nauki.

Z tego względu pierwszy rozdział książki poświęcony został analizie historycznego rozwoju teorii kwantów.

II. HISTORIA TEORII KWANTÓW

Powstanie teorii kwantów jest związane z badaniami nad dobrze znanym zjawiskiem, którym nie zajmuje się żaden z centralnych działów fizyki atomowej. Każda próbka materii, gdy jest ogrzewana, rozżarza się, najpierw do czerwoności, później zaś, w wyższej temperaturze, do białości. Barwa silnie ogrzanego ciała w nieznacznej tylko mierze zależy od rodzaju substancji, a w przypadku ciała czarnego zależy wyłącznie od temperatury. Toteż promieniowanie ciała czarnego w wysokiej temperaturze stanowi obiecujący obiekt badań fizycznych. Jest to nieskomplikowane zjawisko, które powinno być łatwo wytłumaczone na podstawie znanych praw promieniowania i praw zjawisk cieplnych. W końcu dziewiętnastego stulecia lord Rayleigh i Jeans próbowali je wytłumaczyć w taki właśnie sposób; próba jednakże nie powiodła się, przy czym ujawniły się trudności natury zasadniczej. Nie jest rzeczą możliwą przedstawić je tutaj w sposób przystępny. Dlatego też zadowoliliśmy się stwierdzeniem, że stosowanie praw fizycznych znanych w owym czasie nie doprowadziło do zadowalających wyników. Kiedy w 1895 roku Planck zajął się tym zagadnieniem, spróbował je potraktować raczej jako problem promieniującego atomu niż problem promieniowania. Takie ujęcie nie usunęło żadnych trudności, uprościło jednak interpretację faktów doświadczalnych. W tym właśnie okresie, latem 1900 roku, Kurlbaum i Rubens przeprowadzili w Berlinie bardzo dokładne pomiary widma promieniowania cieplnego. Kiedy Planck dowiedział się o wynikach tych pomiarów, spróbował je wyrazić za pomocą prostych wzorów matematycznych, które wydawały się zgodne z wynikiem jego własnych badań dotyczących zależności między ciepłem i promieniowaniem. Pewnego dnia, goszcząc u Plancka, Rubens porównywał wspólnie z nim wyniki ostatnich swych pomiarów z wzorem proponowanym przez Plancka. Okazało się, że wzór jest całkowicie *zgodny* z danymi doświadczeń. W ten sposób zostało odkryte prawo Plancka, prawo promieniowania cieplnego ¹.

Był to jednak dopiero początek intensywnych badań teoretycznych, które podjął Planck. Należało podać właściwą interpretację fizyczną nowego wzoru. Wobec tego, że na podstawie swych wcześniejszych prac Planck łatwo mógł przełożyć swój wzór na twierdzenie o promieniującym atomie (o tak zwanym oscylatorze), to wkrótce już musiał zauważyć, że z wzoru tego wynika, iż oscylator może emitować energię jedynie kwantami, a więc w sposób nieciągły. Wniosek ten był tak zaskakujący i tak różnił się od wszystkiego, co wiedziano dotychczas z fizyki klasycznej, że Planck z pewnością nie mógł natychmiast uznać go za słuszny. Jednakże w ciągu lata 1900 roku, lata, podczas którego pracował niezwykle in-

¹ Por. M. Planck, *Zur Geschichte der Auffindung des physikalischen Wirkungsquantums*, "Naturwissenschaften", 31 (1943), s. 153 oraz Max von Laue, *Historia fizyki*, Warszawa 1960, s. 202—205 (przyp. red. wyd. polskiego).

tensywnie, przekonał się on ostatecznie, że wniosek ten narzuca się nieuchronnie. Syn Plancka opowiadał, że pewnego dnia podczas długiego spaceru w Grunewald - lesie na przedmieściu Berlina - ojciec mówił mu o swych nowych koncepcjach. Podczas tego spaceru Pianek zwierzył się, iż czuje, że dokonał odkrycia pierwszorzędnej wagi, które, być może, da się porównać jedynie z odkryciami Newtona. Tak więc musiał on już wówczas zdawać sobie sprawę, że jego wzór dotyczy podstaw naszego sposobu opisywania przyrody i że pewnego dnia podstawy te ulegną modyfikacji i przybiorą nową, dotychczas nie znaną postać. Pianek - uczony o konserwatywnych poglądach - bynajmniej nie był zadowolony z takich konsekwencji swego odkrycia; niemniej w grudniu 1900 roku opublikował swą hipotezę kwantową.

Pogląd, który głosił, że energia może być pochłaniana i emitowana jedynie kwantami, w sposób nieciągły, był całkowicie nowy i zupełnie się nie mieścił w ramach tradycyjnych koncepcji fizycznych. Podjęta przez Plancka próba pogodzenia nowej hipotezy z poprzednio odkrytymi prawami promieniowania spełzła na niczym, nie udało mu się bowiem usunąć pewnych sprzeczności o zasadniczym charakterze. Minać jednakże musiało aż pięć lat, zanim zdołano uczynić następny krok w nowym kierunku.

Wówczas właśnie młody Albert Einstein, rewolucyjny geniusz wśród fizyków, odważył się odejść jeszcze dalej od starych teorii. Istniały dwa zagadnienia, do których rozwiązania mógł on zastosować nowe idee. Jednym z nich było zagadnienie tak zwanego zjawiska fotoelektrycznego - emisji elektronów z metali pod wpływem promieniowania świetlnego. Doświadczenia, w szczególności doświadczenia Lenarda, wykazały, że energia emitowanego elektronu nie zależy od natężenia promieniowania świetlnego, lecz wyłącznie od jego barwy, mówiąc zaś ściślej - od jego częstotliwości. Dotychczasowa teoria promieniowania nie mogła wyjaśnić tego faktu. Einstein zdołał wytłumaczyć zaobserwowane zjawiska, interpretując w odpowiedni sposób hipotezę Plancka. Interpretacja ta głosiła, że światło składa się z kwantów energii poruszających się w przestrzeni. Zgodnie z założeniami hipotezy kwantów energia kwantu świetlnego powinna być równa iloczynowi częstotliwości światła i stałej Plancka.

Drugim zagadnieniem był problem ciepła właściwego ciał stałych.. Wartości ciepła właściwego obliczone na podstawie dotychczasowej teorii były zgodne z danymi doświadczeń tylko w zakresie wysokich temperatur; w zakresie niskich temperatur teoria była sprzeczna z danymi empirii. Również i w tym przypadku Einstein zdołał wykazać, że fakty te stają się zrozumiałe, jeśli sprężyste drgania atomów w ciałach stałych zinterpretuje się na podstawie hipotezy kwantów. Wyniki obu tych prac Einsteina były wielkim krokiem naprzód,

dowodziły bowiem, że kwant działania - jak nazywają fizycy stałą Plancka - występuje w różnych zjawiskach, również i takich, które bezpośrednio nie mają nic wspólnego z promieniowaniem cieplnym. Świadczyły one jednocześnie o tym, że nowa hipoteza ma charakter głęboko rewolucyjny: pierwszy z nich prowadził do opisu zjawisk świetlnych w sposób całkowicie odmienny od tradycyjnego opisu opartego na teorii falowej. Światło można było obecnie traktować bądź jako fale elektromagnetyczne - zgodnie z teorią Maxwella - bądź jako szybko poruszające się w przestrzeni kwanty świetlne, czyli porcje energii. Ale czy obydwie te opisy mogą być jednocześnie słuszne? Einstein wiedział oczywiście, że dobrze znane zjawiska dyfrakcji i interferencji wyjaśnić można jedynie na podstawie teorii falowej; nie mógł też kwestionować istnienia absolutnej sprzeczności między hipotezą kwantów świetlnych a teorią falową. Nie podjął on próby usunięcia sprzeczności między interpretacją falową i interpretacją opartą na hipotezie kwantów. Sprzeczność tę traktował po prostu jako coś, co prawdopodobnie zostanie wytłumaczone dopiero znacznie później.

Tymczasem doświadczenia Becquerela, Curie i Rutherforda w pewnym stopniu wyjaśniły problem budowy atomu. W roku 1911 na podstawie swych badań nad przenikaniem cząstek α [alfa] przez materię Rutherford opracował słynny model atomu. Atom przedstawiony został jako układ składający się z dodatnio naładowanego jądra, w którym skupiona jest niemal cała masa atomu, i z elektronów, krążących wokół niego jak planety wokół Słońca. Powstawanie wiązań chemicznych między atomami różnych pierwiastków potraktowano jako wynik wzajemnego oddziaływania zewnętrznych elektronów tych atomów. Jądro nie ma bezpośredniego wpływu na wiązania chemiczne. Chemiczne własności atomów *zależą* od jądra w sposób pośredni, wskutek tego, że jego ładunek decyduje o ilości elektronów w nie zjonizowanym atomie. Model ten początkowo nie wyjaśniał jednej z najbardziej charakterystycznych własności atomu, a mianowicie jego niezmierniej trwałości. Żaden układ planetarny, który porusza się zgodnie z prawami Newtona, nie może powrócić do stanu wyjściowego po zderzeniu z innym tego rodzaju układem. Natomiast atom, np. węgla, pozostaje atomem węgla, niezależnie od zderzeń i oddziaływań, którym ulega podczas reakcji chemicznej.

W roku 1913 Bohr, opierając się na hipotezie kwantów, sformułowanej przez Plancka, wytłumaczył tę niezwykłą trwałość atomu. Jeśli energia atomu może się zmieniać jedynie w sposób nieciągły - to wynika stąd nieuchronnie, że atom może znajdować się jedynie w dyskretnych stanach stacjonarnych, z których stan odpowiadający najmniejszej energii jest jego stanem normalnym. Dlatego atom poddany jakimkolwiek oddziaływaniu powróci ostatecznie do swego normalnego stanu.

Dzięki zastosowaniu teorii kwantów do konstruowania modelu atomu Bohr zdołał nie tylko wyjaśnić fakt trwałości atomów, lecz również podać dla niektórych prostszych przypadków teoretyczne wytłumaczenie charakteru liniowego widma promieniowania emitowanego przez atomy wzbudzone wskutek działania ciepła lub wyładowań elektrycznych. Jego teoria była oparta na prawach mechaniki klasycznej - zgodnie z którymi miały się poruszać elektrony po orbicie - oraz na pewnych warunkach kwantowych, nakładających ograniczenia na ruch elektronów i wyznaczających stacjonarne stany układu. Ścisłe matematyczne sformułowanie tych warunków podał później Sommerfeld. Bohr świetnie zdawał sobie sprawę z tego, że owe warunki naruszają w pewnym stopniu wewnętrzną zwartość mechaniki newtonowskiej. Na podstawie teorii Bohra można obliczyć częstotliwość promieniowania emitowanego przez najprostszy atom - atom wodoru, przy czym wynik okazuje się całkowicie zgodny z doświadczeniem. Uzyskane wartości różnią się jednak od częstości orbitalnych oraz ich harmoniczych dla elektronów obracających się wokół jądra i fakt ten był dodatkowym świadectwem tego, że teoria zawierała cały szereg sprzeczności. Zawierała ona jednak również istotną część prawdy. Podawała jakościowe wytłumaczenie chemicznych własności atomów oraz własności widm liniowych. Doświadczenia Francka i Hertza oraz Sterna i Gerlacha potwierdziły istnienie dyskretnych stanów stacjonarnych.

Teoria Bohra dała początek nowemu kierunkowi badań. Wielką ilość empirycznych danych z dziedziny spektroskopii, nagromadzonych w ciągu ubiegłych dziesięcioleci, można było obecnie wyzyskać do badania dziwnych praw kwantowych, którym podlegają ruchy elektronów w atomie. Do tego samego celu można było wyzyskać również dane rozmaitych doświadczeń chemicznych. Mając do czynienia z tego rodzaju problemami, fizycy nauczyli się prawidłowo formułować swe problemy; właściwe zaś postawienie zagadnienia często oznacza przebycie większej części drogi, która nas dzieli od jego rozwiązania.

Jakież to były problemy? W gruncie rzeczy wszystkie one były związane z zaskakującymi sprzecznościami między wynikami różnych doświadczeń. Jakże to jest możliwe, by to samo promieniowanie, które ma charakter falowy, o czym niezbicie świadczą zjawiska interferencji, wywoływało również zjawisko fotoelektryczne, a więc składało się z cząstek? Jakże to jest możliwe, by częstość obrotów elektronów wokół jądra nie zgadzała się z częstotliwością emitowanego promieniowania? Czy świadczy to o tym, że elektrony nie krążą po orbitach? Jeżeli zaś koncepcja orbit elektronowych jest niesłuszna, to co się dzieje z elektronem wewnątrz atomu? Ruch elektronów można obserwować w komorze Wilsona: czasami elektrony ulegają wybiciu z atomów. Dlaczego więc nie miałyby one poruszać się również wewnątrz atomów? Co prawda, można sobie wyobrazić, że gdy atom znajduje się w

stanie normalnym, czyli w stanie, któremu odpowiada najniższa energia, to elektrony mogą pozostawać w stanie spoczynku. Istnieją jednakże inne stany energetyczne atomów, w których powłoki elektronowe mają momenty pędu. W przypadku tego rodzaju stanów elektrony na pewno nie mogą pozostawać w spoczynku. Podobne przykłady można mnożyć. Przekonywano się ustawicznie, że próby opisanie zjawisk mikroświata w terminach fizyki klasycznej prowadzą do sprzeczności.

W pierwszej połowie lat dwudziestych fizycy stopniowo przyzwyczaili się do tych sprzeczności. Zorientowali się już z grubsza, gdzie i kiedy należy się ich spodziewać, i nauczyli się przezwycięzać trudności z nimi związane. Wiedzieli już, jak należy prawidłowo opisywać zjawiska atomowe, z którymi mieli do czynienia w poszczególnych eksperymentach. Nie wystarczało to wprawdzie do stworzenia spójnego, ogólnego opisu przebiegu procesów kwantowych, niemniej jednak wpływało na zmianę sposobu myślenia fizyków; stopniowo wnikali oni w ducha nowej teorii. Toteż już przed uzyskaniem spójnego sformułowania teorii kwantów umiano mniej lub bardziej dokładnie przewidywać wyniki poszczególnych doświadczeń.

Często dyskutowano nad tak zwanymi eksperymentami myślowymi. Ich celem jest udzielanie odpowiedzi na pewne nader istotne pytania - niezależnie od tego, czy aktualnie potrafi się przeprowadzić rzeczywiste doświadczenia odpowiadające tym eksperymentom myślowym. Jest bez wątpienia rzeczą ważną, by doświadczenia te zasadniczo można było zrealizować; ich technika może być jednak wielce skomplikowana. Eksperymenty myślowe okazały się niezwykle pomocne w wyjaśnieniu niektórych zagadnień. W przypadkach, gdy fizycy nie byli zgodni co do wyników tych lub innych eksperymentów tego rodzaju, często udawało się obmyśleć inne, podobne, lecz prostsze, które faktycznie można było przeprowadzić i które w istotny sposób przyczyniały się do wyjaśnienia szeregu problemów związanych z teorią kwantów.

Najdziwniejszym zjawiskiem było to, że ów proces wyjaśniania nie usuwał paradoksów teorii kwantów. Wręcz przeciwnie, stawały się one coraz wyraźniejsze i coraz bardziej zdumiewające. Znane jest na przykład doświadczenie Comptona, polegające na rozpraszaniu promieni Roentgena. Z wcześniejszych doświadczeń nad interferencją światła rozproszonego jasno wynikało, że mechanizm tego zjawiska jest następujący: padające fale elektromagnetyczne powodują drgania elektronu, których częstotliwość jest równa częstotliwości padającego promieniowania; drgający elektron emituje falę kulistą o tej samej częstotliwości i w ten sposób powstaje światło rozproszone. Jednakże w roku 1923 Compton stwierdził, że częstotliwość rozproszonych promieni rentgenowskich różni się od

częstotliwości promieni padających. Można to wytłumaczyć zakładając, że rozproszenie zachodzi wskutek zderzenia kwantu świetlnego z elektronem. W wyniku zderzenia zmienia się energia kwantu świetlnego, skoro zaś energia ta jest równa iloczynowi częstotliwości i stałej Plancka, to musi ulec zmianie również częstotliwość. Ale gdzież się podziła w tej interpretacji fala światła? Dwa doświadczenia - to doświadczenie, podczas którego zachodzi interferencja, oraz to, w którym ma się do czynienia z rozproszeniem i zmianą częstotliwości światła - wymagały tak różnych, tak sprzecznych interpretacji, że stworzenie jakiegokolwiek interpretacji kompromisowej wydawało się rzeczą niemożliwą.

W tym okresie wielu fizyków było już przekonanych, że te oczywiste sprzeczności są związane z wewnętrzną naturą fizyki atomowej. Z tego właśnie względu, w roku 1924 we Francji, de Broglie podjął próbę rozszerzenia koncepcji dualizmu falowo-korpuskularnego - objęcia nią również elementarnych cząstek materii, przede wszystkim elektronów. Wykazał on, że poruszającemu się elektronowi powinna odpowiadać pewnego rodzaju fala materii, zupełnie tak samo jak poruszającemu się kwantowi świetlnemu odpowiada fala świetlna. W tym czasie nie było jeszcze jasne, jaki sens w tym przypadku ma termin "odpowiadać". De Broglie zaproponował, aby warunki kwantowe występujące w teorii Bohra wytłumaczyć za pomocą koncepcji fal materii. Fala poruszająca się wokół jądra może być ze-względów geometrycznych jedynie falą stacjonarną, długość zaś orbity musi być całkowitą wielokrotnością długości fali. W ten sposób de Broglie powiązał warunki kwantowe, które w mechanice elektronu były obcym elementem - z dualizmem falowo-korpuskularnym. Trzeba było uznać, że występująca w teorii Bohra niezgodność między obliczoną częstotliwością obiegu elektronów a częstotliwością emitowanego promieniowania świadczy o ograniczeniu stosowalności pojęcia orbity elektronowej. Pojęcie to od samego początku budziło pewne wątpliwości. Niemniej jednak na wyższych orbitach, a więc w dużych odległościach od jądra, elektrony powinny się poruszać w taki sam sposób, jak w komorze Wilsona. W tym przypadku można więc mówić o orbitach elektronowych. Wielce pomyślną okolicznością był tu fakt, że dla wyższych orbit częstotliwości emitowanego promieniowania mają wartości zbliżone do częstości orbitalnej i jej wyższych harmonicznym. Już w swych pierwszych publikacjach Bohr wskazywał na to, że natężenia linii widma zbliżają się do natężeń promieniowania odpowiadających poszczególnym harmonicznym. Ta zasada korespondencji okazała się wielce użyteczna przy przybliżonym obliczaniu natężeń linii widma. Zdawało to się świadczyć o tym, że teoria Bohra daje jakościowy, nie zaś ilościowy opis tego, co się dzieje wewnątrz atomu, i że warunki kwantowe wyrażają w sposób jakościowy pewne nowe cechy zachowania się materii i związane są z dualizmem falowo-korpuskularnym.

Ścisłe, matematyczne sformułowanie teorii kwantów powstało w wyniku rozwoju dwóch różnych kierunków badań. Punktem wyjścia pierwszego kierunku była zasada korespondencji Bohra. Tutaj należało w zasadzie zrezygnować z pojęcia orbity elektronowej i stosować je co najwyżej w granicznych przypadkach wielkich liczb kwantowych, czyli - innymi słowy - wielkich orbit. W tych bowiem przypadkach częstotliwość i natężenie emitowanego promieniowania pozwalają stworzyć obraz orbity elektronowej; reprezentuje ją to, co matematycy nazywają rozwinięciem Fouriera. Wynikało stąd, że prawa mechaniczne należy zapisywać w postaci równań, których zmiennymi nie są położenia i prędkości elektronów, lecz częstotliwości i amplitudy składowych harmonicznych ich rozwinięcia fourierowskiego. Można było mieć nadzieję, że biorąc takie równania za punkt wyjścia i zmieniając je tylko nieznacznie, uzyska się stosunki tych wielkości, które odpowiadają częstotliwości i natężeniu emitowanego promieniowania, nawet w przypadku małych orbit i podstawowych stanów atomów. Obecnie plan ten mógł już być zrealizowany. Latem 1925 roku powstał aparat matematyczny tak zwanej mechaniki macierzowej albo - bardziej ogólnie - mechaniki kwantowej. Równania ruchu mechaniki Newtona zastąpiono podobnymi równaniami rachunku macierzy. Zaskakujące było to, że wiele wniosków wysnutych z mechaniki newtonowskiej, takich na przykład, jak prawo zachowania energii itd., można było wyprowadzić również z nowego schematu. Późniejsze badania Borna, Jordana i Diraca wykazały, że macierze przedstawiające położenia i pędy elektronów są nie przemienne. Ten ostatni fakt dobitnie świadczył o istnieniu zasadniczej różnicy między mechaniką klasyczną i kwantową.

Drugi kierunek badań był związany z koncepcją fali materii sformułowaną przez de Broglie'a. Schrodinger usiłował znaleźć równanie falowe dla fal de Broglie'a otaczających jądro. Na początku 1926 roku udało mu się wyprowadzić wartości energii dla stacjonarnych stanów atomu wodoru jako "wartości własne" równania falowego oraz podać ogólne zasady przekształcania danego układu klasycznych równań ruchu w odpowiednie równanie falowe związane z pojęciem przestrzeni wielowymiarowej. Później zdołał on wykazać, że aparat formalny mechaniki falowej jest matematycznie równoważny opracowanemu wcześniej aparatowi mechaniki kwantowej.

W ten sposób uzyskano wreszcie spójny aparat matematyczny. Można było do niego dojść w dwojaki sposób: bądź wychodząc z relacji między macierzami, bądź też z równania falowego. Za jego pomocą można było matematycznie wyprowadzić poprawne wartości energii atomu wodoru; po niespełna roku okazało się, że to samo można zrobić w przypadku atomu helu oraz - co było bardziej skomplikowane - atomów cięższych. Ale w jakim sensie

nowy formalizm matematyczny opisywał atom? Paradoksy dualizmu falowo-korpuskularnego nie zostały rozwiązane; były one gdzieś ukryte w schemacie matematycznym.

Pierwszy krok w kierunku rzeczywistego zrozumienia teorii kwantów uczynili Bohr, Kramers i Slater w roku 1924. Uczni ci podjęli niezwykle interesującą próbę, usiłowali mianowicie rozwiązać sprzeczność między koncepcją korpuskularną i falową za pomocą pojęcia fali prawdopodobieństwa. Fale elektromagnetyczne potraktowali nie jako fale "rzeczywiste", lecz jako fale prawdopodobieństwa; natężenie takiej fali w każdym punkcie miało określać prawdopodobieństwo pochłonięcia lub emisji kwantu światlnego przez atom w tym właśnie punkcie. Z koncepcji tej wynikało, że prawa zachowania energii i pędu nie muszą się spełniać w każdym zdarzeniu, że są to jedynie prawa statystyczne, które pozostają w mocy tylko jako pewne „średnie statystyczne”. Wniosek ten był jednakże niesłuszny, a związki między falowym i korpuskularnym aspektem promieniowania okazały się później jeszcze bardziej skomplikowane.

Mimo to w publikacji Bohra, Kramersa i Slatera ujawnił się pewien istotny rys właściwej interpretacji teorii kwantów. Pojęcie fali prawdopodobieństwa było czymś zgoła nowym w fizyce teoretycznej. Prawdopodobieństwo w matematyce albo w mechanice statystycznej wyraża stopień zaawansowania naszej wiedzy o rzeczywistej sytuacji. Nie znamy dostatecznie dokładnie ruchu ręki rzucającej kostkę, ruchu, od którego zależy wynik rzutu, i dlatego mówimy, że prawdopodobieństwo jakiegoś określonego wyniku jest równe jednej szóstej. Natomiast pojęcie fali prawdopodobieństwa Bohra, Kramersa i Slatera wyrażało coś więcej - wyrażało tendencję do czegoś. Była to ilościowa wersja starego arystotelesowskiego pojęcia "potencji". Wprowadzenie pojęcia fali prawdopodobieństwa oznaczało uznanie istnienia czegoś pośredniego między ideą zdarzenia a rzeczywistym zdarzeniem - pewnej osobliwej rzeczywistości fizycznej, zawartej między możliwością a rzeczywistością.

Później, kiedy aparat matematyczny teorii kwantów został już stworzony, Born powrócił do koncepcji fal prawdopodobieństwa. Podał on wówczas ścisłą definicję pewnej wielkości, która występuje w aparacie matematycznym tej teorii i może być zinterpretowana jako fala prawdopodobieństwa. Nie jest to jednak fala trójwymiarowa, jak np. w ośrodku sprężystym lub fala radiowa, lecz fala w wielowymiarowej przestrzeni kon-figuracyjnej, a więc abstrakcyjna wielkość matematyczna.

Ale nawet jeszcze wtedy, latem 1926 roku, bynajmniej nie zawsze było rzeczą jasną, jak należy się posługiwać aparatem matematycznym, aby opisać daną sytuację doświadczalną. Wprawdzie umiano już opisywać stany stacjonarne atomów, ale nie

wiedziano, w jaki sposób ująć matematycznie o wiele prostsze zjawiska, takie na przykład, jak ruch elektronu w komorze Wilsona.

Latem tego roku Schrodinger wykazał, że formalizm mechaniki kwantowej jest matematycznie równoważny formalizmowi mechaniki falowej, po czym przez pewien czas próbował zrezygnować z koncepcji kwantów i "przeskoków kwantowych" oraz zastąpić elektrony w atomie trójwymiarowymi falami materii. Skłaniał go do tego poprzednio uzyskany przez niego wynik, który zdawał się wskazywać, iż zamiast mówić o poziomach energetycznych atomu wodoru należy mówić po prostu o częstotliwościach własnych stacjonarnych fal materii. W związku z tym Schrodinger sądził, że błędem jest uważać, że to, co nazywano poziomami energetycznymi atomu wodoru, dotyczy energii. Jednakże w trakcie dyskusji, które toczyły się jesienią 1926 roku w Kopenhadze między Bohrem, Schrodingerem i kopenhaską grupą fizyków, rychło się okazało, że taka interpretacja nie wystarcza nawet do wyjaśnienia wzoru Plancka na promieniowanie cieplne.

Po zakończeniu tych dyskusji przez kilka miesięcy intensywnie badano w Kopenhadze wszystkie problemy związane z interpretacją mechaniki kwantowej; badania te doprowadziły do całkowitego i - jak wielu fizyków sądzi - zadowalającego wyjaśnienia sytuacji. Nie było to jednak rozwiązanie, które było łatwo przyjąć. Przypominam sobie wielogodzinne, przeciągające się do późnej nocy dyskusje z Bohrem, które doprowadzały nas niemal do rozpacz. Ilekroć po zakończonej dyskusji samotnie spacerowałem w pobliskim parku, niezmiennie zadawałem sobie pytanie: czy przyroda może być rzeczywiście aż tak absurdalna, jak się to nam wydaje, gdy rozważamy wyniki doświadczalnych badań zjawisk atomowych?

Ostateczne rozwiązanie uzyskano w dwojaki sposób. Jeden z nich polegał na odwróceniu zagadnienia. *Zamiast* pytać: Jak opisać daną sytuację doświadczalną, posługując się znanym schematem matematycznym? - postawiono pytanie: "Czy prawdą jest, że w przyrodzie mogą się *zdarzać* tylko takie sytuacje doświadczalne, które można opisać matematycznie?" *Założenie*, że tak jest rzeczywiście, prowadzi do tezy o ograniczonej stosowalności pewnych pojęć, które od czasów Newtona były podstawą fizyki klasycznej. Można mówić o położeniu i o prędkości elektronu oraz - tak jak w mechanice klasycznej - obserwować je i mierzyć. Ale jednocześnie, dowolnie dokładne określenie obydwu jest niemożliwe. Iloczyn niedokładności tych dwóch pomiarów okazuje się nie mniejszy niż stała Plancka podzielona przez masę cząstki. Podobne zależności można wyprowadzić również dla innych sytuacji doświadczalnych. Nazywa się je zazwyczaj relacjami nieoznaczoności bądź stosuje się termin „zasada nieokreśloności”. Przekonano się, że stare pojęcia „pasują” do przyrody jedynie w przybliżeniu.

Drugi sposób dojścia do rozwiązania był związany z koncepcją komplementarności wysunięta przez Bchra. Schrodinger przedstawił atom jako układ składający się nie z jądra i z elektronów, lecz z jądra i z fal materii. Nie ulegało wątpliwości, że idea fal materii również zawiera ziarno prawdy. Bohr traktował dwa opisy - falowy i korpuskularny - jako komplementarne, uzupełniające się opisy tej samej rzeczywistości; uznał on, że każdy z nich może być tylko częściowo prawdziwy. Trzeba przyjąć, że istnieją granice stosowalności zarówno pojęcia fali, jak i pojęcia cząstki, w przeciwnym bowiem przypadku nie można uniknąć sprzeczności. Jeśli się uwzględni te ograniczenia, które wynikają z relacji nieoznaczoności - sprzeczności znikną.

W ten sposób wiosną 1927 roku uzyskano spójną interpretację teorii kwantów; nazywa się ją często interpretacją kopenhaską. Została ona poddana ogniowej próbie na kongresie Solvayowskim, który odbył się w Brukseli jesienią 1927 roku. Doświadczenia, które prowadziły do najbardziej kłopotliwych paradoksów, raz jeszcze wszechstronnie rozpatrzono, nie pomijając żadnych szczegółów; w dyskusji szczególnie wielką rolę odegrał Einstein. Wynajdywano nowe eksperymenty myślowe, aby wykryć w tej koncepcji jakąś wewnętrzną sprzeczność. Okazała się ona jednak spójna i wszystko przemawiało za tym, że jest również zgodna z doświadczeniem.

Interpretację kopenhaską szczegółowo omówimy w rozdziale następnym. Należy podkreślić, że od chwili, gdy po raz pierwszy sformułowano hipotezę o istnieniu kwantów energii, upłynęło ponad ćwierć stulecia, zanim rzeczywiście zrozumiano prawa teorii kwantów. Świadczyło to o tym, że podstawowe pojęcia dotyczące rzeczywistości musiały ulec wielkim zmianom, aby zdołano zrozumieć nową sytuację.

III. KOPENHASKA INTERPRETACJA TEORII KWANTÓW

Punktem wyjścia interpretacji kopenhaskiej jest paradoks. Każde doświadczenie fizyczne, niezależnie od tego, czy dotyczy zjawisk życia codziennego, czy też mikroświata, może być opisane wyłącznie w terminach fizyki klasycznej. Język pojęć klasycznych jest językiem, którym posługujemy się, gdy opisujemy doświadczenia oraz ich wyniki. Pojęć tych nie umiemy i nie możemy zastąpić innymi. Jednocześnie jednak relacje nieoznaczoności ograniczają zakres stosowalności tych pojęć. O ograniczeniu stosowalności pojęć klasycznych musimy pamiętać, gdy się nimi posługujemy; nie potrafimy jednak udoskonalić tych pojęć.

Lepiej zrozumieć ten paradoks można dzięki porównaniu dwóch rodzajów interpretacji doświadczeń: interpretacji opartej na mechanice klasycznej oraz interpretacji opartej na mechanice kwantowej. W mechanice newtonowskiej punktem wyjścia mogą być na przykład pomiary położenia i pędu planet, których ruch zamierzamy zbadać. Wyniki obserwacji przekłada się na język matematyki, podając liczbowe wartości współrzędnych i pędu planet. Równania ruchu umożliwiają obliczenie na podstawie wartości współrzędnych i pędów dla danej chwili - ich wartości oraz wartości innych wielkości charakteryzujących układ w chwili późniejszej. W ten właśnie sposób astronom przewiduje przyszły stan układu; może on na przykład podać dokładny czas przyszłego zaćmienia Księżyca.

W mechanice kwantowej postępuje się nieco inaczej. Przypuśćmy, że interesuje nas ruch elektronu w komorze Wilsona. Na podstawie pewnych obserwacji możemy określić położenie i prędkość elektronu dla danej chwili. Określenie to jednak nie będzie dokładne. Zawierać musi przynajmniej taką niedokładność, jaka wynika z relacji nieoznaczoności; przypuszczalnie określenie to będzie obciążone dodatkowymi błędami związanymi ze skomplikowanym charakterem doświadczenia. Pierwsza z tych niedokładności pozwala przełożyć wyniki obserwacji na matematyczny język teorii kwantów. Podaje się pewną funkcję prawdopodobieństwa, która opisuje sytuację doświadczalną w chwili pomiaru i uwzględnia również jego możliwe błędy.

Ta funkcja prawdopodobieństwa stanowi jak gdyby połączenie dwóch elementów, opisuje bowiem pewien fakt, a zarazem wyraża stan naszej wiedzy o tym fakcie. Opisuje ona pewien fakt, albowiem przypisuje prawdopodobieństwo równe jedności (co oznacza absolutną pewność) sytuacji w chwili początkowej; sytuacja ta polega na tym, że elektron porusza się z "zaobserwowaną" prędkością w "zaobserwowanym" miejscu. Słowo "zaobserwowany" znaczy tu tyle, co "zaobserwowany z dokładnością rzędu błędu doświadczenia". Funkcja ta wyraża też stan naszej wiedzy, jako że inny obserwator mógłby

ewentualnie dokładniej poznać położenie elektronu. Błąd doświadczenia - przynajmniej w pewnym zakresie - nie wynika z własności samego elektronu, lecz z niedokładności, z nieściśłości naszej wiedzy o nim; tę niedokładność wyraża funkcja prawdopodobieństwa.

W fizyce klasycznej również uwzględnia się błędy doświadczenia, ilekroć prowadzi się dokładne badania. Uzyskuje się wówczas rozkład statystyczny początkowych wartości współrzędnych i prędkości, a więc coś bardzo podobnego do funkcji prawdopodobieństwa, która występuje w teorii kwantów. Nie mamy tu jednak do czynienia z tą nieuchronną niedokładnością, którą wskazuje relacja nieoznaczoności.

Kiedy na podstawie obserwacji ustalimy już wartości funkcji prawdopodobieństwa dla chwili początkowej, wówczas, korzystając ze znajomości praw teorii kwantów, możemy obliczyć jej wartości dla dowolnej późniejszej chwili. Dzięki temu można określić prawdopodobieństwo tego, że w wyniku pomiaru uzyskamy określoną wartość mierzonej wielkości fizycznej. Możemy na przykład obliczyć prawdopodobieństwo tego, że elektron w pewnej chwili znajdzie się w pewnym określonym miejscu komory Wilsona. Należy jednakże podkreślić, że funkcja prawdopodobieństwa nie opisuje przebiegu zdarzeń w czasie. Charakteryzuje ona tendencję do realizacji zdarzeń i naszą wiedzę o zdarzeniach. Funkcję prawdopodobieństwa można powiązać z rzeczywistością jedynie wówczas, gdy zostanie spełniony pewien istotny warunek, a mianowicie, gdy będzie przeprowadzony nowy pomiar określonej wielkości charakteryzującej układ. Tylko wówczas funkcja prawdopodobieństwa umożliwi obliczenie prawdopodobnego wyniku nowego pomiaru. Wynik pomiaru zawsze jest wyrażony w języku fizyki klasycznej.

Toteż istnieją trzy etapy teoretycznej interpretacji doświadczenia: 1) opisanie sytuacji początkowej za pomocą funkcji prawdopodobieństwa; 2) obliczenie zmian tej funkcji w czasie; 3) dokonanie nowego pomiaru, którego wynik może być obliczony na podstawie funkcji prawdopodobieństwa. Na pierwszym etapie koniecznym warunkiem jest spełnianie się relacji nieoznaczoności.

Drugiego etapu nie można opisać za pomocą pojęć klasycznych; w związku z tym nie można powiedzieć, co się dzieje z układem między pierwszą obserwacją a późniejszym pomiarem. Dopiero na trzecim etapie powracamy od "tego, co możliwe", do "tego, co rzeczywiste".

Rozpatrzmy obecnie dokładniej te trzy etapy, odwołując się do prostego eksperymentu myślowego. Powiedzieliśmy, że atom składa się z jądra oraz z obracających się wokół niego elektronów i że pojęcie orbity elektronowej budzi wątpliwości. Mógłby ktoś powiedzieć, że przynajmniej w zasadzie powinno być możliwe obserwowanie elektronu poruszającego się po

orbicie. Gdybyśmy po prostu obserwowali atom w mikroskopie o bardzo wielkiej zdolności rozdzielczej, to ujrzelibyśmy wówczas elektron krążący po swej orbicie. Takiej zdolności rozdzielczej na pewno nie może posiadać zwykły mikroskop, ponieważ niedokładność pomiaru położenia nigdy nie może być mniejsza od długości fali świetlnej. Taką zdolność rozdzielczą mógłby jednak posiadać mikroskop, w którym wyzyskano by promienie γ [gamma], bowiem długość ich fal jest mniejsza od średnicy atomów. Mikroskopu takiego wprawdzie nie skonstruowano, nie przeszkadza to nam jednak rozważyć pewien eksperyment myślowy.

Czy można - po pierwsze - przedstawić wyniki obserwacji za pomocą funkcji prawdopodobieństwa? Powiedzieliśmy poprzednio, że jest to możliwe tylko pod warunkiem, że spełniona będzie relacja nieoznaczoności. Położenie elektronu można określić z dokładnością rzędu długości fal promieni γ [gamma]. Załóżmy, że przed obserwacją elektron mógł nawet znajdować się w spoczynku. W trakcie pomiaru przynajmniej jeden kwant promieni γ [gamma] musiałby zderzyć się z elektronem, zmienić kierunek ruchu i przejść przez mikroskop. Toteż elektron musiałby zostać uderzony przez kwant, co spowodowałoby zmianę jego pędu i prędkości. Można wykazać, że nieoznaczoność tej zmiany jest taka, jakiej wymaga relacja nieoznaczoności. A więc na pierwszym etapie nie napotkalibyśmy żadnych trudności.

Jednocześnie można łatwo dowieść, że obserwacja orbity elektronu jest niemożliwa. Na drugim etapie przekonujemy się, że paczka fal nie porusza się wokół jądra, lecz oddala się od atomu, ponieważ już pierwszy kwant powoduje wybicie elektronu z atomu. Jeśli długość fal promieni γ [gamma] jest znacznie mniejsza od rozmiarów atomu, to pęd kwantu świetlnego jest bez porównania większy od początkowego pędu elektronu. Toteż energia pierwszego kwantu świetlnego byłaby całkowicie wystarczająca do wybicia elektronu, z atomu. Z tego wynika, że obserwować można wyłącznie jeden punkt jego toru. Dlatego właśnie mówimy, że orbita w zwykłym sensie tego słowa - nie istnieje. W trzecim stadium kolejna obserwacja wykaże, że elektron po wybiciu z atomu oddala się od niego. Mówiąc ogólnie: nie jesteśmy w stanie opisać tego, co się dzieje między dwiema następującymi po sobie obserwacjami. Mamy oczywiście ochotę powiedzieć, że w interwale czasowym między dwiema obserwacjami elektron musiał się jednak gdzieś znajdować i że musiał zatem opisać jakąś trajektorię lub orbitę, nawet jeśli nie można ustalić, jaka to była trajektoria. Taki argument miałby sens w fizyce klasycznej. Natomiast w teorii kwantów byłby on - jak przekonamy się później - niczym nie usprawiedliwionym nadużyciem języka. Obecnie nie

rozstrzygamy kwestii, czy mamy tu do czynienia z zagadnieniem gnozeologicznym, czy też ontologicznym, to znaczy z twierdzeniem o sposobie, w jaki można mówić o mikrozwiskach, czy też z twierdzeniem o nich samych. W każdym razie musimy zachować daleko idącą ostrożność, gdy formułujemy twierdzenia dotyczące zachowania się cząstek elementarnych.

W gruncie *rzeczy* w ogóle nie musimy mówić o cząstkach. Gdy opisujemy doświadczenia, często o wiele wygodniej jest mówić o falach materii - na przykład o stacjonarnych falach materii wokół jądra atomu. Jeśli nie weźmiemy pod uwagę ograniczeń wynikających z relacji nieoznaczoności, to taki opis będzie jawnie sprzeczny z innym opisem; dzięki owym ograniczeniom unikamy sprzeczności. Stosowanie pojęcia "fala materii" jest dogodne np. wówczas, gdy rozpatruje się emisję promieniowania z atomu. Natężenie i częstotliwość tego promieniowania informują nas o rozkładzie oscylującego ładunku w atomie; w tym przypadku obraz falowy jest bliższy prawdy niż korpuskularny. Z tego właśnie powodu Bohr radził stosować obydwa sposoby opisu, które nazwał komplementarnymi, uzupełniającymi się wzajemnie. Opisy te oczywiście wykluczają się nawzajem, albowiem ta sama rzecz nie może być jednocześnie korpuskułą (czyli substancją skupioną w bardzo małym obszarze przestrzeni) i falą (innymi słowy - polem szeroko rozpościerającym się w przestrzeni). Równocześnie jednak opisy te uzupełniają się wzajemnie. Korzystając z obu opisów, przechodząc od jednego do drugiego i *vice versa*, uzyskujemy wreszcie właściwe wyobrażenie o dziwnego rodzaju rzeczywistości, z którą mamy do czynienia w doświadczalnym badaniu zjawisk mikroświata. Interpretując teorię kwantów, Bohr wielokrotnie stosuje termin "komplementarność". Wiedza o położeniu cząstki jest komplementarna w stosunku do wiedzy o jej prędkości (lub pędzie). Im większa jest dokładność pomiaru jednej z tych wielkości, tym mniej dokładnie znamy drugą. Musimy jednak znać obie, jeśli mamy określić zachowanie się układu. Czo-przestrzenny opis zdarzeń zachodzących w świecie atomu jest komplementarny w stosunku do opisu deterministycznego. Funkcja prawdopodobieństwa zmienia się zgodnie z równaniem ruchu, tak jak współrzędne w mechanice Newtona. Zmienność tej funkcji w czasie jest całkowicie określona przez równanie mechaniki kwantowej; funkcja ta nie umożliwia jednak podania czaso-przestrzennego opisu układu. Z drugiej strony - akt obserwacji wymaga opisu czaso-przestrzennego, a jednocześnie narusza ciągłość funkcji prawdopodobieństwa, ponieważ zmienia naszą wiedzę o układzie. Ogólnie rzecz biorąc, dualizm polegający na istnieniu dwu różnych opisów tej samej rzeczywistości nie przeszkadza nam, ponieważ analizując matematyczny aparat teorii przekonaliśmy się, że nie zawiera ona sprzeczności. Dobitnym

wyrazem tego dualizmu jest giętkość aparatu matematycznego. Wzory matematyczne zapisuje się zazwyczaj w ten sposób, że przypominają one mechanikę newtonowską z jej równaniami ruchu, w których występują współrzędne i pędy. Proste przekształcenie wzorów umożliwia uzyskanie równania falowego opisującego trójwymiarowe fale materii. Tak więc możliwość posługiwania się różnymi komplementarnymi opisami znajduje swój odpowiednik w możliwości dokonywania rozmaitych przekształceń aparatu matematycznego. Operowanie komplementarnymi opisami nie stwarza żadnych trudności w posługiwaniu się kopenhaską interpretacją mechaniki kwantowej.

Zrozumienie tej interpretacji staje się jednak rzeczą trudną, gdy zadaje się słynne pytanie: "Jak <<naprawdę>> przebiega mikroproces?" Była już mowa o tym, że pomiar i wyniki obserwacji można opisać tylko za pomocą terminów fizyki klasycznej. Na podstawie obserwacji uzyskuje się funkcję prawdopodobieństwa. W języku matematyki wyraża ona to, że wypowiedzi o możliwościach czy też tendencjach wiążą się jak najściślej z wypowiedziami o naszej wiedzy o faktach. Dlatego też wyniku obserwacji nie możemy uznać za całkowicie obiektywny i nie możemy opisać tego, co zachodzi pomiędzy jednym pomiarem a drugim. Zdaje się to świadczyć o tym, że wprowadziliśmy do teorii element subiektywizmu i że trzeba powiedzieć: to, co zachodzi, zależy od naszego sposobu obserwacji albo nawet od samego faktu obserwacji. *Zanim* jednak przejdziemy do rozpatrzenia zagadnienia subiektywizmu, trzeba dokładnie wytłumaczyć, dlaczego napotykamy nieprzewyciężone trudności, gdy usiłujemy opisać to, co zachodzi między dwiema kolejnymi obserwacjami.

Rozpatrzmy w tym celu następujący eksperyment myślowy: Załóżmy, że światło monochromatyczne pada na czarny ekran, w którym są dwa małe otwory. Średnica otworów jest niewiele większa od długości fal świetlnych, natomiast znacznie większa od niej jest odległość między otworami. Klisza fotograficzna umieszczona w pewnej odległości za ekranem rejestruje światło, które przeniknęło przez otwory. Jeżeli opisując powyższe doświadczenie posługujemy się teorią falową, to mówimy, że przez oba otwory przechodzą fale świetlne padające na ekran; odbywa się to w ten sposób, że z otworów rozchodzą się wtórne, interferujące ze sobą fale kuliste; wskutek interferencji pojawiają się na wywołanej kliszy charakterystyczne jasne i ciemne prążki.

Poczernienie kliszy fotograficznej jest wynikiem procesu kwantowego, reakcji chemicznej, którą wywołują pojedyncze kwanty świetlne. Dlatego powinna również istnieć możliwość opisanego tego doświadczenia w terminach teorii kwantów świetlnych. Gdyby można było mówić o tym, co się dzieje z pojedynczym kwantem świetlnym od chwili

wypromieniowania go ze źródła do chwili pochłonięcia go na kliszy, to należałoby rozumować w sposób następujący: Pojedynczy kwant świetlny może przejść tylko przez jeden z dwu otworów w ekranie. Jeśli przechodzi przez pierwszy otwór, to prawdopodobieństwo pochłonięcia tego kwantu w określonym punkcie kliszy fotograficznej nie może zależeć od tego, czy drugi otwór jest zamknięty, czy otwarty. Rozkład prawdopodobieństw powinien być taki sam jak w przypadku, gdy otwarty jest tylko pierwszy otwór. Jeśli doświadczenie powtórzymy wielokrotnie i rozpatrzymy oddzielnie przypadki, w których kwanty świetlne przeszły przez pierwszy otwór, to okaże się, że poczernienie kliszy fotograficznej powinno odpowiadać temu rozkładowi prawdopodobieństw. Jeśli rozpatrzymy następnie te przypadki, w których kwanty świetlne przeszły przez drugi otwór, to dojdziemy do wniosku, że poczernienie kliszy wywołane przez te kwanty powinno odpowiadać rozkładowi prawdopodobieństw uzyskanemu na podstawie założenia, że otwarty był tylko drugi otwór. Toteż poczernienie kliszy, będące łącznym wynikiem wszystkich tych doświadczeń, powinno być sumą zaciemnień uzyskanych w obu typach przypadków; innymi słowy - na kliszy nie powinno być prążków interferencyjnych. Wiemy jednakże, że tak nie jest i że w wyniku doświadczenia ukazują się na niej prążki. Dlatego twierdzenie, że każdy kwant świetlny musiał przejść bądź przez pierwszy, bądź przez drugi otwór, prowadzi do sprzeczności i jest rzeczą wątpliwą, czy jest ono słuszne. Przykład ten świadczy o tym, że funkcja prawdopodobieństwa nie pozwala opisać tego, co zachodzi między dwiema obserwacjami. Każda próba podania takiego opisu będzie prowadziła do sprzeczności; to zaś oznacza, że termin "zachodzi" ma sens jedynie wtedy, gdy jest związany z opisem obserwacji.

Jest to bardzo dziwny wniosek; zdaje się z niego wynikać, że obserwacja odgrywa decydującą rolę w zdarzeniu i że rzeczywistość zmienia się w zależności od tego, czy obserwujemy ją, czy nie. Aby wyjaśnić tę sprawę, musimy dokładniej zbadać, na czym polega proces obserwacji.

Przystępując do rozpatrzenia procesu obserwacji, należy pamiętać, że w naukach przyrodniczych przedmiotem badań nie jest cały wszechświat, którego część stanowimy my sami. Przyrodnik bada tylko pewne fragmenty wszechświata. W fizyce atomowej fragment ten jest zazwyczaj obiektem znikomo małym; jest to cząstka elementarna bądź grupa takich cząstek, a niekiedy obiekt większy - co zresztą nie jest ważne w tej chwili. Ważne na razie dla nas jest to, że ogromna część wszechświata, obejmująca nas samych, nie jest tu przedmiotem badań.

Teoretyczna interpretacja doświadczenia ma dwa stadia początkowe, które już omówiliśmy. W pierwszym stadium zadanie polega na opisanu sytuacji doświadczalnej,

ewentualnie łącznie z pierwszym pomiarem, i przełożeniu tego opisu - dokonanego za pomocą terminów fizyki klasycznej - na język funkcji prawdopodobieństwa. Funkcja podlega prawom teorii kwantów; na podstawie znajomości warunków początkowych można obliczyć jej zmiany w czasie, które mają charakter ciągły. Jest to stadium drugie. W funkcji prawdopodobieństwa elementy subiektywne łączą się z obiektywnymi. Zawiera ona *implicite* pewne twierdzenia o możliwościach, czy też - powiedzmy raczej - o tendencjach ("potencjach" - według terminologii arystotelesowskiej). Twierdzenia te mają charakter całkowicie obiektywny, ich treść nie zależy od żadnego obserwatora. Oprócz tego w funkcji tej zawarte są również pewne twierdzenia dotyczące naszej wiedzy o układzie, które są oczywiście subiektywne, jako że różni obserwatorzy mogą mieć różną wiedzę. W przypadkach idealnych element subiektywny funkcji prawdopodobieństwa jest znikomy w porównaniu ze składnikiem obiektywnym, tak że w praktyce można go pominąć; fizyk mówi wówczas o "przypadku czystym".

Przechodzimy teraz do następnej obserwacji, której wynik powinien być przewidziany teoretycznie. Musimy obecnie zdać sobie sprawę z tego, że badany obiekt przed obserwacją, a przynajmniej w czasie obserwacji, będzie się stykał z pozostałą częścią świata, a mianowicie z aparaturą doświadczalną, z przyrządem pomiarowym itp. To zaś znaczy, że równanie ruchu dla funkcji prawdopodobieństwa musi obecnie uwzględniać również wpływ oddziaływania przyrządu pomiarowego na obiekt. Oddziaływanie to wprowadza nowy element nieokreśloności, ponieważ przyrząd pomiarowy jest z konieczności opisany za pomocą terminów klasycznych. Opis ten zawiera wszystkie znane nam z termodynamiki niedokładności związane z mikroskopową strukturą owego przyrządu. Wobec tego zaś, że przyrząd styka się z całą resztą świata, jego opis zawiera w gruncie *rzeczy* niedokładności związane z mikroskopową strukturą całej przyrody. Możemy przyjąć, że niedokładności te mają charakter obiektywny w takiej samej mierze, w jakiej są konsekwencjami dokonywania opisu za pomocą terminów fizyki klasycznej i nie zależą od żadnego obserwatora. Można je uznać za subiektywne w takiej mierze, w jakiej wynikają z tego, że nasza wiedza o świecie jest niepełna.

Gdy oddziaływanie już zaszło, funkcja prawdopodobieństwa zawiera obiektywny element tendencji i subiektywny element związany z niepełnością naszej wiedzy, nawet jeśli mieliśmy do czynienia z "przypadkiem czystym". Właśnie dlatego wynik obserwacji nie może być przewidziany w sposób pewny. Ustalić można jedynie prawdopodobieństwo określonego wyniku obserwacji; twierdzenie dotyczące tego prawdopodobieństwa można sprawdzić powtarzając wielokrotnie doświadczenie. Funkcja prawdopodobieństwa nie jest

opisem określonego zdarzenia, opisem tak często spotykanym w mechanice klasycznej. Opisuje ona natomiast - przynajmniej w trakcie obserwacji - cały zespół możliwych zdarzeń.

Akt obserwacji zmienia funkcję prawdopodobieństwa w sposób nieciągły; spośród wszystkich możliwych zdarzeń zostaje wybrane jedno zdarzenie, które rzeczywiście zachodzi. W wyniku obserwacji nasza wiedza o układzie ulega nagłej zmianie; w związku z tym zmieniają się odpowiednie wielkości matematyczne i dlatego mówimy o "przeskokach kwantowych". Kiedy jako argument przeciwko teorii kwantów przytacza się stary aforyzm: *Natura non facit saltus*, to możemy odpowiedzieć, że nasza wiedza niewątpliwie ulega nagłym zmianom i ten właśnie fakt usprawiedliwia posługiwanie się terminem "przeskok kwantowy".

Tak więc przejście od "tego, co możliwe", do "tego, co rzeczywiste", dokonuje się podczas aktu obserwacji. Jeśli chcemy opisać przebieg zdarzenia w świecie atomów, musimy zdać sobie sprawę z tego, że słowo "zachodzi" może dotyczyć tylko aktu obserwacji, nie zaś sytuacji między dwiema obserwacjami. Ponieważ dotyczy ono fizycznego, a nie psychicznego aktu obserwacji, przeto możemy powiedzieć, że przejście od "tego, co możliwe", do "tego, co rzeczywiste", zachodzi w momencie oddziaływania wzajemnego między obiektem i przyrządem pomiarowym, a pośrednio - również i pozostałą resztą świata. Przejście to jest niezależne od aktu rejestracji wyniku pomiaru, aktu dokonanego przez umysł obserwatora. Natomiast nieciągła zmiana funkcji prawdopodobieństwa zachodzi wskutek tego aktu rejestracji; w chwili rejestracji nasza wiedza ulega nagłej zmianie, czego odzwierciedleniem jest nieciągła zmiana funkcji prawdopodobieństwa.

W jakiej więc mierze obiektywny jest uzyskany przez nas opis świata, w szczególności - opis świata atomów? Fizyka klasyczna opierała się na przekonaniu (może należałoby powiedzieć - na iluzji?), że potrafimy opisać świat, a przynajmniej pewne jego fragmenty, nie przy tym nie mówiąc o nas samych. Często jest to możliwe. Wiemy, że Londyn istnieje, niezależnie od tego, czy go widzimy, czy nie. Można powiedzieć, że fizyka klasyczna jest pewną idealizacją teoretyczną, w której ramach można mówić o poszczególnych fragmentach świata bez powoływania się na nas samych. Jej sukcesy doprowadziły do powstania powszechnego ideału obiektywnego opisu świata. Obiektywność stała się podstawowym kryterium wartości wszystkich wyników badań naukowych. Czy kopenhaska interpretacja mechaniki kwantowej jest zgodna z tym ideałem? Można chyba powiedzieć, że teoria kwantów jest zgodna z tym ideałem w tej mierze, w jakiej jest to możliwe. Z całą pewnością nie jest jej właściwy subiektywizm *sensu stricto*, ponieważ nie traktuje tego, co fizyk myśli, jako części mikroprocesu. Ale jej punktem wyjścia jest po

pierwsze podział na "obiekt" i "resztę świata", po wtóre zaś fakt, że opisując tę "resztę świata", posługujemy się pojęciami klasycznymi. Podział ten jest w pewnej mierze arbitralny i z historycznego punktu widzenia stanowi bezpośrednią konsekwencję naszej metody naukowej; korzystanie z pojęć klasycznych jest koniec końców związane z ogólnymi cechami ludzkiego sposobu myślenia. Powołując się na ów sposób myślenia, powołaliśmy się na coś, co jest właściwe nam samym; z tego względu opisów przez nas formułowanych nie można uznać za opisy w pełni obiektywne.

Na początku tego rozdziału powiedzieliśmy, że punktem wyjścia kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej jest paradoks. Zakłada ona mianowicie, że musimy opisywać doświadczenia posługując się językiem fizyki klasycznej, chociaż wiemy, że pojęcia klasyczne nie są całkowicie adekwatne. Sprzeczność, z którą mamy tu do czynienia, jest źródłem statystycznego charakteru mechaniki kwantowej. W związku z tym proponowano całkowicie odejść od pojęć klasycznych, przypuszczano bowiem, że radykalna zmiana pojęć, którymi posługujemy się, opisując doświadczenia, umożliwiłaby powrót do nie statystycznego i w pełni obiektywnego opisu przyrody.

Propozycje tego rodzaju były jednakże wynikiem niezrozumienia rzeczywistego stanu rzeczy. Pojęcia fizyki klasycznej to nic innego jak sprecyzowane i wysubtelnione pojęcia języka potocznego; stanowią one istotną część składową aparatury pojęciowej wszystkich nauk przyrodniczych, są ważnym elementem zasobu pojęć, który jest podstawą tych nauk. Sytuacja, z jaką mamy do czynienia w nauce, polega na tym, że opisując doświadczenia posługujemy się pojęciami klasycznymi. Mechanika kwantowa postawiła nas wobec zadania teoretycznego zinterpretowania doświadczeń za pomocą tych pojęć. Nie ma sensu dyskutować na temat tego, co by było, gdybyśmy byli innymi istotami, niż jesteśmy. Musimy sobie uświadomić, że - jak powiedział von Weizsacker - "przyroda istniała przed człowiekiem, ale człowiek istniał przed naukami przyrodniczymi". Pierwsza część tego zdania usprawiedliwia fizykę klasyczną i uzasadnia jej ideał całkowitej obiektywności; druga mówi nam, dlaczego nie możemy uniknąć paradoksów teorii kwantów, paradoksów związanych z koniecznością . posługiwania się pojęciami klasycznymi.

Należy tu dorzucić parę uwag na temat obecnego sposobu interpretowania zdarzeń mikroświata na podstawie teorii kwantów. Powiedzieliśmy, że naszym punktem wyjścia zawsze jest podział świata na obiekt, który mamy badać, i "resztę świata" i że podział ten jest w pewnej mierze arbitralny. Ostateczne wyniki obliczeń nie uległyby bowiem zmianie, gdybyśmy obiekt oraz przyrządy pomiarowe lub pewną ich część potraktowali jako jeden układ i opierając się na prawach mechaniki kwantowej, rozpatrzyli taki złożony obiekt.

Można wykazać, że tego rodzaju zmiana ujęcia teoretycznego nie wpłynie na wyniki przewidywania rezultatów poszczególnych doświadczeń. Wynika to matematycznie z tego, że ilekroć mamy do czynienia z takimi zjawiskami, że możemy uznać stałą Plancka za wielkość stosunkowo bardzo małą, prawa mechaniki kwantowej stają się niemal identyczne z prawami fizyki klasycznej. Błędem byłoby jednak sądzić, że powyższe ujęcie teoretyczne, w którym przyrząd pomiarowy podlegałby prawom mechaniki kwantowej, pozwoliłoby uniknąć paradoksów występujących w teorii kwantów.

Przyrząd możemy nazywać przyrządem pomiarowym jedynie wówczas, gdy styka się on bezpośrednio z resztą świata i gdy zachodzi oddziaływanie między tym przyrządem a obserwatorem. Dlatego w kwantowo-mechanicznym opisie mikro-zjawisk będziemy mieli w tym przypadku do czynienia z nieokreślonością, tak samo jak w przypadku pierwszej interpretacji. Gdyby przyrząd pomiarowy był odizolowany od reszty świata - nie byłby przyrządem pomiarowym ani nie mógłby zostać opisany za pomocą terminów fizyki klasycznej.

Z tego względu Bohr twierdził, iż za bardziej słuszny należy uznać pogląd, że podział na obiekt i "resztę świata" nie ma charakteru arbitralnego. Prowadząc badania w dziedzinie fizyki atomowej dążymy do tego, aby zrozumieć pewne określone zjawisko, aby ustalić, w jaki sposób wynika ono z ogólnych praw przyrody. Dlatego ta część materii lub to promieniowanie, z którymi mamy do czynienia w danym zjawisku, stanowi naturalny "obekt" teoretycznej interpretacji i powinno być odróżnione od przyrządów służących do badania zjawiska. Ten postulat przypomina nam o elemencie subiektywizmu występującym w opisie mikro-zdarzeń; przyrząd pomiarowy został bowiem skonstruowany przez obserwatora, musimy więc pamiętać, że tym, co obserwujemy, nie jest przyroda sama w sobie, lecz przyroda, jaka nam się jawi, gdy zadajemy jej pytania we właściwy nam sposób. Praca naukowa w dziedzinie fizyki polega na formułowaniu pytań dotyczących przyrody, formułowaniu ich w tym języku, którym umiemy się posługiwać, i na szukaniu na nie odpowiedzi w toku doświadczeń dokonywanych za pomocą środków, którymi dysponujemy. W związku z tym - jak zauważył Bohr - teoria kwantów przywodzi na myśl starą mądrą sentencję: "Poszukując harmonii w życiu, nie należy nigdy zapominać, że w dramacie istnienia jesteśmy zarazem aktorami i widzami". Jest rzeczą zrozumiałą, że nasza własna działalność staje się czynnikiem niezwykle doniosłym, ilekroć w badaniach naukowych mamy do czynienia z tymi obszarami świata przyrody, do których możemy przeniknąć jedynie za pomocą najbardziej *złożonych* narzędzi.

IV. NARODZINY NAUKI O ATOMACH A TEORIA KWANTÓW

Pojęcie atomu jest bez porównania starsze od nauki nowożytnej, która powstała w XVII stuleciu. Pojęcie to wywodzi się z antycznej filozofii greckiej. Było ono centralnym pojęciem materializmu Leukipposa i Demokryta. Współczesne interpretacje zjawisk mikroświata niewiele mają wspólnego z prawdziwie materialistyczną filozofią. Można właściwie powiedzieć, że fizyka atomowa sprowadziła naukę z drogi materializmu, którą kroczyła ona w dziewiętnastym stuleciu. Z tego względu interesujące jest porównanie pojęcia atomu występującego w filozofii greckiej z funkcją i sensem tego pojęcia w fizyce współczesnej.

Idea najmniejszych, niepodzielnych, ostatecznych cegiełek materii pojawiła się po raz pierwszy w początkowym okresie rozwoju filozofii greckiej, w związku z kształtowaniem się pojęć materii, bytu i stawania się. Za pierwszego przedstawiciela tego okresu dziejów filozofii należy uznać Talesa (VI wiek p. n. e.), założyciela szkoły milezyjskiej, który, jak pisze Arystoteles, twierdził, że woda jest materialną osnową wszystkich rzeczy². Mimo że wypowiedź ta może nam się wydać dziwna, zawiera ona, jak podkreślał Nietzsche, trzy podstawowe idee filozoficzne: po pierwsze - ideę materialnej osnowy wszystkich rzeczy; po drugie - postulat, wedle którego odpowiedź na pytanie: „Co jest tą osnową” - powinna być sformułowana na podstawie racjonalnych przesłanek, bez odwoływania się do mitów lub mistyki; po trzecie - przekonanie, że wszystko można ostatecznie sprowadzić do jednej podstawowej zasady. W wypowiedzi Talesa po raz pierwszy znalazła wyraz koncepcja praszubstancji, której przemijającymi formami są wszystkie inne rzeczy. „Substancja” z pewnością nie była wówczas pojmowana jako coś czysto materialnego, słowo to nie miało tego sensu, który zazwyczaj przypisujemy mu dzisiaj. Z substancją tą immanentnie miało być związane życie, a Arystoteles przypisuje Talesowi również następującą wypowiedź: „Wszystko pełne jest bogów”³. Łatwo się domyślić, że odpowiedź Talesa na pytanie: „Co jest materialną osnową wszystkich rzeczy?” - została sformułowana przede wszystkim na podstawie obserwacji zjawisk meteorologicznych. Spośród wszystkich znanych nam substancji woda może występować w najbardziej różnorodnych postaciach. Może zmieniać się w parę i tworzyć chmury, zimą zaś przybierać postać śniegu lub lodu. Tam, gdzie rzeki tworzą delty, zdaje się ona przemieniać w ziemię - a może również wytryskać z ziemi. Bez wody nie może istnieć życie. Dlatego też, jeśli w ogóle miała istnieć jakaś praszubstancja, to - rzecz naturalna - należało się przede wszystkim zastanowić, czy nie jest nią woda.

² Patrz: Arystoteles, *Metaphysica*, I 3, 983 b 7 — 983 b 33.

³ Arystoteles, *De anima*, I 5, 411 a 7 (Diels, 11 A 22).

Koncepcję praszubstancji rozwijał później Anaksymander - uczeń Talesa, który również był mieszkańcem Miletu. Zdaniem Anaksymandra praszubstancją nie była woda ani też żadna ze znanych substancji. Głosił on, że praszubstancją jest bezkresna, że wiecznie istniała i wiecznie będzie istnieć i że otacza ona świat. Przekształca się ona w najrozmaitsze substancje znane nam z codziennego doświadczenia. Teofrast (Simplicjusz) cytuje oryginalny fragment z dzieł Anaksymandra: "Z czego bowiem istniejące rzeczy powstają, na to samo muszą się koniecznie rozpaść; albowiem odpłacają sobie sprawiedliwością i karą za niesprawiedliwość według następstwa czasu"⁴. Antyteza bytu i stawania się odgrywała podstawową rolę w poglądach filozoficznych Anaksymandra. Nieskończona i wieczna praszubstancja, niezróżnicowany byt, przybiera rozmaite, mniej doskonałe formy, między którymi trwają nieustanne konflikty. Proces stawania się filozof ten traktuje jako swojego rodzaju degradację bytu nieskończonego, jako jego rozkład na przeciwstawne elementy, który charakteryzuje jako niesprawiedliwość; niesprawiedliwość ta zostaje okupiona przez powrót do tego, co bezkresne i bezkształtne. Konflikty, o których wspomnieliśmy, to sprzeczności między gorącym i zimnym, ogniem i wodą, suchością i wilgocią itd. Chwilowe zwycięstwo jednej ze stron też jest niesprawiedliwością, za którą w swoim czasie wymierzona zostanie kara. Zdaniem Anaksymandra istnieje wieczny ruch, nieskończone powstawanie i znikanie światów.

Warto zwrócić uwagę, że ostatnio, w nieco odmiennej postaci, również w fizyce atomowej wylania się problem: czy praszubstancja może być jedna ze znanych substancji, czy też coś zasadniczo od nich różnego. Fizycy starają się obecnie wykryć podstawowe prawo ruchu materii, z którego matematycznie można by było wyprowadzić wszystkie cząstki elementarne oraz ich własności. To podstawowe równanie ruchu może dotyczyć albo fal jakiegoś znanego nam rodzaju (na przykład fal związanych z protonami lub mezonami), albo też fal zasadniczo odmiennej natury, nie mających nic wspólnego ze znanymi nam falami lub cząstkami elementarnymi. W pierwszym przypadku wykrycie owego równania oznaczałoby, że wszystkie cząstki elementarne można w pewien sposób sprowadzić do kilku rodzajów "podstawowych" cząstek elementarnych. W ciągu ostatnich dwudziestu lat fizycy teoretycy badali przede wszystkim tę możliwość. W drugim przypadku wszystkie różnorodne cząstki elementarne dałyby się sprowadzić do pewnej uniwersalnej substancji, którą nazwać można energią lub materią. Żadnej z cząstek nie można by było wtedy uznać za "bardziej elementarną" od innych. Odpowiadałoby to w istocie ideom Anaksymandra i osobiście jestem przekonany, że w fizyce współczesnej właśnie ten pogląd okaże się słuszny. Wróćmy jednak

4 Simplicjusz, *Physica*, 24, 13 (Diels, 12 B 2); przekład B. Kupisa.

do filozofii greckiej.

Trzeci z filozofów milezyjskich, Anaksymenes, następca Anaksymandra, głosił, że praszubstancja jest powietrze. "Tak jak dusza nasza, która jest powietrzem, trzyma nas w skupieniu, tak i cały świat również otacza powietrze i tchnienie"⁵. Anaksymenes uważał, że zgęszczanie i rozrzedzanie powodują przekształcanie się praszubstancji w inne substancje. Kondensacja pary wodnej w chmury miała być przykładem takiej przemiany, albowiem w owym czasie, rzecz prosta, jeszcze nie wiedziiano, że para wodna jest czymś innym niż powietrze.

W poglądach filozoficznych Heraklita z Efezu główną rolę odgrywało pojęcie stawania się. Głosił on, że pra-pierwiastkiem jest ogień, jako to, co się porusza. Trudne zadanie pogodzenia koncepcji jednej podstawowej zasady z nieskończoną różnorodnością zjawisk rozwiązuje on w ten sposób, że uznaje walkę przeciwieństw za coś, co w gruncie *rzeczy* tworzy swoistego rodzaju harmonię. Świat jest, wedle Heraklita, zarazem i jednością, i wielością; jedność jedyne go bytu jest jednością zwalczających się wzajemnie przeciwieństw. "Należy wiedzieć - pisze on - że walka jest czymś powszechnym, a spór czymś słusznym i że wszystko powstaje ze sporu i z konieczności"⁶.

Rozpatrując dzieje filozofii greckiej, łatwo jest zauważyć, że od Talesa aż do Heraklita bodźcem jej rozwoju była sprzeczność między jednością a wielością. Naszym zmysłom świat jawi się jako nieskończona różnorodność rzeczy i zjawisk, kolorów i dźwięków. Po to jednak, by go zrozumieć, wprowadzić musimy pewien porządek i wykryć to, co jednakowe; porządek bowiem oznacza swojego rodzaju jedność. Wskutek tego rodzi się przekonanie, że istnieje jakaś jedna podstawowa zasada; jednocześnie stajemy wobec trudnego zadania, które polega na tym, że z owej jednej zasady mamy wyprowadzić nieskończoną różnorodność *rzeczy*. Naturalnym punktem wyjścia było założenie, że musi istnieć materialna przyczyna wszystkich rzeczy, ponieważ świat składa się z materii. Jednakże koncepcja jedności świata oznacza - w swej skrajnej postaci - uznanie istnienia nieskończonego, wiecznego i niezróżnicowanego bytu.

Uznanie istnienia tego bytu nie wystarcza - niezależnie od tego, czy jest to byt materialny, czy nie - aby można było wytłumaczyć nieskończoną różnorodność *rzeczy*. Wskutek tego wyłania się antynomia: byt - stawanie się, co koniec końców prowadzi do koncepcji Heraklita, wedle której podstawową zasadą jest sama zmienność, "wieczna zmiana, która odnawia świat" - jak pisali poeci. Lecz zmienność nie jest przyczyną materialną; toteż

5 Aecjusz, *Placita*, I 3, 4 (Diels, 13 B 2); przekład B. Kupisa.

6 Orygenes, *Contra Cel sum*, VI 42 (Diels, 22 B 80); przekład B. Kupisa.

według Heraklita przyczynę tę stanowi ogień - prapierwiastek, który jest zarazem i materią, i siłą napędowa.

Można tu zauważyć, że poglądy fizyki współczesnej są w pewnym sensie niezwykle zbliżone do koncepcji Heraklita. Jeśli zastąpimy słowo "ogień" terminem "energia", to jego twierdzenia będą niemal całkowicie się pokrywały z naszymi dzisiejszymi poglądami. Właśnie energia jest tą substancją, z której utworzone są wszystkie cząstki elementarne, wszystkie atomy - a więc i wszystkie rzeczy. Jednocześnie jest ona tym, co powoduje ruch. Energia jest substancją, ponieważ jej ogólna ilość nie ulega zmianie, a liczne doświadczenia przekonują nas, że z tej substancji rzeczywiście mogą powstawać cząstki elementarne. Energia przekształca się w ruch, w ciepło, w światło i w napięcie elektryczne. Można ją nazwać podstawową przyczyną wszystkich zmian w przyrodzie. Nieco później będziemy kontynuowali porównywanie filozofii greckiej z koncepcjami nauki współczesnej.

W filozofii greckiej ponownie pojawiła się na pewien czas koncepcja jedynebytu. Głosił ją Parmenides, mieszkaniec Elei, miasta w południowej Italii. Za największy jego wkład do filozofii należy zapewne uznać wprowadzenie do metafizyki argumentacji czysto logicznej. "Nie można bowiem tego, co nie istnieje, poznać (jest to całkiem nieosiągalne) ani też wyrazić tego"⁷. "Nie znajdziesz bowiem myślenia bez tego, co istnieje, i w czym się ono (tj. myślenie) wyraża"⁸. Dlatego istnieje tylko jeden byt, nie ma natomiast stawiania się ani przemijania. Ze względów logicznych Parmenides przeczył istnieniu pustej przestrzeni. Ponieważ sądził, że istnienie próżni jest koniecznym warunkiem wszelkich zmian, przeto uznał, iż zmiany nie istnieją i są jedynie iluzją.

Jednakże filozofia nie mogła zbyt długo opierać się na tych paradoksach. Empedokles, który urodził się i mieszkał w Agrigencie (Akragas) na południowym wybrzeżu Sycylii, w przeciwieństwie do wszystkich swych poprzedników, reprezentujących stanowisko monistyczne, był zwolennikiem swoistego rodzaju pluralizmu. Aby uniknąć nieprzezwyciężonych trudności, które powstają, gdy różnorodność rzeczy i zdarzeń usiłuje się wytłumaczyć przy założeniu, że istnieje tylko jeden praelement, założył on istnienie czterech podstawowych pierwiastków. Za pierwiastki te uznał on ziemię, wodę, powietrze i ogień. Pierwiastki owe łączą się wskutek działania miłości, rozdzielają się zaś pod wpływem niezgody. Miłość i niezgoda pod wieloma względami są równie cielesne, jak powyższe cztery pierwiastki, i warunkują wieczną zmienność. Empedokles podaje następujący obraz powstania świata: Na początku istniał Sfajros - nieskończona kula jedynebytu (analogiczny

⁷ Simplicjusz, *Physica*, 116, 25 (Diels, 28 B 2); przekład B. Kupisa.

⁸ Simplicjusz, *Physica*, 114, 29 (Diels, 23 B 8) przekład B. Kupisa.

pogląd głosił Parmenides). Byt ten zawierał wszystkie cztery pierwiastki ("korzenie") zmieszane ze sobą pod wpływem miłości. Później, gdy traci władzę miłość, nastaje zaś niezgoda, pierwiastki się rozdzielają, lecz tylko częściowo. Potem jednakże następuje całkowite ich rozdzielenie. Jest to okres, w którym miłości nie ma w świecie. Wreszcie miłość powraca do władzy i łączy pierwiastki, niezgoda zaś znika; w ten sposób dokonuje się cykl przemian, którego wynikiem jest Sfajros - byt pierwotny.

Doktryna Empedoklesa oznacza wyraźny zwrot filozofii greckiej w kierunku materializmu. Cztery pierwiastki są raczej rzeczywistymi substancjami materialnymi niżli podstawowymi zasadami. Po raz pierwszy zostaje tu wyrażona myśl, że łączenie się i rozdzielanie kilku zasadniczo różnych substancji tłumaczy nieskończoną różnorodność rzeczy i zdarzeń. Pluralizm nigdy nie znajduje zwolenników wśród tych, którzy przywykli rozpatrywać wszystko z punktu widzenia podstawowych zasad. Jest to jednak rozsądne, kompromisowe stanowisko, które pozwala uniknąć trudności związanych z monizmem, a jednocześnie ustalić pewien porządek.

Następny krok w kierunku koncepcji atomistycznej uczynił Anaksagoras. Mniej więcej przez trzydzieści lat mieszkał w Atenach, prawdopodobnie w pierwszej połowie V wieku p. n. e. W systemie jego poglądów szczególnie wielką rolę odgrywa myśl, że przyczyną wszystkich zmian jest mieszanie się i rozdzielanie nieskończenie małych "zarodków rzeczy". Zakładał on, że istnieje nieskończona różnorodność owych "zarodków", z których składają się wszystkie rzeczy. Nie są to cząstki złożone z czterech pierwiastków Empedoklesa. Koncepcja Anaksagorasa była pierwszą koncepcją umożliwiającą geometryczną interpretację terminu "mieszanie". Ponieważ Anaksagoras mówi o pewnych nieskończenie małych ziarnach, przeto ich mieszaninę przedstawić można jako mieszaninę różnobarwnych ziaren piasku. Przemiany polegają na zmianie ilości ziaren oraz ich położenia względem siebie. Anaksagoras zakłada, że w każdej *rzeczy* istnieją "zarodki" wszystkich rodzajów; w różnych rzeczach różny jest jedynie stosunek ilościowy jakościowo odmiennych "zarodków". Pisał on w związku z tym, że "rzeczy, które są na tym jednym świecie, nie są ani rozdzielone, ani odcięte od siebie toporem"⁹, wszystko znajduje się we wszystkim, chociaż "żadna... rzecz nie jest jednorodna z jakąkolwiek inną" i „to, czego jest w niej najwięcej, jest i było każdą poszczególną rzeczą”¹⁰.

Jak wiemy, Empedokles głosił, że wszechświat wprawiają w ruch miłość i niezgoda. Według Anaksagorasa źródłem, czynnikiem sprawczym ruchu jest *nus*; termin ten można

⁹ Simplicjusz, *Physica*, 175, 11 (Diels, 59 B 8); przekład B. Kupisa.

¹⁰ Simplicjusz, *Physica*, 164, 24 (Diels, 59 B 12); przekład B. Kupisa.

tłumaczyć jako "rozum". Tylko krok dzielił poglądy Anaksagorasa od koncepcji atomistycznej. Krok ten uczynili Leukippos i Demokryt. Antyteza bytu i niebytu wywodząca się z filozofii Parmenidesa zostaje przekształcona w antytezę "pełni" i "próżni". Byt nie jest jeden, lecz nieskończenie mnogi. Bytem tym są atomy niepodzielne, najmniejsze cząstki materii. Są one wieczne i niezniszczalne, lecz mają skończone rozmiary. Ruch jest możliwy dzięki istnieniu próżni między atomami. W ten sposób po raz pierwszy w historii pojawiła się koncepcja najmniejszych cząstek, podstawowych cegiełek materii, które moglibyśmy dziś nazwać "cząstkami elementarnymi".

Według Leukipposa i Demokryta materia nie składa się jedynie z "pełni", lecz również z „próżni”, czyli z pustej przestrzeni, w której poruszają się atomy. Logiczna argumentacja Parmenidesa, który dowodził, że próżnia nie istnieje, jako że nie może istnieć niebyt, została zignorowana, ponieważ przemawiała przeciwko niej dane doświadczalne. Z naszego współczesnego punktu widzenia pusta przestrzeń między atomami - o której mówił Demokryt - nie byłaby po prostu niczym. Moglibyśmy uznać ją za nośnik własności geometrycznych i kinematycznych umożliwiających ruch atomów i powstawanie różnych ich układów. Jednakże w filozofii zawsze spierano się o to, czy może istnieć przestrzeń pusta. Odpowiedź na to pytanie, zawarta w ogólnej teorii względności, brzmi: materia i geometria warunkują się nawzajem. Odpowiedź ta pod względem treści zbliżona jest do poglądu, którego broniło wielu filozofów, a który głosi, że przestrzeń określona jest przez rozciągłość materii. Demokryt jednakże wyraźnie pogląd ten odrzuca, po to, by umożliwić wytłumaczenie istnienia ruchu i zmian.

Według Demokryta wszystkie atomy składają się z tej samej substancji i różnią się od siebie jedynie kształtem i wielkością. Można je uznać za cząstki po-dzielne w sensie matematycznym, lecz nie fizycznym. Atomy mogą poruszać się i mogą być usytuowane w różnych miejscach przestrzeni. Nie są im jednak właściwe żadne inne własności fizyczne. Nie mają one ani koloru, ani zapachu, ani smaku. Własności materii percypowane za pośrednictwem organów zmysłowych *zależą* od ruchu i położenia atomów w przestrzeni. Tragedia i komedia mogą być złożone z tych samych liter alfabetu, analogicznie do tego wszystkie, niezmiernie różnorodne zjawiska naszego świata są wynikiem rozmaitych ruchów i różnej konfiguracji niezmiennych atomów. Geometria i kinematyka, które stały się możliwe dzięki istnieniu próżni, okazały się tu - w pewnym sensie - czymś bardziej istotnym niż sam byt. Demokryt - jak pisze Sekstus Empiryk - uważał, że postrzeżenia zmysłowe "uchodzą za istniejące i wydają się mieć *rzeczywiste* istnienie, ale naprawdę nie są takie; naprawdę istnieją

tylko atomy i próżnia" ¹¹.

Według Leukipposa ruchy atomów nie mają charakteru przypadkowego. Myśliciel ten był, jak się wydaje, zwolennikiem absolutnego determinizmu. Wynika to z następującej jego wypowiedzi: "Żadna rzecz nie powstaje bez przyczyny, lecz wszystko na jakiejś podstawie i z konieczności" ¹². Atomiści nie wyjaśniali pochodzenia pierwotnego ruchu - ruchu atomów ¹³. Świadczy to o tym, że ruch atomów tłumaczyli w sposób przyczynowy. Przyczynowo można wytłumaczyć jedynie zdarzenia późniejsze - powołując się na zdarzenia wcześniejsze; nigdy jednak nie można wytłumaczyć, w jaki sposób zaczęły zachodzić zdarzenia.

Podstawowe idee teorii atomistycznej zostały przejęte - częściowo w postaci zmodyfikowanej - przez późniejszych filozofów greckich. Gwoli porównania z poglądami współczesnej fizyki atomowej warto wspomnieć o tej koncepcji materii, którą wyłożył Platon w dialogu *Timaios*. Platon bynajmniej nie był zwolennikiem teorii atomistycznej. Diogenes Laertios pisze, że Platon tak nienawidził Demokryta, że pragnął, aby spalono wszystkie jego dzieła. Niemniej jednak w systemie jego poglądów koncepcje Empedoklesa i szkoły pitagorejskiej splatają się z ideami zbliżonymi do idei atomistów.

Pitagoreizm wywodził się z orfizmu, systemu poglądów związanych z kultem Dionizosa. Pitagorejczycy powiązali religię z matematyką, która od tego czasu zaczęła wywierać wielki wpływ na rozwój myśli ludzkiej. Jak się wydaje, byli oni pierwszymi myślicielami, którzy uświadomili sobie twórczą potęgę matematyki. Odkryli oni, że dźwięki dwóch strun harmonizują ze sobą, jeśli długości tych strun pozostają w pewnym określonym stosunku wzajemnym. Świadczyło to o tym, że matematyka może w wielkim stopniu przyczynić się do zrozumienia zjawisk przyrody. Jednakże dla pitagorejczyków nie to było najważniejsze. Za najbardziej istotne uważali to, że prosty stosunek matematyczny długości strun tworzył - jak sądzili - harmonię dźwięków. W poglądach pitagorejczyków było więc wiele mistycyzmu, wiele elementów, które trudno jest nam zrozumieć. Uczynili jednak matematykę częścią swej religii, co było istotnym momentem w dziejach rozwoju ludzkiej myśli. Przypomnę, że Bertrand Russell powiedział, iż nikt nie wywarł takiego wpływu na myśl ludzką, jak Pitagoras.

Platon wiedział, że pitagorejczycy znali pięć regularnych brył geometrycznych, i uważał, iż bryłom tym można przyporządkować pierwiastki Empedoklesa. Najmniejsze cząstki pierwiastka ziemi odpowiadały sześciąnom, powietrza - ośmiościanom, ognia -

¹¹ Sekstus Empiryk, *Adversus mathematicos*, VII 138 (Diels, 68 B 11); przekład B. Kupisa.

¹² Aecjusz, *Placita*, I 25, 4 (Diels, 67 B 2); przekład B. Kupisa.

¹³ Odwieczny ruch właściwy atomom miał być ruchem pierwotnym, który atomiści odróżniali od pochodnych rodzajów ruchu. Por.: Arystoteles, *Physica*, I 9 265 b 24—28. (Przyp. red. wydania polskiego).

czworościanom, a wody - dwudziestościanom. Brak było jednak pierwiastka, którego cząstki odpowiadałyby dwunastościanom; w związku z tym Platon powiada, że istniała jeszcze piąta kombinacja, z której Bóg korzystał, projektując wszechświat.

Bryły regularne, reprezentujące cztery pierwiastki, mogą w pewnym sensie przypominać atomy; jednakże wedle Platona bryły te nie są niepodzielne. Platon je konstruuje z dwóch rodzajów trójkątów - równobocznych i równoramiennych; stanowią one ściany brył. Dlatego pierwiastki mogą (przynajmniej częściowo) przekształcać się w inne pierwiastki. Bryły regularne można rozłożyć na trójkąty, z których jesteśmy w stanie zbudować nowe bryły. Na przykład jeden czworościan i dwa ośmiościany można rozłożyć na dwadzieścia równobocznych trójkątów, a następnie zbudować z tych trójkątów dwudziestościan. To zaś oznacza, że jeden atom ognia i dwa atomy powietrza mogą się połączyć w atom wody. Jednakże trójkąty nie są tworamami trójwymiarowymi, wskutek czego nie można ich uznać za materialne. Cząstka materialna powstaje dopiero wtedy, gdy trójkąty tworzą bryłę regularną. Najmniejsze cząstki materii nie są bytami podstawowymi - wbrew twierdzeniom Demokryta - lecz formami matematycznymi. Stąd wynika w sposób oczywisty, że bez porównania ważniejsza od substancji jest przysługująca jej forma.

Po tym krótkim przeglądzie koncepcji filozofów greckich - od Talesa do atomistów i Platona - możemy powrócić do fizyki współczesnej i porównać nasze dzisiejsze poglądy na atomy i na teorię kwantów z poglądami antycznych myślicieli. Z historii filozofii wiemy, jaki był pierwotny sens słowa "atom". Z tego wynika, że w fizyce i chemii w epoce odrodzenia nauki w wieku siedemnastym oraz później słowo "atom" oznaczało niewłaściwy obiekt. Oznaczało ono mianowicie najmniejszą cząstkę pierwiastka chemicznego, która, jak wiemy obecnie, jest układem złożonym z mniejszych cząstek. Te ostatnie nazywa się obecnie cząstkami elementarnymi i jest rzeczą oczywistą, że jeśli jakiegokolwiek obiekty badane przez fizykę współczesną przypominają atomy Demokryta, to obiektami tymi są właśnie cząstki elementarne - takie jak protony, neutrony, elektrony lub mezony.

Demokryt świetnie zdawał sobie sprawę z tego, że chociaż można ruchem i układem atomów tłumaczyć własności materii - barwę, zapach, smak - to same atomy nie mogą mieć tych własności. Dlatego nie przypisuje ich atomom, które w ogóle są dość abstrakcyjnymi tworamami materialnymi. Atomom Demokryta był właściwy atrybut istnienia, a ponadto rozciągłość, kształt i ruch; w przeciwnym przypadku trudno by było mówić o atomach. Jednakże wskutek tego demokrytejska koncepcja atomistyczna nie tłumaczyła istnienia własności geometrycznych, rozciągłości, ani własności "bycia", istnienia, ponieważ nie umożliwiała sprowadzenia tych cech do czegoś innego, bardziej fundamentalnego. Wydaje

się, że współczesne poglądy na cząstki elementarne są pod tym względem bardziej konsekwentne i radykalne. Spróbujmy odpowiedzieć na pytanie: "Co to jest cząstka elementarna?" Okazuje się, że chociaż posługujemy się terminami oznaczającymi cząstki elementarne, np. terminem "neutron", nie potrafimy pogładowo, a jednocześnie dokładnie opisać tych cząstek ani ściśle określić, co rozumiemy przez te terminy. Posługujemy się różnymi sposobami opisywania cząstek i możemy przedstawić np. neutron jako cząstkę, kiedy indziej zaś jako falę lub paczkę fal. Wiemy jednak, że żaden z tych opisów nie jest dokładny. Neutron oczywiście nie ma barwy, smaku ani zapachu. Pod tym względem przypomina atomy, o których pisali greccy filozofowie. Ale cząstki elementarne są pozbawione - przynajmniej w pewnej mierze - również i innych własności. Takich pojęć geometrycznych i kinematycznych, jak np. kształt i ruch w przestrzeni, nie jesteśmy w stanie w sposób konsekwentny stosować do opisu tych cząstek. Jeśli chcemy podać dokładny opis cząstki elementarnej (kładziemy tu szczególny nacisk na słowo "dokładny"), to podać go możemy jedynie w postaci funkcji prawdopodobieństwa. Wówczas jednak okazuje się, że opisywany obiekt nie posiada nawet własności istnienia (jeśli istnienie można nazwać własnością). Jest mu właściwa tylko możliwość istnienia czy też tendencja do istnienia. Dlatego cząstki elementarne, które bada fizyka współczesna, mają charakter o wiele bardziej abstrakcyjny niż atomy demokrytejskie i właśnie wskutek tego mogą być bardziej odpowiednim kluczem do zagadek związanych z zachowaniem się materii.

Można powiedzieć, że według Demokryta wszystkie atomy zawierają tę samą substancję (nie jest jednak rzeczą pewną, czy termin "substancja" wolno nam stosować w tym kontekście). Cząstki elementarne, o których mówi fizyka współczesna, mają masę. Mają ją jednak tylko w pewnym szczególnym sensie słowa "mieć"; dotyczy to zresztą również innych ich własności. Ponieważ wedle teorii względności masa i energia są w istocie tym samym, przeto możemy mówić, że cząstki elementarne składają się z energii. Energię można by uznać za podstawową, pierwotną substancję. Nie ulega wątpliwości, że posiada ona pewną własność, która stanowi istotną cechę tego, co nazywamy "substancją", a mianowicie podlega prawu zachowania. Z tego względu poglądy fizyki współczesnej można, jak wspomnieliśmy poprzednio, uznać za bardzo zbliżone do koncepcji Hera-klita (pod warunkiem, że "ogień" zinterpretujemy jako energię). Energia jest tym, co powoduje ruch; nazwać ją można przyczyną wszelkich zmian; może się ona przekształcać w materię, ciepło lub światło. Walka przeciwieństw, o której mówi Heraklit, znajduje swój odpowiednik we wzajemnym przeciwstawianiu się sobie dwóch różnych form energii.

Według Demokryta atomy są wiecznymi i niezniszczalnymi cząstkami materii, żaden

atom nie może przekształcić się w inny atom. Fizyka współczesna zdecydowanie odrzuca tę tezę materializmu Demokryta i opowiada się za stanowiskiem Platona i pitagorejczyków. Cząstki elementarne na pewno nie są wiecznymi i niezniszczalnymi cegiełkami materii i mogą się nawzajem w siebie przekształcać. Jeśli zderzą się dwie cząstki elementarne o bardzo wielkiej energii kinetycznej, to mogą one przestać istnieć, a z energii, którą niosły, może powstać wiele nowych cząstek. Tego rodzaju zjawiska obserwowano wielokrotnie, właśnie one najbardziej nas przekonują, że tworzywem wszystkich cząstek jest ta sama substancja: energia. Podobieństwo poglądów współczesnych do koncepcji Platona i pitagorejczyków nie kończy się na tym. Polega ono jeszcze na czymś innym. "Cząstki elementarne", o których mówi Platon w *Timaiosie*, w istocie nie są materialnymi korpuskułami, lecz formami matematycznymi. Pitagoras zaś podobno mówił, że "wszystkie rzeczy są liczbami"¹⁴. W owych czasach jedynymi znanymi formami matematycznymi były formy geometryczne, takie jak bryły regularne i trójkąty stanowiące ich ściany. Nie ulega wątpliwości, że we współczesnej teorii kwantów cząstki elementarne można uznać w ostatecznej instancji za formy matematyczne, lecz o naturze znacznie bardziej złożonej. Przedmiotem rozważań filozofów greckich były formy statyczne; poszukując tego rodzaju form, odnajdywali je w bryłach regularnych. Natomiast punktem wyjścia nauki nowożytnej w szesnastym i siedemnastym stuleciu były zagadnienia dynamiki. Od czasów Newtona stałym przedmiotem badań fizycznych były prawa dynamiki, nie zaś konfiguracje lub formy geometryczne. Równanie ruchu spełnia się zawsze i w tym sensie jest ono wieczne, podczas gdy formy geometryczne, na przykład orbity, są zmienne. Dlatego formy matematyczne przedstawiające cząstki elementarne powinny być rozwiązaniami jakiegoś równania wyrażającego wieczne prawo ruchu materii¹⁵. Jest to problem dotychczas nierozwiązany. Nie znamy jeszcze

14 O pitagorskiej mistyce liczb pisał Arystoteles [*Metaphysica*, I 5, 985 b 23—986 a 3 (Diels, 58 B 4)]. (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

15 Począwszy od następnego zdania aż do zdania rozpoczynającego się od słów: "Trudno jest podać jakikolwiek mocny argument..." — tekst w wydaniu niemieckim uległ zmianie i brzmi następująco:

"W ostatnich latach fizyka osiągnęła taki szczybel rozwoju, że można obecnie podjąć próby sformułowania podstawowego prawa materii. Fizyka doświadczalna nagromadziła tyle danych dotyczących własności cząstek elementarnych, że fizycy teore tycy mogą próbować na podstawie tych danych wyprowadzić powyższe fundamentalne prawo. Pewną prostą postać tego prawa już zaproponowano. I chociaż dopiero przyszłość wykaże, co można osiągnąć dzięki uzyskanemu równaniu, to już ta pierwsza próba wykazała istnienie tylu zagadnień fizycznych i filozoficznych, które nader prawdopodobnie kiedyś wyłonią się również w wyniku badań nad cząstkami elementarnymi, że należy tutaj — przynajmniej ogólnie, jakościowo — scharakteryzować to równanie.

Mówiąc o tym podstawowym równaniu, ma się na myśli nieliniowe równanie falowe operatora pola. Można przyjąć, że operator ten nie reprezentuje jakiegoś określonego rodzaju cząstek lub fal, lecz całą materię. Owo równanie falowe jest matematycznie równoważne złożonemu układowi równań całkowych, które — jak mówią matematycy — mają swoje wartości własne i rozwiązania własne. Cząstki elementarne są reprezentowane przez te rozwiązania własne. A więc właśnie te rozwiązania są formami matematycznymi zastępującymi pitagorejskie bryły regularne. Należy tu zaznaczyć, że owe rozwiązania własne wyprowadza się matematycznie z równania podstawowego mniej więcej w taki sposób, w jaki harmoniczne drgania strun można dziś obliczyć za pomocą odpowiedniego równania różniczkowego.

Symetria matematyczna, której pojęcie było czymś centralnym w koncepcjach Platona dotyczących brył

podstawowego prawa ruchu materii, nie możemy więc z niego matematycznie wyprowadzić własności cząstek elementarnych. Jednakże, jak się wydaje, fizyka teoretyczna w swym obecnym stadium rozwoju jest dość bliska osiągnięcia tego celu i możemy już powiedzieć, jakiego typu prawa należy się spodziewać. Podstawowe równanie ruchu materii będzie prawdopodobnie jakimś skwantowanym nieliniowym równaniem falowym falowego pola operatorów, przedstawiającym po prostu materię, a nie fale lub cząstki jakiegoś określonego rodzaju. Będzie ono zapewne równoważne dość złożonemu układowi równań całkowych posiadających, jak mówią fizycy, swe "wartości własne" i swe "rozwiązania własne". Te rozwiązania będą reprezentować cząstki elementarne, będą tymi formami matematycznymi, które powinny zastąpić pitagorejskie bryły regularne. Należy tu zaznaczyć, że owe "rozwiązania własne" będzie można matematycznie wyprowadzić z podstawowego równania materii prawie w taki sam sposób, w jaki harmoniczne drgania struny, o których mówili pitagorejczycy, można dziś obliczyć za pomocą odpowiedniego równania różniczkowego. Problemy te jednak, jak powiedzieliśmy, są dziś jeszcze nierozstrzygnięte.

Jeśli pójdziemy dalej śladem myśli pitagorejskiej, to dojdziemy do wniosku, że można żywić nadzieję, iż podstawowe równanie ruchu okaże się proste pod względem matematycznym, nawet jeśli obliczenie "stanów własnych" na jego podstawie będzie zadaniem bardzo skomplikowanym. Trudno jest podać jakikolwiek mocny argument przemawiający na rzecz takiego poglądu, z wyjątkiem tego, że dotychczas zawsze okazywało się możliwe nadanie prostej postaci matematycznej podstawowym równaniom fizyki. Fakt ten jest zgodny z wierzeniami pitagorejczyków, które - jeśli chodzi o zagadnienie prostoty - podziela wielu fizyków. Dotychczas jednak nie podano żadnego innego przekonującego argumentu.

Uczynić tu jeszcze musimy pewną uwagę w związku z pytaniem często zadawanym przez laików. Pytanie to brzmi: "Dlaczego fizycy twierdzą, że cząstki elementarne nie mogą zostać podzielone na mniejsze cząstki?" Odpowiedź na to pytanie dobitnie świadczy o tym, że

regularnych, sta nowi rdzeń owego podstawowego równania. Równanie to w gruncie rzeczy nie jest niczym innym, jak tylko matematycznym opisem całego szeregu własności symetrii, których jednakże nie można przedstawić w tak pogładowy sposób, jak regularne bryły rozpatrywane przez Platona. W fizyce współczesnej bada się własności symetrii, które w jednakiej mierze dotyczą czasu i przestrzeni i znajdują wyraz matematyczny w strukturze równania podstawowego rozpatrywanej z punktu widzenia teorii grup. Najważniejszą grupą jest grupa Lorentza. Reprezentuje ona strukturę czasu i przestrzeni wynikającą ze szczególnej teorii względności. Mamy tu również inne grupy, które poznaliśmy dopiero w ostatnich latach; są one związane zależnością wzajemną z różnymi liczbami kwantowymi cząstek elementarnych. Aczkolwiek samo równanie podstawowe ma postać bardzo prostą, mamy w nim do czynienia z wielką ilością różnych własności symetrii, które zdają się być całkowicie zgodne z tym, co nam mówi wielka ilość danych doświadczalnych dotyczących przemian cząstek elementarnych.

Fizyka współczesna kroczy więc tą samą drogą, którą kroczyli pitagorejczycy i Platon. Wydaje się, że droga ta prowadzi do bardzo prostego sformułowania praw przyrody, tak prostego, że nawet Platon się tego nie spodziewał".
(Przyp. red. wyd. polskiego)

nauka współczesna ma charakter nieporównanie bardziej abstrakcyjny niż filozofia grecka.

Odpowiedź ta brzmi: Jest oczywiste, że cząstki elementarne można by było podzielić jedynie za pomocą potężnych środków i korzystając z bardzo wielkich energii. Jedynym dostępnym "narzędziem", za pomocą którego możemy próbować rozbić cząstki elementarne - są inne cząstki elementarne. A więc tylko zderzenie dwóch cząstek elementarnych o bardzo wielkiej energii mogłoby spowodować ich rozbitcie. I rzeczywiście, wskutek takich zderzeń ulegają one rozbitciu, niekiedy nawet na bardzo wiele "części"; te ostatnie nie są jednak częściami w dosłownym sensie tego słowa, nie są fragmentami, lecz całymi cząstkami elementarnymi, których masa pochodzi z ogromnych energii kinetycznych zderzających się cząstek. Innymi słowy - przemiana energii w materię sprawia, że produkty rozbitcia cząstek elementarnych są również cząstkami elementarnymi.

Po porównaniu poglądów współczesnej fizyki mikro-świata z filozofią grecką chciałbym ostrzec, aby nie wyciągano błędnych wniosków z tego, co napisałem. Na pierwszy rzut oka mogłoby się wydawać, że filozofowie greccy mieli jakąś genialną intuicję, skoro doszli do tych samych albo bardzo podobnych wniosków, do jakich doszła nauka nowożytna po wielu stuleciach wyłożonej pracy wielu badaczy posługujących się eksperymentem i matematyką. Wniosek taki byłby całkowicie niesłuszny. Między nauką nowożytną a filozofią grecką istnieje olbrzymia różnica, a polega ona na tym, że nauce naszej epoki właściwa jest postawa empirystyczna. Od czasów Galileusza i Newtona nauka nowożytna jest oparta na dokładnym badaniu przyrody i na postulacie domagającym się, aby formułowano tylko takie twierdzenia, które zostały lub przynajmniej mogą zostać sprawdzone doświadczalnie. Filozofom greckim nie przyszło na myśl, że dokonując doświadczeń, można wyodrębnić pewne zjawiska przyrody, szczegółowo je zbadać i dzięki temu wykryć niezmiennie, stałe prawo w potoku ciągłych zmian. Nauka nowożytna od początku swego istnienia opierała się na znacznie mniej imponującym, a jednocześnie o wiele mocniejszym fundamencie niż stara filozofia. Dlatego twierdzenia fizyki współczesnej można traktować - że tak powiem - o wiele bardziej poważnie niż wypowiedzi filozofów greckich. Kiedy na przykład czytamy u Platona, że najmniejsze cząstki ognia są czworościanami, to niełatwo uchwycić sens tego twierdzenia. Czy kształt czworościanu ma tylko symbolicznie reprezentować cząstki tego pierwiastka, czy też cząstki owe zachowują się pod względem mechanicznym jak sztywne lub elastyczne czworościany? Za pomocą jakich sił mogą zostać one podzielone na trójkąty równoboczne? Współczesny uczoney zawsze koniec końców by zapytał: "W jaki sposób można dowieść doświadczalnie, że atomy ognia są rzeczywiście czworościanami, a nie - dajmy na to - sześciocianami?" Kiedy współczesny uczoney twierdzi, że proton jest to pewne rozwiązanie

podstawowego równania materii, oznacza to, że można z tego równania matematycznie wyprowadzić wszystkie możliwe własności protonu i sprawdzić doświadczalnie słusność tego rozwiązania we wszystkich szczegółach. Możliwość bardzo dokładnego i szczegółowego eksperymentalnego sprawdzania prawdziwości twierdzeń sprawia, że mają one niezwykle wielką wagę, jakiej nie mogły mieć twierdzenia filozofii greckiej.

Mimo wszystko jest faktem, że niektóre twierdzenia antycznej filozofii przypominają koncepcje nauki współczesnej. Świadczy to o tym, jak daleko można zajść nawet bez dokonywania eksperymentów, jeśli dane potocznego doświadczenia niestrudzenie usiłuje się uporządkować logicznie i ująć z punktu widzenia pewnych ogólnych zasad.

V. IDEE FILOZOFICZNE OD CZASÓW KARTEZJUSZA A OBECNA SYTUACJA W TEORII KWANTÓW

Piąty i czwarty wiek p. n. e. to okres największego rozkwitu nauki i kultury greckiej. Przez następne dwa tysiące lat myśl ludzką zaprzętały w głównej mierze problemy innego rodzaju niż te, którymi interesowano się w starożytności. W pierwszych stuleciach rozwoju kultury greckiej najsilniejszych bodźców myślowych dostarczała bezpośrednia rzeczywistość - świat, w którym ludzie żyli i który postrzegali zmysłowo. Była ona tak pełna życia, że nie widać było żadnych istotnych powodów do podkreślania różnic między materią a myślą lub między duszą a ciałem. Jednakże już w filozofii Platona zaczyna dominować idea innego rodzaju rzeczywistości. W słynnym fragmencie jednego ze swoich dzieł Platon porównuje ludzi do niewolników przykutych do ścian jaskini, którzy mogą patrzeć w jednym tylko kierunku. Za ich plecami płonie ognisko, widzą więc na ścianach pieczary własne cienie oraz cienie przedmiotów znajdujących się za ich plecami. Ponieważ nie postrzegają nic prócz cieni, uznają je za jedyną rzeczywistość i nie wiedzą o istnieniu "prawdziwych" przedmiotów. Wreszcie jeden z niewolników ucieka z jaskini. Po raz pierwszy widzi świat zalany światłem słonecznym i "prawdziwe", rzeczywiste przedmioty. Przekonuje się, że dotychczas ulegał złudzeniom, że uważał za rzeczywistość to, co było tylko cieniem. Po raz pierwszy poznaje prawdę i ze smutkiem myśli o długim okresie życia spędzonym w mroku. Prawdziwy filozof jest więźniem, który wydobył się z jaskini i poznał światło prawdy; tylko on posiadał prawdziwą wiedzę. Ten bezpośredni kontakt z prawdą albo (mówiąc językiem chrześcijan) z Bogiem - staje się nowym źródłem wiedzy o rzeczywistości, którą zaczyna się uważać za bardziej realną od świata postrzeganego zmysłowo. Bezpośredni kontakt z Bogiem nie zachodzi w świecie zewnętrznym, lecz w duszy ludzkiej. Ten właśnie problem od czasów Platona najbardziej zaprzętał myślicieli przez niemal dwa tysiące lat. W tym okresie filozofowie nie interesowali się światem zewnętrznym, lecz duszą ludzką, jej stosunkiem do istoty boskiej, problemami etyki i interpretacją objawienia. Dopiero w okresie Renesansu zaczęły zachodzić stopniowe zmiany w życiu umysłowym, w których wyniku odrodziło się zainteresowanie przyrodą.

W wieku szesnastym i siedemnastym rozpoczął się szybki rozwój nauk przyrodniczych. Poprzedził go, a później towarzyszył mu rozwój koncepcji filozoficznych ściśle związanych z podstawowymi pojęciami nauki. Dlatego rozpatrzenie tych koncepcji z punktu widzenia nauki współczesnej może okazać się pouczające.

Pierwszym wielkim filozofem tego okresu był Rene Descartes (Kartezjusz), który żył

w pierwszej połowie siedemnastego stulecia. W *Rozprawie o metodzie* wyłożył on te spośród swoich koncepcji, które miały największy wpływ na rozwój naukowego sposobu myślenia.

Metoda Kartezjusza była oparta na sceptycyzmie i logicznym rozumowaniu. Posługując się tą metodą, usiłował on oprzeć swój system na zupełnie nowej i - jak sądził - trwałej podstawie. Objawienia nie uznał za tę podstawę. Jednocześnie jednak bynajmniej nie był skłonny bezkrytycznie polegać na danych dostarczonych przez zmysły. Punktem wyjścia jego rozważań jest zwątpienie. Podaje on w wątpliwość zarówno wyniki rozumowania, jak i dane zmysłowe. Wynikiem jego rozważań jest jednakże słynne *cogito, er go sum*. Nie mogę wątpić w swoje istnienie, wynika ono bowiem z faktu, że myślę. Ustaliwszy w ten sposób, że istnieje jaźń, usiłuje on, idąc w zasadzie śladem myśli scholastycznej, dowieść istnienia Boga. Istnienie świata wynika z tego, że Bóg sprawił, iż jesteśmy wielce skłonni wierzyć w istnienie świata, jako że jest rzeczą niemożliwą, aby Bóg pragnął nas wprowadzić w błąd.

W filozofii Kartezjusza podstawową rolę odgrywają idee całkowicie inne niż w antycznej filozofii greckiej. Punktem wyjścia nie jest tu koncepcja prasubstancji lub podstawowego pierwiastka. Celem Kartezjusza jest przede wszystkim ustalenie fundamentu wiedzy i osiągnięcie wiedzy pewnej. I oto filozof ten dochodzi do wniosku, że to, co wiemy o własnej, myśli, jest pewniejsze od tego, co wiemy o świecie zewnętrznym. Jednakże już sam punkt wyjścia (jakim jest tu "trójkąt": Bóg - świat - "ja") sprawia, że dalsze rozumowanie jest wielce uproszczone i wskutek tego ryzykowne. Podział na materię i myśl, czy też ciało i duszę, zapoczątkowany przez Platona, zostaje tu doprowadzony do końca. Bóg jest oddzielony zarówno od świata, jak i od "ja". W filozofii Kartezjusza Bóg zostaje wzniesiony tak wysoko ponad przyrodę i człowieka, że staje się tylko wspólnym punktem odniesienia, dzięki któremu zostaje określony stosunek "ja" do świata.

Starożytni filozofowie greccy usiłowali wykryć porządek w nieskończonej różnorodności rzeczy i zjawisk; w związku z tym poszukiwali jakiejś podstawowej ujednolicającej zasady. Kartezjusz usiłuje ustalić porządek, dokonując pewnego zasadniczego podziału. Atoli każda z trzech części, powstałych wskutek owego podziału, traci coś ze swej istoty, gdy rozpatruje się ją oddzielnie od dwóch pozostałych. Jeśliby ktoś posługiwał się podstawowymi pojęciami kartezjanizmu, to nie powinien zapominać, że Bóg jest zarówno w świecie, jak i w „ja” i że „ja” nie może być oddzielone od świata. Kartezjusz niewątpliwie zdawał sobie sprawę z oczywistej konieczności tego związku, niemniej jednak w następnym okresie rozwoju filozofii i nauk przyrodniczych podstawową rolę odgrywało przeciwstawienie *res cogitans - res extensa*, przy czym przedmiotem zainteresowania przedstawicieli nauk przyrodniczych były przede wszystkim „rzeczy rozciągłe”. Trudno jest

przecenić wpływ podziału, którego dokonał Kartezjusz, na rozwój myśli ludzkiej w następnych stuleciach. A jednak ten właśnie podział poddamy później krytyce. Skłaniają nas do tego dane fizyki współczesnej.

Oczywiście, niesłuszne byłoby twierdzenie, że Kartezjusz dzięki swej metodzie filozoficznej skierował myśl ludzką na nowe tory. To, czego dokonał, należałoby inaczej określić. Po raz pierwszy wyraził jasno i dobitnie tendencje myśli ludzkiej, które można dostrzec zarówno w epoce Renesansu, we Włoszech, jak i w okresie Reformacji. Tendencje te polegały m. in. na odradzaniu się zainteresowania matematyką, które znajdowało wyraz we wzroście wpływów platonizmu w filozofii, oraz w podkreślaniu prawa jednostki do własnych wierzeń religijnych. Wzrastające zainteresowanie matematyką sprzyjało powstaniu i szerzeniu się wpływu tego systemu filozoficznego, którego punktem wyjścia było logiczne rozumowanie, celem zaś osiągnięcie prawd tak pewnych, jak wnioski matematyczne. Postulat domagający się respektowania osobistych przekonań religijnych jednostki sprzyjał wyodrębnieniu "ja" i uniezależnieniu stosunku owego "ja" do Boga - od reszty świata.

Dążność do łączenia danych empirycznych z matematyką, dążność znajdująca wyraz w pracach Galileusza - została prawdopodobnie, przynajmniej częściowo, wywołana tym, że można było w ten sposób uzyskać wiedzę autonomiczną w stosunku do teologii, wiedzę niezależną od wyniku sporów teologicznych toczących się w okresie Reformacji. Fakt, że treść tego rodzaju wiedzy empirycznej da się wyrazić za pomocą sformułowań, w których nie ma wzmianki o Bogu lub o nas samych, sprzyja oddzielaniu od siebie trzech podstawowych pojęć: "Bóg", "świat" i "ja", oraz oddzielaniu *res cogitans* od *rei extensae*. W owym okresie pionierzy nauk empirycznych niekiedy umawiali się ze sobą, że podczas dyskusji nie będą nic mówili o Bogu lub jakiegokolwiek innej pierwszej przyczynie.

Jednocześnie jednak od początku było rzeczą jasną, że w wyniku podziału dokonanego przez Kartezjusza powstają pewne trudne problemy. Oto przykład: Odróżniając *res cogitans* od *rei extensae*, Kartezjusz był zmuszony zaliczyć zwierzęta do kategorii *rerum extensarum*. Toteż - według niego - zwierzęta i rośliny w zasadzie niczym się nie różnią od maszyn, a ich zachowanie się jest całkowicie zdeterminowane przez przyczyny materialne. Jednakże trudno było kategorycznie przeczyć istnieniu czegoś w rodzaju duszy u zwierząt. Zawsze uważano, że z takim poglądem niełatwo się zgodzić. Toteż wydaje się nam, że stare pojęcie duszy, które występowało np. w systemie filozoficznym Tomasza z Akwinu, było bardziej naturalne i mniej sztuczne niż pojęcie *res cogitans* Kartezjusza, nawet jeśli jesteśmy przekonani, że organizmy żywe całkowicie są podporządkowane prawom fizyki i chemii.

Z powyższych poglądów Kartezjusza wysunięto później wnioski, że trudno jest nie traktować człowieka jako maszyny (skoro zwierzęta uznaje się za maszyny). Wyłonił się również problem stosunku duszy i ciała. Ponieważ *res cogitans* i *res extensa* miały się całkowicie różnić pod względem swej istoty, wydawało się rzeczą niemożliwą, aby mogły one na siebie oddziaływać. Aby więc wytłumaczyć ścisły paralelizm doznań cielesnych i odpowiadających im procesów zachodzących w umyśle, trzeba było uznać, że działalnością umysłu rządzą pewne ścisłe prawa, które są odpowiednikiem praw fizyki i chemii. W związku z tym wyłonił się problem możliwości istnienia "wolnej woli". Łatwo zauważyć, że cała ta koncepcja jest dość sztuczna i że można mieć bardzo poważne zastrzeżenia co do słuszności podziału dokonanego przez Kartezjusza. Jednakże podział ten przez kilka stuleci odgrywał niezmiernie pozytywną rolę w dziedzinie nauk przyrodniczych i w ogromnym stopniu przyczynił się do ich rozwoju. Mechanika Newtona oraz inne, rozwijane według jej wzoru, działy fizyki klasycznej były oparte na założeniu, że świat można opisać, nie przy tym nie mówiąc ani o Bogu, ani o nas samych. Możliwość tę uznano niemal za warunek istnienia wszystkich nauk przyrodniczych.

Sytuacja ta całkowicie się zmieniła po powstaniu mechaniki kwantowej. Rozpatrzmy więc obecnie filozoficzne poglądy Kartezjusza z punktu widzenia fizyki współczesnej. Powiedzieliśmy poprzednio, że w ramach kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej możemy abstrahować od nas samych jako indywidualów, ale nie możemy pomijać faktu, że twórcami nauk przyrodniczych są ludzie. Nauki przyrodnicze nie opisują "po prostu" przyrody, nie opisują one przyrody "samej w sobie" i nie wyjaśniają, jaka ona jest "sama w sobie". Są one raczej pewną komponentą wzajemnego oddziaływania między przyrodą a nami; opisują przyrodę poddaną badaniom, które prowadzimy we właściwy nam sposób, posługując się swoistą metodą. Jest to okoliczność, której Kartezjusz jeszcze nie mógł wziąć pod uwagę. A właśnie ona uniemożliwia ostre odgraniczenie świata od "ja".

Jeśli spróbujemy wytłumaczyć fakt, że nawet wybitnym uczonym, takim np. jak Einstein, bardzo trudno było zrozumieć kopenhaską interpretację mechaniki kwantowej i uznać ją za słuszną, to źródło tej trudności wykryjemy już w podziale kartezjańskim. Od czasów Kartezjusza dzielą nas trzy stulecia, w ciągu których koncepcja owego podziału głęboko zakorzeniła się w umysłach. Upłynie wiele lat, zanim ustąpi ona miejsca nowemu ujęciu problemu rzeczywistości.

W wyniku podziału dokonanego przez Kartezjusza ukształtował się pewien pogląd na *res extensas*, który można nazwać realizmem metafizycznym. Według tego poglądu świat "istnieje", czyli "istnieją" rzeczy rozciągłe. Pogląd ten należy odróżnić od różnych form reali-

zmu praktycznego - od stanowiska, które można przedstawić w sposób następujący:

Gdy mówimy, że treść jakiegoś twierdzenia nie zależy od warunków, w których może być ono zweryfikowane, to tym samym twierdzenie to "obiektywizujemy". Realizm praktyczny przyznaje, że istnieją twierdzenia, które można zobiektywizować i że ogromna większość wniosków z potocznego doświadczenia składa się z takich właśnie twierdzeń. Realizm dogmatyczny głosi natomiast, że nie ma twierdzeń dotyczących świata materialnego, które nie mogą zostać zobiektywizowane. Nauki przyrodnicze zawsze były i będą nierozdzielnie związane z realizmem praktycznym; zawsze był on i będzie istotną składową poglądów przyrodoznawstwa. Jeśli zaś chodzi o realizm dogmatyczny, to nie jest on, jak obecnie wiemy, niezbędnym warunkiem rozwoju nauk przyrodniczych. W przeszłości bardzo poważnie przyczynił się on do postępu wiedzy i niepodzielnie panował w fizyce klasycznej. Dopiero dzięki teorii kwantów dowiedzieliśmy się, że nauki przyrodnicze nie muszą się opierać na realizmie dogmatycznym. Einstein w swoim czasie krytykował teorie kwantów z punktu widzenia realizmu dogmatycznego. Gdy uczyony opowiada się za realizmem dogmatycznym, należy to uznać za fakt naturalny. Każdy przyrodnik, prowadząc prace badawcze, czuje, że to, co pragnie wykryć, jest obiektywnie prawdziwe. Chciałby, aby jego twierdzenia nie zależały od warunków weryfikacji. Jest faktem, że fizyka tłumaczy zjawiska przyrody za pomocą prostych praw matematycznych; fakt ten świadczy o tym, że prawa te odpowiadają jakimś autentycznym cechom rzeczywistości, nie są czymś, co sami wymyśliliśmy. To właśnie miał na myśli Einstein, kiedy uznał realizm dogmatyczny za podstawę nauk przyrodniczych. Jednakże teoria kwantów jest przykładem, który dowodzi, że można wyjaśniać zjawiska przyrody za pomocą prostych praw matematycznych, nie opierając się na realizmie dogmatycznym. Niektóre spośród tych praw mogą wydawać się niezbyt proste. Jednakże w porównaniu z niezmiernie skomplikowanymi zjawiskami, które mamy wytłumaczyć (np. widmami liniowymi atomów pierwiastków cięższych), schemat matematyczny mechaniki kwantowej jest stosunkowo prosty. Nauki przyrodnicze nie muszą się obecnie opierać na realizmie dogmatycznym.

Zwolennik realizmu metafizycznego posuwa się o krok dalej niż przedstawiciel realizmu dogmatycznego, twierdzi mianowicie, że "rzeczy istnieją realnie". To właśnie twierdzenie chciał uzasadnić Kartezjusz za pomocą argumentu, że "Bóg nie mógł nas wprowadzić w błąd". Twierdzenie: "Rzeczy istnieją realnie" - różni się od tezy realizmu dogmatycznego tym, że występuje w nim słowo "istnieją", podobnie jak w zdaniu: *Cogito, ergo sum* - występuje słowo *sum* - jestem, istnieję. Trudno jednak dociec, jaki dodatkowy sens - w porównaniu z sensem tezy realizmu dogmatycznego - ma to twierdzenie. W związku

z tym nasuwa się myśl, że należy poddać zasadniczej krytyce również owo *cogito, ergo sum*, które Kartezjusz uznał za niewzruszoną podstawę swego systemu. Prawdą jest, że wypowiedź ta stanowi taki sam pewnik, jak twierdzenie matematyczne, jeśli słowa *cogito* i *sum* są tak zdefiniowane, że zdanie wynika z tych definicji.

Kartezjusz oczywiście w ogóle nie myślał o sformułowaniu takich definicji. Zakładał on, że już wiadomo, co znaczą te słowa. Dlatego prawdziwość *cogito, ergo sum* nie wynika z reguł logiki. Ale jeśli nawet sprecyzuje się dokładnie sens słów "myśleć" i "istnieć", to nadal nie będzie wiadomo, jak daleko można posunąć się naprzód, idąc drogą poznania, gdy już ma się do dyspozycji zdefiniowane pojęcia "myśleć" i "istnieć". Koniec końców, problem zakresu stosowalności tych lub innych pojęć, którymi się posługujemy, jest zawsze problemem empirycznym.

Trudności teoretyczne związane z realizmem metafizycznym ujawniły się wkrótce po opublikowaniu prac Kartezjusza. Stały się one punktem wyjścia filozofii empirystycznej - sensualizmu i pozytywizmu.

Przedstawicielami wczesnego okresu empiryzmu są trzej filozofowie: Locke, Berkeley i Hume. Locke twierdził - wbrew Kartezjuszowi - że cała wiedza jest w ostatecznej instancji oparta na doświadczeniu. Doświadczenia nabywamy w dwojaki sposób: dzięki wrażeniom zmysłowym i dzięki refleksji, za której pośrednictwem doświadczamy operacji własnego umysłu. Wiedza, według Locke'a, polega na zdawaniu sobie sprawy ze zgodności lub niezgodności idei. Następny krok uczynił Berkeley. Głosił on, że cała nasza wiedza wywodzi się z wrażeń. Twierdzenie, że rzeczy istnieją realnie, jest - według niego - pozbawione sensu. Jeśli bowiem dane nam są tylko wrażenia, to nie robi nam żadnej różnicy, czy *rzeczy* istnieją, czy nie. Dlatego "istnieć" *znaczy* tyle, i tylko tyle, co "być postrzeganym". Ten tok argumentacji doprowadził Hume'a do skrajnego sceptycyzmu. Filozof ów negował prawomocność indukcji oraz prawo przyczynowości. Gdyby potraktowało się serio wnioski, do jakich doszedł on w związku z tym, musiałoby się uznać, że obalone zostały podstawy wszystkich doświadczalnych nauk przyrodniczych.

Krytyka, jakiej poddali realizm metafizyczny przedstawiciele filozofii empirystycznej, jest słuszna w tej mierze, w jakiej dotyczy ona naiwnej interpretacji terminu "istnienie".

Z analogicznych względów można jednakże wystąpić z krytyką pozytywnych twierdzeń tej filozofii. Nasze pierwotne postrzeżenia nie są po prostu postrzeżeniami zespołów barw lub dźwięków. To, co postrzegamy, jest już postrzegane jako "coś", jako jakaś rzecz (przy czym zaakcentować tu należy słowo "rzecz")¹⁶ i dlatego należy wątpić, czy

16 W wydaniu niemieckim fragment ten został skrócony: "Was wir empfinden, wird schon als «etwas»- empfunden."

cokolwiek zyskujemy uznając za ostateczne elementy rzeczywistości wrażenia, nie zaś rzeczy. Ze związanej z tym trudności najjaśniej zdali sobie sprawę przedstawiciele współczesnego pozytywizmu. Kierunek ten sprzeciwia się stosowaniu w sposób naiwny pewnych terminów, takich jak "rzecz", "wrażenie", "istnienie". Jest to konsekwencja ogólnego postulatów pozytywistów współczesnych, wedle którego zawsze należy wnikliwie zbadać, czy dane zdanie ma jakiś sens. Ten postulat, jak i postawa filozoficzna, z którą jest on związany, wywodzą się z logiki matematycznej. Metoda nauk ścisłych polega - według neopoztywistów - na przyporządkowywaniu zjawiskom określonych symboli. Symbole, tak jak w matematyce, można wzajemnie powiązać zgodnie z pewnymi regułami. Sądy dotyczące zjawisk można dzięki temu wyrazić za pomocą zespołu symboli. Połączenie symboli, które nie jest zgodne z regułami, o których była mowa, jest nie tylko fałszywe, lecz wręcz bezsensowne.

Jest rzeczą oczywistą, że z powyższą koncepcją związana jest pewna trudność, polegająca na tym, iż nie ma uniwersalnego kryterium, które decydowałoby o tym, czy zdanie powinno się traktować jako sensowne, czy też jako pozbawione sensu. Definitywne rozstrzygnięcie jest możliwe jedynie wówczas, gdy zdanie należy do zamkniętego systemu pojęć i aksjomatów, co w historii nauk przyrodniczych było raczej wyjątkiem niż regułą. W historii nauki przypuszczenie, że taka lub inna wypowiedź jest pozbawiona sensu, przyczyniało się niekiedy do wielkiego postępu wiedzy, prowadziło bowiem do ustalenia nowych związków między pojęciami, co byłoby niemożliwe, gdyby wypowiedź ta była sensowna. Za przykład może służyć przytoczone poprzednio pytanie związane z mechaniką kwantową: "Po jakiej orbicie porusza się elektron wokół jądra?" Jednakże - ogólnie rzecz biorąc - schemat pozytywistyczny, wywodzący się z logiki matematycznej, jest zbyt ciasny dla opisu przyrody; w opisie tym bowiem z konieczności stosowane są słowa i pojęcia nie zdefiniowane w sposób ścisły.

Teza filozoficzna, wedle której cała nasza wiedza opiera się ostatecznie na doświadczeniu, doprowadziła w końcu do sformułowania postulatów, domagających się, aby każde twierdzenie dotyczące przyrody było poddane analizie logicznej. Postulat ten mógł wydawać się usprawiedliwiony w epoce fizyki klasycznej, ale po powstaniu teorii kwantów przekonał się, że nie można mu zadośćuczynić. Takie terminy, jak np. "położenie" i "prędkość" elektronu - wydawały się doskonale zdefiniowane zarówno pod względem sensu, jak i możliwych związków z innymi terminami; okazało się, że były one dobrze zdefiniowane jedynie w ramach aparatu matematycznego mechaniki Newtona. Z punktu widzenia fizyki

als irgendein Ding, und deshalb..." (Przyp. red. wyd. polskiego).

współczesnej nie są one dobrze zdefiniowane, o czym świadczy zasada nieokreśloności. Można powiedzieć, że były one dobrze zdefiniowane z punktu widzenia systemu mechaniki Newtona, ze względu na ich miejsce w tym systemie, ale nie były one dobrze zdefiniowane ze względu na ich stosunek do przyrody. Z tego wynika, że nigdy nie możemy wiedzieć z góry, w jaki sposób i w jakiej mierze prawomocność stosowania tych lub innych pojęć zostanie ograniczona wskutek rozszerzania się zakresu naszej wiedzy, uzyskiwania wiadomości o odległych obszarach przyrody, do których można przeniknąć jedynie za pomocą niezwykle skomplikowanych przyrządów. Toteż w trakcie badania tych obszarów jesteśmy niekiedy zmuszeni stosować nasze pojęcia w taki sposób, który z logicznego punktu widzenia jest nie uzasadniony i sprawia, że pojęcia te tracą sens. Położenie przesadnego nacisku na postulat pełnego logicznego wyjaśniania sensu pojęć spowodowałoby, że nauka stałaby się niemożliwa. Fizyka współczesna przypomina o starej mądrej maksymie: "Nie myli się tylko ten, kto milczy". Dwa nurty myśli, z których jeden zapoczątkowany został przez Kartezjusza, drugi zaś przez Locke'a i Berkeley'a, usiłował zespolić Kant - pierwszy przedstawiciel niemieckiej filozofii idealistycznej. Te spośród jego poglądów, które musimy rozpatrzyć z punktu widzenia fizyki współczesnej, wyłożone zostały w *Krytyce czystego rozumu*. Kant rozważa w tym dziele problem źródła wiedzy. Stawia on pytanie: Czy wiedza wywodzi się wyłącznie z doświadczenia, czy też pochodzi również z innych źródeł? Dochodzi on do wniosku, że część naszej wiedzy ma charakter aprioryczny i nie jest oparta na doświadczeniu. W związku z tym odróżnia wiedzę empiryczną od wiedzy *a priori*. Jednocześnie odróżnia dwa rodzaje sądów: sądy analityczne i sądy syntetyczne. Sądy analityczne wynikają po prostu z logiki, a ich negacja byłaby wewnętrznie sprzeczna. Sądy, które nie mają charakteru analitycznego, nazywa syntetycznymi.

Jakie - według Kanta - jest kryterium aprioryczności wiedzy? Kant przyznaje, że proces zdobywania wiedzy zawsze zaczyna się od doświadczenia, ale dodaje, że wiedza nie zawsze wywodzi się z doświadczenia. Prawdą jest, że doświadczenie poucza nas, że coś jest takie, a nie inne, ale nigdy, że inne być nie może. Jeśli więc znajdzie się twierdzenie, które w myśli występuje jako konieczne, to jest ono sądem *a priori*. Doświadczenie nigdy nie nadaje sądom ważności powszechnej. Rozpatrzmy na przykład sąd: "Co rano słońce wschodzi". Nie znamy wyjątków z powyższego pravidła i przewidujemy, że będzie ono się spełniać również w przyszłości. Wyjątki od tego pravidła można jednak sobie wyobrazić. Jeśli natomiast sąd jakiś pomyślany jest jako ściśle powszechny, tzn. jeśli nie dopuszcza wyjątku i nie sposób sobie wyobrazić tego wyjątku, to musi on być sądem *a priori*. Sądy analityczne są zawsze sądami *a priori*. Jeśli dziecko nawet uczy się rachować bawiąc się kamykami, to bynajmniej

nie musi odwoływać się do doświadczenia, aby się dowiedzieć, że dwa razy dwa jest cztery. Natomiast wiedza empiryczna ma charakter syntetyczny.

Czy mogą jednakże istnieć sądy syntetyczne *a priori*? Kant usiłuje uzasadnić tezę, że mogą one istnieć, podając przykłady, w których odpowiednie kryteria zdają się być spełnione.

Czas i przestrzeń, pisze on, są apriorycznymi formami zmysłowości, są wyobrażeniami *a priori*. Jeśli chodzi o przestrzeń, przytacza on następujące argumenty metafizyczne:

“1. Przestrzeń nie jest pojęciem empirycznym, które by zostało wysnute z doświadczeń zewnętrznych. Albowiem, żebym pewne wrażenia odniósł do czegoś poza mną (tzn. do czegoś, co znajduje się w innym miejscu przestrzeni niż ja), a podobnie, żebym je mógł przedstawić jako pozostające na zewnątrz siebie i obok siebie, a więc nie tylko jako różne, ale i jako występujące w różnych miejscach, na to trzeba już mieć u podłoża wyobrażenie (*Vorstellung*) przestrzeni. Wyobrażenie przestrzeni nie może być więc zapożyczone przez doświadczenie ze stosunków [występujących] w zjawisku zewnętrznym, lecz przeciwnie, to zewnętrzne doświadczenie staje się dopiero możliwe tylko przez wspomniane wyobrażenie. 2. Przestrzeń jest koniecznym wyobrażeniem *a priori* leżącym u podłoża wszelkich zewnętrznych danych naocznych. Nie można sobie wyobrazić, że nie ma przestrzeni, jakkolwiek można sobie pomyśleć, że nie spotykamy w niej żadnych przedmiotów. Uważa się więc ją za warunek możliwości zjawisk, a nie za określenie od nich zależne, i jest ona wyobrażeniem *a priori*, które leży koniecznie u podłoża zjawisk wewnętrznych. 3. Przestrzeń nie jest pojęciem dyskursywnym lub, jak się to mówi, ogólnym pojęciem stosunków między rzeczami w ogóle, lecz jest czystą naocznością. Albowiem, po pierwsze, można sobie wyobrazić tylko jedną jedyną przestrzeń, a jeżeli mówi się o wielu przestrzeniach, to rozumie się przez to tylko części jednej i tej samej jedynej przestrzeni... 4. Przestrzeń wyobrażamy sobie jako nieskończoną daną nam wielkość. Otóż wprowadzie każde pojęcie musimy pomyśleć jako przedstawienie zawierające się w nieskończonej mnogości różnych możliwych wyobrażeń (jako ich wspólna cecha), ...lecz żadne pojęcie jako takie nie da się pomyśleć w ten sposób, żeby nieskończona mnogość wyobrażeń w nim się zawierała. Mimo to przestrzeń jest tak właśnie pomyślana (albowiem wszystkie części przestrzeni aż do nieskończoności istnieją zarazem). Pierwotne wyobrażenie przestrzeni jest więc pewną daną naoczną (*Anschauung*) *a priori*, a nie pojęciem”¹⁷.

Nie będziemy rozpatrywać tych argumentów. Przytoczyliśmy je tylko jako przykłady pozwalające czytelnikowi ogólnie sobie wyobrazić, w jaki sposób Kant uzasadnia możliwość

17 I. Kant, *Krytyka czystego rozumu*, tom I, Warszawa 1957, s. 98—101.

sądów syntetycznych *a priori* i tłumaczy, jak są one możliwe. Jeśli chodzi o fizykę, Kant uważa, że oprócz czasu i przestrzeni charakter aprioryczny ma również prawo przyczynowości oraz pojęcie substancji. Później doda do tego jeszcze prawo zachowania materii, prawo, zgodnie z którym akcja równa jest reakcji, a nawet prawo grawitacji. Obecnie żaden fizyk z tym się nie zgodzi, jeśli termin *a priori* ma znaczyć "absolutnie aprioryczny", a więc mieć ten sens, który mu nadał Kant. Jeśli chodzi o matematykę, to Kant sądził, że charakter aprioryczny ma geometria Euklidesa.

Zanim przejdziemy do porównania koncepcji Kanta z poglądami fizyki współczesnej, musimy wspomnieć o innym fragmencie jego teorii. Również w systemie filozoficznym Kanta wyłania się problem udzielenia odpowiedzi na owo kłopotliwe pytanie, które dało początek filozofii empirystycznej, a mianowicie: "Czy rzeczy naprawdę istnieją?" Jednakże Kant nie kontynuuje wywodów Berkeley'a i Hume'a, mimo że z punktu widzenia logiki były one spójne. Kant zachował w swym systemie pojęcie rzeczy samej w sobie, która miała być czymś innym niż wrażenie; istnieje więc pewna więź między filozofią Kanta a realizmem.

Gdy porównuje się koncepcje Kanta z poglądami fizyki współczesnej, to w pierwszej chwili wydaje się, że osiągnięcia teoretyczne nauki XX wieku, nowe odkrycia i dane naukowe, całkowicie zdezwauowały koncepcje sądów syntetycznych *a priori*, która była centralną koncepcją systemu filozoficznego Kanta. Teoria względności zmusiła nas do zmiany poglądów na czas i przestrzeń, ponieważ poznaliśmy dzięki niej zupełnie nowe, przedtem nie znane własności przestrzeni i czasu, własności, z których żadna nie jest właściwa kantowskiemu apriorycznym formom zmysłowości. W teorii kwantów nie powołujemy się już na prawo przyczynowości, a jeśli nawet powołujemy się na nie, to interpretujemy je w zupełnie inny sposób niż w fizyce klasycznej¹⁸. Prawo zachowania materii nie spełnia się w dziedzinie cząstek elementarnych. Kant oczywiście nie mógł przewidzieć odkryć dokonanych w naszym stuleciu, ponieważ jednak był on przekonany, że jego koncepcje staną się "podstawą wszelkiej przyszłej metafizyki, która będzie mogła wystąpić jako nauka", przeto warto ustalić, na czym polegał błąd w jego rozumowaniu.

Rozpatrzmy na przykład zagadnienie przyczynowości. Kant mówi, że ilekroć obserwujemy jakieś zdarzenie, zakładamy, że istniało zdarzenie poprzednie, z którego to pierwsze musi wynikać zgodnie z jakąś regułą. Założenie to - zdaniem Kanta - jest podstawą wszelkich badań naukowych. Nie jest rzeczą ważną, czy zawsze potrafimy wskazać poprzednie zdarzenie, z którego wynika zdarzenie dane. W wielu przypadkach rzeczywiście

¹⁸ Fragment tego zdania zaczynający się od słów "a jeśli nawet..." pochodzi z niemieckiego wydania niniejszej książki; nie ma go w tekście angielskim. (Przyp. red. wyd. polskiego).

możemy je wskazać. Ale nawet jeśli jest to niemożliwe, musimy nieuchronnie zadać sobie pytanie, jakie to mogło być zdarzenie, i szukać odpowiedzi na to pytanie. Dlatego prawo przyczynowości i naukowa metoda badań stanowią jedność; prawo to jest koniecznym warunkiem istnienia nauki. A ponieważ rzeczywiście posługujemy się tą metodą, prawo przyczynowości ma charakter aprioryczny i nie wywodzi się z doświadczenia.

Czy jest to słuszne w dziedzinie fizyki atomowej? Rozpatrzmy pewien przykład. Atom radu może emitować cząstkę α . My jesteśmy w stanie przewidzieć, w jakiej chwili nastąpi emisja. Powiedzieć można tylko tyle, że akt emisji zachodzi przeciętnie w ciągu dwóch tysięcy lat. Toteż obserwując zjawisko emisji, fizycy *de facio* nie próbują odpowiedzieć na pytanie, z jakiego poprzedniego zdarzenia musi wynikać akt emisji. Z punktu widzenia logiki mają oni jednak prawo starać się ustalić, jakie to było zdarzenie, a to, że nie ustalili tego dotychczas, nie musi pozbawiać ich nadziei, że kiedyś zdołają to uczynić. Dlaczego więc w metodzie badań naukowych zaszła ta niezmiernie istotna zmiana w ciągu czasu dzielącego nas od okresu, w którym żył Kant?

Możliwe są dwie odpowiedzi na to pytanie: Po pierwsze, można powiedzieć, że dane doświadczenia przekonały nas, iż prawa teorii kwantów są słuszne; jeśli zaś uważamy je za słuszne, to powinno być dla nas rzeczą jasną, że akt emisji nie wynika w sposób konieczny z żadnego poprzedniego zdarzenia. Po drugie, można powiedzieć, że z grubsza wiemy, co spowodowało akt emisji, ale nie wiemy dokładnie, z jakiego poprzedniego zdarzenia wynika on z koniecznością. Znamy siły działające w jądrze atomowym, które decydują o tym, czy nastąpi emisja cząstki α [alfa]. *Lecz* naszej wiedzy jest tu właściwa nieokreśloność, wynikająca z oddziaływania między jądrem a resztą świata. Jeśli chcemy wiedzieć, dlaczego cząstka α jest emitowana w danym momencie, to musimy poznać mikroskopową strukturę całego świata, a w tym również i naszą własną, co jest niemożliwe. Z tego względu argumenty Kanta, które miały uzasadniać tezę o apriorycznym charakterze prawa przyczynowości, tracą wartość.

W podobny sposób można zanalizować twierdzenie o apriorycznym charakterze czasu i przestrzeni - form zmysłowości. Wynik będzie taki sam. Aprioryczne wyobrażenia i pojęcia, które Kant traktował jako absolutnie konieczne i powszechne, nie wchodzą już w skład teoretycznego systemu fizyki współczesnej.

"Czas", "przestrzeń" i "przyczynowość" są jednak pojęciami, które stanowią pewną istotną część tego systemu i są aprioryczne w nieco odmiennym sensie. W rozważaniach dotyczących kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej podkreśliliśmy, że opisując układ pomiarowy, a ogólniej - tę część *universum*, która nie jest obiektem aktualnie badanym

ani jego częścią, posługujemy się pojęciami klasycznymi. Posługiwanie się tymi pojęciami, a wśród nich - pojęciami "czas", "przestrzeń" i "przyczynowość" - jest rzeczywiście warunkiem obserwacji zdarzeń atomowych¹⁹ i w tym sensie pojęcia te mają charakter aprioryczny. Kant nie przewidział, że te aprioryczne pojęcia mogą być warunkiem istnienia nauki i mieć zarazem ograniczony zakres stosowalności. Kiedy przeprowadzamy doświadczenie, musimy założyć, że pewien przyczynowy łańcuch zdarzeń ciągnie się od zdarzenia obserwowanego, poprzez przyrząd doświadczalny - do oka obserwatora. Gdybyśmy nie zakładali istnienia tego łańcucha przyczynowego, nie moglibyśmy nic wiedzieć o zdarzeniu. Jednocześnie jednak musimy pamiętać, że na fizykę klasyczną i przyczynowość możemy się powoływać tylko w pewnych granicach. Jest to podstawowy paradoks teorii kwantów, którego Kant, oczywiście, nie mógł przewidzieć. Fizyka współczesna przekształciła metafizyczne twierdzenie Kanta o możliwości sądów syntetycznych *a priori* w twierdzenie praktyczne. Sądy syntetyczne *a priori* mają wskutek tego charakter prawd względnych.

Jeśli się zreinterpretuje kantowskie *a priori* w powyższy sposób, to nie ma się żadnego powodu traktować jako "to, co dane" - wrażenia, a nie rzeczy. Wtedy bowiem - zupełnie tak samo jak w fizyce klasycznej - możemy mówić zarówno o tych zdarzeniach, które nie są obserwowane, jak i o tych, które obserwujemy. Toteż realizm praktyczny jest naturalnym elementem tej re-interpretacji. Kant, rozpatrując "rzecz samą w sobie", podkreślał, że na podstawie postrzeżeń nie można niczego o niej wywnioskować. Twierdzenie to, jak wskazał von Weizsacker, znajduje swą formalną analogię w tym, że chociaż we wszystkich opisach doświadczeń posługujemy się pojęciami klasycznymi, to jednak możliwe jest nieklasyczne zachowywanie się mikroobiektów. Dla fizyka atomowego "rzeczą samą w sobie" - jeśli w ogóle stosuje on to pojęcie - jest struktura matematyczna. Jest ona jednak, wbrew zdaniu Kanta, wydedukowana pośrednio z doświadczenia.

Dzięki tej reinterpretacji kantowskie aprioryczne wyobrażenia i pojęcia oraz sądy syntetyczne *a priori* zostają pośrednio powiązane z doświadczeniem, jako że się przyjmuje, iż ukształtowały się one w dalekiej przeszłości, w toku rozwoju myśli ludzkiej. W związku z tym biolog Lorenz porównał niegdyś aprioryczne pojęcia do tych sposobów zachowania się zwierząt, które nazywa się "odziedziczonymi lub wrodzonymi stereotypami". Jest rzeczywiście zupełnie możliwe, że dla niektórych niższych zwierząt przestrzeń i czas to coś innego niż to, co Kant nazywał naszymi "formami zmysłowości". Te ostatnie mogą być właściwe tylko gatunkowi ludzkiemu i nie mieć odpowiednika w świecie istniejącym

¹⁹ W oryginale angielskim: "...is in fact the condition for observing atomic events..."; w tekście niemieckim: "...ist in der Tat die Voraussetzung für die Beobachtung der atomaren Vorgänge..." (Przyp. red. wyd. polskiego).

niezależnie od człowieka. Idąc śladem tego biologicznego komentarza do kantowskiego *a priori*, wdalibyśmy się jednak w zbyt hipotetyczne rozważania. Rozumowanie to przytoczyliśmy po to, by wskazać, jak termin "prawda względna" można zinterpretować, nawiązując do kantowskiego *a priori*.

W rozdziale tym potraktowaliśmy fizykę współczesną jako przykład lub też - rzecz można - jako model, na którym sprawdzaliśmy wnioski uzyskane w pewnych doniosłych dawnych systemach filozoficznych; wnioski te oczywiście miały dotyczyć o wiele szerszego kręgu zjawisk i zagadnień niż te, z którymi mamy do czynienia w fizyce. Wnioski zaś, które wynikają z powyższych rozważań poświęconych filozofii Kartezjusza i Kanta, można - jak się wydaje - sformułować w następujący sposób:

Żadne pojęcie lub słowo powstałe w przeszłości wskutek wzajemnego oddziaływania między przyrodą a człowiekiem nie ma w gruncie rzeczy sensu całkowicie ściśle określonego. Znaczy to, że nie możemy dokładnie przewidzieć, w jakiej mierze pojęcia te będą nam pomagały orientować się w świecie. Wiemy, że wiele spośród nich można stosować do ujęcia szerokiego kręgu naszych wewnętrznych lub zewnętrznych doświadczeń, w istocie jednak nigdy nie wiemy dokładnie, w jakich granicach stosować je można. Dotyczy to również najprostszych i najbardziej ogólnych pojęć, takich jak "istnienie", "czas", "przestrzeń". Toteż sam czysty rozum²⁰ nigdy nie umożliwi osiągnięcia żadnej prawdy absolutnej.

Pojęcia mogą jednak być ściśle zdefiniowane z punktu widzenia ich związków wzajemnych. Z przypadkiem takim mamy do czynienia wtedy, gdy pojęcia wchodzi w skład systemu aksjomatów i definicji, który może być wyrażony za pomocą spójnego schematu matematycznego. Taki system powiązanych ze sobą pojęć może ewentualnie być zastosowany do ujęcia danych doświadczalnych dotyczących rozległej dziedziny zjawisk i może nam ułatwić orientację w tej dziedzinie. Jednakże granice stosowalności tych pojęć z reguły nie są znane, a przynajmniej nie są znane dokładnie.

Nawet jeśli zdajemy sobie sprawę z tego, że sens pojęć nigdy nie może być określony absolutnie ściśle, to przyznajemy, że pewne pojęcia stanowią integralny element metody naukowej, jako że w danym czasie stanowią one ostateczny wynik rozwoju myśli ludzkiej. Niektóre z nich powstały bardzo dawno; być może, są one nawet odziedziczone. W każdym razie są one niezbędnym narzędziem badań naukowych w naszej epoce i w tym sensie możemy o nich mówić, że mają charakter aprioryczny. Jest jednak rzeczą możliwą, że w przyszłości zakres ich stosowalności znów ulegnie zmianie, zostanie jeszcze bardziej

²⁰ W oryginale angielskim "sam czysty rozum"; w tekście niemieckim "samo myślenie racjonalne". (Przyp. red. wyd. polskiego).

ograniczony.

VI. TEORIA KWANTÓW A INNE DZIEDZINY NAUK PRZYRODNICZYCH

Stwierdziliśmy poprzednio, że pojęcia nauk przyrodniczych mogą być niekiedy ściśle zdefiniowane ze względu na ich wzajemne związki. Z tej możliwości po raz pierwszy skorzystał Newton w *Zasadach*²¹, i właśnie dlatego dzieło to wywarło w następnych stuleciach tak wielki wpływ na rozwój nauk przyrodniczych. Newton na początku podaje szereg definicji i aksjomatów, tak wzajemnie ze sobą powiązanych, że tworzą one to, co można nazwać "systemem zamkniętym". Każdemu pojęciu można tu przyporządkować symbol matematyczny. Związki pomiędzy poszczególnymi pojęciami są przedstawione w postaci równań matematycznych, które wiążą te symbole. To, że system ma postać matematyczną, jest gwarancją tego, że nie ma w nim sprzeczności. Ruchy ciał, które mogą zachodzić pod wpływem działania sił, są reprezentowane przez możliwe rozwiązania odpowiednich równań. Zespół definicji i aksjomatów, który można podać w postaci równań matematycznych, traktuje się jako opis wiecznej struktury przyrody. Struktura ta nie zależy od tego, w jakim konkretnym przedziale czasu i w jakim konkretnym obszarze przestrzeni zachodzi rozpatrywany proces.

Poszczególne pojęcia w tym systemie są tak ściśle ze sobą związane, że w zasadzie nie można zmienić żadnego spośród nich, nie burząc całego systemu.

Dlatego też przez długi czas uznawano system Newtona za ostateczny. Wydawało się, że zadanie uczonych ma polegać po prostu na stosowaniu mechaniki Newtona w coraz szerszym zakresie, w coraz nowszych dziedzinach. I rzeczywiście - przez niemal dwa stulecia fizyka rozwijała się w ten właśnie sposób.

Od teorii ruchu punktów materialnych można przejść zarówno do mechaniki ciał stałych i badania ruchów obrotowych, jak i do badania ciągłego ruchu cieczy lub drgań ciał sprężystych. Rozwój wszystkich tych działów mechaniki był ściśle związany z rozwojem matematyki, zwłaszcza rachunku różniczkowego. Uzyskane wyniki zostały sprawdzone doświadczalnie. Akustyka i hydrodynamika stały się częścią mechaniki. Inną nauką, w której można było wiele osiągnąć dzięki mechanice Newtona, była astronomia. Udoskonalenie metod matematycznych umożliwiło coraz dokładniejsze obliczanie ruchu planet oraz ich oddziaływań wzajemnych. Kiedy odkryto nowe zjawiska związane z magnetyzmem i elektrycznością, siły elektryczne i magnetyczne przyrównano do sił grawitacyjnych, tak że ich wpływ na ruchy ciał można było badać zgodnie z metodą mechaniki Newtona. W

21 *Philosophiae naturalis principia mathematica. (Red. wyd. polskiego).*

dziewiętnastym stuleciu nawet teorię ciepła można było sprowadzić do mechaniki, zakładając, że ciepło polega w istocie na skomplikowanym ruchu najmniejszych cząstek materii. Wiążąc pojęcia matematyczne teorii prawdopodobieństwa z pojęciami mechaniki Newtona, Clausius, Gibbs i Boltzmann zdołali wykazać, że podstawowe prawa termodynamiki można zinterpretować jako prawa statystyczne, wynikające z tej mechaniki, gdy z jej punktu widzenia rozpatruje się bardzo złożone układy mechaniczne.

Aż do tego miejsca program mechaniki newtonowskiej²² był realizowany w sposób całkowicie konsekwentny, a jego realizacja umożliwiała zrozumienie wielu różnorodnych faktów doświadczalnych. Pierwsza trudność powstała dopiero w toku rozważań dotyczących pola elektromagnetycznego, które podjęli Maxwell i Faraday. W mechanice Newtona siły grawitacyjne traktowano jako dane, nie zaś jako przedmiot dalszych badań teoretycznych. Natomiast w pracach Maxwella i Faradaya przedmiotem badania stało się samo pole sil. Fizycy chcieli wiedzieć, jak zmienia się ono w czasie i przestrzeni. Dlatego starali się ustalić przede wszystkim równania ruchu dla pola, nie zaś dla ciał znajdujących się pod wpływem jego działania. Ta zmiana sposobu ujęcia zagadnienia prowadziła z powrotem do poglądu, który podzielało wielu fizyków przed powstaniem mechaniki Newtona. Sądziłi oni, że działanie jest przekazywane przez jedno ciało drugiemu ciału tylko wówczas, gdy ciała te stykają się ze sobą, tak jak w przypadku zderzenia lub tarcia. Newton wprowadził nową, bardzo dziwną hipotezę, wedle której istnieje siła działająca na odległość. Gdyby zostały podane równania różniczkowe opisujące zachowanie się pól, można by było powrócić w teorii pola do starej koncepcji, wedle której działanie jest przekazywane bezpośrednio - od jednego punktu do drugiego, sąsiedniego punktu. Równania takie rzeczywiście zostały wyprowadzone i dlatego opis pola elektromagnetycznego, jaki dawała teoria Maxwella, wydawał się zadowalającym rozwiązaniem problemu sił oraz problemu ich pól. Z tego właśnie względu program wysunięty przez mechanikę Newtona uległ zmianie. Aksjomaty i definicje Newtona dotyczyły ciał i ich ruchów; pola sił w teorii Maxwella wydawały się jednakże równie realne, jak ciała w mechanice Newtona. Pogląd ten nie był bynajmniej łatwy do przyjęcia. Toteż w celu uniknięcia związanej z nim zmiany pojęcia rzeczywistości przyrównano pole elektromagnetyczne do pola sprężystych odkształceń lub pola naprężeń, a fale świetlne opisywane przez teorię Maxwella do fal akustycznych w ciałach i ośrodkach

22 Heisenberg ma zapewne na myśli m. in. następujący fragment Zasad Newtona: "Byłoby rzeczą wielce pożądaną wyrowadzenie z zasad mechaniki również i pozostałych zjawisk przyrody. Wiele bowiem względów skłania mnie do przypuszczenia, że wszystkie te zjawiska uwarunkowane są przez jakieś siły, dzięki którym cząstki ciał — z przyczyn na razie nie znanych — bądź zbliżają się do siebie i łączą w prawidłowe figury, bądź wzajemnie się odpychają i oddalają od siebie". Patrz: I. Newton *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Gene-vae MDCCXXXIX, tomus primus, s. XII. (Przyp. red. wyd. polskiego)

sprężystych. Dlatego wielu fizyków wierzyło, że równania Maxwella w gruncie *rzeczy* dotyczą odkształceń pewnego sprężystego ośrodka, który nazwano eterem. Nazwa ta wyrażać miała myśl, iż eter jest substancją tak lekką i subtelną, że może przenikać ciała i ośrodki materialne i że nie można go ani postrzegać, ani odczuć jego istnienia. Wyjaśnienie to jednak nie było w pełni zadowalające, nie umiano bowiem wytłumaczyć, dlaczego nie istnieją podłużne fale świetlne.

W końcu teoria względności (będzie mowa o niej w następnym rozdziale) wykazała w sposób przekonywający, że pojęcie eteru - substancji, której rzekomo miały dotyczyć równania Maxwella, należy odrzucić. Nie możemy tu rozpatrywać argumentów uzasadniających tę tezę; należy jednak zaznaczyć, że wynikał z niej wniosek, iż pole powinno się traktować jako samoistną rzeczywistość.

Następnym, jeszcze bardziej zdumiewającym wynikiem, uzyskanym dzięki szczególnej teorii względności, było odkrycie nowych własności przestrzeni i czasu, a raczej odkrycie nie znanej poprzednio i nie występującej w mechanice Newtona zależności między czasem a przestrzenią.

Pod wrażeniem tej zupełnie nowej sytuacji wielu fizyków doszło do nieco zbyt pochopnego wniosku, że mechanika Newtona została ostatecznie obalona. Rzeczywistość pierwotna to pole, nie zaś ciała, a strukturę przestrzeni i czasu opisują we właściwy sposób wzory Lorentza i Einsteina, nie zaś aksjomaty Newtona. Mechanika Newtona w wielu przypadkach opisywała zjawiska przyrody z dobrym przybliżeniem, teraz jednak musi zostać udoskonalona, aby można było uzyskać opis bardziej ścisły.

Z punktu widzenia poglądów, do których doszliśmy ostatecznie na podstawie mechaniki kwantowej, twierdzenia te wydają się bardzo uproszczone. Ten, kto je głosi, pomija przede wszystkim fakt, że ogromna większość doświadczeń, w których toku dokonuje się pomiarów pola, jest oparta na mechanice Newtona, a po drugie nie zdaje sobie sprawy z tego, że mechaniki Newtona nie można udoskonalić; można ją tylko zastąpić teorią różniącą się od niej w sposób istotny.

Rozwój mechaniki kwantowej przekonał nas, że sytuację należałoby przedstawić raczej w sposób następujący: Wszędzie, gdzie pojęcia mechaniki newtonowskiej mogą być stosowane do opisu zjawisk przyrody, tam prawa sformułowane przez Newtona są całkowicie słuszne i ścisłe i nie można ich "ulepszyć". Jednakże zjawiska elektromagnetyczne nie mogą być opisane w sposób ścisły za pomocą pojęć mechaniki Newtona. Dlatego doświadczenia, podczas których badano pola elektromagnetyczne i fale świetlne, oraz analiza teoretyczna tych doświadczeń, dokonana przez Maxwella, Lorentza i Einsteina, doprowadziły do

powstania nowego, zamkniętego systemu definicji, aksjomatów oraz pojęć, którym można przyporządkować symbole matematyczne; system ten jest równie spójny, jak mechanika Newtona, choć w sposób istotny różni się od niej.

Z tego wynikało, że obecnie uczeni powinni wiązać ze swą pracą inne nadzieje niż te, które żywili od czasów Newtona. Okazało się, że nauka nie zawsze może czynić postępy jedynie dzięki wyjaśnianiu nowych zjawisk za pomocą znanych już praw przyrody. W niektórych przypadkach nowo zaobserwowane zjawiska można zrozumieć dopiero po wprowadzeniu nowych pojęć adekwatnych w stosunku do tych zjawisk w tej samej mierze, w jakiej pojęcia mechaniki Newtona były adekwatne w stosunku do zjawisk mechanicznych. Również te nowe pojęcia można połączyć tak, aby tworzyły system zamknięty, i przedstawić za pomocą symboli matematycznych. Jeśli jednak rozwój fizyki czy też rozwój nauk przyrodniczych w ogóle - przebiega w ten właśnie sposób, to nasuwa się pytanie: "Jaki jest stosunek wzajemny różnych systemów pojęć?" Jeśli np. te same pojęcia lub słowa występują w różnych systemach i są w nich w różny sposób - ze względu na swe związki wzajemne - zdefiniowane, to w jakim sensie pojęcia te przedstawiają rzeczywistość?

Problem ten wyłonił się po raz pierwszy po powstaniu szczególnej teorii względności. Pojęcia czasu i przestrzeni występują zarówno w mechanice Newtona, jak i w teorii względności. Jednakże w mechanice Newtona czas i przestrzeń są od siebie niezależne, natomiast w teorii względności - związane ze sobą transformacją Lorentza. Można wykazać, że w szczególnym przypadku, gdy wszystkie prędkości w rozpatrywanym układzie są znikomo małe w porównaniu z prędkością światła, twierdzenia szczególnej teorii względności zbliżają się do twierdzeń mechaniki klasycznej. Stąd można wysnuć wniosek, że pojęć mechaniki Newtona nie powinno się stosować do opisu procesów, w których mamy **do** czynienia z prędkościami porównywalnymi z prędkością światła. W ten sposób wreszcie wykryto granice, w jakich można stosować mechanikę Newtona, granice, których nie sposób ustalić ani za pomocą analizy spójnego systemu pojęć, ani na podstawie zwykłej obserwacji układów mechanicznych.

Dlatego też stosunek pomiędzy dwoma różnymi, spójnymi systemami pojęć należy zawsze bardzo wnikliwie badać. Zanim jednak zajmiemy się ogólnym rozpatrzeniem zarówno struktury takich zamkniętych i spójnych systemów pojęć, jak i możliwych stosunków wzajemnych owych pojęć, omówimy pokrótce te systemy pojęciowe, które dotychczas zostały opracowane w fizyce. Można wyróżnić cztery takie systemy, które uzyskały już ostateczną postać.

Pierwszym z nich jest mechanika Newtona, o której już była mowa poprzednio. Opierając się na niej można opisywać wszelkiego rodzaju- układy mechaniczne, ruch cieczy i drgania ciał sprężystych; w jej skład wchodzi akustyka, statyka i aerodynamika.

Drugi zamknięty system pojęć ukształtował się w dziewiętnastym wieku. Jest on związany z teorią zjawisk cieplnych. Chociaż teorię zjawisk cieplnych, dzięki rozwojowi mechaniki statystycznej, można koniec końców powiązać z mechaniką klasyczną, to jednak nie byłoby właściwe traktowanie jej jako działu mechaniki. W fenomenologicznej teorii ciepła występuje szereg pojęć, które nie mają odpowiednika w innych działach fizyki, na przykład: ciepło, ciepło właściwe, entropia itd. Jeśli traktując ciepło jako energię, która podlega rozkładowi statystycznemu na wiele stopni swobody, uwarunkowanych atomistyczną budową materii - przechodzi się od opisu fenomenologicznego do interpretacji statystycznej, to okazuje się, że teoria zjawisk cieplnych nie jest bardziej związana z mechaniką niż z elektrodynamiką czy też z innymi działami fizyki. Centralne miejsce w interpretacji statystycznej zajmuje pojęcie prawdopodobieństwa, ściśle związane z pojęciem entropii, które występuje w teorii fenomenologicznej. Oprócz tego pojęcia w statystycznej termodynamice nieodzowne jest pojęcie energii. Ale w każdym spójnym systemie aksjomatów i definicji w fizyce z konieczności muszą występować pojęcia energii, pędu, momentu pędu oraz prawo, które głosi, że energia, pęd i moment pędu w pewnych określonych warunkach muszą być zachowane. Jest to niezbędne, jeśli ów spójny system ma opisywać jakieś własności przyrody, które można uznać za przysługujące jej zawsze i wszędzie; innymi słowy - jeśli ma on opisywać takie jej własności, które - jak mówią matematycy - są niezmiennicze względem przesunięć w czasie i przestrzeni, obrotów w przestrzeni oraz przekształceń Galileusza lub przekształceń Lorentza. Dlatego teorię ciepła można powiązać z każdym innym zamkniętym systemem pojęć występującym w fizyce.

Trzeci zamknięty system pojęć i aksjomatów wywodzi się z badań dotyczących zjawisk elektrycznych i magnetycznych. Dzięki pracom Lorentza, Minkowskiego i Einsteina uzyskał on ostateczną postać w pierwszym dziesięcioleciu dwudziestego wieku. Obejmuje elektrodynamikę, magnetyzm, szczególną teorię względności i optykę; można do niego włączyć również teorię fal materii odpowiadających różnym rodzajom cząstek elementarnych sformułowaną przez L. de Broglie'a; w jego skład nie może jednak wchodzić falowa teoria Schrödingera.

Czwartym spójnym systemem jest teoria kwantów w tej postaci, w jakiej została przedstawiona w pierwszych dwóch rozdziałach. Centralne miejsce zajmuje w niej pojęcie funkcji prawdopodobieństwa albo macierzy statystycznej, jak nazywają ją matematycy. Sy-

stem ten obejmuje mechanikę kwantową i falową, teorię widm atomowych, chemię oraz teorię innych własności materii, takich na przykład, jak przewodnictwo elektryczne, ferromagnetyzm itd.

Stosunek pomiędzy tymi czterema systemami pojęciowymi można określić w następujący sposób: System pierwszy jest zawarty - jako przypadek graniczny - w trzecim, gdy prędkość światła można traktować jako nieskończenie wielką, i wchodzi w skład czwartego - też jako przypadek graniczny - gdy można przyjąć, że kwant działania (stała Plancka) jest nieskończenie mały. Pierwszy, a częściowo i trzeci system wchodzi w skład czwartego jako aprioryczna podstawa opisu doświadczeń. Drugi system pojęciowy można bez trudu powiązać z każdym spośród trzech pozostałych; jest on szczególnie doniosły w powiązaniu z czwartym. Trzeci i czwarty system istnieją niezależnie od innych, nasuwa się więc myśl, że jest jeszcze piąty system, którego przypadkami granicznymi są systemy: pierwszy, trzeci i czwarty. Ten piąty system pojęć zostanie prawdopodobnie sformułowany wcześniej czy później w związku z rozwojem teorii cząstek elementarnych.

Wyliczając zamknięte systemy pojęć, pominęliśmy ogólną teorię względności, wydaje się bowiem, że system pojęć związanych z tą teorią jeszcze nie uzyskał swej ostatecznej postaci. Należy podkreślić, że różni się on zasadniczo od czterech pozostałych.

Po tym krótkim przeglądzie możemy obecnie powrócić do pewnego bardziej ogólnego problemu. Chodzi nam mianowicie o to, jakie są cechy charakterystyczne takich zamkniętych systemów definicji i aksjomatów. Być może, najważniejszą ich cechą jest to, że jesteśmy w stanie znaleźć dla każdego spośród nich spójne ujęcie matematyczne. Ono gwarantuje nam to, że system jest wolny od sprzeczności. Ponadto system taki musi umożliwiać opisanie zespołu faktów doświadczalnych dotyczących pewnej rozległej dziedziny zjawisk. Wielkiej różnorodności zjawisk w danej dziedzinie powinna odpowiadać wielka ilość różnych rozwiązań równań matematycznych. Sama analiza pojęć systemu na ogół nie umożliwia ustalenia obszaru tych danych doświadczalnych, do których można go stosować. Stosunek owych pojęć do przyrody nie jest ściśle określony, chociaż ściśle określone są ich relacje wzajemne. Dlatego granice, w jakich można stosować te pojęcia, musimy ustalać w sposób empiryczny, na podstawie faktu, że rozszerzając zakres opisywanych zjawisk doświadczalnych, stwierdzamy w pewnej chwili, iż pojęcia, o których mówiliśmy, nie pozwalają na kompletny opis zaobserwowanych zjawisk.

Po tej zwięzłej analizie struktury systemów pojęciowych współczesnej fizyki możemy rozpatrzyć stosunek fizyki do innych dziedzin nauk przyrodniczych. Najbliższym sąsiadem

fizyki jest chemia. Obecnie dzięki teorii kwantów obie te nauki stanowią jedną całość. Jednakże przed stu laty wiele je dzieliło; w owym czasie posługiwano się w nich całkowicie różnymi metodami badań, a pojęcia chemii nie miały odpowiedników w fizyce. Takie pojęcia, jak wartościowość, aktywność chemiczna, rozpuszczalność, lotność, miały charakter raczej jakościowy. Ówczesną chemię dość trudno było zaliczyć do nauk ścisłych. Gdy w połowie ubiegłego stulecia rozwinęła się teoria ciepła, zaczęli się nią posługiwać chemicy. Od tego czasu o kierunku badań w dziedzinie chemii decydowało to, że uczeni mieli nadzieję, iż uda im się sprowadzić prawa chemii do praw mechaniki atomów. Należy jednakże podkreślić, że w ramach mechaniki Newtona było to zadanie niewykonalne. Aby podać ilościowy opis prawidłowości, z którymi mamy do czynienia w dziedzinie zjawisk chemicznych, należało sformułować znacznie szerszy system pojęć fizyki mikroświata. Koniec końców, zostało to dokonane w teorii kwantów, której korzenie tkwią w równej mierze w chemii, jak i w fizyce atomowej. Wtedy już łatwo można było się przekonać, że praw chemii nie można sprowadzić do newtonowskiej mechaniki mikrocząstek, albowiem pierwiastki odznaczają się taką trwałością, jaka nie jest właściwa żadnym układom mechanicznym. Jasno sobie zdano z tego sprawę dopiero w roku 1913, gdy Bohr sformułował swoją teorię atomu. W ostatecznym wyniku można powiedzieć, że pojęcia chemiczne są w pewnym sensie komplementarne w stosunku do pojęć mechanicznych. Jeśli wiemy, że atom znajduje się w stanie normalnym, który decyduje o jego własnościach chemicznych, to nie możemy jednocześnie mówić o ruchach elektronów w atomie.

Stosunek biologii do fizyki i chemii jest obecnie niezmiernie podobny do stosunku chemii do fizyki przed stu laty. Metody biologii różnią się od metod fizyki i chemii, a swoiste pojęcia biologiczne w porównaniu z pojęciami nauk ścisłych mają jeszcze bardziej jakościowy charakter niż pojęcia chemii w połowie ubiegłego stulecia. Takie pojęcia, jak "życie", "narząd", "komórka", "funkcja narządu", "wrażenie", nie mają odpowiedników ani w fizyce, ani w chemii. A jednocześnie wiemy, że największe postępy w biologii w ciągu ostatnich stu lat osiągnięto właśnie dzięki temu, że badano organizmy żywe z punktu widzenia praw fizyki i chemii. Wiadomo również, że obecnie w tej nauce niepodzielnie panuje tendencja do wyjaśniania zjawisk biologicznych za pomocą praw fizyki i chemii. Powstaje jednak pytanie, czy związane z tym nadzieje są usprawiedliwione.

Analogicznie do tego, co stwierdzono w dziedzinie chemii, stwierdza się w biologii na podstawie najprostszych doświadczeń, że organizmom żywym jest właściwa tak wielka stabilność, iż nie mogą jej zawdzięczać jedynie prawom fizyki i chemii te złożone struktury składające się z wielu rodzajów cząsteczek. Dlatego prawa fizyki i chemii muszą być

czymś uzupełnione, zanim w pełni będzie można zrozumieć zjawiska biologiczne. W literaturze biologicznej często się spotyka dwa całkowicie różne poglądy na te sprawę. Pierwszy spośród nich jest związany z Darwina teorią ewolucji skojarzona z genetyką współczesna. Wedle tego poglądu pojęcia fizyki i chemii wystarczy uzupełnić pojęciem historii, aby można było zrozumieć, czym jest życie. Ziemia powstała mniej więcej przed czterema miliardami lat. W ciągu tego niezwykle długiego okresu przyroda mogła "wypróbować" niemal nieskończoną ilość struktur złożonych z zespołów cząsteczek. Wśród tych struktur pojawiły się koniec końców takie, które, po przyłączeniu cząstek substancji znajdujących się w otaczającym je środowisku, mogły ulegać reduplikacji. Wskutek tego mogła powstawać coraz większa ich ilość. Przypadkowe zmiany tego rodzaju struktur powodowały ich różnicowanie się. Różne struktury musiały ze sobą "współzawodniczyć" w zdobywaniu substancji, które można było czerpać z otoczenia, i w ten sposób, dzięki "przeżywaniu tego, co najlepiej przystosowane", dokonała się ewolucja organizmów żywych. Nie ulega wątpliwości, że teoria ta zawiera wielką część prawdy, a wielu biologów twierdzi, że dołączenie pojęcia historii i pojęcia ewolucji do spójnego systemu pojęć fizyki i chemii całkowicie wystarczy, aby można było wytłumaczyć wszystkie zjawiska biologiczne. Jeden z często przytaczanych argumentów na rzecz tej teorii głosi, że ilekroć sprawdzano, czy organizmy żywe podlegają prawom fizyki lub chemii, wynik był zawsze pozytywny. Toteż wydaje się, że w zjawiskach biologicznych nie ma miejsca na żadną "siłę życiową" różną od sił fizycznych.

Jednakże należy zauważyć, że argument ten wiele stracił na sile wskutek powstania teorii kwantów. Skoro pojęcia fizyki i chemii tworzą zamknięty i spójny system, a mianowicie teoretyczny system teorii kwantów, jest rzeczą konieczną, aby wszędzie tam, gdzie pojęciami tymi można się posługiwać, opisując zjawiska, były spełnione prawa związane z tymi pojęciami. Ilekroć traktuje się organizmy żywe jako układy fizyko-chemiczne, powinny one zachowywać się jak takie układy. O tym, że przedstawiony poprzednio pogląd jest słuszny, możemy się w tej lub innej mierze przekonać w jeden tylko sposób: sprawdzając, czy pojęcia fizyki i chemii nam wystarczą, jeśli będziemy chcieli podać pełny opis organizmów żywych. Biologowie, którzy odpowiadają na to ostatnie pytanie przecząco, bronią na ogół drugiego poglądu, o którym mowa niżej.

Wydaje się, że ten drugi pogląd można przedstawić w następujący sposób: Bardzo trudno sobie wyobrazić, że takie pojęcia, jak "wrażenie", "funkcja narządu", "skłonność", można włączyć do spójnego systemu pojęć teorii kwantów, uzupełnionego pojęciem historii. Tymczasem pojęcia te są niezbędne do kompletnego opisu organizmów oraz ich życia, nawet

jeśli pominiemy na razie gatunek ludzki, z którego istnieniem związane są pewne nowe zagadnienia, nie należące do kręgu zagadnień biologii. Jeśli zatem chcemy zrozumieć, czym jest życie, to prawdopodobnie będziemy musieli zbudować nowy spójny system pojęć, szerszy od systemu pojęć teorii kwantów; jest rzeczą możliwą, że fizyka i chemia w tym nowym systemie będą "przypadkami granicznymi". Pojęcie historii może być jego istotnym elementem; należeć do niego będą również takie pojęcia, jak "wrażenie", "przystosowanie", "skłonność" itp. Jeśli pogląd ten jest słuszny, to teoria Darwina w połączeniu z fizyką i chemia nie wystarczy do wyjaśnienia problemów związanych z życiem organizmów; mimo to jest i będzie prawdą, że organizmy żywe możemy w szerokim zakresie traktować jako układy fizyko-chemiczne, czy też- zgodnie z Kartezjuszem i Laplace'em - jako maszyny, i że gdy badamy je pod tym kątem widzenia, rzeczywiście zachowują się one jak tego rodzaju układy lub też maszyny. Można jednocześnie założyć, zgodnie z propozycją Bohra, że nasza wiedza o komórce jako o układzie żywym musi być komplementarna w stosunku do wiedzy o jej budowie cząsteczkowej. Ponieważ pełną wiedzę o cząsteczkowej budowie komórki jesteśmy w stanie osiągnąć prawdopodobnie tylko dzięki pewnym zabiegom, które komórkę tę zabijają, przeto z punktu widzenia logiki jest możliwe, że cechą życia stanowi to, iż wyklucza ono możliwość absolutnie dokładnego określenia struktury fizyko-chemicznej, będącej jego podłożem. Jednakże nawet zwolennik drugiego spośród wymienionych poglądów nie będzie zapewne zalecał stosowania w badaniach biologicznych innej metody niż ta, którą stosowano w ciągu ostatnich dziesięcioleci. Polega ona na tym, że wyjaśnia się możliwie jak najwięcej na podstawie znanych praw fizyki i chemii i dokładnie opisuje zachowanie się organizmu, nie ulegając teoretycznym przesądom.

Wśród współczesnych biologów bardziej rozpowszechniony jest pierwszy z przedstawionych poglądów. Dane doświadczalne dotychczas nagromadzone nie są wystarczające, nie umożliwiają rozstrzygnięcia, który z nich jest słuszny. To, że większość biologów opowiada się za pierwszym poglądem, być może jest także konsekwencją podziału kartezjańskiego, jako że koncepcja tego podziału głęboko się zakorzeniła w umysłach ludzkich w ciągu ubiegłych stuleci. Ponieważ *res cogitans* to tylko człowiek, jego "ja", przeto zwierzęta nie mogą posiadać duszy i należą wyłącznie do *rerum extensarum*. Dlatego zwierzęta - jak się dowodzi - możemy traktować po prostu jako twory materialne, a prawa fizyki i chemii wraz z pojęciem historii powinny wystarczyć do wyjaśnienia ich zachowania się. Nowa sytuacja, która będzie wymagać wprowadzenia zupełnie nowych pojęć, powstanie dopiero wtedy, gdy będziemy rozpatrywać *res cogitans*. Ale podział kartezjański jest niebezpiecznym uproszczeniem, przeto w pełni jest możliwe, że słuszność mają zwolennicy

poglądu drugiego.

Zupełnie niezależnie od tego dotychczas nie rozstrzygniętego zagadnienia istnieje inny problem - problem stworzenia spójnego i zamkniętego systemu pojęć, przydatnego do opisu zjawisk biologicznych. Zjawiska te są tak bardzo skomplikowane, że nas to onieśmiela i że nie możemy sobie obecnie wyobrazić żadnego systemu pojęć, w którym zależności między pojęciami byłyby dostatecznie ściśle określone, by można mu było nadać szatę matematyczną.

Nie ulega wątpliwości, że gdy wykroczymy poza granice biologii i będziemy rozpatrywać zjawiska psychologiczne, to wszystkie pojęcia fizyki, chemii i teorii ewolucji nie wystarczą do opisu faktów. Wskutek powstania teorii kwantów nasze poglądy w tej kwestii są inne niż poglądy wyznawane w wieku dziewiętnastym. W ubiegłym wieku niektórzy uczeni byli skłonni uwierzyć, że zjawiska psychiczne koniec końców wytłumaczy fizyka i chemia mózgu. Z punktu widzenia teorii kwantów takie przekonanie jest całkowicie nieuzasadnione.

Mimo że zjawiska fizyczne zachodzące w mózgu należą do sfery zjawisk psychicznych, nie spodziewamy się, iż wystarczą one do wytłumaczenia procesów psychicznych. Nigdy nie będziemy wątpić w to, że mózg zachowuje się jak mechanizm fizykochemiczny, ilekroć rozpatrujemy go jako tego rodzaju mechanizm, niemniej jednak, pragnąc zrozumieć zjawiska psychiczne, za punkt wyjścia rozważań przyjmujemy fakt, że umysł ludzki jest jednocześnie i przedmiotem, i podmiotem badań psychologicznych.

Rozpatrując rozmaite systemy pojęć, które zostały stworzone w przeszłości lub mogą być stworzone w przyszłości w celu wytyczenia dróg naukowego poznania świata, stwierdzamy, że stanowią one jak gdyby pewien uporządkowany szereg; cechą jego jest to, że w kolejnych systemach coraz większą rolę odgrywa pierwiastek subiektywny. Fizykę klasyczną, w której świat rozpatruje się jako coś całkowicie niezależnego od nas samych, można traktować jako pewną idealizację. Tego rodzaju idealizacją są pierwsze trzy systemy pojęć. Jedynie pierwszy z nich całkowicie odpowiada temu, co Kant określał jako *a priori*. W czwartym systemie pojęć, to znaczy w teorii kwantów, mamy już do czynienia z człowiekiem jako podmiotem nauki, z człowiekiem, który zadaje przyrodzie pytania i który formułując te pytania, musi posługiwać się apriorycznymi pojęciami nauki ludzkiej. Teoria kwantów nie pozwala nam opisywać przyrody w sposób całkowicie obiektywny. W biologii do pełnego zrozumienia badanych zjawisk może w istotny sposób się przyczynić uświadomienie sobie faktu, że pytania zadaje człowiek, przedstawiciel gatunku *Homo sapiens* - jednego z gatunków organizmów żywych, a więc zdanie sobie sprawy z tego, że wiemy, czym jest życie, zanim podaliśmy jego naukową definicję. Wydaje się jednak, że nie należy wdawać się

w spekulacje na temat struktury systemów pojęciowych, które nie zostały jeszcze zbudowane.

Kiedy porównuje się ten uporządkowany szereg ze starymi systemami klasyfikacyjnymi, które reprezentują wcześniejsze stadium rozwoju nauk przyrodniczych, to widać, że dzisiaj nie dzieli się przyrody na rozmaite grupy obiektów; obecnie dokonuje się podziału wedle rozmaitych typów więzi. W jednym z wczesnych okresów rozwoju nauk przyrodniczych odróżniano jako różne grupy obiektów: minerały, rośliny, zwierzęta i ludzi. Obiektom należącym do poszczególnych grup przypisywano różną naturę, sądzono, że składają się one z różnych substancji i że zachowanie się ich jest określone przez rozmaite siły. Obecnie wiemy, że składają się one zawsze z tej samej materii i że te same związki chemiczne mogą być zawarte zarówno w minerałach, jak w organizmach roślinnych, zwierzęcych i ludzkich. Siły działające między różnymi cząstkami materii są w gruncie *rzeczy* jednakowe we wszelkiego rodzaju obiektach. Rzeczywiście różnią się natomiast typy więzi odgrywających w różnego rodzaju zjawiskach rolę podstawową. Kiedy mówimy np. o działaniu sił chemicznych, mamy na myśli pewien rodzaj więzi - bardziej złożonej, a w każdym razie innej niż te, o których mówiła mechanika Newtona. Świat jawi się nam przeto jako złożona tkanka zdarzeń, w której różnego rodzaju związki ulegają zmianie, krzyżują się i łączą, determinując w ten sposób strukturę całości.

Kiedy opisujemy pewną grupę zależności za pomocą jakiegoś zamkniętego i spójnego systemu pojęć, aksjomatów, definicji i praw, który z kolei jest reprezentowany przez pewien schemat matematyczny, to w gruncie *rzeczy* wyodrębniamy i idealizujemy tę właśnie grupę zależności w celu ich wyjaśnienia. Ale nigdy, nawet wtedy, gdy osiągamy w ten sposób całkowitą jasność --nie wiemy, jak dokładnie dany system pojęciowy opisuje rzeczywistość.

Idealizacje te można nazwać częścią ludzkiego języka, który został ukształtowany wskutek wzajemnego oddziaływania przyrody i człowieka, i ludzką odpowiedzią na zagadki przyrody. Pod tym względem można je porównać do różnych stylów w sztuce, np. w architekturze lub w muzyce. Styl w sztuce również można zdefiniować jako zespół reguł formalnych stosowanych w danej dziedzinie sztuki. Chociaż reguł tych przypuszczalnie nie można wyrazić adekwatnie za pomocą matematycznych pojęć i równań, niemniej jednak ich podstawowe elementy są ściśle związane z podstawowymi elementami matematyki. Równość i nierówność, powtarzalność i symetria, określone struktury grupowe odgrywają zasadniczą rolę zarówno w sztuce, jak i w matematyce. Po to, by rozwinąć te elementy formalne, stworzyć z nich całe bogactwo złożonych form, które charakteryzują dojrzałą sztukę, konieczna jest zazwyczaj praca wielu pokoleń. Ośrodkiem zainteresowania artysty jest ów

proces krystalizacji, w toku którego nadaje on temu, co jest tworzywem sztuki - różnorakie formy, będąc inspirowany przez podstawowe koncepcje formalne związane z danym stylem. Gdy proces ten został zakończony, zainteresowanie nim musi wygasać, ponieważ słowo "zainteresowanie" znaczy: "być myślą przy czymś", brać udział w procesie twórczym - a przecież nastąpił już kres tego procesu. I tu powstaje pytanie, w jakiej mierze formalne reguły stylu odzwierciedlają rzeczywiste życie, o którym mówi sztuka. Na pytanie to nie możemy odpowiedzieć rozpatrując jedynie te reguły. Sztuka jest zawsze idealizacją; ideał różni się od rzeczywistości, a przynajmniej od rzeczywistości cieni, jak mówił Platon, ale idealizacją jest koniecznym warunkiem zrozumienia rzeczywistości.

Ta analogia między różnymi systemami pojęciowymi nauk przyrodniczych a różnymi stylami w sztuce może się wydawać bardzo mało trafna temu, kto traktuje rozmaite style w sztuce raczej jako dowolny twór umysłu ludzkiego. Człowiek taki twierdziłby, że w naukach przyrodniczych rozmaite systemy pojęciowe przedstawiają obiektywną rzeczywistość, że przyroda nam je wskazała i dlatego w żadnym razie nie są one dowolne; są one koniecznym wynikiem stopniowego rozwoju naszej wiedzy doświadczalnej dotyczącej przyrody. Większość uczonych zgodzi się z tymi wywodami. Ale czy rozmaite style w sztuce są rzeczywiście dowolnymi tworem ludzkiego umysłu? I tu znowu nie powinniśmy się dać zwieść na manowce podziałowi kartezjańskiemu. Style w sztuce powstają dzięki wzajemnemu oddziaływaniu między nami a przyrodą albo między duchem czasu a artystą. Duch czasu jest chyba faktem równie obiektywnym, jak każdy fakt w naukach przyrodniczych; znajdują w nim wyraz również pewne cechy świata niezależne od czasu i w tym sensie wieczne. Artysta dąży do tego, aby w swym dziele uczynić te cechy czymś zrozumiałym; realizując to dążenie, kieruje się ku formom tego stylu, w którego ramach tworzy. Toteż dwa procesy - ten, z którym mamy do czynienia w sztuce, i ten, z którym mamy do czynienia w nauce - nie różnią się zbytnio od siebie. Zarówno nauka, jak i sztuka kształtują w ciągu stuleci ludzki język, którym możemy mówić o najbardziej odległych fragmentach rzeczywistości; związane ze sobą systemy pojęciowe, podobnie jak style w sztuce, są w pewnym sensie różnymi słowami lub grupami słów tego języka.

VII. TEORIA WZGLĘDNOŚCI

Teoria względności zawsze odgrywała ważną rolę w fizyce współczesnej. Właśnie dzięki niej po raz pierwszy stwierdzono, że konieczna jest zmiana podstawowych zasad fizyki. Toteż rozpatrzenie tych zagadnień, które postawiła, a częściowo rozwiązała teoria względności, wiąże się ściśle z naszymi wywodami na temat filozoficznych implikacji fizyki współczesnej. Można powiedzieć, że okres, jaki upłynął od ostatecznego ustalenia trudności do ich rozwiązania przez teorię względności, był stosunkowo bardzo krótki, znacznie krótszy niż w przypadku teorii kwantów. Pierwszym pewnym dowodem tego, że postępowego ruchu Ziemi niepodobna wykryć za pomocą metod optycznych, był wynik eksperymentu Morleya i Millera, którzy w roku 1904 powtórzyli doświadczenie Michelsona; praca Einsteina, która miała decydujące znaczenie, została opublikowana po niespełna dwóch latach. Z drugiej jednak strony, doświadczenie Morleya i Millera oraz publikacja Einsteina były już ostatnimi etapami rozwoju badań, które rozpoczęły się o wiele wcześniej i których tematykę można streścić w słowach: elektrodynamika ciał w ruchu.

Nie ulega wątpliwości, że elektrodynamika ciał w ruchu była ważną dziedziną fizyki i technologii od czasu, gdy został skonstruowany pierwszy silnik elektryczny.

Wskutek odkrycia elektromagnetycznej natury światła, którego dokonał Maxwell, powstała poważna trudność teoretyczna. Fale elektromagnetyczne różnią się od innych fal - na przykład od fal akustycznych - tym, że rozprzestrzeniają się w przestrzeni pustej. Jeśli dzwonek umieścimy w naczyniu, z którego wypompowano powietrze - jego dźwięk nie przeniknie na zewnątrz. Światło natomiast z łatwością przenika przez próżnię. Dlatego sądzono, że światło należy traktować jako fale, których nośnikiem jest sprężysta, bardzo subtelna substancja zwana eterem; zakładano, że eteru nie jesteśmy w stanie postrzec, ani odczuć jego istnienia, i że wypełnia on przestrzeń pustą, tudzież przenika ciała materialne, np. powietrze i szkło. Myśl, że fale elektromagnetyczne mogą być czymś samoistnym, niezależnym od jakiegokolwiek substancji, nie przychodziła wówczas fizykom do głowy. Ponieważ owa hipotetyczna substancja zwana eterem miała przenikać materię, przeto powstało pytanie: co się dzieje wtedy, gdy materia znajduje się w ruchu? Czy wraz z nią porusza się również i eter? A jeśli tak, to w jaki sposób fale świetlne rozprzestrzeniają się w poruszającym się eterze?

Doświadczenia, dzięki którym można udzielić odpowiedzi na te pytania, trudno jest przeprowadzić z następujących względów: Prędkości poruszających się ciał są zazwyczaj bardzo małe w porównaniu z prędkością światła. Toteż ruch ciał może wywoływać jedynie

znikome efekty, proporcjonalne do ilorazu prędkości ciała i prędkości światła, bądź do tego ilorazu podniesionego do wyższej potęgi. Doświadczenia przeprowadzone przez Wilsona, Rowlanda, Roentgena oraz Eichenwaida i Fizeau teoretycznie umożliwiały pomiar tych efektów z dokładnością odpowiadającą pierwszej potęgze tego ilorazu. W roku 1895 Lorentz sformułował teorię elektronową, na której podstawie można było podać zadowalający opis tych efektów. Jednakże w wyniku doświadczenia Michelsona, Morleya i Millera powstała nowa sytuacja.

Doświadczenie to musimy omówić nieco szczegółowiej. Aby uzyskać większe efekty, umożliwiające dokładniejsze pomiary, należało przeprowadzić eksperymenty, w których miano by do czynienia z ciałami poruszającymi się z dużą prędkością. Ziemia porusza się wokół Słońca z prędkością około 30 km/sek. Gdyby eter nie poruszał się wraz z Ziemią i pozostawał w spoczynku względem Słońca, to wskutek wielkiej prędkości ruchu eteru względem naszego globu nastąpiłaby uchwytna zmiana prędkości światła. W związku z tym pomiary powinny były wykazać, że gdy światło rozprzestrzenia się w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu Ziemi, to ma inną prędkość niż wtedy, gdy rozchodzi się prostopadle do kierunku ruchu naszego globu. Nawet gdyby ruch Ziemi powodował w bezpośrednim jej otoczeniu ruch eteru, to również w tym przypadku istnieć by musiał pewien efekt, spowodowany - że tak powiem - "wiatrem eteru", a wielkość tego efektu zależałaby prawdopodobnie od tego, jak wysoko nad poziomem morza położone by było miejsce, w którym przeprowadzono by doświadczenie. Z obliczeń wynikało, iż przewidywany efekt powinien być znikomo mały (proporcjonalny do kwadratu stosunku prędkości Ziemi do prędkości światła) i że wobec tego trzeba przeprowadzić bardzo dokładne doświadczenia nad interferencją dwóch promieni świetlnych, z których jeden biegłby równoległe, drugi zaś prostopadle do kierunku ruchu Ziemi. Pierwsze doświadczenie tego rodzaju przeprowadził Michelson w roku 1881 jednakże nie uzyskał dostatecznie dokładnych danych. Ale nawet w toku późniejszych, wielokrotnie powtarzanych doświadczeń nie zdołano wykryć najmniejszego nawet śladu spodziewanego efektu. Za ostateczny dowód tego, że efekt spodziewanego rzędu wielkości nie istnieje, można uznać w szczególności doświadczenia Morleya i Millera przeprowadzone w roku 1904.

Wynik ten wydawał się dziwny oraz niezrozumiały i zwrócił uwagę na inny aspekt zagadnienia, który fizycy rozpatrywali już nieco wcześniej. W mechanice Newtona spełniona jest pewna "zasada względności". Sformułować ją można w następujący sposób: Jeśli w jakimś układzie odniesienia mechaniczny ruch ciał przebiega zgodnie z prawami mechaniki Newtona, to będzie on zgodny z tymi prawami w każdym innym układzie, poruszającym się

względem pierwszego jednostajnym ruchem nieobrotowym²³. Innymi słowy - jednostajny, prostoliniowy ruch układu nie wywołuje żadnych efektów mechanicznych, nie można go więc wykryć za pomocą obserwacji tego rodzaju efektów.

Fizykom wydawało się, że taka zasada względności nie może być ważna w optyce i elektrodynamice. Jeśli pierwszy układ pozostaje w spoczynku względem eteru, to inne układy, poruszające się względem pierwszego ruchem jednostajnym, powinny się poruszać również względem eteru. Ruch ten powinniśmy móc wykryć obserwując efekty, które usiłował zbadać Michelson. Negatywny wynik doświadczenia Morleya i Millera z roku 1904 wskrzesił koncepcję, wedle której wspomniana zasada względności spełnia się nie tylko w mechanice Newtona, ale również w elektrodynamice.

Jednocześnie jednak pamiętano o wynikach dawnego doświadczenia Fizeau z 1851 roku, które zdawały się być całkowicie sprzeczne z powyższą zasadą względności. Fizeau zmierzył prędkość światła w poruszającej się cieczy. Gdyby zasada względności była słuszna, to prędkość światła w poruszającej się cieczy powinna być równa sumie prędkości cieczy i prędkości rozchodzenia się światła w tejże cieczy pozostającej w spoczynku. Doświadczenie Fizeau dowiodło, że w rzeczywistości prędkość światła w poruszającej się cieczy jest nieco mniejsza od obliczonej teoretycznie.

Niemniej jednak negatywne wyniki wszystkich późniejszych doświadczeń mających na celu wykazać istnienie ruchu "względem eteru" pobudzały fizyków-teoretyków i matematyków do poszukiwania takiej matematycznej interpretacji danych doświadczalnych, dzięki której zaistniałaby zgodność między równaniem falowym opisującym rozchodzenie się światła a zasada względności. W roku 1904 Lorentz podał transformację matematyczną, która spełniała ten wymóg. W związku z tym musiał on wprowadzić pewną hipotezę; głosiła ona, że poruszające się ciała ulegają kontrakcji, skróceniu w kierunku ruchu, przy czym skrócenie to zależy od prędkości tych ciał, i że w różnych układach odniesienia mamy do czynienia z różnym "czasem pozornym", który w wielu doświadczeniach odgrywa tę samą rolę, co "czas rzeczywisty". Wynikiem rozważań Lorentza był wniosek, że "pozorne" prędkości światła mają tę samą wartość we wszystkich układach odniesienia. Wynik ten był zgodny z zasadą względności. Podobne koncepcje rozpatrywali Poincare, Fitzgerald i inni fizycy.

Jednakże decydującą rolę odegrała dopiero praca Einsteina opublikowana w roku 1905. "Czas pozorny" występujący w transformacji Lorentza uznał Einstein za "czas

²³ Jest to tzw. zasada względności Galileusza. Można ją formułować również w inny sposób, np.: *Jeżeli prawa mechaniki ważne są w pewnym układzie, to są one ważne w każdym innym układzie poruszającym się względem pierwotnego ruchem jednostajnym*. Por.: L. Infeld, *Albert Einstein, jego dzieło i rola w nauce*, Warszawa 1956, s. 26. (Przyp. red. wyd. polskiego).

rzeczywisty" i wyeliminował z kręgu rozważań teoretycznych to, co Lorentz nazywał "czasem *rzeczywistym*". Tym samym podstawy fizyki niespodziewanie uległy radykalnej zmianie. Aby dokonać tej zmiany, trzeba było całej odwagi, na jaką stać było młodego, rewolucyjnego geniusza. Do uczynienia tego kroku wystarczyło w matematycznym opisie przyrody konsekwentnie, w sposób niesprzeczny stosować transformację Lorentza. Jednakże dzięki nowej interpretacji przekształcenia Lorentza zmienił się pogląd na strukturę czasu i przestrzeni, wiele zaś problemów fizyki ukazało się w zupełnie nowym świetle. Można było np. zrezygnować z koncepcji eteru. Ponieważ okazało się, że wszystkie układy odniesienia poruszające się względem siebie jednostajnym ruchem prostoliniowym są z punktu, widzenia opisu przyrody równoważne, przeto zdanie stwierdzające istnienie eteru znajdującego się w stanie spoczynku względem jednego tylko z tych układów - straciło sens. Koncepcja eteru stała się zbędna - o wiele prościej jest powiedzieć, że fale świetlne rozprzestrzeniają się w przestrzeni pustej, a pole elektromagnetyczne jest odrębnym bytem i może istnieć w przestrzeni pustej.

Najbardziej zasadniczej zmianie uległ pogląd na strukturę czasu i przestrzeni. Zmianę tę nader trudno jest opisać posługując się językiem potocznym i nie odwołując się do wzorów matematycznych, albowiem słowa "czas" i "przestrzeń" w swym zwykłym sensie dotyczą czegoś, co jest uproszczeniem i idealizacją rzeczywistej struktury czasu i przestrzeni.

Mimo to spróbujemy przedstawić ten nowy pogląd na strukturę czasu i przestrzeni. Wydaje się, że można to uczynić w sposób następujący:

Kiedy używamy słowa "przeszłość", to myślimy o wszystkich zdarzeniach, które, przynajmniej w zasadzie, możemy znać, o których, przynajmniej w zasadzie, moglibyśmy się czegoś dowiedzieć. Podobnie przez słowo "przyszłość" rozumiemy wszystkie zdarzenia, na które, przynajmniej w zasadzie, możemy wpływać, które możemy, przynajmniej w zasadzie, usiłować zmienić, albo do których zajścia, przynajmniej w zasadzie, możemy nie dopuścić. Komuś, kto nie jest fizykiem, trudno zrozumieć, dlaczego te definicje terminów "przyszłość" i "przeszłość" miałyby być najbardziej dogodnie. Jednakże łatwo się przekonać, że ściśle odpowiadają one potocznemu sposobowi posługiwania się tymi terminami. Jeżeli używamy tych terminów w wyżej wyłuszczonego sensie, to okazuje się - zgodnie z wynikiem wielu eksperymentów - że przeszłość i przyszłość nie zależą od ruchu obserwatora ani od jego cech. Możemy powiedzieć, że definicje te są niezmiennicze względem ruchu obserwatora. Będzie to słuszne zarówno z punktu widzenia mechaniki newtonowskiej, jak z punktu widzenia teorii względności Einsteina.

Istnieje tu jednak pewna różnica: W fizyce klasycznej zakładamy, że przeszłość jest

oddzielona od przyszłości nieskończenie krótkim interwałem czasowym, który można nazwać chwilą teraźniejszą. Z teorii względności wiemy, że sprawa przedstawia się inaczej. Przyszłość jest oddzielona od przeszłości skończonym interwałem czasowym, którego długość zależy od odległości od obserwatora. Żadne działanie nie może rozprzestrzeniać się z prędkością większą od prędkości światła. Dlatego obserwator nie może ani wiedzieć o zdarzeniu, ani wpłynąć na zdarzenie, które zachodzi w odległym punkcie w interwale czasowym zawartym pomiędzy dwiema określonymi chwilami: pierwszą z nich jest moment emisji sygnału świetlnego z punktu, w którym zachodzi zdarzenie, w kierunku obserwatora odbierającego ten sygnał w momencie obserwacji; drugą chwilą jest moment, w którym sygnał świetlny wysłany przez obserwatora w chwili obserwacji osiąga punkt, gdzie zachodzi zdarzenie. Można powiedzieć, że w momencie obserwacji dla obserwatora teraźniejszością jest cały ten skończony interwał czasowy między owymi dwiema chwilami. Każde zdarzenie zachodzące w tym interwale można nazwać jednoczesnym z aktem obserwacji.

Stosując zwrot "można nazwać" podkreślamy dwuznaczność słowa "jednocześnie". Dwuznaczność ta wynika z tego, że termin ów wywodzi się z doświadczenia potocznego, w którego ramach prędkość światła można zawsze traktować jako nieskończenie wielką. Termin ten w fizyce można zdefiniować również nieco inaczej i Einstein w swej publikacji posługiwał się właśnie tą drugą definicją. Jeśli dwa zdarzenia zachodzą jednocześnie w tym samym punkcie przestrzeni, to mówimy, że koincydują one ze sobą. Termin ten jest zupełnie jednoznaczny. Wyobraźmy sobie teraz trzy punkty, leżące na jednej prostej, z których punkt środkowy jest jednakowo odległy od dwóch pozostałych. Jeśli dwa zdarzenia zachodzą w punktach skrajnych w takich momentach, że sygnały wysłane (z tych punktów) w chwili zajścia owych zdarzeń koincydują ze sobą w punkcie środkowym, to zdarzenia owe możemy nazwać jednoczesnymi. Definicja ta jest węższa od poprzedniej. Jedną z najważniejszych jej konsekwencji jest to, że dwa zdarzenia, które są jednoczesne dla jakiegoś określonego obserwatora, nie muszą być bynajmniej jednoczesne dla obserwatora drugiego, jeśli porusza się on względem pierwszego obserwatora. Związek pomiędzy tymi dwiema definicjami możemy ustalić stwierdzając, że ilekroć dwa zdarzenia są jednoczesne w pierwszym sensie, tylekroć można znaleźć taki układ odniesienia, w którym są one jednoczesne również w drugim znaczeniu ²⁴.

24 W wydaniu niemieckim ten fragment tekstu został rozszerzony: "Ten stan rzeczy można zapewne bardziej pogładowo przedstawić w następujący sposób: Załóżmy, że sztuczny satelita Ziemi emituje sygnał, który wkrótce potem zostaje odebrany w obserwatorium ziemskim. Z obserwatorium wysyła się wówczas sygnał, który jest «rozkazem»- dla satelity i który po chwili dociera do miejsca przeznaczenia. Można uznać zgodnie z pierwszą definicją, że cały przedział czasowy na satelicie od chwili emisji zeń sygnału aż do odbioru sygnału («rozkazu») jest «jednoczesny» z aktem odbioru w obserwatorium ziemskim. Jeśli się wybierze na satelicie jakąkolwiek chwilę z tego

Pierwsza definicja terminu "jednoczesność" zdaje się lepiej odpowiadać potocznemu sensowi tego słowa, albowiem w życiu codziennym odpowiedź na pytanie, czy zdarzenia są jednoczesne, nie zależy od układu odniesienia. Obydwie, przytoczone powyżej relatywistyczne definicje tego terminu nadają mu ścisły sens, którego nie ma on w języku potocznym. W dziedzinie teorii kwantów fizycy przekonali się dość wcześnie, że terminy fizyki klasycznej opisują przyrodę jedynie w sposób niedokładny, że zakres ich zastosowania ograniczają prawa kwantowe i że stosując te terminy, trzeba być ostrożnym. W teorii względności usiłowali oni zmienić sens terminów fizyki klasycznej, sprecyzować je w taki sposób, aby odpowiadały one nowo odkrytej sytuacji w przyrodzie.

Ze struktury przestrzeni i czasu, którą ujawniła nam teoria względności, wynika szereg konsekwencji w rozmaitych dziedzinach fizyki. Elektrodynamika ciał znajdujących się w ruchu może być bez trudu wyprowadzona z zasady względności. Samą *tą* zasadę można tak sformułować, aby była ona uniwersalnym prawem przyrody dotyczącym nie tylko elektrodynamiki lub mechaniki, lecz dowolnej grupy praw: prawa te muszą mieć tę samą postać we wszystkich układach odniesienia różniących się od siebie jedynie jednostajnym ruchem prostoliniowym; prawa owe są niezmiennicze względem przekształceń Lorentza.

Być może, iż najistotniejszą konsekwencją zasady względności jest teza o bezwładności energii, czyli zasada równoważności masy i energii. Ponieważ prędkość światła jest prędkością graniczną, której nigdy nie może osiągnąć żadne ciało materialne, przeto - jak łatwe możemy się przekonać - o wiele trudniej jest nadać przyspieszenie ciału już znajdującemu się w prędkim ruchu niż ciału pozostającemu w spoczynku. Bezwładność wzrasta wraz z energią kinetyczną. Mówiąc najogólniej: teoria względności wskazuje, że każdej postaci energii właściwa jest bezwładność, a więc masa; danej ilości energii właściwa jest masa równa ilorazowi tej energii i kwadratu prędkości światła. Dlatego każda energia niesie ze sobą masę; ponieważ jednak nawet wielkie ilości energii niosą jedynie znikomo małe masy, przeto związek między masą i energią nie został wykryty wcześniej. Dwa prawa: prawo zachowania masy i prawo zachowania energii - z oddzielną nie są już ważne; zostały one połączone w jedno prawo, które nazwać można prawem zachowania masy lub energii. Pięćdziesiąt lat temu, gdy stworzona została teoria względności, hipoteza głosząca równoważność masy i energii zdawała się oznaczać radykalną rewolucję w fizyce i niewiele znano wówczas faktów, które hipotezę tę potwierdzały. Obecnie w wielu eksperymentach można obserwować, jak z energii kinetycznej powstają cząstki elementarne i jak giną

przedziału czasowego, to chwila ta — zgodnie z drugą definicją — wprawdzie nie będzie, ogólnie rzecz biorąc, jednoczesna z chwilą odbioru sygnału satelity, niemniej jednak zawsze będzie istniał taki układ odniesienia, w którym jednoczesność ta będzie miała miejsce". (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

przekształcając się w promieniowanie. Toteż przekształcanie się energii w masę i *vice versa* nie jest dziś czymś niezwykłym. Wyzwalanie ogromnych ilości energii podczas eksplozji atomowych jest zjawiskiem, które również, i to w sposób niezmiernie pogładowy, przekonywa nas o słuszności równania Einsteina. W tym miejscu nasuwa się jednak pewna krytyczna uwaga natury historycznej.

Twierdzono niekiedy, że ogromne ilości energii wyzwalające się podczas eksplozji atomowych powstają w wyniku bezpośredniego przekształcania się masy w energię i że jedynie dzięki teorii względności można było przewidzieć to zjawisko. Jest to pogląd niesłuszny. O tym, że jądro atomowe zawiera ogromne ilości energii, wiedziano już od czasu doświadczeń Becquerela, Curie i Rutherforda nad rozpadem promieniotwórczym. Każdy pierwiastek chemiczny ulegający rozpadowi, np. rad, wyzwala ciepło w ilości około miliona razy większej od tej, jaka wydziela się podczas reakcji chemicznych, w których bierze udział ta sama ilość substancji. Źródłem energii w procesie rozszczepienia atomów uranu jest to samo, co podczas emisji cząstek α przez atomy radu. Źródłem tym jest przede wszystkim elektrostatyczne odpychanie się dwóch części, na które dzieli się jądro. Energia wyzwalana podczas eksplozji atomowej pochodzi bezpośrednio z tego właśnie źródła i nie jest bezpośrednim wynikiem przekształcania się masy w energię. Ilość elementarnych cząstek o skończonej masie spoczynkowej nie maleje wskutek eksplozji atomowej. Prawdą jest jednak, że energia wiązania nukleonów w jądrze atomowym przejawia się w jego masie, a zatem wyzwolenie się energii jest w pośredni sposób związane ze zmianą masy jądra. Zasada równoważności masy i energii, niezależnie od swego znaczenia fizycznego, zrodziła problemy związane z bardzo starymi zagadnieniami filozoficznymi. Według wielu dawnych systemów filozoficznych substancja, materia, jest niezniszczalna. Jednakże wiele doświadczeń przeprowadzonych przez współczesnych fizyków dowiodło, że cząstki elementarne, np. pozytony lub elektrony, ulegają anihilacji i przekształcają się w promieniowanie. Czy oznacza to, że te dawne systemy filozoficzne zostały obalone przez eksperymenty współczesnych fizyków i że argumenty, z którymi mamy do czynienia w tych systemach, są fałszywe?

Byłby to z pewnością wniosek zbyt pochopny i niesłuszny, albowiem terminy "substancja" i "materia", stosowane przez filozofów starożytnych i średniowiecznych, nie mogą być po prostu utożsamione z terminem "masa" występującym w fizyce współczesnej. Jeśli pragnie się wyrazić treść naszych współczesnych doświadczeń za pomocą terminów występujących w dawnych systemach filozoficznych, to można powiedzieć, że *masa i energia* są dwiema różnymi postaciami tej samej "substancji", i tym samym obronić tezę o

niezniszczalności substancji.

Trudno jest jednak twierdzić, że wyrażenie treści współczesnej wiedzy naukowej za pomocą dawnej terminologii przynosi jakąś istotną korzyść. Filozoficzne systemy przeszłości wywodzą się z całokształtu wiedzy, którą dysponowano w czasie ich powstania, i odpowiadają temu sposobowi myślenia, który wiedza ta zrodziła.

Nie można wymagać od filozofów, którzy żyli przed wieloma wiekami, aby przewidzieli osiągnięcia fizyki współczesnej i teorię względności. Dlatego też pojęcia, które powstały bardzo dawno w toku analizy i interpretacji ówczesnej wiedzy, mogą być nieodpowiednie, mogą nie dać się dostosować do zjawisk, które jesteśmy w stanie zaobserwować dopiero w czasach dzisiejszych, i to jedynie dzięki nader skomplikowanym przyrządom.

Zanim jednak zaczniemy rozpatrywać filozoficzne implikacje teorii względności, musimy przedstawić dzieje jej dalszego rozwoju.

Jak powiedzieliśmy, wskutek powstania teorii względności odrzucono hipotezę "eteru", która odgrywała tak doniosłą rolę w dziewiętnastowiecznych dyskusjach nad teorią Maxwella. Gdy mówi się o tym twierdzi się niekiedy, że tym samym została odrzucona koncepcja przestrzeni absolutnej. To ostatnie stwierdzenie można jednak uznać za słuszne tylko z pewnymi zastrzeżeniami. Prawdą jest, że nie sposób wskazać taki szczególny układ odniesienia, względem którego eter pozostawałby w spoczynku i który dzięki temu zasługiwałby na miano przestrzeni absolutnej. Błędne jednakże byłoby twierdzenie, że przestrzeń straciła wskutek tego wszystkie własności fizyczne. Postać, jaką mają równania ruchu dla ciał materialnych lub pól w "normalnym" układzie odniesienia, różni się od postaci, jaką przybierają te równania przy przejściu do układu znajdującego się w ruchu obrotowym bądź poruszającego się ruchem niejednostajnym względem układu "normalnego". Istnienie sił odśrodkowych w układzie znajdującym się w ruchu obrotowym dowodzi (przynajmniej z punktu widzenia teorii względności z lat 1905-1906), że przestrzeń ma takie własności fizyczne, które pozwalają np. odróżnić układ obracający się od układu nie obracającego się. Z filozoficznego punktu widzenia może to się wydawać niezadowolające; wolałoby się przypisywać własności fizyczne jedynie takim obiektom, jak ciała materialne lub pola, nie zaś przestrzeni pustej. Jeśli jednak ograniczymy się do rozpatrzenia zjawisk elektromagnetycznych i ruchów mechanicznych, to teza o istnieniu własności przestrzeni pustej wynika bezpośrednio z faktów, które nie podlegają dyskusji, np. z istnienia siły odśrodkowej.

W wyniku szczegółowej analizy tego stanu *rzeczy*, dokonanej mniej więcej dziesięć lat później, Einstein w roku 1916 w niezmiernie istotny sposób rozszerzył ramy teorii

względności, którą, w tej nowej postaci, nazywa się zazwyczaj "ogólną teorią względności". Zanim omówimy podstawowe idee tej nowej teorii, warto powiedzieć parę słów o stopniu pewności, jaki możemy przypisać obu częściom teorii względności. Teoria z lat 1905-1906, tak zwana "szczególna teoria względności", jest oparta na bardzo wielkiej ilości dokładnie zbadanych faktów: na wynikach doświadczenia Michelsona i Morleya i wielu podobnych eksperymentów, na fakcie równoważności masy i energii, który stwierdzono w niezliczonej ilości badań nad rozpadem promieniotwórczym, na fakcie zależności okresu półtrwania ciał promieniotwórczych od prędkości ich ruchu itd. Dlatego teoria ta stanowi jedną z mocno ufundowanych podstaw fizyki współczesnej i w obecnej sytuacji nie można kwestionować jej słuszności.

Dane doświadczalne potwierdzają ogólną teorię względności w sposób o wiele mniej przekonujący, są bowiem w tym przypadku bardzo skąpe. Są to jedynie wyniki pewnych obserwacji astronomicznych. Dlatego też teoria ta ma o wiele bardziej hipotetyczny charakter niż pierwsza.

Kamieniem węgielnym ogólnej teorii względności jest teza o związku bezwładności i grawitacji. Bardzo dokładne pomiary dowiodły, że masa ważka ciała jest ściśle proporcjonalna do jego masy bezwładnej. Nawet najdokładniejsze pomiary nigdy nie wykazały najmniejszego odchylenia od tego prawa. Jeśli prawo to jest zawsze słuszne, to siłę ciężkości można traktować jako siłę tego samego typu, co siły odśrodkowe lub inne siły reakcji związane z bezwładnością. Ponieważ, jak powiedzieliśmy, należy uznać, że siły odśrodkowe są związane z fizycznymi własnościami pustej przestrzeni, przeto Einstein wysunął hipotezę, wedle której również siły grawitacyjne są związane z fizycznymi własnościami pustej przestrzeni. Był to krok niezwykle ważny, który z konieczności spowodował natychmiast drugi krok w tym samym kierunku. Wiemy, że siły grawitacyjne są wywoływane przez masy. Jeśli więc grawitacja jest związana z własnościami przestrzeni, to masy muszą być przyczyną tych własności lub na nie wpływać. Siły odśrodkowe w układzie znajdującym się w ruchu obrotowym muszą być wywołane przez obrót (względem tego układu) mas, które mogą się znajdować nawet bardzo daleko od układu.

Aby urzeczywistnić program naszkicowany w tych kilku zdaniach, Einstein musiał powiązać zasadnicze idee fizyczne, które były podstawą jego rozważań, z matematycznym schematem ogólnej geometrii Riemanna. Ponieważ własności przestrzeni zdawały się zmieniać w sposób ciągły w miarę tego, jak ulega zmianie pole grawitacyjne, przeto można było uznać, że geometria przestrzeni jest podobna do geometrii powierzchni zakrzywionych, których krzywizna zmienia się w sposób ciągły i na których rolę prostych znanych z

geometrii Euklidesa spełniają linie geodezyjne, czyli najkrótsze krzywe łączące pary punktów na danej powierzchni. Ostatecznym wynikiem rozważań Einsteina było sformułowanie w sposób matematyczny zależności między rozkładem mas i parametrami określającymi geometrię. Ogólna teoria względności opisywała powszechnie znane fakty związane z grawitacją. Z bardzo wielkim przybliżeniem można powiedzieć, że jest ona identyczna ze zwykłą teorią grawitacji. Ponadto wynikało z niej, że można wykryć pewne nowe, interesujące efekty zachodzące na samej granicy możliwości instrumentów pomiarowych. Do owych przewidzianych efektów należy przede wszystkim wpływ siły ciężenia na światło. Kwanty światła monochromatycznego, wyemitowane przez atomy jakiegoś pierwiastka na gwiazdzie o wielkiej masie, tracą energię, poruszając się w polu grawitacyjnym gwiazdy; wskutek tego powinno nastąpić przesunięcie ku czerwieni linii widma tego pierwiastka. Freundlich, rozpatrując dotychczasowe dane doświadczalne, jasno wykazał, że żadne spośród nich nie potwierdzają w sposób niewątpliwy istnienia tego efektu. Niemniej jednak przedwczesne byłoby twierdzenie, że doświadczenia przeczą istnieniu tego zjawiska przewidzianego przez teorię Einsteina. Promień świetlny przechodzący blisko Słońca powinien ulec odchyleniu w jego polu grawitacyjnym. Odchylenie to, jak wykazały obserwacje Freundlicha i innych astronomów, rzeczywiście istnieje i jeśli chodzi o rząd wielkości, jest zgodne z przewidywaniami. Jednakże dotychczas nie rozstrzygnięto, czy wielkość tego odchylenia jest całkowicie zgodna z przewidywaniami opartymi na teorii Einsteina. Wydaje się, że obecnie najlepszym potwierdzeniem ogólnej teorii względności jest ruch perihelionowy Merkurego, obrót elipsy opisywanej przez tę planetę względem układu związanego ze Słońcem. Wielkość tego efektu, jak się okazało, bardzo dobrze się zgadza z wielkością przewidzianą na podstawie teorii.

.. i Mimo że baza doświadczalna ogólnej teorii względności jest jeszcze dość wąska, w teorii tej zawarte są idee o wielkiej doniosłości. Od starożytności aż do dziewiętnastego stulecia uważano, że słuszność geometrii Euklidesa jest oczywista. Aksjomaty Euklidesa traktowano jako nie podlegające dyskusji, jako podstawę wszelkiej teorii matematycznej o charakterze geometrycznym. Dopiero w dziewiętnastym wieku matematycy Bolyai i Łobaczewski, Gauss i Riemann stwierdzili, że można stworzyć inne geometrie, równie ściśle, jak geometria Euklidesa. W związku z tym problem: która z geometrii jest prawdziwa? - stał się zagadnieniem empirycznym. Jednakże dopiero dzięki pracom Einsteina kwestią tą zająć się mogli fizycy. Geometria, o której jest mowa w ogólnej teorii względności, obejmuje nie tylko geometrię przestrzeni trójwymiarowej, lecz również geometrię czterowymiarowej czasoprzestrzeni. Teoria względności ustala zależność między

geometrią czasoprzestrzeni a rozkładem mas we wszechświecie. W związku z tym teoria ta postawiła na porządku dziennym stare pytania - co prawda w całkowicie nowym sformułowaniu - dotyczące własności przestrzeni i czasu w bardzo wielkich obszarach przestrzeni i bardzo długich okresach czasu. Na podstawie teorii można zaproponować odpowiedzi na te pytania, odpowiedzi, których słuszność jesteśmy w stanie sprawdzić dokonując obserwacji.

Można więc ponownie rozpatrzeć odwieczne problemy filozoficzne, które zaprzętały myśl ludzką począwszy od pierwszych etapów rozwoju nauki i filozofii. Czy przestrzeń jest skończona, czy też nieskończona? Co było, zanim rozpoczął się upływ czasu? Co nastąpi, gdy się on skończy? A może czas w ogóle nie ma początku ani końca? Różne systemy filozoficzne i religijne podawały różne odpowiedzi na te pytania. Według Arystotelesa cała przestrzeń wszechświata jest skończona, a jednocześnie nieskończenie podzielna. Istnieje ona dzięki istnieniu ciał rozciągłych, jest z nimi związana; gdzie nie ma żadnych ciał, nie ma przestrzeni. Wszechświat składa się ze skończonej ilości ciał: z Ziemi, Słońca i gwiazd. Poza sferą gwiazd przestrzeń nie istnieje. Dlatego właśnie przestrzeń wszechświata jest skończona.

W filozofii Kanta zagadnienie to należało do problemów nierozstrzygalnych. Próby rozwiązania go prowadzą do antynomii - za pomocą różnych argumentów można tu uzasadnić dwa, sprzeczne ze sobą twierdzenia. Przestrzeń nie może być skończona, albowiem nie możemy sobie wyobrazić jej "kresu"; do jakiegokolwiek punktu w przestrzeni byśmy nie doszli - zawsze możemy iść jeszcze dalej. Jednocześnie przestrzeń nie może być nieskończona, jest bowiem czymś, co można sobie wyobrazić (w przeciwnym przypadku nie powstałoby słowo "przestrzeń"), a nie sposób sobie wyobrazić przestrzeni nieskończonej. Nie możemy tu podać dosłownie argumentacji Kanta na rzecz tego ostatniego twierdzenia. Zdanie: "Przestrzeń jest nieskończona" - ma dla nas sens negatywny, znaczy ono mianowicie, że nie możemy dojść do "kresu" przestrzeni. Jednakże dla Kanta nieskończoność przestrzeni jest czymś, co jest rzeczywiste, dane, co "istnieje" w jakimś sensie, który trudno wyrazić. Kant dochodzi do wniosku, że na pytanie: Czy przestrzeń jest skończona? - nie jesteśmy w stanie udzielić racjonalnej odpowiedzi, ponieważ wszechświat jako całość nie może być obiektem naszych doświadczeń. Podobnie przedstawia się sprawa nieskończoności czasu. W *Wyznaniach* św. Augustyna problem nieskończoności czasu sformułowany został w postaci pytania: "Co robił Bóg, zanim stworzył świat?" Augustyna nie zadowala znana odpowiedź głosząca, że "Bóg stwarzał piekło dla tych, którzy zadają pytania tak głupie". Powiada on, że jest to odpowiedź nazbyt prostacka, i usiłuje dokonać racjonalnej analizy problemu. Czas płynie jedynie dla nas; tylko my oczekujemy nadejścia przyszłości, tylko dla nas przemija chwila obecna, tylko my

wspominamy czas, który upłynął. Jednakże Bóg istnieje poza czasem. Tysiące lat są dla niego jednym dniem, a dzień - tym samym, co tysiąclecia. Czas został stworzony wraz ze światem, należy do świata, nie mógł przeto istnieć, zanim świat powstał. Cały bieg zdarzeń wszechświata od razu znany jest Bogu. Czasu nie było, zanim nie stworzył on świata. Jest rzeczą oczywistą, że słowo "stworzył" użyte w tego rodzaju twierdzeniach od razu nas ponownie stawia w obliczu wszystkich podstawowych trudności. Albowiem w swym zwykłym sensie słowo to znaczy, że coś powstało, coś, co poprzednio nie istniało, a tym samym zakłada ono pojęcie czasu. Toteż nie sposób określić racjonalnie, co ma znaczyć twierdzenie "czas został stworzony". Fakt ten każe nam przypomnieć sobie to, czego dowiedzieliśmy się z fizyki współczesnej, a mianowicie, że każde słowo lub pojęcie, choćby wydawało się najbardziej jasne, może mieć jedynie ograniczony zakres stosowalności.

W ogólnej teorii względności można ponownie wysunąć te pytania, dotyczące nieskończoności czasu i przestrzeni, przy czym w pewnej mierze jesteśmy w stanie na nie odpowiedzieć opierając się na danych doświadczalnych. Jeśli teoria prawidłowo przedstawia zależność między geometrią czterowymiarowej czasoprzestrzeni i rozkładem mas we wszechświecie, to dane obserwacji astronomicznych, dotyczące rozmieszczenia galaktyk w przestrzeni, dostarczają informacji o geometrii wszechświata jako całości. Można w każdym razie stworzyć "modele" wszechświata i porównywać wynikające z nich konsekwencje z faktami doświadczalnymi.

Współczesna wiedza astronomiczna nie daje podstawy do wyróżnienia któregoś spośród kilku możliwych modeli. Nie jest wykluczone, że przestrzeń wszechświata jest skończona. Jednakże nie oznaczałoby to, że istnieją granice wszechświata. Oznaczałoby to tylko, że poruszając się we wszechświecie w jednym kierunku coraz dalej i dalej, doszlibyśmy w końcu do punktu wyjścia. Sprawa przedstawiałaby się podobnie jak w dwuwymiarowej geometrii na powierzchni naszego globu; poruszając się na Ziemi stale np. w kierunku wschodnim - powrócilibyśmy do punktu wyjścia z zachodu.

Jeśli zaś chodzi o czas, to wydaje się, że istnieje coś w rodzaju jego początku. Szereg obserwacji astronomicznych dostarczyło danych, z których wynika, że wszechświat powstał mniej więcej przed czterema miliardami lat, a przynajmniej że cała jego materia była w tym czasie skupiona w o wiele mniejszej przestrzeni niż obecnie i że od tego czasu wszechświat rozszerza się ze zmienną prędkością. Ten sam okres czasu: cztery miliardy lat - wynika z rozmaitych danych doświadczalnych (na przykład z danych dotyczących wieku meteorytów, minerałów ziemskich itd.) i dlatego trudno jest podać jakąś interpretację różną od owej koncepcji powstania świata przed czterema miliardami lat. Jeśli koncepcja ta okaże się

śluszną, będzie to oznaczało, że gdy będzie się stosowało pojęcie czasu do tego, co było przed czterema miliardami lat, będzie ono musiało ulec zasadniczym zmianom. Przy aktualnych danych dostarczonych przez obserwacje astronomiczne te problemy związane z geometrią czasoprzestrzeni, dotyczące wielkiej skali czasowej i przestrzennej, nie mogą być jednak rozstrzygnięte z jakimkolwiek stopniem pewności. Niemniej jednak dowiedzieliśmy się rzeczy nader interesującej: że problemy te można ewentualnie rozstrzygnąć w sposób rzetelny - na podstawie danych doświadczalnych.

Nawet jeśli się ograniczy rozważania do szczególnej teorii względności, lepiej potwierdzonej doświadczalnie, to można twierdzić, że nie ma wątpliwości, iż wskutek jej powstania całkowicie się zmieniły nasze poglądy na strukturę czasu i przestrzeni. Najbardziej chyba niepokoi i fascynuje nie charakter tych zmian, ale to, że okazały się one w ogóle możliwe. Struktura przestrzeni i czasu, którą Newton wyprowadził matematycznie i uznał za podstawę swego opisu przyrody, była prosta. Koncepcje Newtona dotyczące czasu i przestrzeni były spójne, a zarazem w bardzo wielkim stopniu zgodne z sensem, jaki nadajemy pojęciu czasu i pojęciu przestrzeni, posługując się nimi w życiu codziennym. Zgodność ta w istocie była tak wielka, że definicje Newtona można była traktować jako ściślejsze matematyczne definicje tych pojęć potocznych. Przed powstaniem teorii względności wydawało się czymś zupełnie oczywistym, że zdarzenia mogą być uporządkowane w czasie niezależnie od ich lokalizacji przestrzennej. Wiemy obecnie, że przekonanie to powstaje w życiu codziennym wskutek tego, iż prędkość światła jest bez porównania większa od każdej prędkości, z jaką mamy do czynienia na co dzień. Przedtem nie zdawano sobie sprawy z ograniczoności tego poglądu. Ale nawet dziś, gdy zdajemy sobie z niej sprawę, jedynie z trudem możemy sobie wyobrazić, że porządek czasowy zdarzeń zależy od ich lokalizacji przestrzennej.

Kant zwrócił uwagę na to, że pojęcia czasu i przestrzeni dotyczą naszego stosunku do przyrody, nie zaś samej przyrody, i że nie można opisywać przyrody nie posługując się tymi pojęciami. Wobec tego pojęcia te są w określonym sensie aprioryczne. Są one przede wszystkim warunkami, nie zaś wynikami doświadczenia. Sądzono powszechnie, że nie mogą one ulec zmianie wskutek nowych doświadczeń. Dlatego też konieczność ich modyfikacji była wielką niespodzianką. Uczni przekonali się po raz pierwszy, jak bardzo muszą być ostrożni, gdy stosują pojęcia potoczne do opisu subtelnych doświadczeń, których dokonuje się za pomocą współczesnych instrumentów i środków technicznych. Nawet ściśle i niesprzeczne zdefiniowanie tych pojęć w języku matematyki w mechanice Newtona ani wnikliwa analiza filozoficzna, jakiej poddał je Kant, nie uchroniły ich przed krytyką, którą umożliwiły

niezwykle dokładne pomiary. Ta ostrożność wpłynęła później niezwykle korzystnie na rozwój fizyki współczesnej i byłoby zapewne jeszcze trudniej zrozumieć teorię kwantów, gdyby sukcesy teorii względności nie ostrzegły fizyków o niebezpieczeństwie związanym z bezkrytycznym posługiwaniem się pojęciami zaczerpniętymi z języka potocznego i z fizyki klasycznej.

VIII. KRYTYKA KOPENHASKIEJ INTERPRETACJI MECHANIKI KWANTOWEJ I KONTRPROPOZYCJE

Kopenhaska interpretacja teorii kwantów zaprowadziła fizyków daleko poza ramy prostych poglądów materialistycznych, które dominowały w nauce dziewiętnastowiecznej. Poglądy te były nie tylko jak najściślej związane z ówczesnymi naukami przyrodniczymi; zostały one poddane dokładnej analizie w kilku systemach filozoficznych i przeniknęły głęboko do świadomości ludzi, nawet dalekich od nauki i filozofii. Nic tedy dziwnego, że wielokrotnie próbowano poddać krytyce kopenhaską interpretację mechaniki kwantowej i zastąpić ją inną interpretacją, bardziej zgodną z pojęciami fizyki klasycznej i filozofii materialistycznej.

Krytyków interpretacji kopenhaskiej można podzielić na trzy grupy. Do pierwszej należą ci, którzy zgadzają się z kopenhaską interpretacją eksperymentów, a przynajmniej eksperymentów dotychczas dokonanych, lecz których przy tym nie zadowala język, jakim posługują się jej zwolennicy, a więc ich poglądy filozoficzne. Innymi słowy: dążą oni do zmiany filozofii, nie zmieniając fizyki. W niektórych swych publikacjach przedstawiciele tej grupy ograniczają się do uznania za słuszne tylko tych przewidywań sformułowanych dzięki interpretacji kopenhaskiej, a dotyczących wyników doświadczalnych, które odnoszą się do eksperymentów dotychczas dokonanych lub należą do zakresu zwykłej fizyki elektronów.

Przedstawiciele drugiej grupy zdają sobie sprawę z tego, że jeśli wyniki doświadczeń zawsze są zgodne z przewidywaniami, których podstawą była interpretacja kopenhaska, to jest ona jedyną właściwą interpretacją. Dlatego też w publikacjach swych usiłują oni w pewnej mierze zmodyfikować w niektórych „krytycznych punktach” teorię kwantów.

Wreszcie trzecia grupa krytyków daje raczej wyraz tylko ogólnemu niezadowoleniu z teorii kwantów, nie wysuwając jednakże żadnych kontrpropozycji o charakterze fizycznym lub filozoficznym. Do grupy tej można zaliczyć Einsteina, von Lauego i Schrödingera. Historycznie rzecz biorąc, jej przedstawiciele byli pierwszymi oponentami zwolenników interpretacji kopenhaskiej.

Jednakże wszyscy przeciwnicy interpretacji kopenhaskiej zgadzają się ze sobą przynajmniej w jednej sprawie: Byłoby, ich zdaniem, rzeczą pożądaną powrócić do takiego pojęcia rzeczywistości, które znane jest z fizyki klasycznej, lub - posłużmy się tu ogólniejszą terminologią filozoficzną - do ontologii materialistycznej. Woleliby oni powrócić do koncepcji obiektywnego, realnego świata, którego najmniejsze cząstki istnieją obiektywnie w tym samym sensie, jak kamienie lub drzewa, niezależnie od tego, czy są przedmiotem obserwacji.

Jest to jednakże, jak mówiono już w pierwszych rozdziałach, niemożliwe, a przynajmniej niezupełnie możliwe, ze względu na naturę zjawisk mikroświata. Zadanie nasze nie polega na formułowaniu życzeń dotyczących tego, jakie powinny być zjawiska mikroświata, lecz na ich zrozumieniu.

Gdy analizuje się publikacje zwolenników pierwszej grupy, jest rzeczą ważną od początku zdawać sobie sprawę z tego, że proponowane przez nich interpretacje mogą być obalone przez doświadczenie, albowiem są po prostu powtórzeniem interpretacji kopenhaskiej, tyle że sformułowanym w innym języku. Ze ściśle pozytywistycznego punktu widzenia można by uznać, że mamy tu do czynienia nie z kontrpropozycjami w stosunku do interpretacji kopenhaskiej, lecz z jej dokładnym powtórzeniem w innym języku. Toteż sens ma jedynie dyskusja na temat tego, czy język ów jest właściwy, odpowiedni. Jedna grupa kontrpropozycji opiera się na koncepcji parametrów utajonych. Ponieważ na podstawie praw teorii kwantów, ogólnie rzecz biorąc, jesteśmy w stanie przewidywać wyniki doświadczeń jedynie w sposób statystyczny, przeto, biorąc za punkt wyjścia poglądy klasyczne, można założyć, że istnieją pewne parametry utajone, których nie pozwalają nam wykryć żadne obserwacje dokonywane podczas zwykłych doświadczeń, a które mimo to determinują przyczynowo wynik doświadczeń. Toteż w niektórych publikacjach usiłuje się wynaleźć te parametry i wprowadzić je do teorii kwantów.

Pewne zmierzające w tym kierunku kontrpropozycje w stosunku do interpretacji kopenhaskiej sformułował Bohm, a ostatnio *zaczai* się z nimi w pewnej mierze solidaryzować de Broglie. Interpretacja Bohma została opracowana szczegółowo i dlatego może być podstawą do dyskusji. Bohm traktuje cząstki elementarne jako obiektywnie istniejące, "realne" struktury, przypominające punkty materialne rozpatrywane w mechanice klasycznej. Również fale w przestrzeni konfiguracyjnej są wedle tej interpretacji "obiektywnie realne", tak jak pola elektromagnetyczne. Przestrzeń konfiguracyjna to wielowymiarowa przestrzeń, która odnosi się do rozmaitych współrzędnych wszystkich cząstek należących do układu. Już tu natrafiamy na pierwszą trudność: co znaczyć ma twierdzenie, że fale w przestrzeni konfiguracyjnej istnieją "realnie"? Jest to przestrzeń bardzo abstrakcyjna. Słowo "realny" pochodzi z łaciny, wywodzi się od słowa *res* - rzecz. Jednakże rzeczy istnieją w zwykłej, trójwymiarowej przestrzeni, nie zaś w abstrakcyjnej przestrzeni konfiguracyjnej. Fale w przestrzeni konfiguracyjnej można nazwać obiektywnymi, jeśli pragnie się wyrazić w ten sposób myśl, że nie zależą one od żadnego obserwatora. Ale należy wątpić, czy można nazwać je realnymi, nie zmieniając sensu tego ostatniego terminu. Bohm definiuje linie prostopadłe do

odpowiednich powierzchni stałych faz jako możliwe orbity cząstek. Która z tych linii jest rzeczywistą orbitą cząstki, zależy, jego zdaniem, od historii układu oraz przyrządów pomiarowych; nie można tego rozstrzygnąć dopóty, dopóki nie uzyskamy bardziej pełnej wiedzy o układzie i przyrządach pomiarowych niż ta, którą posiadamy obecnie. W historii układu i przyrządów są ukryte jeszcze przed rozpoczęciem doświadczenia owe parametry utajone, a mianowicie rzeczywiste orbity mikrocząstek. Jak podkreślił Pauli, jednym z wniosków wynikających z tej interpretacji jest teza, że w wielu atomach znajdujących się w stanach podstawowych elektrony powinny pozostawać w spoczynku, nie poruszać się po orbicie wokół jądra atomu. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że jest to sprzeczne z doświadczeniem, ponieważ pomiary prędkości elektronów w atomach znajdujących się w stanie podstawowym (np. pomiary oparte na wyzyskaniu efektu Comptona) zawsze wykazują rozkład prędkości, który zgodnie z zasadami mechaniki kwantowej jest określony przez kwadrat funkcji falowej w przestrzeni prędkości (lub pędów). Bohm może jednak odpowiedzieć, że w tym przypadku nie należy rozpatrywać pomiaru z punktu widzenia praw, na których opierano się poprzednio. Wprawdzie interpretując wyniki pomiaru rzeczywiście uzyskamy rozkład prędkości, który wyrażony jest przez kwadrat funkcji falowej w przestrzeni prędkości (lub pędów), niemniej jednak, jeśli rozpatrzy się przyrząd pomiarowy, biorąc pod uwagę teorię kwantów, a zwłaszcza pewne dziwne potencjały kwantowomechaniczne wprowadzone *ad hoc* przez Bohma, to ewentualnie będzie można zgodzić się z wnioskiem głoszącym, że w rzeczywistości elektrony zawsze znajdują się w spoczynku. Jeśli chodzi o pomiar położenia cząstki, to Bohm uznaje zwykłą interpretację doświadczenia; odrzuca on ją jednak w przypadku pomiaru prędkości²⁵. Uważa on, że za tę cenę może twierdzić: "W dziedzinie mechaniki kwantowej nie musimy zrezygnować z dokładnego, racjonalnego i obiektywnego opisu układów indywidualnych". Ten obiektywny opis okazuje się jednakże pewnego rodzaju "nadbudowa ideologiczną", która niewiele ma wspólnego z bezpośrednią rzeczywistością fizyczną; parametry utajone według interpretacji Bohma są takimi parametrami, że jeśli teoria kwantów nie ulegnie zmianie, to nigdy nie będą mogły one występować w opisie rzeczywistych procesów.

Aby uniknąć tej trudności, Bohm wyraża nadzieje, że w wyniku przyszłych doświadczeń dokonywanych w celu zbadania cząstek elementarnych²⁶ przekonamy się, że parametry utajone jednak odgrywają jakąś rolę w zjawiskach fizycznych i że w związku z tym

²⁵ W wydaniu niemieckim zdanie to zostało zastąpione innym zdaniem: "Należy dodać, że potencjały kwantowomechaniczne, które w związku z tym wprowadził Bohm, mają własności bardzo dziwne, są np. różne od zera w dowolnie wielkich odległościach. (Przyp. red. wyd. polskiego).

²⁶ ² W wydaniu niemieckim: "... w wyniku przyszłych doświadczeń (np. doświadczeń, których celem będzie zbadanie obszarów o średnicy poniżej 10—13 cm)..." (Przyp. red. wyd. polskiego)

teoria kwantów może okazać się niesłuszna. Gdy ktoś wyrażał tego rodzaju nadzieje, Bohm zazwyczaj mówił, że wypowiedzi te przypominają pod względem struktury zdanie: "Możemy mieć nadzieję, że w przyszłości się okaże, iż niekiedy $2 \times 2 = 5$, ponieważ byłoby to wielce korzystne dla naszych finansów". W rzeczywistości jednak spełnienie się nadziei Bohma oznaczałoby nie tylko podważenie teorii kwantów; gdyby teoria kwantów została podważona, to tym samym jego własna interpretacja zostałaby pozbawiona fundamentu, na którym jest oparta. Oczywiście, trzeba jednocześnie wyraźnie podkreślić, że przedstawiona wyżej analogia, aczkolwiek jest pełną analogią, nie stanowi z punktu widzenia logiki niezbitego argumentu przeciwko możliwości ewentualnych przyszłych zmian teorii kwantów dokonywanych w sposób, o jakim mówi Bohm. Nie jest bowiem czymś zasadniczo nie do pomyślenia, aby w przyszłości, na przykład wskutek rozszerzenia rani logiki matematycznej, twierdzenie, że w pewnych wyjątkowych przypadkach $2 \times 2 = 5$, uzyskało sens; mogłoby się nawet okazać, że tak zmodyfikowana matematyka przydaje się do obliczeń w dziedzinie ekonomii. Niemniej jednak nawet nie mając niezbitych argumentów logicznych, jesteśmy naprawdę przekonani, że tego rodzaju modyfikacje matematyki nie przyniosłyby nam żadnej korzyści finansowej. Dlatego bardzo trudno jest zrozumieć, w jaki sposób propozycje o charakterze matematycznym, o których mówi Bohm jako o tym, co może doprowadzić do spełnienia się jego nadziei, miałyby być wyzyskane do opisu zjawisk fizycznych.

Jeśli pominiemy sprawę ewentualnych zmian w teorii kwantów, to - jak już mówiliśmy - Bohm na temat fizyki nie mówi w swoim języku niczego, co by zasadniczo różniło się od interpretacji kopenhaskiej. Pozostaje więc tylko rozpatrzeć kwestię przydatności takiego języka. Poza wspomnianym już zarzutem, który głosi, że w rozważaniach dotyczących torów mikrocząstek mamy do czynienia ze zbędną "nadbudową ideologiczną", trzeba w szczególności podkreślić to, że posługiwanie się językiem, którego używa Bohm, niweczy symetrię położenia i prędkości, a ściślej mówiąc - symetrię współrzędnych i pędów, która jest immanentnie właściwa teorii kwantów; jeśli chodzi o pomiary położenia, Bohm akceptuje zwykłą interpretację, lecz gdy mowa jest o pomiarach prędkości lub pędów - odrzuca ją. Ponieważ własności symetrii zawsze należą do najistotniejszej fizycznej osnowy teorii, przeto nie sposób zrozumieć, jaką korzyść się osiąga, gdy się je eliminuje, posługując się odpowiednim językiem.

Nieco inaczej sformułowaną, lecz podobną obiekcję można wysunąć przeciwko statystycznej interpretacji, którą zaproponował Bopp i (chodzi tu o interpretację trochę inną) Fenyés. Za podstawowy proces kwantowo-mechaniczny Bopp uznaje powstawanie lub anihilację cząstek elementarnych, które, według niego, są realne, rzeczywiste, w sensie

klasycznym, czyli w sensie, jaki słowa te mają w ontologii materialistycznej. Prawa mechaniki kwantowej traktuje on jako szczególny przypadek praw statystyki korelacyjnej, która jest tu stosowana do ujęcia takich zjawisk, jak powstawanie i anihilacja cząstek elementarnych. Interpretację tę, zawierającą wiele bardzo interesujących uwag na temat matematycznych praw teorii kwantów, można rozwinąć w ten sposób, że będzie prowadziła do tych samych wniosków natury fizycznej, co interpretacja kopenhaska²⁷. Jest ona, tak jak interpretacja Bohma, izomorficzna - w pozytywistycznym sensie tego słowa - z interpretacją kopenhaską. Ale język tej interpretacji niweczy symetrię cząstek i fal, która jest szczególnie charakterystyczną cechą matematycznego schematu teorii kwantów. Już w roku 1928 Jordan, Klein i Wigner wykazali, że ów schemat matematyczny można interpretować nie tylko jako schemat kwantowania ruchu cząstek, lecz również kwantowania trójwymiarowych fal materii. Dlatego nie ma podstaw do traktowania fal jako mniej realnych niż cząstki. W interpretacji Boppa symetrię cząstek i fal można by było uzyskać jedynie wtedy, gdyby stworzono odpowiednią statystykę korelacyjną dotyczącą fal materii w czasie i przestrzeni, wskutek czego można by było pozostawić nie rozstrzygnięte pytanie: co jest rzeczywiście realne - fale czy cząstki?

Założenie, że cząstki są realne w tym sensie, jaki słowo to ma w ontologii materialistycznej, z konieczności zawsze prowadzi do prób wykazania, że odchylenia od zasady nieokreśloności są "w zasadzie" możliwe. Fenyés np. mówi, że istnienie zasady nieokreśloności, którą wiąże on z pewnymi zależnościami statystycznymi, bynajmniej nie uniemożliwia jednoczesnego dowolnie dokładnego pomiaru położenia i prędkości. Fenyés nie wskazuje jednak, w jaki sposób można by było *de facto* dokonać tego rodzaju pomiarów; dlatego rozważania jego nie wykraczają, jak się wydaje, poza sferę abstrakcji matematycznej.

Weizel, którego kontrpropozycje w stosunku do interpretacji kopenhaskiej są pokrewne tym, które wysunęli Bohm i Fenyés, wiąże parametry utajone z „zeronami”; „zerony” są nowym, *ad hoc* wprowadzonym do teorii rodzajem cząstek, których w żaden sposób nie można obserwować. W koncepcji tej kryje się niebezpieczeństwo, prowadzi ona bowiem do wniosku, że oddziaływanie między realnymi cząstkami i zeronami powoduje rozproszenie energii na wiele stopni swobody pola zeronowego, co sprawia, iż cała termodynamika staje się jednym wielkim chaosem. Weizel nie wyjaśnił, w jaki sposób ma zamiar zapobiec temu niebezpieczeństwu.

Stanowisko wszystkich fizyków, których poglądy omówiliśmy powyżej, najlepiej

²⁷ W wydaniu niemieckim zamiast tego zdania mamy inne: "Interpretację tę, jak wykazał Bopp, można rozwinąć w taki sposób, że nie będzie zawierała żadnych sprzeczności. Rzuca ona światło na interesujące związki między teorią kwantów a statystyką korelacyjną". (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

można scharakteryzować powołując się na dyskusję, która w swoim czasie wywołała szczególna teoria względności. Każdy, kto był niezadowolony z tego, że Einstein wyeliminował z fizyki pojęcie absolutnej przestrzeni i pojęcie absolutnego czasu, mógł argumentować w następujący sposób: Szczególna teoria względności bynajmniej nie dowiodła, że czas absolutny i przestrzeń absolutna nie istnieją. Dowiodła ona jedynie, że w żadnym spośród zwykłych doświadczeń fizycznych nie przejawia się bezpośrednio prawdziwa przestrzeń ani prawdziwy czas. Jeśli jednak we właściwy sposób uwzględnimy ten aspekt praw przyrody, a więc jeśli wprowadzimy odpowiednie czasy pozorne dla poruszających się układów odniesienia, to nic nie będzie przemawiało przeciwko uznaniu istnienia przestrzeni absolutnej. Nawet założenie, że środek ciężkości naszej Galaktyki (przynajmniej z grubsza biorąc) pozostaje w spoczynku względem przestrzeni absolutnej - nawet to założenie okazałoby się prawdopodobne. Krytyk szczególnej teorii względności mógłby dodać, że można mieć nadzieję, iż w przyszłości zdołamy określić własności przestrzeni absolutnej na podstawie pomiarów (tzn. wyznaczyć "parametry utajone" teorii względności) i że w ten sposób teoria względności zostanie ostatecznie obalona.

Już na pierwszy rzut oka jest rzeczą jasną, że argumentacji tej nie można obalić doświadczalnie, nie ma w niej bowiem na razie żadnych tez, które różniłyby się od twierdzeń szczególnej teorii względności. Jednakże język tej interpretacji sprawiłby, że zniknęłaby własność symetrii mająca decydujące znaczenie w teorii względności, a mianowicie niezmienniczość lorentzowska; dlatego musimy uznać, że powyższa interpretacja jest niewłaściwa.

Analogia do teorii kwantów jest tu oczywista. Z praw teorii kwantów wynika, że wymyślonych *ad hoc* parametrów utajonych nigdy nie będzie można wykryć za pomocą obserwacji. Jeżeli wprowadzimy do interpretacji teorii parametry utajone jako wielkość fikcyjną - to wskutek tego znikną najważniejsze własności symetrii.

W publikacjach Błochincewa i Aleksandrowa sposób ujęcia zagadnień jest zupełnie inny niż w pracach fizyków, o których mówiliśmy dotychczas. Zarzuty obu tych autorów pod adresem interpretacji kopenhaskiej dotyczą wyłącznie filozoficznego aspektu ujęcia problemów. Fizyczną treść tej interpretacji akceptują oni bez żadnych zastrzeżeń.

Tym bardziej ostre są tu jednak sformułowania stosowane w polemice:

“Spośród wszystkich, niezmiernie różnorodnych kierunków idealistycznych w fizyce współczesnej najbardziej reakcyjny kierunek reprezentuje tak zwana «szkoła kopenhaska». Niniejszy artykuł ma zdemaskować idealistyczne i agnostyczne spekulacje tej szkoły doty-

czące podstawowych problemów mechaniki kwantowej"²⁸ - pisze Błochincew we wstępie do jednej ze swoich publikacji. Ostrość polemiki świadczy o tym, że chodzi tu nie tylko o naukę, że mamy tu do czynienia również z wyznaniem wiary, z określonym *credo*. Cel autora wyraża cytat z pracy Lenina zamieszczony na końcu artykułu: "Jakkolwiek by się osobiwiła wydawała z punktu widzenia «zdrowego rozsądku» przemiana nie-ważkiego eteru w ważką materię i odwrotnie, jakkolwiek «dziwne» by się wydawało, że elektron nie ma żadnej innej masy, prócz elektromagnetycznej, jakkolwiek niezwykle wydać się może ograniczenie mechanicznych praw ruchu do jednej tylko dziedziny zjawisk przyrody i podporządkowanie ich głębszym od nich prawom zjawisk elektromagnetycznych itd. - wszystko to raz jeszcze *potwierdza słusność materializmu dialektycznego*"²⁹.

Wydaje się, że to ostatnie zdanie sprawia, iż rozważania Błochincewa na temat mechaniki kwantowej stają się mniej interesujące; odnosi się wrażenie, że sprowadza ono polemikę do wyreżyserowanego procesu, w którym wyrok jest znany przed rozpoczęciem przewodu. Niemniej jednak jest rzeczą ważną całkowicie wyjaśnić zagadnienia związane z argumentami, które wysuwają Aleksandrów i Błochincew³⁰.

Zadanie polega tutaj na ratowaniu ontologii materialistycznej, atak więc skierowany jest głównie przeciwko wprowadzeniu obserwatora do interpretacji teorii kwantów. Aleksandrów pisze: "...w mechanice kwantowej przez «wynik pomiaru» należy rozumieć obiektywny skutek oddziaływania wzajemnego między elektronem a odpowiednim obiektem. Dyskusję na temat obserwatora należy wykluczyć i rozpatrywać obiektywne warunki i obiektywne skutki. Wielkość fizyczna jest obiektywną charakterystyką zjawiska, a bynajmniej nie wynikiem obserwacji"³¹. Zdaniem Aleksandrowa funkcja falowa charakteryzuje obiektywny stan elektronu.

Aleksandrów przeoczył w swoim artykule to, że oddziaływanie wzajemne układu i przyrządu pomiarowego - w przypadku, gdy układ i przyrząd traktuje się jako odizolowane od reszty świata i rozpatruje się je jako całość zgodnie z mechaniką kwantową - z reguły nie prowadzi do jakiegoś określonego wyniku (na przykład do poczernienia kliszy fotograficznej w pewnym określonym punkcie). Jeśli wnioskowi tym przeciwstawia się twierdzenie: "A

28 D. I. Błochincew, *Kritika filozofskich wozzrienij tak nazy-wajemoj, kopiengagienskoj szkoły" w fizikie*; artykuł w zbiorze: *Filozofskije woprosy sowriemiennoj fiziki*, Moskwa 1952, s. 359.

29 *Op. cit.*, s. 325. Jest to cytat z pracy Lenina *Materializm a empiriokrytycyzm*; patrz: W. I. Lenin, *Dziela*, t. 14, Warszawa 1949, s. 299.

30 W wydaniu niemieckim zdanie to zostało zastąpione innym zdaniem: "Aczkolwiek założenia prac opublikowanych przez Błochincewa i Aleksandrowa mają źródło poza dziedziną nauki, rozpatrzenie argumentów obu tych autorów jest wielce pouczające". (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

31 A. D. Aleksandrów, *O smysle wolnowej funkcji*, "Dokłady Akademii Nauk SSSR", 1952, LXXXV, nr 2; cyt. wg przekładu polskiego: A. Aleksandrów, *O znaczeniu funkcji falowej*; artykuł w zbiorze: *Zagadnienia filozoficzne mechaniki kwantowej*, Warszawa 1953, s. 130.

jednak w rzeczywistości klisza po oddziaływaniu poczerniała w określonym punkcie' - to tym samym rezygnuje się z kwantowomechanicznego ujęcia układu izolowanego składającego się z elektronu i kliszy fotograficznej. Mamy tu do czynienia z „faktyczną” („factual”) charakterystyką *zdarzenia* sformułowaną w takich terminach języka potocznego, które bezpośrednio nie występują w formalizmie matematycznym mechaniki kwantowej i które pojawiają się w interpretacji kopenhaskiej właśnie dzięki wprowadzeniu obserwatora. Oczywiście, nie należy źle zrozumieć słów: „wprowadzenie obserwatora”; nie znaczą one bowiem, że do opisu przyrody wprowadza się jakieś charakterystyki subiektywne. Obserwator raczej nie spełnia tu innej roli niż rola rejestratora decyzji, czyli rejestratora procesów zachodzących w czasie i w przestrzeni; nie ma znaczenia to, czy obserwatorem będzie w tym przypadku człowiek czy jakiś aparat. Ale rejestracja, tj. przejście od tego, co „możliwe”, do tego, co „rzeczywiste”, jest tu niezbędna i nie sposób jej pominąć w interpretacji teorii kwantów. W tym punkcie teoria kwantów jak najściślej wiąże się z termodynamiką, jako że każdy akt obserwacji jest ze swej natury procesem nieodwracalnym. A tylko dzięki takim nieodwracalnym procesom formalizm teorii kwantów można w sposób nie-sprzeczny powiązać z rzeczywistymi zdarzeniami zachodzącymi w czasie i w przestrzeni. Nieodwracalność zaś - przeniesiona do matematycznego ujęcia zjawisk - jest z kolei konsekwencją tego, że wiedza obserwatora o układzie nie jest pełna; wskutek tego nieodwracalność nie jest czymś całkowicie „obiektywnym”. Błochincew formułuje zagadnienie nieco inaczej niż Aleksandrow. „W rzeczywistości stan cząstki «sam przez się» nie jest charakteryzowany w mechanice kwantowej; jest on scharakteryzowany przez przynależność cząstki do takiego lub innego zespołu statystycznego (czystego lub mieszanego). Przynależność ta ma charakter całkowicie obiektywny i nie zależy od wiedzy obserwatora”³². Jednakże takie sformułowania prowadzą nas daleko - chyba nawet zbyt daleko - poza ontologię materialistyczną. Rzecz w tym, że np. w klasycznej termodynamice sprawa przedstawia się inaczej. Określając temperaturę układu obserwator może go traktować jako jedną próbkę z zespołu kanonicznego i w związku z tym uważać, że mogą mu być właściwe różne energie. Jednakże w rzeczywistości według fizyki klasycznej w określonej chwili układowi właściwa jest energia o jednej określonej wielkości; inne wielkości energii „nie realizują się”. Obserwator popełniłby błąd, gdyby twierdził, że w danej chwili istnieją różne energie, że są one rzeczywiście właściwe układowi. Twierdzenia o zespole kanonicznym dotyczą nie tylko samego układu, lecz również niepełnej wiedzy obserwatora o tym

32 D. I. Błochincew, *Kritika fitosofskich wozzrienij tak nazywajemoj "kopiengagienskoj szkoły" w fizikie*; artykuł w zbiorze: *Filosofskije woprosy sowriemiennoj fiziki*, cyt. wyd., s. 383.

układzie. Gdy Błochincew dąży do tego, aby w teorii kwantów układ należący do zespołu nazywano "całkowicie obiektywnym", to używa on słowa "obiektywny" w innym sensie niż ma ono w fizyce klasycznej. Albowiem w fizyce klasycznej stwierdzenie tej przynależności nie jest wypowiedzią o samym tylko układzie, lecz również o stopniu wiedzy, jaką posiada o nim obserwator. Gdy mówimy jednakże o teorii kwantów, musimy wspomnieć o pewnym wyjątku. Jeśli zespół jest opisany tylko *przez* funkcję falową w przestrzeni konfiguracyjnej (a nie - jak zazwyczaj - przez macierz statystyczną), to mamy tu pewną szczególną sytuację (jest to tak zwany "przypadek czysty"). Opis można wtedy nazwać w pewnym sensie obiektywnym, jako że bezpośrednio nie mamy tu do czynienia z niepełnością naszej wiedzy. Ponieważ jednak każdy pomiar wprowadzi potem (ze względu na związane z nim procesy nieodwracalne) element niepełności naszej wiedzy, przeto w gruncie rzeczy sytuacja, z którą mamy do czynienia w "przypadku czystym", nie różni się zasadniczo od sytuacji, jaka powstaje w omówionym poprzednio przypadku ogólnym.

Przytoczone, wyżej sformułowania wskazują przede wszystkim, jakie trudności powstają, gdy nowe idee³³ usiłuje się wtłoczyć w stary system pojęć wywodzący się z dawnej filozofii albo - by posłużyć się metaforą - gdy się pragnie nalać młode wino do starych butelek. Próby takie są zawsze bardzo nużące i przykre; zamiast cieszyć się młodym winem stale musimy się kłopotać pękaniem starych butelek. Nie możemy chyba przypuszczać, że myśliciele, którzy przed stu laty stworzyli materializm dialektyczny, byli w stanie przewidzieć rozwój teorii kwantów. Ich pojęcia materii i rzeczywistości prawdopodobnie nie będą mogły być dostosowane do wyników uzyskanych dzięki wyspecjalizowanej technice badawczej naszej epoki.

Należy tu chyba dorzucić kilka ogólnych uwag na temat stosunku uczonego do jakiejś określonej wiary³⁴ religijnej lub politycznej. Nie ma tu dla nas znaczenia zasadnicza różnica między wiarą religijną i polityczną, polegająca na tym, że ta ostatnia dotyczy bezpośredniej rzeczywistości materialnej otaczającego nas świata, pierwsza natomiast - innej rzeczywistości, nie należącej do świata materialnego. Chodzi nam bowiem o sam problem wiary; o nim pragniemy mówić. To, co dotychczas powiedzieliśmy, może skłaniać do wysunięcia postulatu domagającego się, aby uczoney nie wiązał się nigdy z żadną poszczególną doktryną, aby metoda jego myślenia nigdy nie była oparta wyłącznie na zasadach pewnej określonej filozofii. Powinien on być zawsze przygotowany na to, że wskutek nowych doświadczeń mogą ulec zmianie podstawy jego wiedzy. Postulat ten jednak

33 W wydaniu niemieckim zamiast słowa "idee" mamy "stan rzeczy". (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

34 W zdaniu tym i w zdaniu następnym słowo "wiara" w niemieckiej wersji książki zastąpiono słowem "światopogląd" (*Weltanschauung*). (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

z dwóch względów oznaczałyby zbyt uproszczenie naszej sytuacji życiowej. Po pierwsze, struktura myślenia kształtuje się już w naszej młodości pod wpływem idei, z którymi zapoznajemy się w tym czasie, lub wskutek zetknięcia się z ludźmi o silnej indywidualności, np. ludźmi, u których się uczymy. Ten ukształtowany w młodości sposób myślenia odgrywa decydującą rolę w całej naszej późniejszej pracy i może spowodować, że trudno nam będzie dostosować się do zupełnie nowych idei i systemów myślowych. Po drugie, należymy do określonej społeczności. Społeczność tę zespalają wspólne idee, wspólna skala wartości etycznych lub wspólny język, którym mówi się o najogólniejszych problemach życia. Te wspólne idee może wspierać autorytet Kościoła, partii lub państwa, a nawet jeśli tak nie jest, to może się okazać, że trudno jest odrzucić ogólnie przyjęte idee nie popadając w konflikt ze społeczeństwem. Wyniki rozważań naukowych mogą jednak być sprzeczne z niektórymi spośród tych idei. Na pewno byłoby rzeczą nierozsądną domagać się, aby uczony nie był lojalnym członkiem swej społeczności i został pozbawiony szczęścia, jakie może dać przynależność do określonego kolektywu. Jednakże równie nierozsądny byłby postulat domagający się, aby idee powszechnie przyjęte w kolektywie lub społeczeństwie, które z naukowego punktu widzenia są zawsze w jakiejś mierze uproszczone, zmieniały się niezwłocznie w miarę postępu wiedzy, aby były one tak samo zmienne, jak z konieczności muszą być zmienne teorie naukowe. Właśnie dlatego w naszych czasach powracamy do starego problemu "dwu prawd", który nieustannie wyłaniał się w historii religii chrześcijańskiej w końcu średniowiecza. Istnieje koncepcja, której słuszność jest bardzo wątpliwa, a wedle której pozytywna religia - w jakiegokolwiek postaci - jest nieodzownie potrzebna masom ludowym, podczas gdy uczony poszukuje własnej prawdy poza religią i może ją znaleźć tylko tam. Mówi się, że "nauka jest ezoteryczna", że "jest przeznaczona tylko dla niewielu ludzi". W naszych czasach funkcję religii pozytywnej spełniają w niektórych krajach doktryny polityczne i działalność społeczna, ale problem w istocie pozostaje ten sam. Uczony zawsze powinien dążyć przede wszystkim do tego, aby być uczciwym intelektualnie, podczas gdy społeczeństwo często domaga się od niego, aby ze względu na zmienność nauki wstrzymał się przynajmniej na parę dziesięcioleci z publicznym ogłoszeniem swych poglądów, jeśli różnią się one od powszechnie przyjętych. Jeśli sama tolerancja tu nie wystarcza, to nie ma prawdopodobnie prostego rozwiązania powyższego problemu. Pocieszyć nas jednak może w pewnej mierze świadomość, że jest to z pewnością bardzo stary problem, od najdawniejszych czasów związany z życiem ludzkości.

Powróćmy obecnie do kontrpropozycji przeciwstawianych kopenhaskiej interpretacji

teorii kwantów i rozpatrzmy drugą ich grupę. Próby uzyskania innej interpretacji filozoficznej są tu związane z dążeniem do zmodyfikowania teorii kwantów. Najbardziej przemyślaną próbę tego rodzaju podjął Janossy, który przyznaje, że ścisłość mechaniki kwantowej zmusza nas do odejścia od pojęcia rzeczywistości, jakie znamy z fizyki klasycznej. Dlatego też usiłuje on tak zmienić teorię kwantów, aby wiele jej wyników można było nadal uważać za słuszne i aby jednocześnie jej struktura stała się podobna do struktury fizyki klasycznej. Przedmiotem jego ataku jest tak zwana "redukcja paczki falowej", tzn. to, że funkcja falowa opisująca układ zmienia się w sposób nieciągły w momencie, gdy obserwator uświadamia sobie wynik pomiaru. Janossy uważa, że redukcja ta nie wynika z równania Schrödingera, i sądzi, iż można z tego wnioskować, że interpretacja "ortodoksyjna" nie jest konsekwentna. Jak wiadomo, "redukcja paczki falowej" pojawia się zawsze w interpretacji kopenhaskiej, ilekroć następuje przejście od tego, co możliwe, do tego, co rzeczywiste; ponieważ doświadczenie doprowadziło do określonego rezultatu i pewne zdarzenie rzeczywiście zaszło, funkcja prawdopodobieństwa, obejmująca szeroki zakres możliwości, ulega redukcji³⁵.

Zakładam tu, że znikają człony interferencyjne powstałe wskutek nieuchwytnych oddziaływań wzajemnych przyrządu pomiarowego z układem i z resztą świata (w języku formalizmu: z mieszaniny stanów własnych pozostaje określony stan własny, który jest wynikiem pomiaru). Janossy próbuje zmodyfikować mechanikę kwantową w ten sposób, że wprowadza tzw. człony tłumienia tak, że człony interferencyjne same znikają po pewnym skończonym okresie czasu. Nawet gdyby odpowiadało to rzeczywistości - a dotychczasowe doświadczenia nie dają nam żadnych podstaw do uznania, że jest tak naprawdę - to mielibyśmy jeszcze do czynienia z całym szeregiem niezmiernie niepokojących konsekwencji takiej interpretacji, co zresztą podkreśla sam Janossy (byłyby fale rozprzestrzeniające się z prędkością większą od prędkości światła, dla poruszającego się obserwatora zmieniłoby się następstwo czasowe przyczyny i skutku, a tym samym mielibyśmy pewne wyróżnione układy odniesienia itd.). Dlatego też nie będziemy chyba skłonni zrezygnować z prostoty teorii kwantów na rzecz tego rodzaju koncepcji dopóty, dopóki doświadczenia nie zmuszą nas do uznania ich za słuszne.

Wśród pozostałych oponentów i krytyków interpretacji kopenhaskiej, którą nazywa się niekiedy interpretacją "ortodoksyjną", szczególne stanowisko zajmuje Schrodinger. Pragnie on mianowicie przypisać realne istnienie nie cząstkom, lecz falom, i nie jest skłonny interpretować je wyłącznie jako fale prawdopodobieństwa. W publikacji pt. *Are there*

35 Począwszy od słowa "ponieważ" zdanie to w wersji niemieckiej brzmi inaczej: "...znaczy to, że spośród możliwości została wybrana ta, która się urzeczywistnia; zgodnie ze zwykłym opisem wyboru dokonuje obserwator". (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

Quantum Jumps? (Czy istnieją przeskoki kwantowe?) usiłuje on wykazać, że przeskoki kwantowe w ogóle nie istnieją. Jednakże w pracy Schrödingera mamy do czynienia przede wszystkim z pewnym nieporozumieniem, z niewłaściwym pojmowaniem sensu zwykłej interpretacji. Nie dostrzega on faktu, że falami prawdopodobieństwa są - wedle tej interpretacji - wyłącznie fale w przestrzeni konfiguracyjnej (a więc to, co w języku matematycznym można nazwać "macierzami transformacyjnymi"), nie zaś trójwymiarowe fale materii lub promieniowania. Te ostatnie są w równie wielkiej, czy też w równie małej mierze obiektywnie realne, jak cząstki. Nie są one bezpośrednio związane z falami prawdopodobieństwa, właściwa im jest natomiast ciągła gęstość energii i pędów, tak jak właściwa jest ona polu maxwellowskiemu. Dlatego Schrodinger słusznie podkreśla, że w związku z tym mikroprocesy można tu traktować jako bardziej ciągłe niż czyni się to zazwyczaj. Jest jednak *rzeczą* jasną, że Schrodinger nie jest w stanie w ten sposób pozbawić świata elementu nieciągłości, który przejawia się wszędzie w fizyce atomowej, a szczególnie poglądowo daje o sobie znać np. na ekranie scyntylacyjnym. W zwykłej interpretacji mechaniki kwantowej element ten występuje przy przejściu od tego, co możliwe, do tego, co rzeczywiste. Sam Schrodinger nie wysuwa żadnych kontrpropozycji, w których zostałyby wyjaśnione, w jaki sposób, inny niż stosowany w zwykłej interpretacji, zamierza on wprowadzić ów element nieciągłości, wszędzie dający się stwierdzić za pomocą obserwacji.

Wreszcie uwagi krytyczne zawarte w różnych publikacjach Einsteina, Lauego i innych autorów koncentrują się wokół problemu: czy interpretacja kopenhaska umożliwia jednoznaczny, obiektywny opis faktów fizycznych? Najbardziej istotne argumenty tych uczonych można sformułować w następujący sposób: Wydaje się, że schemat matematyczny teorii kwantów jest doskonale adekwatnym opisem³⁶ statystyki zjawisk mikro-świata. Niemniej jednak, jeśli nawet twierdzenia tej teorii dotyczące prawdopodobieństwa mikrozjawisk są całkowicie słuszne, to interpretacja kopenhaska nie umożliwia opisanego, co rzeczywiście zachodzi niezależnie od obserwacji lub w interwale czasowym pomiędzy pomiarami. A coś zachodzić musi, co do tego nie ma wątpliwości. Jest *rzeczą* nie wykluczoną, że to "coś" nie może być opisane za pomocą takich pojęć, jak elektron, fala, kwant świetlny, ale fizyka nie spełni swego zadania dopóty, dopóki ten opis nie zostanie podany. Nie można uznać, że fizyka kwantowa dotyczy jedynie aktów obserwacji. Uczony musi w fizyce zakładać, że bada świat, którego sam nie stworzył i który by istniał i w istocie byłby taki sam, gdyby jego, fizyka, nic było. Dlatego interpretacja kopenhaska nie umożliwia *rzeczywistego* zrozumienia zjawisk mikroświata.

36 W wydaniu niemieckim: "...całkowicie właściwym opisem". (Przyp. red. wyd. polskiego).

Łatwo jest zauważyć, że w tych wywodach krytycznych postuluje się powrót do ontologii materialistycznej. Cóż można na to odpowiedzieć z punktu widzenia interpretacji kopenhaskiej?

Można odpowiedzieć, że fizyka należy do nauk przyrodniczych, a więc celem w niej jest opisanie i zrozumienie przyrody. Sposób pojmowania czegokolwiek - bez względu na to, czy jest on naukowy, czy nie - zawsze zależy od naszego języka, od sposobu przekazywania myśli. Każdy opis zjawisk oraz doświadczeń i ich wyników polega na posługiwaniu się językiem, który jest jedynym środkiem porozumienia się. Słowa tego języka wyrażają pojęcia potoczne, które w języku naukowym, w języku fizyki, można uściślić, uzyskując w ten sposób pojęcia fizyki klasycznej. Pojęcia te są jedynym środkiem przekazywania jednoznacznych informacji o zjawiskach, o przeprowadzonych doświadczeniach oraz ich wynikach. Dlatego, gdy do fizyki atomowej zwracamy się z prośbą, aby podał nam opis tego co rzeczywiście zachodzi podczas eksperymentów, których on dokonuje, to słowa "opis", "rzeczywistość", "zachodzi" mogą się odnosić wyłącznie do pojęć języka potocznego albo fizyki klasycznej. Gdyby fizyk zrezygnował z tej bazy językowej, straciłby możliwość jednoznacznego wypowiedzania się i nie mógłby się przyczynić do rozwoju swej dyscypliny naukowej. Toteż każda wypowiedź na temat tego, co rzeczywiście zaszło lub zachodzi, sformułowana jest w języku, którego słowa wyrażają pojęcia fizyki klasycznej. Wypowiedzi te mają taki charakter, że - ze względu na prawa termodynamiki i relację nieokreśloności - są niedokładne, jeśli chodzi o szczegóły rozpatrywanych zjawisk atomowych. Postulat, który głosi, że należy opisywać to, co zachodzi w toku procesów kwantowomechanicznych między dwiema kolejnymi obserwacjami, stanowi *contradictio in adiee-to*, ponieważ słowo "opisywać" oznacza posługiwanie się pojęciami klasycznymi, a pojęć tych nie można odnosić do przedziału czasowego między dwiema obserwacjami; można się nimi posługiwać wyłącznie w momentach obserwacji.

Należy tu podkreślić, że kopenhaska interpretacja teorii kwantów bynajmniej nie ma charakteru pozytywistycznego. Podczas gdy punktem wyjścia pozytywizmu jest teza, wedle której wrażenia zmysłowe obserwatora są elementami rzeczywistości, wedle interpretacji kopenhaskiej - rzeczy i procesy, które można opisać, posługując się pojęciami klasycznymi, a więc to, co rzeczywiste (*the actual*), stanowi podstawę wszelkiej interpretacji fizycznej.

Jednocześnie przyznaje się tu, że nie można zmienić statystycznego charakteru praw fizyki mikroświata, wszelka bowiem wiedza o tym, co rzeczywiste, jest - ze względu na prawa mechaniki kwantowej - ze swej istoty wiedzą niekompletną.

Ontologia materialistyczna opierała się na złudnym mniemaniu, że sposób istnienia, że

bezpośrednią rzeczywistość otaczającego nas świata można ekstrapolować w dziedzinę świata atomowego. Ekstrapolacja ta jest jednak niemożliwa.

Można tu dorzucić parę uwag na temat formalnej struktury wszystkich dotychczas wysuniętych kontrpropozycji, przeciwstawnych kopenhaskiej interpretacji teorii kwantów. Wszystkie one zmuszają do poświęcenia na ich rzecz istotnych własności symetrii, z którymi mamy do czynienia w teorii kwantów (na przykład symetrii fal i cząsteczek lub położenia i prędkości). Mamy więc w pełni prawo przypuszczać, że musi się przyjąć interpretację kopenhaską, jeśli te własności symetrii - podobnie jak niezmienniczość względem przekształcenia Lorentza w teorii względności - uznaje się za rzeczywiste cechy, własności przyrody; wszystkie dotychczasowe doświadczenia potwierdzają ten pogląd.

IX. TEORIA KWANTÓW A BUDOWA MATERII

W historii myśli ludzkiej pojęcie materii wielokrotnie ulegało zmianom. Różne systemy filozoficzne podawały różne interpretacje. Wszystkie znaczenia słowa "materia" po dzień dzisiejszy zachowały się w pewnej mierze w nauce.

We wczesnym okresie rozwoju nowożytnych nauk począwszy od Talesa aż do atomistów, w toku poszukiwań jakiejś scalającej zasady w nieskończonej zmienności *rzeczy*, ukształtowało się pojęcie materii kosmosu, substancji świata, ulegającej przemianom, w wyniku których powstają wszystkie poszczególne rzeczy, przekształcające się z kolei w tę materię. Materię ową niekiedy utożsamiano z jakąś szczególną substancją, taką jak woda, powietrze lub ogień, niekiedy zaś nie przypisywano jej żadnych innych własności niż własność "bycia tworzywem wszystkich *rzeczy*."

Później, w filozofii Arystotelesa, pojęcie materii odgrywa doniosłą rolę ze względu na związek, który - według Stagiryty - zachodzi między formą a materią. Wszystko, co dostrzegamy w świecie zjawisk, jest materią uformowaną. Materia nie istnieje samodzielnie; materia to jedynie możliwość, *potentia*, istnieje ona tylko dzięki formie. W toku procesów zachodzących w przyrodzie ta *δύναμις*, jak nazwał ją Arystoteles, dzięki formie aktualizuje się, przekształca się w rzeczywistość. Materia Arystotelesa nie jest żadną określoną substancją, taką jak woda lub powietrze, ani też nie jest po prostu przestrzenią; jest czymś w rodzaju nieokreślonego sub-stratu, tworzywa, któremu właściwa jest możliwość przekształcenia się dzięki formie w to, co rzeczywiste. Według Arystotelesa typowych przykładów zależności między materią a formą dostarczają procesy biologiczne, w toku których materia przekształca się w organizmy żywe, jeśli zaś chodzi o działalność ludzką - tworzenie dzieł sztuki. Posąg istnieje *in potentia* w bryle marmuru, zanim wykuje go rzeźbiarz. Znacznie później, poczynając od Kartezjusza, materię zaczęto traktować przede wszystkim jako coś przeciwstawnego duszy. Materia i dusza albo, jak mówił Kartezjusz, *res extensa* i *res cogitans* stanowiły dwa komplementarne aspekty świata. Ponieważ nowe zasady metodologiczne nauk przyrodniczych, szczególnie mechaniki, uniemożliwiały doszukiwanie się źródła zjawisk materialnych w działaniu sił duchowych, przeto materię można było podczas badań traktować jedynie jako samoistną rzeczywistość, niezależną od myśli lub jakichkolwiek sił nadprzyrodzonych. W tym okresie materia jest "materią uformowaną", a proces formowania się jej tłumaczy się przyczynowym łańcuchem wzajemnych oddziaływań mechanicznych; straciła ona związek z "duszą roślinną", jaki miała w filozofii Arystotelesa, wskutek czego dualistyczna koncepcja Stagiryty dotycząca materii i formy przestała tu odgrywać jakąkolwiek rolę. Z powyższej koncepcji najwięcej treści zaczerpnął współczesny termin "materia".

W naukach przyrodniczych dziewiętnastego stulecia pewną rolę odegrał innego rodzaju dualizm, dualizm materii i siły. Materia jest tym, na co działają siły, a zarazem może wywoływać ich powstanie. Materia wywołuje np. siłę ciężkości, która z kolei działa na materię.

Materia i siła są dwoma wyraźnie różniącymi się aspektami świata fizycznego. Ponieważ siły mogą być siłami kształtującymi, ta dualistyczna koncepcja zbliża się do arystotelesowskiej koncepcji materii i formy. Jednakże ostatnio, w toku rozwoju fizyki współczesnej różnica między materią i siłą całkowicie znika, jako że każdemu polu sił właściwa jest określona energia, a tym samym jest ono częścią materii. Każdemu polu sił odpowiada określony rodzaju cząstek elementarnych. Cząstki i pola sił to nic innego, jak tylko dwie formy prze-

jawiania się tej samej rzeczywistości.

Gdy w naukach przyrodniczych zgłębia się problem materii, to musi się przede wszystkim badać jej formy. Bezpośrednim przedmiotem badań powinna być nieskończona różnorodność i zmienność tych form, przy czym należy dążyć do wykrycia pewnych praw przyrody, pewnych scalających zasad, które mogłyby spełniać rolę drogowskazów w tej bezkresnej dziedzinie. Dlatego w naukach ścisłych, a szczególnie w fizyce, od dawna interesowano się jak najżywiej analizą struktury materii i sił warunkujących tę strukturę.

Od czasów Galileusza podstawową metodą nauk przyrodniczych jest metoda doświadczalna. Umożliwiła ona przejście od potocznego doświadczenia do pewnego swoistego rodzaju doświadczeń i wyróżnienie określonych, charakterystycznych zjawisk zachodzących w przyrodzie, dzięki czemu prawa rządzące tymi zjawiskami można było badać bardziej bezpośrednio niż na podstawie potocznego doświadczenia. Pragnąc badać budowę materii, musiano więc przeprowadzać eksperymenty. Musiano poddawać materię wpływowi niezwykle warunków, celem zbadania przemian, jakim ona w tych warunkach ulega; czyniono to w nadziei, że uda się w ten sposób poznać pewne podstawowe jej cechy, które zachowuje ona mimo obserwowanych przemian.

We wczesnym okresie rozwoju nowożytnych nauk przyrodniczych było to jednym z głównych zadań chemii. Badania tego typu, o którym mówiliśmy wyżej, doprowadziły dość szybko do powstania pojęcia pierwiastka chemicznego. Pierwiastkiem nazywano substancję, która nie mogła być już rozłożona w żaden sposób znany ówczesnym chemikom - nie rozkładała się podczas wrzenia, ogrzewania, rozpuszczania, mieszania z innymi substancjami itd. Wprowadzenie tego pojęcia było niezwykle doniosłym, choć dopiero pierwszym spośród kroków, które wiodą ku zrozumieniu budowy materii. Niezmierną ilość rozmaitych substancji istniejących w przyrodzie sprowadzono do stosunkowo niewielkiej liczby substancji prostszych, pierwiastków, dzięki czemu zostały w pewien sposób uporządkowane dane dotyczące różnorodnych zjawisk chemicznych. Słowem "atom" oznaczano najmniejszą cząstkę materii - najmniejszą cząstkę pierwiastka chemicznego, w związku z czym najmniejszą cząstkę związku chemicznego można było poglądowo przedstawić jako grupę różnych atomów. Najmniejszą cząstką pierwiastka chemicznego, np. żelaza, jest atom żelaza. Najmniejsza cząstka wody, tzw. cząsteczka wody, jak się okazało, składa się z jednego atomu tlenu i dwu atomów wodoru.

Następnym i niemal równie ważnym osiągnięciem było odkrycie prawa zachowania masy w procesach chemicznych. Gdy spala się np. pierwiastek węgiel, to powstaje dwutlenek węgla, którego masa równa jest masie węgla i tlenu zmierzonej przed reakcją. Było to odkrycie, które pojęciu materii nadało sens ilościowy: niezależnie od chemicznych własności materii, jej ilość można określić mierząc jej masę.

W następnym okresie, przede wszystkim w wieku XIX, odkryto szereg nowych pierwiastków chemicznych (obecnie liczba ich przekracza 100; odkrycie ich przekonuje nas, że pojęcie pierwiastka chemicznego jeszcze nie doprowadziło nas do tego punktu, który biorąc za punkt wyjścia, moglibyśmy zrozumieć, na czym polega jedność materii). Trudno było uwierzyć, że istnieje wiele rodzajów materii, jakościowo różnych, nie związanych żadną więzią wewnętrzną.

Już na początku XIX stulecia można było wskazać pewien fakt świadczący o istnieniu związku wzajemnego między różnymi pierwiastkami; stwierdzono mianowicie, że ciężary atomowe wielu pierwiastków są w przybliżeniu równe całkowitej wielokrotności pewnej najmniejszej jednostki, która mniej więcej odpowiada ciężarowi atomowemu wodoru. Podobieństwo własności chemicznych pewnych pierwiastków również nasuwało wniosek, że istnieje ów związek wzajemny. Jednakże dopiero dzięki odkryciu³⁷ sił o wiele bardziej po-

37 W wydaniu niemieckim zamiast słowa "odkrycie" — mamy słowo "zastosowanie" (*Anwendung*). (Przyp. red. wyd. polskiego).

tężnych niż te, które działają podczas reakcji chemicznych, można było rzeczywiście ustalić związek między różnymi pierwiastkami, a tym samym rzeczywiście zbliżyć się do zrozumienia, na czym polega jedność materii.

Fizycy zaczęli badać te siły po odkryciu promieniotwórczości, którego dokonał Becquerel w roku 1896. Curie, Rutherford i inni uczeni dowiedli, że podczas procesów promieniotwórczych następuje przemiana pierwiastków. Cząstki emitowane przez pierwiastki radioaktywne są "odłamkami" atomów i mają energię w przybliżeniu milion razy większą od energii atomów i cząsteczek biorących udział w reakcjach chemicznych. Dlatego cząstki α stały się nowym narzędziem, które umożliwiło badanie budowy atomów. W wyniku doświadczeń nad rozpraszaniem cząstek a Rutherford stworzył w r. 1911 planetarny model atomu. Najważniejszą cechą tego znanego modelu był podział atomu na dwie różne części: jądro i otaczającą je powłokę elektronową. Jądro znajduje się w centrum, ma znikomą objętość w porównaniu z objętością atomu (promień jego jest ok. stu tysięcy razy mniejszy od promienia atomu). Jednocześnie jednak jest w nim skupiona niemal cała masa atomu. Dodatni ładunek elektryczny jądra, który jest równy całkowitej wielokrotności tzw. ładunku elementarnego, decyduje o ilości elektronów otaczających jądro (atom jako całość musi być elektrycznie obojętny) oraz o kształcie ich orbit.

Ta różnica między jądrem a powłoką elektronową od razu wyjaśnia, dlaczego w chemii atomy pierwiastków są ostatecznymi jednostkami materii i dlaczego do wywołania przemiany jednego pierwiastka w inny niezbędna jest bardzo wielka energia. Wiązania chemiczne między sąsiednimi atomami powstają wskutek wzajemnego oddziaływania ich powłok elektronowych, a energie wiązań są stosunkowo małe. Elektron przyśpieszony w rurze próżniowej za pomocą potencjału kilku woltów ma energię dostateczną, aby pobudzić powłoki elektronowe do emisji promieniowania lub rozerwać wiązanie chemiczne. Ładunek jądra decyduje o własnościach chemicznych atomu, jakkolwiek własności te wynikają z budowy powłoki elektronowej. Jeśli się pragnie zmienić własności chemiczne atomu, należy zmienić ładunek jego jądra, a to wymaga energii mniej więcej milion razy większej niż ta, z którą mamy do czynienia w reakcjach chemicznych.

Ten model planetarny, traktowany jako układ, w którym spełnione są prawa mechaniki Newtona, nie mógł jednakże wytłumaczyć trwałości atomu. Jak zostało podkreślone w jednym z poprzednich rozdziałów, jedynie zastosowanie teorii kwantów do tego modelu umożliwia wytłumaczenie faktu, że np. atom węgla, po wzajemnym oddziaływaniu z innymi atomami lub po emisji promieniowania, zawsze pozostanie koniec końców atomem węgla z taką samą powłoką elektronową, jaką miał przedtem. Trwałość tę można w prosty sposób wytłumaczyć dzięki tym samym cechom teorii kwantów, które uniemożliwiają podanie zwykłego, obiektywnego, czasoprzestrzennego opisu budowy atomu.

W ten sposób uzyskano pierwsze podstawy niezbędne do zrozumienia budowy materii. Chemiczne i inne własności atomów można było określić za pomocą aparatu matematycznego teorii kwantów. Uczeni byli w stanie podjąć próby kontynuowania analizy budowy materii. Możliwe były dwa przeciwstawne kierunki badań. Można było badać bądź wzajemne oddziaływanie atomów, ich stosunek do większych układów, takich jak cząsteczki, kryształy lub obiekty biologiczne, bądź też badać jądro atomowe i jego części składowe dopóty, dopóki nie zrozumie się, na czym polega jedność materii. W ostatnich dziesięcioleciach prowadzono intensywne badania w obu tych kierunkach. Obecnie wyjaśnimy, jaką rolę odgrywała teoria kwantów w tych dwóch dziedzinach badań.

Siły działające między sąsiadującymi atomami są przede wszystkim siłami elektrycznymi - ładunki różnoimienne przyciągają się, odpychają się natomiast jednoimienne; elektrony w atomie są przyciągane przez jądro, a jednocześnie wzajemnie się odpychają. Siły te nie działają jednak zgodnie z prawami mechaniki Newtona, lecz zgodnie z prawami mechaniki kwantowej.

Wskutek tego istnieją dwa rodzaje wiązań między atomami. W przypadku wiązania pierwszego rodzaju elektron z jednego atomu przechodzi do innego, gdzie uzupełnia np. zewnętrzną warstwę powłoki elektronowej. W wyniku atomy te uzyskują ładunki elektryczne; stają się - jak mówią fizycy - jonami; ponieważ jony owe mają ładunki różnoimienne, przyciągają się one wzajemnie. Chemicy nazywają to *wiązanie polarnym*.

W przypadku wiązania drugiego rodzaju elektron należy do obu atomów. Opisuje to w charakterystyczny dla siebie sposób jedynie teoria kwantowa. Posługując się pojęciem orbity elektronowej, można powiedzieć - niezupełnie ściśle - że elektron krąży wokół jąder obu atomów i przez znaczną część czasu znajduje się zarówno w jednym, jak i w drugim atomie. Ten drugi typ wiązania chemicy nazywają wiązaniem homeopolarnym lub kowalencyjnym. Te dwa typy wiązań (i wszelkiego rodzaju wiązania, o charakterze pośrednim) umożliwiają istnienie różnych połączeń atomów. Wydaje się, że koniec końców właśnie dzięki powstaniu tych wiązań istnieją wszystkie złożone struktury materialne, badane przez fizyków i chemików. Związki chemiczne tworzą się w ten sposób, że różne atomy łączą się w odrębne grupy, z których każda jest cząsteczką danego związku. Podczas powstawania kryształów atomy układają się w regularne siatki krystaliczne. Gdy powstają metale, atomy zostają upakowane tak gęsto, że ich elektrony zewnętrzne mogą opuścić powłoki elektronowe i wędrować wewnątrz danego kawałka metalu we wszystkich kierunkach. Własności magnetyczne powstają dzięki ruchowi obrotowemu poszczególnych elektronów itd.

We wszystkich tych przypadkach możemy uznać, że pozostaje tu jeszcze w mocy dualizm materii i siły, ponieważ jądro i elektrony możemy traktować jako "cegiełki", z których zbudowana jest materia i które są związane wzajemnie dzięki siłom elektromagnetycznym. Podczas gdy fizyka i chemia (jeśli chodzi o zagadnienia związane z budową materii) zespoliły się w jedną naukę, w biologii mamy do czynienia ze strukturami bardziej złożonymi i nieco innego rodzaju. Prawdą jest, że chociaż rzuca nam się w oczy to, iż organizm żywy stanowi całość, to jednak nie można przeprowadzić ostrej linii granicznej między materią ożywioną a nieożywioną. Rozwój biologii dostarczył wielkiej ilości danych świadczących o tym, że pewne duże cząsteczki lub grupy czy też łańcuchy takich cząsteczek mogą spełniać określone, swoiście biologiczne funkcje. Wskutek tego we współczesnej biologii wzmaga się tendencja do wyjaśniania procesów biologicznych w sposób polegający na traktowaniu ich jako wyniku działania praw fizyki i chemii. Jednakże stabilność właściwa organizmom żywym ma nieco inny charakter niż trwałość atomu lub kryształu. Jest to raczej stabilność procesu lub funkcji niż trwałość postaci. Nie ulega wątpliwości, że prawa teorii kwantów odgrywają nader ważną rolę w zjawiskach biologicznych. Np. pojęcie swoistych sił kwantowomechanicznych, które mogą być opisane jedynie w sposób dość nieścisły, gdy posługujemy się pojęciem wartościowości chemicznej, odgrywa istotną rolę w wyjaśnianiu budowy dużych cząstek organicznych i w tłumaczeniu ich konfiguracji geometrycznych. Doświadczenia, podczas których wywoływano mutacje biologiczne za pomocą promieniowania, dowodzą, że mamy tu do czynienia z działaniem statystycznych praw teorii kwantowej i że istnieją mechanizmy wzmacniające (*amply-fying mechanisms*). Ścisła analogia między procesami zachodzącymi w naszym systemie nerwowym a funkcjonowaniem współczesnych elektronowych maszyn liczących dobitnie świadczy o doniosłej roli prostych, elementarnych procesów w życiu organizmów. Wszystko to jednak nie dowodzi, że w przyszłości fizyka i chemia, uzupełnione teorią ewolucji, opiszą w sposób wyczerpujący organizmy żywe. Eksperymentatorzy muszą badać procesy biologiczne ostrożniej niż procesy fizyczne i chemiczne. Jak powiedział Bohr, jest rzeczą zupełnie możliwą, że okaże się, iż w ogóle nie jesteśmy w stanie podać takiego opisu żywego organizmu, który byłby wyczerpujący z punktu widzenia fizyka, ponieważ wymagałoby to dokonania eksperymentów zbyt silnie zakłócających funkcje biologiczne. Bohr określił tę sytuację w sposób następujący: "... w naukach biologicznych mamy raczej do czynienia z objawami możliwości tej przyrody, do której sami należymy, aniżeli z wynikami

doświadczeń, które możemy wykonać"³⁸. Komplementarność, do której nawiązuje ta wypowiedź, odzwierciedla pewna tendencja metodologiczna w biologii współczesnej: tendencja do pełnego wyzyskania metod oraz wyników fizyki i chemii, a jednocześnie do stałego posługiwania się pojęciami odnoszącymi się do tych cech przyrody ożywionej, których nie opisuje fizyka lub chemia, np. pojęciem samego życia.

Dotychczas analizowaliśmy budowę materii. podążając w jednym kierunku: od atomu do złożonych struktur, składających się z wielu atomów, innymi słowy: od fizyki atomowej do fizyki ciał stałych, chemii i biologii. Obecnie powinniśmy zwrócić się w przeciwnym kierunku i zapoznać się z tym nurtem badań, który zaczyna się od badania zewnętrznych części atomu, obejmuje następnie badanie jego wnętrza, badanie jądra, wreszcie badanie cząstek elementarnych. Tylko dzięki temu nurtowi badań możemy ewentualnie zrozumieć w przyszłości, czym jest jedność materii. Tu nie trzeba się obawiać tego, że podczas doświadczeń zostaną zniszczone charakterystyczne struktury, które badamy. Jeżeli zadaniem jest doświadczalne sprawdzenie tezy o ostatecznej jedności materii³⁹, to możemy materię poddać działaniu najpotężniejszych spośród znanych sił, działaniu najbardziej drastycznych warunków w celu stwierdzenia, czy materię można koniec końców przekształcić w jakąś inną materię.

Pierwszym krokiem w tym kierunku była eksperymentalna analiza jądra atomowego. W początkowym okresie tych badań, który obejmuje mniej więcej pierwsze trzy dziesięciolecia naszego wieku, jedynym dostępnym narzędziem stosowanym w doświadczeniach były cząstki a emitowane przez ciała promieniotwórcze. Za pomocą tych cząstek Rutherford zdołał w roku 1919 spowodować przemianę jądrową pierwiastków lekkich, przekształcić jądro azotu w jądro tlenu przez dołączenie cząstki α [alfa] do jądra azotu i jednoczesne wybitcie protonu. Był to pierwszy przykład reakcji jądrowej, procesu, który przypominał procesy chemiczne, lecz prowadził do sztucznej przemiany pierwiastków. Następnym istotnym osiągnięciem było sztuczne przyśpieszenie protonów za pomocą aparatury wysokonapięciowej, dzięki czemu nadano im energię dostateczną do spowodowania przemian jądrowych. Niezbędna była do tego różnica potencjałów rzędu miliona woltów. Podczas pierwszego swego eksperymentu - eksperymentu o decydującym znaczeniu - Cockroft i Walton stwierdzili, że udało im się przekształcić jądra litu w jądra helu. Odkrycie to zapoczątkowało zupełnie nowy kierunek badań, który nazwać można fizyką jądrową we właściwym sensie tych słów. Badania te bardzo szybko doprowadziły do jakościowego wyjaśnienia budowy jądra atomowego. Okazało się, że budowa jądra atomowego jest właściwie bardzo prosta. Jądro składa się tylko z dwu rodzajów cząstek elementarnych: z protonów (proton jest to jądro wodoru) i z cząstek, które nazwano neutronami (neutron ma masę w przybliżeniu równą masie protonu, lecz pozbawiony jest ładunku elektrycznego). Każde jądro charakteryzuje liczba zawartych w nim protonów i neutronów. Np. jądro atomu zwykłego węgla składa się z 6 protonów i 6 neutronów. Istnieje oprócz tego odmiana pierwiastka węgla, zwana izotopem pierwszej jego odmiany; występuje ona rzadziej i składa się z atomów, z których każdy ma jądro zawierające 6 protonów i 7 neutronów. W ten sposób uzyskano wreszcie opis materii, w którym zamiast wielu różnych pierwiastków chemicznych występowały tylko trzy podstawowe jednostki, trzy podstawowe "cegiełki": proton, neutron i elektron. Cała materia składa się z atomów, a zatem jest zbudowana z tych właśnie trzech podstawowych cegiełek. Wprawdzie nie było to jeszcze stwierdzenie jedności materii, niemniej jednak z pewnością był to wielki krok w tym kierunku i - co jest, być może, jeszcze ważniejsze - oznaczało to uzyskanie opisu znaczenie prostszego. Oczywiście, od wiedzy o dwu podstawowych cegiełkach, z których zbudowane jest jądro, do całkowitego wyjaśnienia jego budowy - wiedzie daleka droga. Mamy tu do czynienia z nieco innym problemem niż odpowiadający mu problem zewnętrznych warstw powłoki

38 Niels Bohr, *Fizyka atomowa a wiedza ludzka*, Warszawa 1963, s. 116.

39 W wydaniu niemieckim: "...zasadniczej jedności materii". (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

elektronowej atomu, który został rozwiązany w połowie lat dwudziestych. Siły działające między elektronami w powłokach znano bardzo dokładnie, należało jednak znaleźć prawa dynamiczne; zostały one koniec końców sformułowane w mechanice kwantowej. Zupełnie usprawiedliwione było przypuszczenie, że prawa dynamiczne dotyczące jądra atomowego są również prawami mechaniki kwantowej; jednakże nie znano jeszcze sił działających między cząstkami zawartymi w jądrze, musiano je określić pośrednio, na podstawie własności jądra ustalonych w wyniku eksperymentów. Zagadnienie to jeszcze nie zostało całkowicie rozwiązane. Siły te prawdopodobnie nie są tak proste, jak siły elektrostatyczne w powłokach elektronowych, w związku z czym utrudniają tu czynienie postępów matematyczne trudności związane z wyprowadzeniem własności jądra ze skomplikowanych sił oraz niedokładność danych doświadczalnych. Niemniej jednak pod względem jakościowym budowę jądra znamy już zupełnie dobrze.

Pozostało jeszcze ostatnie, najważniejsze zagadnienie - zagadnienie jedności materii. Czy te cząstki elementarne: proton, neutron i elektron - są ostatecznymi, niezniszczalnymi cegiełkami, z których zbudowana jest materia, atomami w sensie, jaki nadawał temu słowo Demokryt - których nie łączą żadne związki wzajemne (jeśli abstrahować od sił działających między nimi), czy też są to jedynie różne formy materii, materii jakiegoś jednego rodzaju? Czy mogą one przemieniać się, czy jedne mogą się przekształcać w drugie spośród nich, lub nawet w inne jeszcze formy materii? Aby doświadczalnie to zbadać, należy skierować na te cząstki siły i energie znacznie większe niż te, które były niezbędne do zbadania jądra atomu. Wobec tego, że zasoby energii zmagazynowane w jądrach atomowych nie są dostatecznie duże, aby umożliwić wykonanie takich doświadczeń, fizycy muszą wyzyskać siły działające w kosmosie lub pomysłowość i umiejętność inżynierów.

I rzeczywiście, osiągnięto sukcesy w dwojaki sposób. Pierwszy sposób polegał na wyzyskaniu tzw. promieni kosmicznych. Pola elektromagnetyczne rozprzestrzeniające się od gwiazd na olbrzymie odległości mogą w pewnych warunkach przyspieszać naładowane cząstki atomowe - elektrony i jądra. Wydaje się, że jądra, których bezwładność jest większa, mogą dłużej przebywać w polu przyśpieszającym i zanim z powierzchni gwiazdy uleczą w przestrzeń kosmiczną, podlegają działaniu różnicy potencjałów wynoszącej kilka miliardów woltów. Są one później nadal przyśpieszane przez międzygwiazdne pola magnetyczne. Jakkolwiek by było, wydaje się, że zmienne pola magnetyczne przez długi czas zatrzymują jądra atomowe w Galaktyce; jądra te stanowią tzw. promienie kosmiczne. Promienie kosmiczne docierają do Ziemi; składają się one z jąder niemal wszystkich pierwiastków: wodoru, helu oraz pierwiastków cięższych, i mają energię od ok. stu milionów lub miliarda elektronowoltów do milion razy większej. Gdy cząstki promieni kosmicznych przenikają do atmosfery Ziemi, zderzają się z jądrami atomów azotu lub tlenu, a mogą również zderzyć się z atomami w przyrządzie doświadczalnym. Istniała również inna możliwość: można było zbudować bardzo wielkie akceleratory cząstek. Prototypem tych akceleratorów był tzw. cyklotron, który skonstruował Lawrence w Kaliforni na początku lat trzydziestych. Podstawową koncepcją twórców tych urządzeń był pomysł wyzyskania silnych pól magnetycznych, za których pomocą zmuszano naładowane cząstki do rudni po kole; cząstki dokonują wielu okrążeń, podczas których są przyspieszane przez pola elektryczne. W wielu krajach (jeśli chodzi o Europę - przede wszystkim w Wielkiej Brytanii) istnieją urządzenia, w których można cząstkom nadać energię wieluset milionów elektronowoltów, a przy współpracy dwunastu krajów europejskich buduje się obecnie w Genewie bardzo wielki akcelerator tego typu, w którym, jak spodziewamy się, uda się uzyskać protony o energii 25 miliardów elektronowoltów⁴⁰. Doświadczenia dokonane za pomocą promieni kosmicznych i

40 Urządzenie to, zbudowane przez CERN (*Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire* — Europejski Ośrodek Badań Jądrowych), weszło do eksploatacji w r. 1960, w siedem lat po rozpoczęciu jego budowy. Uzyskano w nim protony o energii 28 GeV (28 miliardów elektronowoltów). (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

wielkich akceleratorów ujawniły nowe, interesujące cechy materii. Stwierdzono, że oprócz trzech podstawowych cegiełek materii - elektronu, protonu i neutronu - istnieją inne cząstki elementarne, które powstają w wyniku zderzeń cząstek o olbrzymiej energii z materią i giną po krótkim czasie. Te nowe cząstki mają własności podobne do własności cząstek znanych już przedtem. Różni je od tych ostatnich krótki średni czas życia. Nawet dla najtrwalszych spośród nowych cząstek wynosi on w przybliżeniu milionową część sekundy, inne zaś istnieją sto lub tysiąc razy krócej. Dotychczas wykryto ok. 25 różnych rodzajów cząstek elementarnych; ostatnio poznaną cząstką jest antyproton⁴¹.

Na pierwszy rzut oka wydaje się, że osiągnięcia te odwołują od myśli o jedności materii, gdyż liczba podstawowych cegiełek materii ponownie się zwiększyła, stała się liczbą porównywalną z liczbą pierwiastków chemicznych. Nie odpowiada to jednak rzeczywistemu stanowi rzeczy. Doświadczenia wykazały bowiem równocześnie, że jedne cząstki mogą powstawać z innych cząstek, że powstają po prostu z ich energii kinetycznej i że mogą z kolei ulegać przemianom, podczas których powstają z nich inne cząstki. Doświadczenia wykazały więc, że materia jest całkowicie przeobrazalna. Wszystkie cząstki elementarne mogą, jeśli mają dostatecznie dużą energię, przekształcać się w wyniku zderzeń w inne cząstki lub po prostu powstawać z energii kinetycznej, a także ulegać anihilacji, przekształcając się w energię, np. w promieniowanie. Obecnie więc rzeczywiście już mamy ostateczny dowód jedności materii. Wszystkie cząstki elementarne "są zbudowane" z tej samej substancji, z tego samego tworzywa, które możemy obecnie nazwać energią lub materią uniwersalną; są one jedynie różnymi formami, w których może występować materia.

Gdy porównujemy ten stan rzeczy z koncepcjami Arystotelesa dotyczącymi materii i formy, możemy powiedzieć, że pojęcie materii występujące w filozofii Arystotelesa (który uważał, że materia to jedynie "potentia") da się porównywać z naszym pojęciem energii, która dzięki formie staje się rzeczywistością, kiedy powstają cząstki elementarne.

Współczesnych fizyków nie może oczywiście zadowolić jakościowy opis podstawowej struktury materii; muszą oni podejmować próby matematycznego sformułowania (na podstawie dokładnych badań doświadczalnych) tych praw przyrody, które rządzą "formami" materii - cząstkami elementarnymi i związanymi z nimi siłami. W tej dziedzinie fizyki nie można wyraźnie odróżnić materii od formy, ponieważ każda cząstka elementarna nie tylko wywołuje pewne siły i podlega działaniu sił, ale jednocześnie reprezentuje pewne pole sił. Dualizm falowo-korpuskularny teorii kwantowej sprawia, że ten sam obiekt przejawia się zarówno jako materia, jak i jako siła.

We wszystkich dotychczasowych próbach sformułowania matematycznego opisu praw przyrody⁴² rządzących cząstkami elementarnymi opierano się na kwantowej teorii pola. Teoretyczne badania w tej dziedzinie podjęto w początkach lat trzydziestych. Jednakże już w pierwszych pracach napotkano bardzo poważne trudności, gdy próbowano powiązać teorię kwantową ze szczególną teorią względności. Na pierwszy rzut oka mogłoby się wydawać, że obie teorie - teoria kwantów i teoria względności - dotyczą tak różnych aspektów przyrody, że nie powinny mieć nic wspólnego ze sobą i że w związku z tym jest łatwo zadośćuczynić wymogom obu teorii za pomocą tego samego formalizmu matematycznego. Dokładniejsze badania dowodzą jednakże, że obie teorie kolidują ze sobą w pewnym punkcie, w którym właśnie rodzą się wszystkie trudności.

Struktura czasu i przestrzeni, którą ujawniła szczególna teoria względności, różni się nieco od struktury powszechnie przypisywanej czasowi i przestrzeni od powstania mechaniki Newtona. Najbardziej charakterystyczną cechą tej nowo odkrytej struktury jest istnienie maksymalnej prędkości, której nie może przekroczyć żadne poruszające się ciało ani żaden

41 Antyprotony, pozytony, neutrina i antyneutrina uznaje się za cząstki trwałe. (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

42 W tekście angielskim autor mówi o "opisie praw", w tekście przekładu niemieckiego mówi się o "opisie praw przyrody". (*Przyp. red. wyd. polskiego*)

sygnał, a która jest równa prędkości światła. W wyniku tego - dwóch zdarzeń w dwu oddalonych od siebie punktach nie może bezpośrednio łączyć żaden związek przyczynowy, jeżeli zaszły one w takich momentach, że sygnał świetlny wysłany z punktu pierwszego w chwili zajścia zdarzenia osiąga punkt drugi już po chwili, w której miało w nim miejsce drugie zdarzenie, i *vice versa*. W tym przypadku oba zdarzenia można nazwać zdarzeniami równoczesnymi. Ponieważ żadnego rodzaju oddziaływanie nie może być przekazane momentalnie z punktu do punktu, dwa te zdarzenia nie są związane więzią przyczynową, w żaden sposób nie mogą oddziaływać na siebie.

Z tego względu żadnego działania w dal (*actio in di-Stans*), działania tego typu, co działanie sił grawitacyjnych, o którym jest mowa w mechanice Newtona, nie można było uznać w szczególnej teorii względności, byłoby to bowiem z nią sprzeczne. Teoria musiała zastąpić tego rodzaju działanie działaniem bezpośrednim (*actio directa*) przekazywanym od danego punktu jedynie do punktów bezpośrednio z nim sąsiadujących. Najbardziej naturalnym matematycznym ujęciem tego rodzaju oddziaływań były równania różniczkowe dotyczące fal lub pól, niezmiennicze względem przekształceń Lorentza. Z tych równań różniczkowych wynika, że niemożliwe jest jakiegokolwiek bezpośrednie oddziaływanie na siebie zdarzeń równoczesnych.

Dlatego struktura czasu i przestrzeni, struktura, o której mówi szczególna teoria względności, powoduje ostre odgraniczenie obszaru równoczesności (w tym obszarze żadne oddziaływanie nie może być przekazywane) od innych obszarów, w których mogą zachodzić bezpośrednie oddziaływania jednych zdarzeń na inne.

Z drugiej strony relacja nieokreśloności, znana z teorii kwantów, określa granicę dokładności, z jaką można jednocześnie mierzyć położenia i pędy lub czas i energię. Skoro absolutnie ostra granica oznacza nieskończona dokładność pomiaru położenia w czasie i przestrzeni, to odpowiednie pędy lub energie muszą być zupełnie nieokreślone, co oznacza, że prawdopodobieństwo występowania dowolnie wielkich pędów i energii musi być ogromne.

Dlatego każda teoria, której celem jest zadośćuczynienie wymogom zarówno szczególnej teorii względności, jak i mechaniki kwantowej, prowadzi do sprzeczności matematycznych, do rozbieżności w dziedzinie bardzo wielkich energii i pędów. Tych wniosków - być może - nie musi się uznać za całkowicie pewne, ponieważ każdy formalizm rozpatrywanego wyżej rodzaju jest bardzo złożony i prawdopodobnie zapewnia pewne matematyczne możliwości uniknięcia rozbieżności między teorią kwantów a teorią względności. Jednakże wszystkie schematy matematyczne, które dotychczas zbadano, prowadziły albo do rozbieżności, tj. do sprzeczności matematycznych, albo nie spełniały wymogów obu teorii. Było też *rzeczą* jasną, że trudności rodziły się rzeczywiście we wspomnianym wyżej punkcie.

Nie spełnianie wymogów teorii względności lub teorii kwantowej przez zbieżne schematy matematyczne było samo przez się bardzo interesujące. Kiedy np. jeden ze schematów interpretowano, posługując się pojęciem rzeczywistych zdarzeń w czasie i przestrzeni, prowadził on do pewnego rodzaju odwrócenia kierunku czasu. Na podstawie tego można było przewidywać, że są procesy, w których nagle, w jakimś punkcie przestrzeni pierwszej powstają cząstki, energia zaś niezbędna do realizacji takich procesów dostarczana jest później, dzięki procesom zachodzącym w innym punkcie, a mianowicie dzięki zderzaniu się cząstek elementarnych. Jednakże doświadczenia przekonały fizyków, że tego rodzaju procesy nie zachodzą w przyrodzie, a przynajmniej nie zachodzą w tym przypadku, gdy dwa procesy dzieli mierzalna odległość w czasie i przestrzeni. W innym schemacie teoretycznym próbowano uniknąć rozbieżności w aparacie formalnym stosując procedurę matematyczną zwaną renormalizacją; wydawało się *rzeczą* możliwą "przesunąć" wielkości nieskończone występujące w aparacie matematycznym do takiego "miejsca", w jakim nie przeszkadzałyby one ustalić ściśle określonych stosunków między wielkościami, które mogą być bezpośrednio

obserwowane⁴³. Schemat ten rzeczywiście doprowadził do bardzo istotnych osiągnięć w elektrodynamice kwantowej, ponieważ wyjaśnił pewne interesujące szczegóły w widmie wodoru, których przedtem nie rozumiano. Jednakże dokładniejsza analiza tego schematu matematycznego wykazała, że jest rzeczą możliwą, iż wielkości, które w zwykłej teorii kwantowej musimy uznać za wielkości wyrażające prawdopodobieństwa, uzyskują w nim w pewnych warunkach wartości ujemne po dokonaniu renormalizacji. Oczywiście całkowicie uniemożliwiłoby to niesprzeczną logicznie interpretację tego formalizmu jako opisu materii, ponieważ ujemne prawdopodobieństwo jest terminem bezsensownym. Zaczęliśmy tu poruszać zagadnienia, które są głównym tematem dyskusji w fizyce współczesnej. Zostaną one kiedyś rozwiązane dzięki zwiększającej się dokładności pomiarów i gromadzeniu coraz dokładniejszych danych doświadczalnych dotyczących różnych cząstek elementarnych, ich powstawania i anihilacji, oraz sił działających między tymi cząstkami. Gdy szuka się możliwych rozwiązań, dzięki którym zniknęłyby trudności, o których była mowa, to należy chyba pamiętać, że istnienia omówionych wyżej procesów, związanych z odwróceniem kierunku czasu, nie można wykluczyć na podstawie doświadczenia, jeśli zachodzą one wewnątrz niezmiernie małych obszarów czasoprzestrzennych, gdzie za pomocą naszej dzisiejszej aparatury doświadczalnej nie jesteśmy w stanie szczegółowo badać procesów. Oczywiście nie jest się skłonny już teraz uznać istnienie procesów, w których kierunek czasu jest odwrócony, jeśli w jakimś przyszłym stadium rozwoju fizyki może się okazać, że uczeni są w stanie śledzić tego rodzaju zdarzenia w tym samym sensie, w jakim obecnie śledzimy zwykle zdarzenia atomowe. Ale analiza teorii kwantów i analiza teorii względności umożliwiają przedstawienie tej sprawy w nowym świetle.

Teoria względności jest związana z uniwersalną wielkością stałą występującą w przyrodzie - z prędkością światła. Stała ta określa stosunek między czasem a przestrzenią i dlatego zawierają ją siłą rzeczy wszystkie prawa przyrody, które muszą zadośćuczynić⁴⁴ wymogom niezmienniczości względem przekształceń Lorentza. Możemy posługiwać się językiem potocznym i pojęciami fizyki klasycznej tylko wtedy, gdy mamy do czynienia ze zjawiskami, które rozpatrując, można prędkość światła uznać w praktyce za nieskończoną.

Gdy w eksperymentach mamy do czynienia z prędkością zbliżającą się do prędkości światła, musimy być przygotowani do uzyskania wyników, których nie można wytłumaczyć za pomocą tych pojęć.

Teoria kwantów jest związana z inną uniwersalną stałą przyrody - stałą Plancka, kwantem działania. Obiektywny, czasoprzestrzenny opis zdarzeń jest możliwy jedynie wtedy, gdy mamy do czynienia z przedmiotami lub procesami stosunkowo wielkiej skali, kiedy więc w praktyce można uznać stałą Plancka za nieskończenie małą. Gdy podczas eksperymentów zbliżamy się do jakiejś dziedziny, w której kwant działania staje się czymś istotnym, natykamy się na wszystkie trudności związane ze zwykłymi pojęciami, omówione w poprzednich rozdziałach tej książki.

W przyrodzie musi istnieć trzecia uniwersalna stała. Staje się to jasne, gdy rozpatrujemy sprawę wymiarów fizycznych. Stałe uniwersalne określają niejako "skale przyrody", są to wielkości charakterystyczne, do których można sprowadzić wszystkie inne wielkości występujące w przyrodzie. Aby uzyskać pełny zestaw jednostek, musimy mieć przynajmniej trzy podstawowe jednostki. Najłatwiej się o tym przekonać rozpatrując takie konwencje, jak stosowany przez fizyków układ CGS (centymetr, gram, sekunda). Wystarczy mieć jednostkę długości, jednostkę czasu i jednostkę masy, aby stworzyć pełny układ jednostek, ale niezbędne są przynajmniej trzy takie jednostki. Zamiast tego można mieć jednostkę długości, jednostkę prędkości i jednostkę masy albo jednostkę długości, prędkości i energii itd., w każdym jednak przypadku nieodzowne są trzy jednostki podstawowe. Otóż prędkość światła i

43¹ W wydaniu niemieckim: "...między wielkościami mierzalnymi". (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

44 W wydaniu niemieckim: "...które zadośćuczynią..." (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

kwant działania to tylko dwie takie jednostki. Musi więc istnieć trzecia i tylko na podstawie takiej teorii, w której mielibyśmy do czynienia z tą trzecią jednostką, można by było ewentualnie określić masy i inne własności cząstek elementarnych. Z tego, co dziś wiemy o tych cząstkach, można wysnuć wniosek, że najwłaściwszym sposobem wprowadzenia trzeciej stałej uniwersalnej byłoby założenie istnienia uniwersalnej jednostki długości, której wielkość wynosiłaby ok. 10^{-13} cm, t.j. byłaby porównywalna z wielkością promienia lekkiego jądra atomowego. Jeśli utworzymy z tych trzech jednostek wyraz, którego wymiar odpowiada masie, to jego wartość liczbowa będzie tego rzędu, co wartość liczbowa mas cząstek elementarnych.

Jeżeli przyjmiemy, że prawa przyrody rzeczywiście zawierają trzecią stałą uniwersalną, której wymiarem jest długość i która ma wielkość rzędu 10^{-13} cm, to powinniśmy się spodziewać, że naszymi zwykłymi pojęciami możemy się posługiwać jedynie wtedy, gdy mamy do czynienia ze stosunkowo wielkimi obszarami czasu i przestrzeni, wielkimi w porównaniu z tą stałą uniwersalną. Powinniśmy być znowu przygotowani na to, że zetkniemy się ze zjawiskami o nowym charakterze jakościowym, gdy w toku doświadczeń zbliżymy się do obszarów w czasie i przestrzeni mniejszych niż promień jądra atomowego. Zjawisko odwrócenia kierunku czasu, zjawisko, o którym mówiliśmy i które dotychczas jest jedynie czymś możliwym, czymś, co wynika jedynie z rozważań teoretycznych, być może, zachodzi tylko w tych najmniejszych obszarach. Jeżeli rzeczywiście tak jest, to prawdopodobnie nie byłibyśmy w stanie go obserwować w sposób umożliwiający opisanie odpowiedniego procesu za pomocą terminów wyrażających pojęcia klasyczne. Takie procesy musiałyby być zgodne ze zwykłym kierunkiem czasu w tej mierze, w jakiej mogłyby być opisane za pomocą terminów klasycznych.

Wszystkie te zagadnienia będą jednak stanowiły problematykę przyszłych badań w dziedzinie fizyki atomowej. Można się spodziewać⁴⁵, że doświadczalne badanie cząstek elementarnych o

45 ¹ W wydaniu niemieckim zamiast fragmentu: "Wszystkie te zagadnienia będą stanowiły problematykę przyszłych badań w dziedzinie fizyki atomowej. Można się spodziewać..." — mamy tekst następujący:

"Jednakże dotychczas zbyt mało wiemy o procesach zachodzących w najmniejszych obszarach czasoprzestrzeni lub — co ze względu na relacje nieokreśloności w przybliżeniu odpowiada tej wypowiedzi — o procesach, w których toku przekazywane są największe energie i pędy. W badaniach, podczas których próbuje się na podstawie eksperymentów uzyskać bardziej pełną wiedzę o prawach przyrody określających strukturę materii, a tym samym strukturę cząstek elementarnych, szczególnie doniosłą rolę odgrywają pewne własności symetrii. Przypominamy, że według Platona najmniejsze cząstki materii były tworamii wybitnie symetrycznymi, a mianowicie bryłami geometrycznymi — foremnymi wielościanami: czworościanami, sześciocianami, ośmiościanami, dwudziestościanami. W fizyce współczesnej tego rodzaju symetria uzyskana za pomocą grupy obrotów w przestrzeni trójwymiarowej już nie budzi największego zainteresowania. To, z czym mamy do czynienia we współczesnej fizyce, nie jest bynajmniej formą przestrzenną, lecz prawem, czyli w pewnym sensie formą czasoprzestrzenną, wskutek czego te rodzaje symetrii, które się wiążą z aktualną tematyką badań fizycznych, muszą zawsze odnosić się zarówno do czasu, jak i przestrzeni. Wydaje się, że w teorii cząstek elementarnych określone typy symetrii rzeczywiście odgrywają decydującą, najważniejszą rolę. Poznajemy je w sposób empiryczny dzięki tak zwanym prawom zachowania i zespołowi liczb kwantowych, za pomocą których zdarzenia w świecie cząstek elementarnych można uporządkować zgodnie z danymi doświadczeń. Matematycznym wyrazem tych typów symetrii może być żądanie, aby podstawowe prawo przyrody rządzące materią było niezmiennicze względem określonych grup przekształceń. Te grupy przekształceń są najprostszym matematycznym wyrazem własności symetrii. W fizyce współczesnej zastępują one bryły geometryczne Platona. Wymienimy tu pokrótce najważniejsze spośród nich.

Grupa tak zwanych przekształceń Lorentza charakteryzuje strukturę przestrzeni i czasu, którą ujawniła szczególnie teoria względności.

Grupa, którą zbadali Pauli i Gursery, odpowiada pod względem swej struktury grupie obrotów w przestrzeni trójwymiarowej i jest, jak mówią matematycy, z tą grupą izomorficzna; przejawem jej jest występowanie liczby kwantowej, która została wykryta przed dwudziestu pięciu laty i została nazwana «izospinem».

Dwie następne grupy, które pod względem formalnym mają właściwości grupy obrotów wokół osi sztywnej, prowadzą do prawa zachowania ładunku, liczby barionów i liczby leptonów.

Wreszcie — prawa przyrody powinny być niezmiennicze względem określonych operacji odbicia zwierciadlanego, których szczegółowe omówienie jest tu zbędne. W tej dziedzinie wyjątkowo doniosłe i płodne okazały się badania Yanga i Lee, według których wielkość zwana parzystością, uznawana dotychczas za wielkość podlegającą prawu zachowania, w rzeczywistości mu nie podlega.

największej energii łącznie z analizą matematyczną sprawią kiedyś, iż w pełni zrozumiemy, na czym polega jedność materii. Zwrot "w pełni zrozumiemy" ma oznaczać, że formy materii - w sensie zbliżonym do sensu, jaki miał termin "forma" w filozofii Arystotelesa - okazałyby się rozwiązaniami wynikającymi z zamkniętego schematu matematycznego, przedstawiającego prawa przyrody rządzące materią.

Wszystkie znane dotychczas własności symetrii można wyrazić za pomocą prostego równania — mamy na myśli to, że powyższe równanie jest niezmiennicze względem wszystkich wymienionych tu grup przekształceń. Dlatego jest rzeczą nie wykluczoną, że równanie to prawidłowo wyraża prawa przyrody rządzące materią. Jednakże problem ten nie jest jeszcze rozstrzygnięty; zostanie on rozstrzygnięty z biegiem czasu dzięki ścisłej analizie matematycznej owego równania i porównaniu go z danymi doświadczeń, z danymi, których gromadzi się coraz więcej.

Lecz nawet abstrahując od tej możliwości, można się spodziewać..."

X. JĘZYK A RZECZYWISTOŚĆ W FIZYCE WSPÓŁCZESNEJ

Historia nauki świadczy o tym, że zdumiewające odkrycia i nowe teorie zawsze wywoływały dyskusje naukowe, powodowały ukazywanie się polemicznych publikacji,¹ w których nowe koncepcje poddawano krytyce, i że krytyka ta często okazywała się niezbędnym bodźcem udoskonalenia tych koncepcji. Jednakże niemal nigdy spory nie były tak zażarte, dyskusje tak zaciekle, jak w przypadku teorii względności i - w nieco mniejszym stopniu - mechaniki kwantowej. W obu tych przypadkach zagadnienia naukowe zostały koniec końców powiązane z kwestiami politycznymi, a niektórzy uczeni, pragnąc zapewnić zwycięstwo swym poglądom, uciekali się do metod politycznych. Aby zrozumieć tę gwałtowną reakcję na najnowsze osiągnięcia fizyki współczesnej, należy zdać sobie sprawę z tego, że w ich wyniku zaczęły ulegać zmianie podstawy fizyki, a być może - i wszystkich innych nauk przyrodniczych, wskutek czego powstało wrażenie, iż obsuwa się grunt, na którym wznosi się gmach nauki. Reakcja ta chyba świadczy również i o tym, że nie ma jeszcze odpowiedniego języka, którym można by było mówić o nowo powstałej sytuacji, i że opublikowanie niesłusznych wypowiedzi pod wpływem entuzjazmu, który wywołały nowe odkrycia, spowodowało różnego rodzaju nieporozumienia. Mamy tu rzeczywiście do czynienia z trudnym problemem, z kwestią o zasadniczym znaczeniu. Dzięki udoskonalonej technice doświadczalnej przedmiotem badań naukowych stały się w naszych czasach nowe aspekty przyrody, których nie można opisać, posługując się potocznymi pojęciami lub pojęciami fizyki poprzedniego okresu. Ale wobec tego w jakim języku należy je opisywać? W fizyce teoretycznej pierwszym językiem, który kształtuje się w toku naukowego wyjaśniania zjawisk, jest zazwyczaj język matematyki, schemat matematyczny, umożliwiający przewidywanie wyników doświadczeń. Fizyk może się zadowolić tym, że ma schemat matematyczny i wie, jak powinien się nim posługiwać, aby za jego pomocą opisać i zinterpretować doświadczenia, które wykonał. Musi on jednak mówić o uzyskanych wynikach również i niefizykom, którzy nie zadowolą się dopóty, dopóki wyników tych ktoś im nie wytłumaczy, posługując się zwykłym, dla wszystkich zrozumiałym językiem. Nawet dla samego fizyka możliwość sformułowania opisu w zwykłym języku stanowić będzie kryterium pozwalające ocenić, jaki stopień zrozumienia osiągnięto w danej dziedzinie. W jakiej mierze tego rodzaju opis jest w ogóle możliwy? Czy może on dotyczyć samego atomu? Jest to w równej mierze problem języka, jak problem fizyki, dlatego też niezbędne są tu pewne uwagi dotyczące języka w ogóle, a języka naukowego w szczególności.

Język stworzyła ludzkość w epoce prehistorycznej; powstał on jako narzędzie porozumiewania się i baza myślenia. Niewiele wiemy o etapach jego rozwoju. W każdym razie język zawiera obecnie wielką ilość pojęć, które można uznać za odpowiednie narzędzie bardziej lub mniej jednoznacznego przekazywania informacji o zdarzeniach życia codziennego. Pojęcia te stopniowo uzyskiwano posługując się językiem; tworząc je, nie poddawano ich krytycznej analizie. Dostatecznie częste używanie jakiegoś słowa sprawia, że sądzimy, iż mniej lub bardziej dokładnie wiemy, co ono znaczy. Oczywiście dobrze wiemy, że słowa bynajmniej nie mają tak ściśle określonego sensu, jak się może wydawać w pierwszej chwili, i że zakres ich stosowalności jest zawsze ograniczony. Można np. mówić o kawałku żelaza lub drzewa, ale nie można mówić o kawałku wody. Słowo "kawałek" nie da się zastosować do określenia cieczy. Inny jeszcze przykład: Podczas dyskusji na temat ograniczonej stosowalności pojęć Bohr lubił opowiadać następującą dykteryjkę: "Do małego sklepiku kolonialnego przychodzi chłopczyk, trzymając pensa, i pyta: -Czy mogę dostać mieszanych cukierków za jednego pensa?-Sklepikarz daje mu dwa cukierki i powiada: «Masz tu dwa cukierki, zmieszaj je sobie sam»". Przechodząc do spraw bardziej poważnych, można przytoczyć innego rodzaju przykład świadczący o tym, że stosunki między słowami a pojęciami są niejasne: jest faktem, że słów "czerwony" i "zielony" używają ludzie dotknięci dal-tonizmem, chociaż zakres stosowania tych terminów musi przecież być w tym przypadku zgoła inny niż wtedy, gdy tymi słowami posługują się inni ludzie.

Oczywiście, z tej immanentnej nieokreśloności sensu słów zdawano sobie sprawę już bardzo dawno i chciano je zdefiniować, czyli - zgodnie z sensem słowa "definicja" - ustalić granice, w których dane słowo i odpowiadające mu pojęcie mogą być stosowane. Jednakże definicji nie można podać, nie posługując się innymi pojęciami, przeto koniec końców trzeba się oprzeć na pewnych pojęciach nie zanalizowanych i nie zdefiniowanych, pojęciach takich, jakie one są.

W filozofii greckiej problem treści pojęć i znaczenia słów języka był jednym z najważniejszych zagadnień - począwszy od czasów Sokratesa, którego życie (jeśli

wierzyć artystycznej relacji zawartej w dialogach Platona) wpływało na ciągłych dyskusjach nad treścią pojęć języka i ograniczonością środków umożliwiających wyrażanie myśli. Pragnąc stworzyć trwałe i pewne podstawy myślenia naukowego, Arystoteles w swym *Orga-nonie* (pisma i traktaty logiczne) podjął analizę form języka, formalnej - niezależnej od treści - struktury wnioskowania i dowodzenia. Dzięki temu wzniósł się na ten poziom abstrakcji i osiągnął ten stopień ścisłości, których nie osiągnięto w poprzednim okresie, a tym samym w ogromnej mierze przyczynił się do wprowadzenia do naszego myślenia jasności i

określonego ładu Był on rzeczywiście twórcą podstaw języka nauki.

Logiczna analiza języka jest jednak związana z niebezpieczeństwem nadmiernego uproszczenia zagadnień. W logice zwraca się uwagę na pewne swoiste struktury, na jednoznaczne związki między przesłankami i wnioskami, na proste schematy rozumowania, pomija się natomiast wszystkie inne struktury językowe. Te inne struktury mogą powstawać np. w wyniku kojarzenia wtórnego znaczenia pewnych słów. Wtórne znaczenie jakiegoś słowa, znaczenie, które, gdy słowo to słyszemy, jedynie jak przez mgłę dociera do naszej świadomości, może wpłynąć w istotny sposób na treść jakiegoś zdania. Ten fakt, że każde słowo może wywołać wiele procesów myślowych, które jedynie na poły sobie uświadamiamy, jesteśmy w stanie wyzyskać do wyrażenia za pomocą naszego języka pewnych aspektów rzeczywistości w sposób bardziej jasny, niż można by było to uczynić posługując się schematem logicznym. Dlatego też poeci często przeciwstawiali się przecenianiu roli schematów logicznych w myśleniu i w mowie, schematów, które mogą - jeśli właściwie rozumiem myśl poetów - sprawić, że język stanie się mniej przydatny do celu, w jakim został stworzony. Przypomnieć tu można fragment *Fausta* Goethego, fragment, w którym Mefistofeles mówi do młodego ucznia:

*Korzystaj z chwili, bo się wnet oddala!
Lecz, że porządek mnożyć czas pozwala,
Mój. przyjacielu, przeto naprzód radzę,
"Collegium Logicum" mieć na uwadze.
Tam duch wasz wnet się wytresuje,
W hiszpańskie buty zasznurowuje,
I już roztropniej wówczas może
Czołgać się po myśli torze,
A nie jak ogień błędny jaki
Gdzieś majaczyć w kręte szlaki.
Potem wykażą wśród ciężkiej udreki,
Że coście dotąd robili od ręki,
Jak, dajmy na to, jedzenie i picie,
Bez - raz, dwa, trzy - nie było należycie.
Wszak warsztat myśli bywa raczej
Podobny do arcydzieł tkaczy,
Gdzie tysiąc myśli jeden ruch podważy,
Czółenka tam i nazad biega*

*Tak, że ich oczy nie dostrzegą,
I jeden przycisk tysiące kojarzy.
Wtedy filozof wraz nadchodzi
I że tak musi być dowodzi:
Że pierwsze tak, a drugie tak,
Przeto więc trzecie i czwarte znów tak,
Gdyby pierwszego z drugim zaś nie było,
To by się trzecie z czwartym nie zdarzyło.
Wielu to uczni wszędy chwali,
Ale tkaczami jednak nie zostali.
Gdy poznać i opisać chce się coś żywego,
To naprzód trzeba ducha wygnać z niego,
A wnet się części w rękę trzyma,
Tylko niestety ducha łączni nie ma.
(Przekład W. Kościelskiego)*

Mamy tu godny podziwu opis struktury języka i uzasadnioną krytykę ograniczoności prostych schematów logicznych. Niemniej jednak nauka musi być oparta na języku - jedynym narzędziu przekazywania informacji, a schematy logiczne powinny odgrywać właściwą sobie rolę tam, gdzie uniknięcie dwuznaczności jest rzeczą szczególnie ważną. Stykamy się tu z pewną swoistą trudnością, którą można przedstawić w następujący sposób. W naukach przyrodniczych staramy się wyprowadzić to, co szczególne, z tego, co ogólne; pojedyncze zjawisko powinno być ujęte jako wynik działania prostych ogólnych praw. Językowe sformułowania tych praw mogą zawierać jedynie niewielką ilość prostych pojęć⁴⁶; w przeciwnym przypadku prawa nie będą ani proste, ani ogólne. Z pojęć tych należy wyprowadzić nieskończoną różnorodność możliwych zjawisk oraz ich charakterystykę - nie przybliżoną i jakościową, lecz bardzo dokładną we wszystkich szczegółach. Jest rzeczą oczywistą, że pojęcia występujące w języku potocznym, tak przecież niedokładne i nieostre, nigdy by tego nie umożliwiły. Jeśli z danych przesłanek mamy wyprowadzić łańcuch wniosków, to liczba możliwych ogniw tego łańcucha zależy od ścisłości sformułowania przesłanek. Dlatego w naukach przyrodniczych pojęcia występujące w ogólnych prawach muszą być zdefiniowane w sposób tak precyzyjny, jak to tylko jest możliwe, a osiągnąć to można jedynie dzięki abstrakcji matematycznej.

W innych naukach może istnieć podobna sytuacja, jako że i tutaj ścisłe definicje

46 W wydaniu niemieckim: "...niewielką ilość pojęć..." (Przyp. red. wyd. polskiego).

bywają niezbędne, np. w nauce prawa. Tu jednak ilość ogniw w łańcuchu wniosków nigdy nie jest bardzo wielka, przeto całkowita ścisłość nie jest konieczna, w związku z czym mniej więcej ściśle definicje w terminach języka potocznego w większości przypadków okazują się wystarczające.

W fizyce teoretycznej usiłujemy zrozumieć pewne grupy zjawisk wprowadzając symbole matematyczne, które można przyporządkować pewnym faktom, a mianowicie wynikom pomiarów. Symbole określamy za pomocą nazw, które uwidaczniają związek tych symboli z pomiarem. W ten sposób symbole zostają powiązane ze zwykłym językiem. Następnie za pomocą ścisłego systemu definicji i aksjomatów symbole wiążą się wzajemnie, a wreszcie, pisząc równania, w których występują te symbole, wyraża się prawa przyrody. Nieskończona różnorodność rozwiązań tych równań odpowiada nieskończonej różnorodności poszczególnych zjawisk możliwych w danym obszarze przyrody. W ten sposób schemat matematyczny przedstawia grupę zjawisk w tej dziedzinie, w której symbole odpowiadają wynikom pomiarów. Ta właśnie odpowiedniość pozwala wyrażać prawa przyrody w terminach języka potocznego, ponieważ nasze doświadczenia, składające się z działań i obserwacji, zawsze można opisać w tym języku.

W trakcie procesu rozwoju nauki i związanego z tym rozszerzania się zakresu wiedzy rozszerza się również baza językowa; wprowadza się nowe terminy, a stare zaczyna się stosować w innym zakresie i w innym sensie niż w języku potocznym. Takie terminy, jak "energia", "elektryczność", "entropia" - to przykłady dobrze znane. W ten sposób rozwijamy język nauki, który nazwać można naturalną, dostosowaną do nowo powstałych dziedzin wiedzy kontynuacją języka potocznego, wynikiem rozszerzenia jego ram.

W ubiegłym stuleciu wprowadzono do fizyki szereg nowych pojęć; w niektórych przypadkach upłynąć musiało sporo czasu, zanim fizycy przywykli posługiwać się nimi. Np. fizykom, których uwaga przedtem była skupiona przede wszystkim na problemach mechanicznego ruchu materii, niełatwo było przyswoić sobie takie pojęcie, jak pojęcie pola elektromagnetycznego, mimo że pojęcie to w pewnym sensie występowało już w pracach

Faradaya, a później stało się podstawą teorii Maxwella. Wprowadzenie tego pojęcia było związane ze zmianą podstawowych wyobrażeń naukowych, a tego rodzaju zmiany nigdy nie są łatwe.

W końcu XIX wieku wszystkie pojęcia przyjęte w fizyce stanowiły doskonale spójny system⁴⁷, który można było stosować do interpretacji bardzo wielu doświadczeń. System ten wraz ze starymi pojęciami był językiem, którym mógł z powodzeniem posługiwać się w

47 W wydaniu niemieckim: "...stanowiły system zamknięty...." (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

pracy nie tylko uczonej, lecz również technik lub inżynier. Jednym z podstawowych, fundamentalnych założeń tego języka była koncepcja, która głosiła, że następstwo zjawisk w czasie jest całkowicie niezależne od ich uporządkowania w przestrzeni, że geometrią rzeczywistej przestrzeni jest geometria Euklidesa i że zdarzenia zachodzą w czasie i w przestrzeni niezależnie od tego, czy są obserwowane, czy nie. Oczywiście nie przeczesano, że każda obserwacja ma pewien wpływ na zjawisko obserwowane, lecz powszechnie sądzono, że dzięki starannemu wykonaniu pomiarów można wpływ ten nieograniczenie zmniejszać. To właśnie wydawało się koniecznym warunkiem urzeczywistnienia ideału obiektywności, który uznano za podstawę wszystkich nauk przyrodniczych.

Teoria kwantów i szczególna teoria względności nagle zakłóciły ów względny spokój panujący w fizyce. Teorie te powodowały najpierw powolną, później zaś coraz szybszą zmianę podstaw nauk przyrodniczych. Pierwsze burzliwe dyskusje, dotyczące zagadnień czasu i przestrzeni, wywołała teoria względności. W jaki sposób należy mówić o nowo powstałej sytuacji? Czy skrócenie lorentzowskie poruszających się ciał należy traktować jako skrócenie rzeczywiste, czy jako pozorne? Czy należy mówić, że struktura czasu i przestrzeni jest rzeczywiście inna, niż sądzono dotychczas, czy raczej ograniczyć się do twierdzenia, że wyniki doświadczeń można ująć matematycznie w sposób odpowiadający nowej strukturze, natomiast przestrzeń i czas, będąc koniecznymi i powszechnymi formami, w jakich jawią się nam *rzeczy*⁴⁸, pozostają tym samym, czym były zawsze? Rzeczywisty problem, ukryty za szeregiem tego rodzaju zagadnień stanowiących przedmiot sporu, polegał na tym, że nie istniał język, za pomocą którego można by było opisać nową sytuację nie popadając w sprzeczności. Zwykły język był oparty na starych pojęciach przestrzeni i czasu, a jednocześnie stanowił jedyne narzędzie jednoznacznego przekazywania informacji o sposobie wykonania i wynikach naszych doświadczeń. A obecnie doświadczenia wykazały, że nie zawsze można się posługiwać starymi pojęciami.

Dlatego naturalnym punktem wyjścia interpretacji teorii względności było to, że w granicznym przypadku małych prędkości (małych - w porównaniu z prędkością światła) nową teorię można uznać za identyczną ze starą. Z tego względu było rzeczą oczywistą, jak należy w tej części teorii interpretować symbole matematyczne, w jaki sposób należy je powiązać z pojęciami języka potocznego oraz z doświadczeniem. Jedynie dzięki tego rodzaju powiązaniu zostały przedtem wykryte przekształcenia Lorentza. W tej dziedzinie nie było więc kłopotu z dwuznacznością sensu słów i symboli. Powiązanie to już wystarczało, aby teorię można było stosować w całym obszarze badań doświadczalnych dotyczących zagadnienia względności.

48 W wydaniu niemieckim: "...powszechnymi formami oglądu (*Anschauungsformen*), w jakich jawi się nam świat".

Toteż kwestie sporne: czy skrócenie lorentzowskie jest czymś rzeczywistym, czy też tylko czymś pozornym, kwestia definicji terminu jednoczesności itd. - właściwie nie dotyczyły faktów, lecz tylko języka.

Jeśli zaś chodzi o język, to z biegiem czasu przekonano się, że nie należy kłaść zbyt dużego nacisku na ustalone zasady. Zawsze jest rzeczą trudną znalezienie kryteriów, o których słuszności wszystkich można by było przekonać, a które decydowałyby o tym, jakimi pojęciami należy się posługiwać i w jaki sposób należy je stosować. Być może, bardziej właściwe i prostsze byłoby oczekiwanie na wynik rozwoju języka, który po pewnym czasie sam dostosowuje się do nowo powstałych sytuacji. Jeśli chodzi o teorię względności, proces ten w ciągu ostatnich pięćdziesięciu lat w znacznej mierze już się dokonał. Np. różnica między "rzeczywistym" i "pozornym" skróceniem relatywistycznym po prostu znikła. Pojęciem jednoczesności obecnie posługujemy się na ogół w sposób zgodny z definicją podaną przez Einsteina, podczas gdy innemu pojęciu, o którym była mowa w jednym z poprzednich rozdziałów tej książki, odpowiada dziś określenie powszechnie już używane "interwał przestrzenno-podobny" (*space-like distance, ranmartigen Abstand*) itd.

Właściwa ogólna teoria względności koncepcja, wedle której geometria nieeuklidesowa jest geometrią przestrzeni rzeczywistej, stała się przedmiotem gwałtownych ataków. Zaatakowali ją niektórzy filozofowie, którzy głosili, że już sposób wykonywania naszych eksperymentów, ich metoda zakłada geometrię euklidesową.

Jeśli np. mechanik pragnie uzyskać doskonale płaską powierzchnię, postępuje w następujący sposób: sporządza trzy płytki o podobnych rozmiarach i o powierzchni w przybliżeniu płaskiej; następnie przykłada je parami tak, aby do siebie przylegały w różnych położeniach. Dokładność, z jaką płytki te przylegają do siebie w różnych położeniach, jest miarą dokładności, z jaką uznać je można za płaskie. Mechanika zadowolą uzyskane płaszczyzny tylko wtedy, gdy każda ich para będzie przylegać do siebie we wszystkich punktach powierzchni. Jeśli to osiągnie, będzie można dowieść matematycznie, że na tych trzech powierzchniach słuszna jest geometria Euklidesa. A przeto (tak argumentował np. H. Dingler) nasza własna działalność sprawia, że spełnia się ta geometria.

Z punktu widzenia ogólnej teorii względności można oczywiście powiedzieć, że powyższe rozumowanie dowodzi jedynie tego, że geometria Euklidesa jest słuszna, jeśli chodzi o obszary małe - o wielkości zbliżonej do rozmiarów przyrządów doświadczalnych.

Dokładność, z jaką spełniają się tu twierdzenia tej geometrii, jest tak wielka, że w wyżej opisany sposób zawsze można uzyskać powierzchnie płaskie. Znikomo małe odchylenia od geometrii euklidesowej, które istnieją nawet w tym obszarze, nie zostaną

zauważone, albowiem powierzchnie nie są wykonane z materiału idealnie sztywnego, lecz ulegającego pewnym niewielkim odkształceniom, a pojęcie przylegania nie może być zdefiniowane całkowicie ściśle. Opisaną wyżej procedurę nie można zastosować do powierzchni o wymiarach kosmicznych. To jednak już nie należy do zagadnień fizyki doświadczalnej.

A więc ponownie: naturalnym punktem wyjścia fizycznej interpretacji matematycznego schematu ogólnej teorii względności jest fakt, że geometria małych obszarów bardzo niewiele się różni od euklidesowej. W tych obszarach ogólna teoria względności zbliża się do teorii klasycznej. Dlatego istnieje w tym przypadku jednoznaczna odpowiedniość między symbolami matematycznymi a wynikami pomiarów i zwykłymi pojęciami.

Mimo to z punktu widzenia fizyki w bardzo wielkich obszarach może być słuszna geometria nieeuklidesowa. Zanim jeszcze powstała ogólna teoria względności (i to znacznie wcześniej), matematycy, zwłaszcza zaś Gauss z Getyngi, rozpatrywali możliwość istnienia nieeuklidesowej geometrii przestrzeni rzeczywistej. Kiedy Gauss wykonał bardzo dokładne pomiary geodezyjne trójkąta, którego wierzchołkami były trzy szczyty - Brocken w Harzu, Inselberg w Turynгии i Hohen Hagen w pobliżu Getyngi - to podobno dokładnie sprawdził, czy suma kątów tego trójkąta wynosi rzeczywiście 180° ; uważał on, że może ona okazać się nieco inna, co świadczyłoby o tym, że istnieje tu odchylenie od geometrii Euklidesa. Jednakże w granicach dokładności pomiarów nie udało mu się stwierdzić owego odchylenia.

W przypadku ogólnej teorii względności język, którym posługujemy się, opisując ogólne prawa, jest w wielkim stopniu zgodny z naukowym językiem matematyków; opisując zaś same eksperymenty, korzystamy ze zwykłych pojęć, ponieważ w małych obszarach geometria euklidesowa jest słuszna w dostatecznie wielkim przybliżeniu.

Jednakże najtrudniejsze zagadnienia związane z posługiwaniem się językiem potocznym pojawiają się dopiero w teorii kwantów. Nie ma tu żadnych prostych zasad przewodnich, które by umożliwiły przyporządkowanie symbolom matematycznym pojęć języka potocznego. To tylko wiemy od początku, że nasze pojęcia potoczne nie nadają się do opisu struktury atomu. Można by było i tu uznać za naturalny punkt wyjścia fizycznej interpretacji aparatu formalnego ten fakt, że matematyczny schemat mechaniki kwantowej, ilekroć chodzi o układy wielkie (w porównaniu z atomami), zbliża się do mechaniki klasycznej. Ale nawet i to można twierdzić tylko z pewnymi zastrzeżeniami. Również i w tych przypadkach równania mechaniki kwantowej mają wiele rozwiązań, do których nie są analogiczne żadne rozwiązania równań mechaniki klasycznej. W rozwiązaniach tych pojawiać się będzie omówiona poprzednio "interferencja prawdopodobieństw", nie

występująca w mechanice klasycznej. Dlatego też w granicznym przypadku wymiarów bardzo dużych przyporządkowanie symbolom matematycznym wyników pomiarów z jednej strony, zwykłych zaś pojęć, ze strony drugiej - nie jest bynajmniej proste. Aby uzyskać jednoznaczne przyporządkowanie, koniecznie trzeba uwzględnić jeszcze inny aspekt zagadnienia. Należy koniecznie uwzględnić to, że układ opisywany zgodnie z metodami mechaniki kwantowej jest w rzeczywistości częścią o wiele większego układu (ewentualnie - całego wszechświata); między nim a tym większym układem zachodzi oddziaływanie wzajemne. Dodać ponadto trzeba, że o mikroskopowych własnościach tego większego układu wiemy co najwyżej niewiele. Jest to bez wątpienia właściwy opis istniejącej sytuacji, jako że układ nie mógłby być przedmiotem pomiarów i badań teoretycznych i nie należałby do świata zjawisk, gdyby nie łączyło go oddziaływanie wzajemne z owym większym układem, którego częścią jest sam obserwator. Oddziaływanie wzajemne z tym większym układem o własnościach mikroskopowych w znacznym stopniu nieznanych wprowadza do opisu - zarówno kwantowomechanicznego, jak i klasycznego - nowy element statystyczny, który musimy uwzględnić. W granicznym przypadku - gdy mamy do czynienia z układem makroskopowym, element statystyczny w takiej mierze eliminuje skutki "interferencji prawdopodobieństw", że schemat mechaniki kwantowej rzeczywiście upodabnia się do aparatu fizyki klasycznej. Toteż w tym przypadku można jednoznacznie przyporządkować symbolom matematycznym pojęcia występujące w zwykłym języku i przyporządkowanie to wystarcza do interpretacji doświadczenia. Pozostałe zagadnienia również dotyczą raczej języka niż faktów, jako że do treści pojęcia "fakt" należy i to, że możemy go opisać posługując się zwykłym językiem.

Jednakże problemy związane z językiem, z którymi mamy tu do czynienia, są bardzo istotne. Chcemy w jakiś sposób mówić o strukturze atomu, nie zaś wyłącznie o takich faktach, jak np. czarne plamki na kliszy fotograficznej albo kropelki w komorze Wilsona. Posługując się językiem potocznym, nie możemy jednak mówić o samych atomach.

Kontynuując analizę, można teraz podążać w dwóch przeciwstawnych kierunkach. Po pierwsze - można pytać o to, jaki język ukształtował się w fizyce atomowej w ciągu trzydziestu lat, które minęły od powstania mechaniki kwantowej. Po drugie, można rozpatrzeć próby stworzenia ścisłego języka naukowego, który odpowiadałby schematowi matematycznemu mechaniki kwantowej.

Odpowiadając na powyższe pytanie, można powiedzieć, że wprowadzenie pojęcia komplementarności do interpretacji teorii kwantów (uczynił to Bohr) zachęciło fizyków do posługiwania się raczej niejednoznaczными niż jednoznaczными terminami, do posługiwania

się pojęciami klasycznymi - zgodnie z relacjami nie-określoności - w taki sposób, że stawały się one nieco mgliste, do stosowania na przemian różnych pojęć klasycznych, które stosowane jednocześnie prowadziłyby do sprzeczności. Dlatego właśnie, mówiąc o orbitach elektronowych, o falach materii lub gęstości ładunku, o energii i pędzie itd., zawsze należy pamiętać o fakcie, że pojęcia te mają jedynie bardzo ograniczony zakres stosowalności. Kiedy posługiwanie się językiem w ten nieprecyzyjny i niesystematyczny sposób rodzi trudności, fizyk powinien powrócić do schematu matematycznego i wyzyskać jednoznaczny związek tego schematu z faktami doświadczalnymi.

Taki sposób posługiwania się językiem pod wieloma względami jest całkiem dobry, jako że przypomina nam podobny sposób posługiwania się językiem w życiu codziennym i w poezji.

Uświadamiamy sobie, że komplementarność występuje nie tylko w świecie zjawisk atomowych; mamy z nią do czynienia również i wtedy, gdy zastanawiamy się nad naszymi decyzjami i motywami tych decyzji lub gdy musimy dokonać wyboru: czy mamy zachwycać się utworem muzycznym, czy analizować jego strukturę. Z drugiej strony - ilekroć posługujemy się pojęciami klasycznymi w powyższy sposób, zachowują one pewną chwiejność i jeśli chodzi o ich stosunek do "rzeczywistości", uzyskują sens jedynie statystyczny, taki sam, jaki mają pojęcia klasycznej nauki o cieple w swej interpretacji statystycznej. Dlatego warto tu chyba wspomnieć o statystycznych pojęciach termodynamiki.

W klasycznej termodynamice termin "temperatura" zdaje się opisywać obiektywną własność rzeczywistości, obiektywną własność materii. W życiu codziennym dość łatwo określić, powołując się na wskazania termometru, co mamy na myśli, gdy mówimy, że jakieś ciało ma taką, a nie inną temperaturę. Kiedy jednak chcemy sprecyzować sens pojęcia "temperatura atomu", to nawet w ramach fizyki klasycznej znajdziemy się w znacznie trudniejszej sytuacji. Pojęciu "temperatura atomu" nie potrafimy przyporządkować jakiegokolwiek jasno i ściśle określonej własności atomu i jesteśmy zmuszeni powiązać je, przynajmniej częściowo, z niepełnością naszej wiedzy o nim. Możemy powiązać wartość temperatury z pewnymi statystycznymi wartościami oczekiwanymi, dotyczącymi własności atomu, ale wydaje się raczej rzeczą wątpliwą, czy wartościom tym można przypisać sens obiektywny. Pojęcie temperatury atomu nie o wiele lepiej jest zdefiniowane niż pojęcie mieszaniny w cytowanej wyżej dykterijce o chłopcu kupującym cukierki.

Podobnie jest w teorii kwantów: wszystkie pojęcia klasyczne, gdy stosujemy je do atomów, są w równym stopniu - nie bardziej i nie mniej - określone, jak pojęcie temperatury

atomu. Są one związane z pewnymi wielkościami statystycznymi - wartościami oczekiwanymi. W rzadkich tylko przypadkach wartość oczekiwana, nadzieja matematyczna - graniczy z pewnością. Tak jak w klasycznej termodynamice, trudno jest nazwać te wartości czymś obiektywnym. Można ewentualnie powiedzieć, że reprezentują one obiektywną tendencję lub możliwość, "potencję" w sensie arystotelesowskim. Sądę, że język, którym fizycy posługują się, mówiąc o zdarzeniach mikroświata, wywołuje w ich umysłach skojarzenia z pojęciami podobnymi do arystotelesowskiego pojęcia potencji. Tak więc np. stopniowo przyzwyczaili się oni mówić o orbitach elektronowych itd. nie jako o czymś rzeczywistym, lecz raczej jako o pewnego rodzaju "potencji". Język, przynajmniej w pewnej mierze, przystosował się do istniejącej sytuacji. Nie jest to jednakże ścisły język, którym można by było posługiwać się w normalnym procesie wnioskowania logicznego; jest to język, który wywołuje w naszym umyśle obrazy, a jednocześnie poczucie tego, że obrazy owe są związane z rzeczywistością w sposób luźny, że wyrażają jedynie zbliżanie się do rzeczywistości.

Właśnie owa nieścisłość języka, którym posługują się fizycy, nieścisłość wynikająca z samej jego istoty, pobudziła do podjęcia prób stworzenia języka innego, ścisłego, umożliwiającego posługiwanie się pewnym określonym schematem wnioskowania logicznego i całkowicie odpowiadającego wymogom matematycznego schematu teorii kwantów. Z tych prób, podjętych przez Birkhoffa i von Neumanna, później zaś przez von Weizsackera, wynika, że schemat matematycznej teorii kwantowej można zinterpretować jako rozszerzenie lub modyfikację logiki klasycznej. W szczególności należy zmodyfikować pewne podstawowe twierdzenie logiki klasycznej. W logice tej zakłada się, że jeśli tylko zdanie ma jakiś sens, to bądź ono samo, bądź jego negacja - musi być zdaniem prawdziwym. Z dwóch zdań: "Tu znajduje się stół" oraz: "Tu nie ma stołu" - jedno musi być prawdziwe. *Tertium non datur*; trzecia możliwość nie istnieje. Może się zdarzyć, że nie wiemy, które z dwóch zdań jest prawdziwe, ale w "rzeczywistości" jedno z nich jest prawdziwe.

W teorii kwantów to prawo *tertium non datur* ma ulec modyfikacji. Przeciwno wszelkim próbom modyfikacji tego podstawowego twierdzenia można oczywiście od razu zaoponować, powołując się na argument, że twierdzenie to jest słuszne, jeśli chodzi o język potoczny, i że co najmniej o ewentualnej modyfikacji logiki musimy mówić posługując się właśnie tym językiem. Dlatego też sformułowany w języku potocznym opis takiego schematu logicznego, który w tym języku nie znajduje zastosowania, byłby wewnętrznie sprzeczny. Von Weizsacker wyjaśnia tu jednak, że należy odróżnić rozmaite poziomy (*levels*) języka.

Pierwszy poziom dotyczy obiektów - na przykład atomów lub elektronów; drugi -

twierdzeń o obiektach; trzeci - może dotyczyć twierdzeń o twierdzeniach o obiektach itd. Na różnych poziomach można by było posługiwać się różnymi schematami logicznymi. Co prawda, koniec końców musielibyśmy powrócić do języka naturalnego, a tym samym do logiki klasycznej. Von Weizsacker proponuje jednak, aby uznać, że logika klasyczna jest w stosunku do logiki kwantowej aprioryczna w podobnym sensie jak fizyka klasyczna w stosunku do teorii kwantów. Wówczas logika klasyczna byłaby zawarta jako pewnego rodzaju przypadek graniczny w logice kwantowej, ta zaś ostatnia miałaby charakter bardziej ogólny.

Ewentualna modyfikacja logiki klasycznej dotyczyłaby przede wszystkim tego poziomu języka, który odnosi się do obiektów. Wyobraźmy sobie, że atom porusza się w zamkniętej komorze przedzielonej przesłoną na dwie równe części. W przesłonie jest mały otwór, przez który atom może się przedostać. Zgodnie z logiką klasyczną atom powinien znajdować się bądź w lewej, bądź w prawej części komory; trzecia możliwość nie istnieje, *tertium non datur*. Z punktu widzenia teorii kwantów musielibyśmy jednak dodać, jeśli mielibyśmy w ogóle posługiwać się w niej takimi pojęciami, jak atom i komora, że istnieją jeszcze inne możliwości, z których każda stanowi pewien dziwny splot dwóch poprzednio wymienionych. Jest to teza niezbędna do wytłumaczenia wyników naszych doświadczeń. Możemy np. obserwować światło rozpraszane przez atom. Przeprowadzić możemy trzy doświadczenia: Podczas pierwszego - atom znajduje się w lewej części komory (wskutek tego np., że otwór w przesłonie jest zamknięty); zmierzony zostaje rozkład natężeń w widmie rozproszonego światła. Drugie doświadczenie jest analogiczne, lecz atom znajduje się w prawej części komory. Podczas trzeciego doświadczenia atom może się poruszać swobodnie po całej komorze (szczelina jest otwarta); ponownie mierzymy tu rozkład natężeń w widmie rozproszonego światła. Gdyby atom znajdował się zawsze albo w lewej, albo w prawej połowie komory, to rozkład natężeń w widmie światła rozproszonego powinien stanowić tym razem sumę (o proporcji odpowiadającej ułamkom czasu, w których atom znajdował się w lewej i w prawej części komory) rozkładów poprzednich. Doświadczenie jednak dowodzi, że - mówiąc ogólnie - tak nie jest. Rzeczywisty rozkład natężeń jest inny, w wyniku "interferencji prawdopodobieństw", o której mówiliśmy już poprzednio.

Aby ująć ten stan rzeczy, von Weizsacker wprowadził termin "stopień prawdziwości" (*Wahrheitswert*). Każdej wypowiedzi będącej członem takiej alternatywy, jak: "Atom znajduje się bądź w prawej, bądź w lewej części komory" - ma odpowiadać pewna liczba zespolona jako miara stopnia jej prawdziwości. Jeśli liczbą tą jest 1, oznacza to, że wypowiedź jest prawdziwa, jeśli 0 - że jest ona fałszywa. Możliwe są jednak również i inne wartości. Kwadrat absolutnej wartości tej liczby wyznacza prawdopodobieństwo prawdziwości

wypowiedzi. Suma prawdopodobieństw obu członów alternatywy musi być równa jedności. Ale każda para liczb zespolonych dotycząca obu członów alternatywy przedstawia, zgodnie z definicją von Weizsackera, wypowiedź, która jest na pewno prawdziwa, jeśli liczby te mają takie właśnie wartości; dwie liczby np. wystarczają do określenia rozkładu natężeń w widmie światła rozproszonego w przypadku poprzednio omówionego doświadczenia. Jeśli terminem "wypowiedź" posługujemy się w taki sposób, to za pomocą następującej definicji możemy wprowadzić termin "komplementarność": Każda wypowiedź, która nie jest identyczna z żadnym członem alternatywy (w wyżej rozpatrywanym przypadku: ani z wypowiedzią "atom znajduje się w lewej części komory", ani z wypowiedzią "atom znajduje się w prawej części komory"), nazywa się wypowiedzią komplementarną w stosunku do tych wypowiedzi. Z punktu widzenia każdej wypowiedzi komplementarnej to, czy atom znajduje się w prawej, czy w lewej części komory, jest nie rozstrzygnięte (*not decided, unentschieden*). Ale "nie rozstrzygnięte" nie znaczy tu bynajmniej tyle, co "nie wiadome". Gdybyśmy stosowali tu termin "nie wiadome", znaczyłoby to, że atom rzeczywiście znajduje się bądź w jednej, bądź w drugiej części komory, a my tylko nie wiemy, w której. Natomiast termin "nie rozstrzygnięte" oznacza coś innego, coś, co może wyrazić jedynie wypowiedź komplementarna.

Ten ogólny schemat logiczny, którego szczegółowo nie możemy tutaj omówić, jest całkowicie zgodny z formalizmem matematycznym teorii kwantów. Stanowi on podstawę ścisłego języka, którym można się posługiwać, aby opisać strukturę atomu. Posługiwanie się tym językiem stwarza jednak szereg trudności, spośród których omówimy tylko dwie: pierwsza jest związana ze stosunkiem wzajemnym różnych poziomów języka, druga - z wnioskami dotyczącymi ontologii będącej jego podłożem.

W logice klasycznej stosunek między różnymi szczeblami języka jest stosunkiem odpowiedniości jednojednoznacznej. Dwa zdania: "Atom znajduje się w lewej części komory" i "Prawdą jest, że atom znajduje się w lewej części komory" - z punktu widzenia logiki należą do różnych poziomów języka. W logice klasycznej te dwa zdania są całkowicie równoważne w tym sensie, że oba są bądź prawdziwe, bądź fałszywe. Jest rzeczą niemożliwą, aby jedno z nich było prawdziwe, drugie zaś - fałszywe. Natomiast w logicznym schemacie komplementarności zależność ta jest bardziej skomplikowana. Prawdziwość (lub fałszywość) pierwszego zdania nadal implikuje prawdziwość (*resp.* fałszywość) drugiego. Jeśli jednak drugie zdanie jest fałszywe, to z tego nie wynika, że fałszywe jest zdanie pierwsze. Jeśli drugie zdanie jest fałszywe, to może być kwestią nie rozstrzygniętą, czy atom znajduje się w lewej części komory; atom nie musi koniecznie znajdować się w prawej części. Istnieje tu

więc nadal pełna równoważność dwóch poziomów języka, jeśli chodzi o prawdziwość zdań; nie ma jej jednak, jeśli chodzi o ich fałszywość. Dzięki tej zależności można zrozumieć to, że prawa klasyczne przetrwały w pewnym sensie w teorii kwantów. Ilekroć rozpatrzenie eksperymentu z punktu widzenia praw klasycznych będzie prowadziło do określonego wniosku, wniosek ten będzie wynikał również z teorii kwantów i potwierdzą go dane eksperymentalne.

Dalszym celem von Weizsackera jest zastosowanie zmodyfikowanej logiki również na wyższych poziomach języka. Związanych z tym problemów jednak nie możemy tutaj rozpatrzyć.

Drugie zagadnienie dotyczy ontologii, którą zakłada nowy schemat logiczny. Jeśli para liczb zespolonych reprezentuje wypowiedź w wyżej podanym sensie, to musi istnieć "stan" albo "sytuacja" w przyrodzie, w której twierdzenie to jest prawdziwe. Będziemy używali w tym kontekście terminu "stan". Stany odpowiadające wypowiedziom komplementarnym von Weizsacker nazywa więc "stanami współistniejącymi". Termin "współistniejące" właściwie wyraża to, o co tu chodzi; istotnie, trudno by było nazwać je "różnymi stanami", w każdym z nich bowiem są w pewnej mierze zawarte również inne współistniejące stany. To określenie pojęcia stanu mogłoby więc stanowić pierwszą definicję dotyczącą ontologii teorii kwantów. Widzimy tu od razu, że sposób, w jaki używa się tu terminu "stan", a zwłaszcza "stany współistniejące", tak różni się od tego, z czym mamy do czynienia w zwykłej ontologii materialistycznej, że można nawet mieć wątpliwości, czy posługujemy się właściwą terminologią. Jeśli jednak traktuje się termin "stan" jako termin oznaczający raczej pewną możliwość niż rzeczywistość - tak że można nawet zastąpić po prostu słowo "stan" słowem "możliwość" - to termin „współistniejące możliwości” okazuje się zupełnie właściwy, albowiem jedna możliwość może zawierać inne lub zbiegać się z nimi.

Można unikać wszystkich tych trudnych definicji i rozróżnień, jeśli zadanie języka ograniczy się do opisu faktów, tzn. wyników eksperymentów. Jeśli jednak chcemy mówić o samych cząstkach elementarnych, to jesteśmy zmuszeni albo posługiwać się aparatem matematycznym (jako jedynym uzupełnieniem języka potocznego), albo łączyć go z językiem opartym na zmodyfikowanej logice bądź nie opartym na żadnej ścisłej logice. W doświadczeniach dotyczących mikroprocesów mamy do czynienia z rzeczami, faktami i zjawiskami, które są tak samo rzeczywiste, jak każde zjawisko w życiu codziennym. Ale same atomy i cząstki elementarne nie są równie rzeczywiste. Stanowią one raczej świat pewnych potencji czy możliwości niż świat *rzeczy* lub faktów.

XI. WPLYW FIZYKI WSPÓŁCZESNEJ NA ROZWÓJ MYŚLI LUDZKIEJ

W poprzednich rozdziałach omówiliśmy wnioski filozoficzne wynikające z fizyki współczesnej. Pragnęliśmy wykazać, że istnieje wiele punktów, w których ta najmłodsza dziedzina nauki styka się z prastarymi nurtami myśli ludzkiej, że w nowy sposób ujmuje się w niej niektóre spośród odwiecznych problemów. Przekonanie, że w historii myśli ludzkiej najbardziej płodne osiągnięcia pojawiały się zazwyczaj tam, gdzie ulegały konfrontacji dwa różne sposoby myślenia - jest zapewne słuszne. Źródłem tych ostatnich mogą być różne dziedziny kultury, mogą one pochodzić z różnych epok, być zrodzone przez różne cywilizacje i różne tradycje religijne. Jeśli tylko rzeczywiście następuje ich konfrontacja, innymi słowy - jeśli powstaje między nimi przynajmniej tego rodzaju więź, że będą one rzeczywiście wzajemnie na siebie oddziaływać, to można mieć nadzieję, że w wyniku tego zostaną dokonane nowe i interesujące odkrycia. Fizyka atomowa, która jest częścią nauki współczesnej, przenika w naszej epoce granice stref różnych, całkowicie odmiennych kultur. Wyklada się ją nie tylko w Europie i w krajach Zachodu, gdzie badania fizyczne od dawna stanowią element działalności naukowo-technicznej, działalności o starych tradycjach; studiuje się ją w krajach Dalekiego Wschodu, takich jak Japonia, Chiny oraz India - krajach o całkowicie odmiennych tradycjach kulturowych - jak również w Rosji, gdzie ukształtował się w naszych czasach zupełnie nowy sposób myślenia, związany zarówno z pewnymi szczególnymi cechami rozwoju nauki europejskiej w dziewiętnastym stuleciu, jak i z na wskroś swoistymi tradycjami tego kraju. Celem dalszych naszych rozważań oczywiście nie będzie formułowanie prognoz dotyczących ewentualnych skutków zetknięcia się idei nowej fizyki ze starymi tradycyjnymi poglądami. Jednakże można wskazać niektóre punkty, w których różne idee mogą w przyszłości wzajemnie na siebie oddziaływać.

Rozpatrując proces rozwoju nowej fizyki, oczywiście nie można wyodrębnić go z ogólnego nurtu rozwoju nauk przyrodniczych, przemysłu, techniki i medycyny, a więc rozwoju współczesnej cywilizacji we wszystkich częściach świata. Fizyka współczesna jest z pewnością jednym z ogniw długiego łańcucha zjawisk, który zapoczątkowały prace Bacona, Galileusza i Keplera oraz praktyczne zastosowanie nauk przyrodniczych w siedemnastym i osiemnastym stuleciu. Zależność między naukami przyrodniczymi a techniką od samego początku miała charakter dwustronny. Postępy techniki - udoskonalenie narzędzi, wynalezienie nowych przyrządów pomiarowych i nowych rodzajów aparatury doświadczalnej - stwarzały bazę dla badań, dzięki którym uzyskiwano coraz dokładniejszą empiryczną

wiedzę o przyrodzie. Coraz lepsze zrozumienie zjawisk przyrody, wreszcie matematyczne formułowanie jej praw stwarzało nowe możliwości zastosowania tej wiedzy w dziedzinie techniki. Np. wynalezienie teleskopu umożliwiło astronomom przeprowadzanie dokładniejszych niż poprzednio pomiarów ruchu gwiazd. Wynikiem tego były poważne osiągnięcia w dziedzinie astronomii i mechaniki. Z drugiej strony - dokładne poznanie praw mechaniki przyczyniło się w ogromnej mierze do ulepszenia narzędzi mechanicznych, zbudowania maszyn dostarczających energię itd. Szybkie rozszerzanie się zakresu wzajemnego oddziaływania nauk przyrodniczych i techniki rozpoczęło się z chwilą, gdy ludzie nauczyli się wyzyskiwać niektóre spośród sił przyrody. Np. energię zmagazynowaną w węglu zaprzęgnięto w wielu dziedzinach do pracy, którą dotychczas wykonywali ludzie. Gałęzie przemysłu, które rozwinęły się dzięki nowo powstałym możliwościom, początkowo można było uznać za naturalną kontynuację i wynik ewolucji dawnego rzemiosła. Pod wieloma względami praca maszyn przypominała jeszcze pracę rąk ludzkich, a procesy produkcyjne w fabrykach chemicznych można było traktować jako kontynuację procesów stosowanych w starych aptekach i wytwórniach barwników. Później jednak powstawały całe nowe gałęzie przemysłu, nie mające żadnych odpowiedników w dawnym rzemiośle. Przykładem tu może być przemysł elektrotechniczny. Nauka wtargnęła z kolei do bardziej odległych obszarów przyrody, co pozwoliło inżynierom wyzyskiwać te spośród sił natury, o których w poprzednich epokach niemal nic nie wiedzano. Dokładna zaś znajomość tych sił, wiedza o nich zawarta w matematycznych sformułowaniach praw, które nimi rządzą, stanowiła niezawodną podstawę twórczości konstruktorów, budujących różnego rodzaju maszyny.

Ogromne osiągnięcia, które zawdzięczano więzi nauk przyrodniczych z techniką, doprowadziły do uzyskania znacznej przewagi przez te narody, państwa i społeczeństwa, które rozwijały cywilizację techniczną. Naturalną konsekwencją tego zjawiska było podjęcie działalności w tej dziedzinie również przez te narody, których tradycje nie sprzyjały rozwojowi zainteresowania naukami przyrodniczymi i techniką. Współczesne środki łączności i komunikacji sprawiły, iż cywilizacja techniczna rozprzestrzeniła się na całej kuli ziemskiej. Nie ulega wątpliwości, że wskutek tego gruntownie się zmieniły warunki życia na naszej planecie. I niezależnie od tego, czy zmiany te aprobujemy, czy nie, czy uznajemy je za przejaw postępu, czy za źródło niebezpieczeństwa, trzeba zdać sobie sprawę z tego, że człowiek w poważnym stopniu stracił kontrolę nad procesem, w którego toku zachodzą te zmiany. Można go traktować raczej jako proces biologiczny na wielką skalę, podczas którego aktywne struktury stanowiące organizmy ludzkie opanowują w coraz większej mierze

środowisko, przekształcając je zgodnie z potrzebami wzrostu populacji ludzkiej. Fizyka współczesna powstała zupełnie niedawno w nowej fazie tego procesu rozwojowego, a jej niestety najbardziej rzucające się w oczy osiągnięcie - broń nuklearna - ukazało jak najdobitniej istotę tego procesu. Z jednej strony stało się rzeczą oczywistą, że zmian, które zaszły na naszym globie dzięki więzi nauk przyrodniczych z techniką, nie można oceniać jedynie z optymistycznego punktu widzenia. Przynajmniej częściowo okazały się uzasadnione poglądy tych ludzi, którzy przestrzegali przed niebezpieczeństwem związanym z tak radykalną zmianą naturalnych warunków naszego życia. Z drugiej strony - ów proces rozwojowy sprawił, że nawet te narody czy jednostki, które usiłowały pozostać na uboczu, jak najdalej od tego niebezpieczeństwa, są zmuszone śledzić z największą uwagą najnowsze osiągnięcia nauki i techniki. Albowiem potęga polityczna - w sensie siły militarnej - zależy dziś od posiadania broni atomowej. Do zadań tej książki nie należy dokładne rozpatrzenie politycznych aspektów fizyki atomowej. Kilka jednak słów należy poświęcić tej sprawie, skoro przede wszystkim o niej dziś się myśli, gdy mówi się o fizyce atomowej.

Jest rzeczą oczywistą, że wskutek wynalezienia nowej broni, zwłaszcza broni termojądrowej, uległ radykalnej zmianie układ stosunków politycznych. Zmianie takiej uległo też pojęcie narodu i państwa "niezależnego", ponieważ każdy naród nie posiadający tej broni musi zależeć w jakimś stopniu od tych kilku państw, które broń tę produkują w wielkiej ilości; wzniesienie wojny na wielką skalę, wojny, w której stosowano by broń jądrową, byłoby absurdem, bezsensownym samobójstwem. Dlatego często się słyszy optymistów, którzy powiadają, że wojna stała się czymś przestarzałym i że nigdy już nie wybuchnie. Pogląd ten niestety jest zbyt optymistyczny i wynika ze zbytniego uproszczenia zagadnień; wręcz przeciwnie - absurdalność wojny termojądrowej może zachęcić do wszczynania wojen na małą skalę. Narody lub ugrupowania polityczne, które będą przekonane, że racje historyczne lub moralne dają im prawo do dokonania siłą pewnych zmian w istniejącej sytuacji, uznają, iż posługiwanie się w tym celu bronią konwencjonalną nie jest związane z żadnym większym ryzykiem. Zakładano by w tym przypadku, że przeciwnik na pewno nie zastosuje broni jądrowej, nie mając bowiem racji ani z moralnego, ani z historycznego punktu widzenia, nie weźmie na siebie odpowiedzialności za wszczęcie wojny atomowej na wielką skalę. Sytuacja ta może z kolei spowodować, iż inne narody zdecydowanie oświadczą, że gdy agresor rozpocznie z nimi "małą wojnę", zastosują broń atomową. Niebezpieczeństwo więc będzie nadal istniało. Jest rzeczą zupełnie możliwą, że w ciągu najbliższych dwudziestu lub trzydziestu lat nasz świat ulegnie takim zmianom, że niebezpieczeństwo wojny na wielką skalę, podczas której stosowano by wszystkie techniczne środki zniszczenia, rzeczywiście

znacznie się zmniejszy lub zniknie. Ale na drodze, która wiedzie ku temu, pełno jest największych niebezpieczeństw. Musimy zdać sobie sprawę, że to, co jednej stronie wydaje się moralne i historycznie słuszne - drugiej może się wydawać niemoralne i niesłuszne. Zachowanie *status quo* nie zawsze musi być właściwym rozwiązaniem. Przeciwnie, może się okazać, że niesłuchanie ważnym zadaniem jest znalezienie pokojowej drogi która prowadziłaby do przystosowania się do nowej sytuacji. W wielu przypadkach podjęcie słusznej decyzji może być nadzwyczaj trudne. Dlatego nie jest chyba wyrazem przesadnego pesymizmu pogląd, że wojny na wielką skalę można uniknąć jedynie pod warunkiem, iż wszystkie ugrupowania polityczne zgodzą się zrezygnować z pewnych swych praw, które wydają im się jak najbardziej oczywiste - zgodzą się na to ze względu na fakt, że sprawa posiadania lub nieposiadania racji może się różnie przedstawiać, zależnie od punktu widzenia. Nie jest to z pewnością myśl nowa; aby uznać ją za słuszną, wystarczy być ludzkim, przyjmując tę postawę, którą przez wiele wieków szerzyły niektóre wielkie religie. Stworzenie broni atomowej sprawiło, że przed nauką i uczonymi wyłoniły się również inne, całkowicie nowe problemy. Wpływ nauki na politykę stał się bez porównania większy niż był przed drugą wojną światową; obarcza to uczonych, a zwłaszcza fizyków atomowych, podwójną odpowiedzialnością. Ze względu na społeczne znaczenie nauki uczoney może brać aktywny udział w zarządzaniu krajem. W tym przypadku bierze on na siebie odpowiedzialność za decyzje niezmiernie doniosłe, których skutki sięgają daleko poza dziedzinę badań i pracy pedagogicznej na uniwersytecie, do której przywykł. Może on również zrezygnować dobrowolnie z wszelkiego udziału w życiu politycznym; ale i wówczas jest odpowiedzialny za błędne decyzje, którym, być może, by zapobiegł, gdyby nie wolał ograniczyć się do spokojnej pracy naukowej. Rzecz oczywista, jest obowiązkiem

uczonego informować swój rząd o niesłuchanych zniszczeniach, które byłyby skutkiem wojny nuklearnej. W związku z tym wzywa się często uczonych do podpisywania uroczystych deklaracji pokojowych. Muszę się przyznać, że analizując tego rodzaju deklaracje, nigdy nie potrafiłem zrozumieć żadnego z ich punktów. Oświadczenia takie mogą się wydawać dowodem, dobrej woli; jednakże wszyscy, którzy domagają się pokoju, nie wymieniając wyraźnie jego warunków, muszą natychmiast być podejrzani o to, że chodzi im jedynie o taki pokój, który jest bardzo korzystny dla nich samych oraz ich ugrupowań politycznych - co oczywiście pozbawia ich deklaracje wszelkiej wartości. W każdej uczciwej deklaracji pokojowej muszą być wymienione ustępstwa, na które jest się gotowym pójść, aby zachować pokój. Uczeni jednak z reguły nie są formalnie uprawnieni do formułowania tego rodzaju ustępstw.

Jest również inne zadanie, któremu uczoney może podołać o wiele łatwiej - czynić wszystko, aby wzmocnić więź współpracy międzynarodowej w swej własnej dziedzinie. Wielka waga, jaką obecnie wiele rządów przywiązuje do badań w dziedzinie fizyki jądrowej, oraz fakt, że poziom badań naukowych jest bardzo różny w różnych krajach - sprzyjają rozwojowi współpracy międzynarodowej w tej dziedzinie. Młodzi uczoney z rozmaitych krajów mogą się spotykać w fizycznych instytutach badawczych, w których wspólna praca nad trudnymi zagadnieniami naukowymi będzie sprzyjała wzajemnemu zrozumieniu. W jednym przypadku - mam na myśli CERN w Genewie - okazało się rzeczą możliwą porozumienie się wielu krajów w sprawie budowy wspólnego laboratorium i wyposażenia go wspólnym kosztem w niezwykle drogie urządzenia techniczne, niezbędne do badań w dziedzinie fizyki jądrowej. Tego rodzaju współpraca przyczyni się niewątpliwie do ukształtowania wśród młodego pokolenia naukowców wspólnej postawy wobec problemów naukowych i, być może, doprowadzi do wspólnego stanowiska w kwestiach nie związanych bezpośrednio z nauką.

Oczywiście trudno jest przewidzieć, jak wzejdą posiane ziarna, gdy uczoney powrócą do swego poprzedniego środowiska i znów znajdą się pod wpływem swych rodzimych tradycji kulturowych. Nie sposób jednak wątpić, że wymiana poglądów pomiędzy młodymi uczoneymi różnych krajów i między różnymi pokoleniami uczoneych tego samego kraju będzie sprzyjać ustaleniu się równowagi między siłą dawnych tradycji i nieubłaganymi wymogami życia współczesnego i ułatwi uniknięcie konfliktów. Pewna cecha współczesnych nauk przyrodniczych sprawia, że właśnie one mogą najbardziej się przyczynić do powstania pierwszych silnych więzi między różnymi tradycjami kulturowymi. Cecha ta polega na tym, że ostateczna ocena wartości poszczególnych prac naukowych, rozstrzygnięcie, co jest słuszne, co zaś błędne, nie zależy w tych naukach od autorytetu żadnego człowieka. Niekiedy może upłynąć wiele lat, zanim problem zostanie rozwiązany, zanim zdoła się ustalić w sposób pewny, co jest prawdą, a co jest błędne; ostatecznie jednak problemy zostają rozstrzygnięte, a wyroki feruje nie ta lub inna grupa uczoneych, lecz sama przyroda. Toteż wśród ludzi, którzy interesują się nauką, idee naukowe szerzą się w sposób zgoła inny niż poglądy polityczne.

Idee polityczne tylko dlatego mogą niekiedy mieć decydujący wpływ na szerokie masy, że są zgodne lub zdają się być zgodne z ich najbardziej żywotnymi interesami; idee naukowe szerzą się wyłącznie dlatego, że są prawdziwe. Istnieją ostateczne i obiektywne kryteria, decydujące o prawdziwości *twierdzeń* naukowych.

Wszystko, co powiedziano wyżej o współpracy międzynarodowej i wymianie poglądów, dotyczy w jednakiej mierze wszystkich dziedzin nauki współczesnej, a więc nie

tylko fizyki atomowej. Pod tym względem fizyka współczesna jest jedynie jedną z wielu gałęzi nauki i nawet jeśli w związku z jej technicznym zastosowaniem - bronią jądrową i pokojowym wyzyskaniem energii atomowej - ma ona szczególne znaczenie, to bezpodstawne by było uznanie współpracy międzynarodowej w dziedzinie fizyki za o wiele bardziej doniosłą niż w innych dziedzinach nauki.

Teraz jednakże musimy zająć się tymi cechami fizyki współczesnej, które ją czynią czymś nowym w historii nauk przyrodniczych; powróćmy więc do historii rozwoju tych nauk w Europie, który zawdzięczamy wzajemnej więzi nauk przyrodniczych i techniki.

Historycy często dyskutowali nad tym, czy powstanie nauk przyrodniczych po szesnastym stuleciu było w jakimś sensie naturalnym wynikiem wcześniejszych wydarzeń w życiu intelektualnym Europy.

Można wskazać określone tendencje w filozofii chrześcijańskiej, które doprowadziły do ukształtowania się bardzo abstrakcyjnego pojęcia Boga. Bóg powrócił do niebios, w rejony tak dalekie od ziemskiego padołu, że zaczęto badać świat, nie doszukując się w nim Boga. Podział kartezjański można uznać za ostateczny krok w tym kierunku. Ale można również powiedzieć, że różnorakie spory teologiczne w wieku szesnastym wywołały powszechną niechęć do rozpatrywania problemów, których w gruncie rzeczy nie sposób było rozwiązać metodą racjonalnej analizy i które były związane z walką polityczną w tej epoce. Sprzyjało to zwiększeniu się zainteresowania zagadnieniami nie mającymi nic wspólnego z problematyką dysput teologicznych. Można wreszcie po prostu powołać się na ogromne ożywienie i na nowy kierunek myśli, które zapanowały w Europie w epoce Odrodzenia. W każdym razie w tym okresie pojawił się nowy autorytet, absolutnie niezależny od chrześcijańskiej religii, filozofii i Kościoła - autorytet empirii i faktów doświadczalnych. Można prześledzić kształtowanie się nowych kryteriów w systemach filozoficznych poprzedniego okresu, np. filozofii Ockhama i Dunska Scota; jednakże decydującym czynnikiem w rozwoju myśli ludzkiej stały się one dopiero od szesnastego stulecia. Galileusz nie tylko snuł rozważania na temat ruchów mechanicznych wahadła i spadających ciał, lecz badał również doświadczalnie ilościowe charakterystyki tych ruchów. Tych badań nowego typu początkowo z pewnością nie traktowano jako sprzecznych z religią chrześcijańską. Przeciwnie, mówiono o dwóch rodzajach objawienia: objawieniu, które zawarte jest w *Biblii*, i objawieniu, które zawiera księga przyrody. Pismo *św.* pisali ludzie, mogą więc w nim być błędy, podczas gdy przyroda jest bezpośrednim wyrazem boskiej woli.

Przypisywanie wielkiej roli doświadczeniu spowodowało stopniową zmianę całego sposobu ujęcia rzeczywistości. To, co dziś nazywamy symbolicznym znaczeniem rzeczy, było

w średniowieczu traktowane w pewnym sensie jako pierwotna realność, natomiast później za rzeczywistość zaczęto uznawać to, co możemy percypować za pomocą zmysłów. Realnością pierwotną stało się to, co możemy oglądać i dotykać. Nowe pojęcie rzeczywistości jest związane z nowym rodzajem działalności poznawczej: można eksperymentować i ustalać, jakie w rzeczywistości są te rzeczy, które badamy. Łatwo zauważyć, że ta nowa postawa oznaczała wtargnięcie myśli ludzkiej do nieskończonego obszaru nowych możliwości; jest więc rzeczą zrozumiałą, że Kościół dopatrywał się w nowym ruchu raczej symptomów zwiastujących niebezpieczeństwo niż symptomów pomyślnych. Słynny proces Galileusza, wszczęty w związku z obroną systemu kopernikańskiego podjętą przez tego uczonego, oznaczał początek walki, która trwała przeszło sto lat. Rozgorzał spór. Przedstawiciele nauk przyrodniczych dowodzili, że doświadczenie jest źródłem niewątpliwych prawd. Przeczyli, jakoby jakikolwiek człowiek miał prawo wyrokować o tym, co rzeczywiście zachodzi w przyrodzie, mówili, że wyroki feruje przyroda, a w tym sensie - Bóg. Zwolennicy tradycyjnych poglądów religijnych głosili natomiast, że zwracając zbyt wiele uwagi na świat materialny, na to, co postrzegamy zmysłowo, przestajemy dostrzegać to, co jest źródłem istotnych wartości życia ludzkiego, a mianowicie tę sferę rzeczywistości, która nie należy do świata materialnego. Te dwa toki myślowe nie mają punktów stykowych i dlatego sporu nie można było rozstrzygnąć ani w sposób polubowny, ani arbitralny.

Tymczasem nauki przyrodnicze stwarzały coraz bardziej wyraźny i rozległy obraz świata materialnego. W fizyce obraz ten został opisany za pomocą pojęć, które dziś nazywamy pojęciami fizyki klasycznej. Świat składa się z rzeczy istniejących w czasie i przestrzeni, rzeczy są materialne, a materia może wywoływać siły i siłom tym podlegać. Zdarzenia zachodzą wskutek wzajemnego oddziaływania sił i materii. Każde zdarzenie jest skutkiem i przyczyną innych zdarzeń. Jednocześnie dotychczasową kontemplacyjną postawę wobec przyrody zastępowała postawa pragmatyczna. Nie interesowano się zbytnio tym, jaka jest przyroda; pytano raczej, co z nią można uczynić. Toteż nauki przyrodnicze przekształciły się w nauki techniczne; każde osiągnięcie naukowe rodziło pytanie: "Jakie korzyści praktyczne można dzięki niemu uzyskać?" Dotyczy to nie tylko ówczesnej fizyki. W chemii, w biologii istniały w zasadzie tendencje takie same, a sukcesy, które zawdzięczano stosowaniu nowych metod w medycynie i w rolnictwie, w istotny sposób przyczyniły się do rozpowszechnienia się tych nowych tendencji.

W ten sposób doszło do tego, że w wieku dziewiętnastym nauki przyrodnicze były już ujęte w sztywne ramy, które nie tylko decydowały o charakterze tych nauk, ale również determinowały ogólne poglądy szerokich kręgów społecznych. Ramy te były wyznaczone

przez podstawowe pojęcia fizyki klasycznej, pojęcia czasu, przestrzeni, materii i przyczynowości; pojęcie rzeczywistości obejmowało rzeczy lub zdarzenia, które można bezpośrednio postrzegać zmysłowo bądź obserwować za pomocą udoskonalonych przyrządów dostarczanych przez technikę. Rzeczywistością pierwotną była materia. Postęp nauki oznaczał podbój świata materialnego. Hasłem epoki było słowo "użyteczność".

Jednakże ramy te były zbyt wąskie i sztywne, aby mogły się w nich zmieścić pewne pojęcia naszego języka, które zawsze uważano za jego składnik integralny; mam na myśli cały szereg takich pojęć, jak np. *duch*, *dusza ludzka*, *życie*. Duch mógł być elementem tego systemu jedynie jako rodzaj zwierciadła świata materialnego. A kiedy w psychologii badano własności tego zwierciadła, to - jeśli wolno kontynuować powyższe porównanie - uczonych zawsze brała pokusa, by zwracać więcej uwagi na jego własności mechaniczne niż optyczne. Nawet w tej dziedzinie usiłowano stosować pojęcia fizyki klasycznej, przede wszystkim pojęcie przyczynowości. W ten sam sposób chciano wyjaśnić, czym jest życie - traktując je jako proces fizyczny i chemiczny, podlegający prawom natury i całkowicie zdeterminowany przyczynowo. Darwinowska teoria ewolucji dostarczyła wielkiej ilości argumentów na rzecz takiej interpretacji. Szczególnie trudno było znaleźć w tych ramach miejsce dla tych fragmentów rzeczywistości, których dotyczyły tradycyjne poglądy religijne; obecnie ta część rzeczywistości wydawała się czymś mniej lub bardziej urojonym. Dlatego w tych krajach europejskich, w których z różnych koncepcji zwykło się wysnuwać najdalej idące wnioski, potęgował się jawnie wrogi stosunek do religii; tendencja do zubożenia wobec zagadnień religijnych wzmagala się również i w innych krajach. Jedynie wartości etyczne uznawane przez religię chrześcijańską były, przynajmniej w pierwszym okresie, akceptowane. Zaufanie do metody naukowej i do racjonalnego myślenia zastąpiło człowiekowi wszystkie inne ostoje duchowe.

Powracając do fizyki XX wieku i jej wpływu na powyższą sytuację, można powiedzieć, że najbardziej istotną konsekwencją osiągnięć w tej dziedzinie nauki było rozsadzenie sztywnych ram pojęć dziewiętnastowiecznych. Oczywiście już przedtem próbowano wykroczyć poza te sztywne ramy, które były wyraźnie zbyt wąskie, aby umożliwić zrozumienie istotnych fragmentów rzeczywistości. Nie sposób było jednak zrozumieć, co fałszywego może tkwić w takich podstawowych pojęciach, jak materia, przestrzeń, czas, przyczynowość - pojęciach, na których opierając się, osiągnięto tyle sukcesów znanych z historii nauk przyrodniczych. Dopiero badania doświadczalne dokonywane za pomocą udoskonalonych przyrządów i urządzeń dostarczonych przez współczesną technikę oraz matematyczna interpretacja wyników tych badań stworzyły podstawę do krytycznej

analizy tych pojęć - a można również powiedzieć, zmusiły uczonych do podjęcia tego rodzaju analizy - i koniec końców doprowadziły do rozsadzenia owych sztywnych ram.

Był to proces o dwóch odrębnych stadiach. Po pierwsze, dzięki teorii względności dowiedziano się, że nawet tak podstawowe pojęcia, jak przestrzeń i czas, mogą, co więcej, muszą ulec zmianie ze względu na nowe dane doświadczalne. Nie dotyczyło to dość mglistych pojęć czasu i przestrzeni, jakimi posługujemy się w języku potocznym; okazało się, że należy zmienić dotychczasowe definicje tych pojęć ściśle sformułowane w języku naukowym, języku mechaniki Newtona, które błędnie uznawano za ostateczne. Drugim stadium była dyskusja nad pojęciem materii, którą wywołały wyniki doświadczalnego badania struktury atomów. Koncepcja rzeczywistości materii była chyba najtrwalszą częścią sztywnego systemu pojęć dziewiętnastowiecznych, a mimo to w związku z nowymi doświadczeniami musiała zostać co najmniej zmodyfikowana. Okazało się ponownie, że odpowiednie pojęcia występujące w języku potocznym w zasadzie nie ulegają zmianie. Nie powstawały żadne trudności, gdy opisując wyniki doświadczalnego badania atomów, mówiono o materii lub o rzeczywistości. Ale naukowej ekstrapolacji tych pojęć na najmniejsze cząstki materii nie można było dokonać w sposób tak prosty, jak w fizyce klasycznej; z takiego uproszczonego poglądu zrodziły się błędne ogólne poglądy dotyczące zagadnienia materii. -Te nowo uzyskane wyniki należało potraktować przede wszystkim jako ostrzeżenie przed sztucznym stosowaniem pojęć naukowych w dziedzinach, do których nie odnoszą się one. Bezkrytyczne stosowanie pojęć klasycznej fizyki, na przykład w chemii, było błędem. Dlatego obecnie jest się mniej skłonny uznać za rzecz pewną, że pojęcia fizyki, w tym również pojęcia teorii kwantowej, mogą być bez ograniczeń stosowane w biologii, czy też w jakiejś innej nauce. Przeciwnie, usiłuje się pozostawić otwartą drogę dla nowych pojęć, nawet w tych dziedzinach nauki, w których dotychczasowe pojęcia okazały się użyteczne, przyczyniły się do zrozumienia zjawisk. W szczególności pragnie się unikać uproszczeń w przypadkach, gdy stosowanie starych pojęć wydaje się czymś nieco sztucznym lub niezupełnie właściwym.

Ponadto badania nad rozwojem fizyki współczesnej i analiza jej treści prowadzą do wniosku o wielkiej wadze, że pojęcia występujące w języku potocznym, tak przecież nieściśle, są - jak się wydaje - trwałe, nie ulegają takim zmianom w procesie rozwoju wiedzy, jak precyzyjne pojęcia naukowe, które stanowią idealizacje powstałe w wyniku rozpatrzenia pewnych ograniczonych grup zjawisk. Nie ma w tym nic dziwnego, jako że pojęcia występujące w języku potocznym powstały dzięki bezpośredniemu kontaktowi człowieka z rzeczywistością, której dotyczą. Prawdą jest, że nie są one zbyt dobrze zdefiniowane, mogą

więc z biegiem czasu również "ulegać zmianom, tak jak sama rzeczywistość, niemniej jednak nigdy nie tracą bezpośredniego z nią związku. Z drugiej strony pojęcia naukowe są idealizacjami; tworzy się je na podstawie doświadczeń dokonywanych za pomocą udoskonalonych przyrządów; są one ściśle określone dzięki odpowiednim aksjomatom i definicjom. Jedynie te ściśle definicje umożliwiają powiązanie owych pojęć ze schematem matematycznym i matematyczne wyprowadzenie nieskończonej różnorodności zjawisk możliwych w danej dziedzinie. Jednakże w toku tego procesu idealizacji i precyzyjnego definiowania pojęć zerwany zostaje bezpośredni związek z rzeczywistością. Wprawdzie istnieje jeszcze ścisła odpowiedniość między owymi pojęciami a tym fragmentem rzeczywistości, który jest przedmiotem badań, jednakże w innych dziedzinach odpowiedniość ta może zniknąć.

Biorąc pod uwagę trwałość pojęć języka naturalnego, jaką zachowują one w procesie rozwoju nauki, uświadamiamy sobie, że historia rozwoju fizyki współczesnej poucza nas, iż nasz stosunek do takich pojęć, jak "myśl", "dusza ludzka", "życie" czy "Bóg", powinien być inny niż ten, który panował w wieku dziewiętnastym; pojęcia te należą bowiem do języka naturalnego, a zatem mają bezpośredni związek z rzeczywistością. Co prawda, powinniśmy jasno zdawać sobie sprawę z tego, że pojęcia te nie mogą być należycie zdefiniowane (w naukowym sensie) i że ich stosowanie może prowadzić do rozmaitego rodzaju sprzeczności; mimo to musimy na razie posługiwać się nimi nie definiując ich i nie analizując. Wiemy przecież, że dotyczą one rzeczywistości. W związku z tym warto być może, przypomnieć, że nawet w nauce najbardziej ścisłej - w matematyce - nie można uniknąć stosowania pojęć prowadzących do sprzeczności. Wiemy bardzo dobrze, że np. pojęcie nieskończoności prowadzi do sprzeczności; stworzenie głównych działów matematyki byłoby jednak niemożliwe bez posługiwania się tym pojęciem.

W dziewiętnastym wieku istniała tendencja do obdarzania metody naukowej i ścisłych racjonalnych pojęć coraz większym zaufaniem; była ona związana z powszechnym sceptycyzmem w stosunku do tych pojęć występujących w języku potocznym, które nie mieściły się w zamkniętych ramach koncepcji naukowych - dotyczyło to na przykład pojęć religijnych. Współczesna fizyka z wielu względów wzmogła ten sceptycyzm. Jednocześnie jednak głosi ona, że nie należy przeceniać pojęć naukowych⁴⁹ ; opowiada się przeciwko samemu sceptycyzmowi. Sceptycyzm w stosunku do ścisłych pojęć naukowych nie polega na twierdzeniu, że muszą istnieć granice, poza które nie może wykroczyć myślenie racjonalne.

49 W wydaniu niemieckim: "...nie należy przeceniać pojęć naukowych, ani też w ogóle podzielać zbyt optymistycznych poglądów dotyczących postępu..." (*Przyp. red. polskiego*).

Przeciwnie, można powiedzieć, że w pewnym sensie jesteśmy zdolni wszystko zrozumieć, że w pewnym sensie jest to zdolność nieograniczona. Jednakże wszystkie istniejące obecnie pojęcia naukowe dotyczą tylko bardzo ograniczonego wycinka rzeczywistości, a jej reszta, której jeszcze nie poznano, jest nieskończona. Ilekroć podążamy od tego, co poznane, ku temu, co nie poznane - możemy mieć nadzieję, że zrozumiemy to, co jest jeszcze nie poznane. Przy tym jednak może się okazać, że samo słowo "zrozumieć" uzyskuje nowy sens. Wiemy, że po to, by cokolwiek zrozumieć, musimy koniec końców oprzeć się na języku potocznym, ponieważ tylko wtedy mamy pewność, że nie oderwaliśmy się od rzeczywistości. Dlatego powinniśmy mieć sceptyczny stosunek do sceptycznych poglądów na język potoczny i jego podstawowe pojęcia, dlatego możemy posługiwać się tymi pojęciami tak, jak posługiwano się nimi zawsze. Być może, że w ten sposób fizyka współczesna utorowała drogę nowym poglądom na stosunek myśli ludzkiej do rzeczywistości, nowemu, szerszemu ujęciu tego stosunku.

Współczesna wiedza przyrodnicza przenika obecnie do tych części świata, w których tradycje kulturowe są zupełnie inne niż tradycje kulturowe związane z cywilizacją europejską. Skutki rozwoju badań w dziedzinie nauk przyrodniczych i skutki rozwoju techniki powinny być tu odczuwalne jeszcze silniej niż w Europie, albowiem zmiana warunków życia, jaka zaszła na tym kontynencie w ciągu dwóch czy też trzech ostatnich stuleci, nastąpi tu w ciągu zaledwie kilku dziesiątków lat. Należy sądzić, że w wielu przypadkach ta działalność naukowa i techniczna będzie oznaczała burzenie starej -kultury, będzie związana z bezwzględna i barbarzyńska postawą, okaże się czymś, co narusza chwiejną równowagę właściwą wszelkiemu ludzkiemu poczuciu szczęścia. Skutków tych, niestety, nie sposób uniknąć. Należy je traktować jako coś charakterystycznego dla naszej epoki. Ale nawet w tym przypadku to, że fizykę współczesną cechuje otwartość, może - przynajmniej w pewnej mierze - ułatwić pogodzenie starych tradycji z nowymi kierunkami myśli. Tak więc można uznać, że np. wielki wkład do fizyki współczesnej, jaki po ostatniej wojnie wnieśli Japończycy, świadczy o istnieniu pewnych związków między tradycyjnymi koncepcjami filozoficznymi Dalekiego Wschodu a filozoficzną treścią mechaniki kwantowej. Być może, łatwiej przywyknąć do pojęcia rzeczywistości, z jakim mamy do czynienia w teorii kwantowej, jeśli nie przeszło się etapu naiwno-materialistycznego myślenia, które dominowało w Europie jeszcze w pierwszych dziesięcioleciach naszego wieku.

Uwagi te oczywiście należy pojmować we właściwy sposób. Nie są one wyrazem niedoceniaenia szkodliwego wpływu, jaki ma i może mieć postęp techniczny na stare tradycje kulturowe. Ale ponieważ ludzie nad całym tym procesem rozwoju od dawna już nie sprawują

kontroli, przeto należy go uznać za jedno ze zjawisk nieodłącznych od naszej epoki i starać się - w tej mierze, w jakiej jest to możliwe - zachować w jego toku więź z tymi wartościami, które zgodnie ze starymi tradycjami kulturowymi i religijnymi uznano za cel ludzkich dążeń. Przytoczyć tu można pewną opowieść chasydzką: Był pewien stary rabbi, kapłan słynny z mądrości, do którego ludzie przychodzili z prośbą o radę. Kiedyś odwiedził go człowiek, którego doprowadziły do rozpaczliwej zmiany zachodzącej wokół. Zaczęła się on uskarżać na szkodliwe skutki tak zwanego postępu technicznego. Zapytał: Czy wszystkie te rupiecie stworzone przez technikę nie są czymś zgoła bezwartościowym w porównaniu z tym, co stanowi rzeczywistą wartość życia? - Być może - odrzekł rabbi - lecz wszystko, co istnieje: zarówno to, co stworzył Bóg, jak i to, co jest dziełem człowieka - może nas o czymś pouczyć.

- O czym nas może pouczyć kolej, droga żelazna? - zapytał przybysz pełen wątpliwości. - O tym, że spóźniając się o jedną chwilę, można stracić wszystko. - A telegraf? - O tym, że trzeba liczyć się z każdym słowem. - Telefon? - O tym, że to, co mówisz, może być słyszane gdzie indziej. Przybysz zrozumiał, co rabbi miał na myśli, i odszedł⁵⁰.

Wreszcie, współczesna wiedza przyrodnicza przenika do wielkich obszarów naszego globu, gdzie pewne nowe doktryny przed kilkudziesięciu laty stały się podstawą nowych i potężnych społeczeństw. Treść nauki współczesnej konfrontuje się tu z treścią doktryn wywodzących się z europejskiej filozofii dziewiętnastego wieku (Hegel i Marks); następuje tu koincydencja nauki współczesnej i wiary nie uznającej żadnego kompromisu z innymi poglądami. Ponieważ ze względu na swe praktyczne znaczenie fizyka współczesna odgrywa w tych krajach ważną rolę, przeto jest chyba czymś nieuchronnym to, że ci, którzy rzeczywiście będą rozumieli ją i jej sens filozoficzny, zdadzą sobie sprawę z ograniczoności panujących doktryn. Dlatego wzajemne oddziaływanie nauk przyrodniczych i nowej nauki politycznej może w przyszłości okazać się czymś płodnym. Oczywiście nie należy przeceniać wpływu nauki. Jednakże "otwartość" współczesnych nauk przyrodniczych może licznym grupom ludzi ułatwić zrozumienie tego, że owe doktryny nie mają dla społeczeństwa aż tak wielkiego znaczenia, jak sądzono dotychczas. W ten sposób wpływ nauki współczesnej może przyczynić się do kształtowania się postawy tolerancyjnej, a więc może okazać się bardzo korzystny.

Z drugiej strony bezkompromisowa wiara jest czymś, co ma znacznie większą wagę niż pewne swoiste idee filozoficzne powstałe w wieku dziewiętnastym. Nie należy zamykać oczu na fakt, że ogromna większość ludzi chyba nigdy nie może mieć należycie

⁵⁰ Patrz: Martin Buber, *Die Erzählungen der Chassid'm*, Zurich 1949.

uzasadnionych poglądów dotyczących słuszności pewnych ogólnych idei i doktryn. Dlatego słowo "wiara" dla tej większości może znaczyć nie poznanie prawdy, lecz "uczynienie czegoś podstawą życia". Łatwo zrozumieć, że wiara w drugim sensie tego słowa jest o wiele silniejsza i trwalsza; może ona okazać się niewzruszona nawet wtedy, gdy doświadczenie będzie jej bezpośrednio przeczyć, a wobec tego może jej nie zachwiać nowo uzyskana wiedza. Historia ostatnich dwóch dziesięcioleci dostarczyła wielu przykładów świadczących o tym, że wiara tego drugiego rodzaju może w wielu przypadkach trwać nawet wtedy, gdy jest czymś wewnątrznie sprzecznym, całkowicie absurdalnym, trwać dopóty, dopóki nie położy jej kresu śmierć wierzących. Nauka i historia pouczają nas o tym, że tego rodzaju wiara może być bardzo niebezpieczna dla jej wyznawców. Ale wiedza o tym jest bezużyteczna, albowiem nie wiadomo, w jaki sposób można by było przezwyciężyć tego rodzaju wiare; dlatego też w dziejach ludzkości była ona zawsze jedną z potężnych sił. Zgodnie z tradycją nauki wieku dziewiętnastego należałoby uznać, że wszelka wiara powinna być oparta na wynikach racjonalnej analizy wszystkich argumentów oraz wynikach wnikliwych rozważań i że wiara innego rodzaju, której wyznawcy czynią jakąś prawdę rzeczywistą lub pozorną podstawą życia, w ogóle nie powinna istnieć. Prawdą jest, że wnikliwe rozważania oparte na czysto racjonalnych przesłankach mogą nas uchronić od wielu błędów i niebezpieczeństw, ponieważ dzięki nim jesteśmy w stanie przystosować się do nowo powstałych sytuacji, co może być nieodzowne, jeśli chcemy żyć. Kiedy jednak myśli się o tym, o czym poucza nas fizyka współczesna, łatwo jest zrozumieć, że zawsze musi istnieć pewna komplementarność między rozważaniami i decyzjami. Jest rzeczą nieprawdopodobną aby w życiu codziennym można było kiedykolwiek podejmować decyzje uwzględniające wszystkie "pro" i "contra": zawsze musimy działać, opierając się na niedostatecznych przesłankach. Koniec końców podejmujemy decyzję, rezygnując z wszelkich argumentów, zarówno tych, które rozpatrzyliśmy, jak i tych, które by mogły się nasunąć w toku dalszych rozważań. Decyzja może być wynikiem rozważań, ale przy tym jest zawsze w stosunku do nich czymś komplementarnym, kładzie im kres, wyklucza je. W związku z tym nawet najbardziej doniosłe decyzje w naszym życiu muszą zawierać element irracjonalności. Decyzja sama przez się jest czymś koniecznym, czym można się kierować, jest wytyczną działania. Stanowi mocne oparcie, bez którego wszelkie działanie byłoby bezskuteczne. Dlatego też jest rzeczą nieuniknioną, że pewne rzeczywiste lub pozorne prawdy stanowią podstawę naszego życia. Z tego faktu należy sobie zdawać sprawę, kształtując swój stosunek do tych grup ludzi, których życie jest oparte na innych podstawach niż nasze⁵¹.

51 W wydaniu niemieckim dwa ostatnie zdania uległy zmianie: "Dlatego cechą życia ludzkiego jest to, że w sposób

Przejdźmy obecnie do ogólnych wniosków, wynikających ze wszystkiego, co powiedzieliśmy dotychczas o nauce naszego stulecia. Można chyba twierdzić, że fizyka współczesna jest tylko jednym, niemniej jednak bardzo charakterystycznym czynnikiem w ogólnym procesie historycznym, prowadzącym do zjednoczenia i rozszerzenia naszego współczesnego świata. Proces ten mógłby doprowadzić do osłabienia zarówno napięcia politycznego, jak i konfliktów kulturowych, które są w naszych czasach źródłem największych niebezpieczeństw. Towarzyszy mu jednak inny proces, przebiegający w przeciwnym kierunku. Fakt, że ogromna ilość ludzi zaczyna zdawać sobie sprawę z tego procesu integracji, wywołuje we współczesnych cywilizowanych krajach aktywizację tych wszystkich sił społecznych, które dążą do tego, aby w przyszłym zjednoczonym świecie największą rolę odgrywały bronione przez nie wartości. Wskutek tego wzrasta napięcie. Dwa te przeciwstawne procesy są tak ściśle ze sobą związane, że ilekroć potęguje się proces integracji - na przykład dzięki postępowi technicznemu - zaostrza się walka o uzyskanie wpływów w przyszłym zjednoczonym świecie, a tym samym zwiększa się niepewność w obecnym przejściowym okresie. W tym niebezpiecznym procesie integracji fizyka współczesna odgrywa, być może, jedynie podrzędną rolę. Jednakże z dwóch niezmiernie istotnych względów ułatwia ona nadanie procesowi rozwoju bardziej spokojnego charakteru. Po pierwsze, dowodzi, że użycie broni spowodowałoby katastrofalne skutki, po drugie zaś, dzięki temu, że jest "otwarta" dla wszelkiego rodzaju koncepcji, budzi nadzieję, że po zjednoczeniu wiele różnych tradycji kulturowych będzie mogło ze sobą współistnieć i że ludzie będą mogli zespolić swe dążenia, aby stworzyć nową równowagę myśli i czynu, działalności i refleksji.

irracjonalny jakaś prawda rzeczywista lub prawda pozorna, a często ich splot — kształtuje jego podstawy. Biorąc pod uwagę ten fakt, powinniśmy, po pierwsze, oceniać podstawowe zasady życia społecznego przede wszystkim z punktu widzenia postawy moralnej, która jest ich przejawem, po wtóre zaś — być skłonni szanować zasady, na których oparte jest życie innych społeczeństw, zasady wielce różniące się od zasad uznawanych przez nas". (*Przyp. red. wyd. polskiego*).

POSŁOWIE (autor S. Amsterdowski)

Mechanika kwantowa a materializm

I

Werner Heisenberg bynajmniej nie jest jedynym spośród wielkich uczonych naszego stulecia, który wstępuje w szranki dyskusji filozoficznych. Należy on od dawna do grona tych wybitnych uczonych, których zainteresowania i twórcze wysiłki nie ograniczają się do mniej lub bardziej wyspecjalizowanej dziedziny badań. Niemal wszyscy najwybitniejsi fizycy teoretycy naszych czasów - M. Pianek, A. Einstein, P. Langevin, L. de Broglie, E. Schrodinger, N. Bohr, M. Born, L. Rosenfeld, W. Fock, v. Weizsacker, P. Dirac to tylko część słynnych nazwisk, które można by tu wymienić - dawali wyraz przekonaniu, że wartość nauki nie polega jedynie na tym, że spełnia ona funkcję technologiczną. Heisenberg podziela poglądy tych uczonych - jest przekonany, że nawet najbardziej wyspecjalizowane dziedziny nauki, w których mamy do czynienia z teoriami trudno zrozumiałymi dla przeciętnie wykształconego człowieka, spełniają funkcję światopoglądową - kształtują w jakiejś mierze poglądy ludzi na świat. Tak jak inni najwybitniejsi przedstawiciele współczesnych nauk przyrodniczych uważa on, że zadaniem uczonych jest nie tylko podanie równań i formuł umożliwiających praktyczne opanowanie nowych obszarów przyrody, lecz również uświadomienie sobie i wytłumaczenie innym filozoficznych konsekwencji dokonanych przez siebie odkryć.

To właśnie przekonanie skłoniło autora do napisania niniejszej książki. Ci, którzy sądzą, że w naszych czasach nauka uniezależniła się od filozofii lub, co więcej, straciła z nią wszelki związek, powinni się chyba zastanowić nad tym dziwnym faktem, że w naszych czasach wszyscy najwybitniejsi uczeni zabierają głos w dyskusjach filozoficznych. Powinni chyba przeczytać też książkę Heisenberga, aby zdać sobie sprawę z różnorodnych związków wzajemnych, jakie istnieją między nauką współczesną a zagadnieniami filozoficznymi.

Poprzednia książka Heisenberga (*Fizyczne podstawy mechaniki kwantowej*) była książką napisaną przez wielkiego fizyka i przeznaczoną dla fizyków. *Fizyka a filozofia* jest książką napisaną nie dla fizyków - a ściślej - nie tylko dla fizyków, lecz również dla szerszego kręgu czytelników interesujących się filozoficznymi problemami nauki współczesnej. Autor przedstawia w niej swe poglądy na pewne filozoficzne i społeczne implikacje współczesnej fizyki, dokonuje konfrontacji poglądów związanych z najważniejszymi pośród dawnych i współczesnych nurtów myśli filozoficznej - z własnymi poglądami filozoficznymi, tudzież

konfrontacji różnych koncepcji współczesnej fizyki z koncepcjami, z którymi mamy do czynienia w innych dziedzinach nauki, zajmuje się zagadnieniami socjologicznymi, a nawet politycznymi. Co więcej, proponuje pewien światopogląd, a przynajmniej zarys światopoglądu, którego tezy - zdaniem Heisenberga - jednoznacznie wynikają z teorii i danych nauki współczesnej. Z Heisenbergiem można się nie zgadzać, można krytykować jego koncepcje filozoficzne, ale nie sposób przejść nad nimi do porządku, chociażby ze względu na ich oryginalność oraz ich związek z fizyką współczesną, do której powstania i rozwoju przyczynił się on w poważnej mierze.

Fizyka a filozofia to tekst wykładów, które w końcu 1955 i na początku 1956 roku Heisenberg wygłosił w *St. Andrew University* w Szkocji. Były one częścią cyklu prelekcji, tzw. *Gifford Lectures*, których celem jest omówienie najbardziej istotnych współczesnych problemów naukowych, filozoficznych, religijnych i politycznych. Zapewne ze względu na charakter tego cyklu autor nie ogranicza się do filozoficznej interpretacji teorii fizycznych. W książce znajdujemy szereg fragmentów, w których Heisenberg mówi o niebezpieczeństwie wojny i groźbie zagłady atomowej, walce o pokój, odpowiedzialności uczonego i jego stosunku do potocznych poglądów. Wypowiedzi te mają charakter raczej marginesowy, wskutek czego nie umożliwiają udzielenia wyczerpującej odpowiedzi na pytanie: jakie są polityczne i społeczne przekonania autora? To, co w nich znajdujemy, z pewnością nie wykracza poza dobrze znane poglądy uczonego - liberała, który chciałby widzieć ludzkość szczęśliwą, kierującą się wyłącznie racjonalnymi argumentami, dostarczonymi przez nauki - zwłaszcza przyrodnicze - a jednocześnie zdaje sobie sprawę z tego, że w świecie współczesnym argumenty racjonalne - mimo swej wagi - nie zawsze mogą odgrywać taką rolę przy rozstrzyganiu problemów wojny i pokoju czy też ekonomicznej organizacji życia społecznego, jaką mogą odgrywać w dyskusjach naukowych. Również i my wiemy z doświadczenia historycznego, że świata nie można zmienić posługując się jedynie orężem racjonalnej krytyki teoretycznej.

Nieufnością do wszelkiej ideologii, nie najlepszą zapewne znajomością filozofii materializmu dialektycznego (nie mówiąc już o przekonaniu, że materializm sprzeczny jest z treścią fizyki współczesnej), a także usprawiedliwioną niechęcią do sposobu polemiki z przeciwnikami, jaki uprawiano przez wiele lat rzekomo w imię marksizmu - można wytłumaczyć marginesowe uwagi Heisenberga na temat materializmu dialektycznego. Polemizując z materializmem w ogóle, a z materializmem dialektycznym w szczególności, autor ma niewątpliwie rację, gdy twierdzi, że trudno wymagać od dawnych filozofów - w tym również od Marksa i Lenina - aby w czasach, w których żyli, przewidzieli przyszły rozwój nauki i aby

treść ich wypowiedzi pokrywała się z treścią współczesnych teorii; przekonanie takie musi dzielić każdy, kto kontynuacji idei nie traktuje jako dogmatycznego powtarzania też głoszonych przez wielkich nauczycieli i twórców szkół filozoficznych. Nie sposób jednak zgodzić się z Heisenbergiem, gdy w związku z tym głosi, iż koncepcje materialistyczne obecnie tracą całkowicie wartość. Nie ulega wątpliwości, że w tej tezie znajduje wyraz zarówno jednostronność autora, który rozpatruje wszelkie poglądy filozoficzne z jednego tylko punktu widzenia - a mianowicie z punktu widzenia pewnych współczesnych teorii fizycznych (zinterpretowanych ponadto w swoisty sposób), jak i ahistoryzm, polegający na tym, że niektóre cechy tych teorii, na przykład indeterminizm, traktuje on jako coś ostatecznego. Czysto werbalna dyskusja na ten temat byłaby jałowa. O aktualności i żywotności filozofii materialistycznej, o możliwości kontynuowania idei materialistycznych można przekonać w jeden tylko sposób: twórczo je kontynuując (jest rzeczą oczywistą, że należy się przy tym opierać na aktualnym stanie wiedzy). *The proof of the pudding is in the eating...*

Jednakże nie owe dygresje Heisenberga i rozproszone w tekście marginesowe uwagi na różne tematy decydują o wartości jego książki; nie zajmują też one w niej takiego miejsca, by zasługiwały na szersze omówienie. Jej tematem jest treść filozoficzna współczesnych teorii fizycznych. *Fizyka a filozofia* jest interesująca przede wszystkim dlatego, że autor wyłożył w niej swoje poglądy w tej kwestii.

Czytelnik, który zapoznał się z pracą Heisenberga, staje wobec określonej propozycji światopoglądowej i pragnie do tej propozycji ustosunkować się. Narzucają mu się niewątpliwie pytania dotyczące jej zasadności.

Rozpatrzenie kilku zagadnień, które nasunęły mi się podczas lektury książki Heisenberga, stanowi cel niniejszego posłowania.

II

Fakt, że Heisenberg poświęca najwięcej uwagi interpretacji mechaniki kwantowej, raczej pobieżnie zajmując się innymi teoriami fizyki współczesnej, nie może nikogo dziwić. Po pierwsze, jest on autorem słynnej zasady nieoznaczoności, która w teoretycznym systemie mechaniki kwantowej zajmuje centralne miejsce. Wraz z N. Bohrem i M. Bornem należy do twórców tak zwanej interpretacji kopenhaskiej, którą do niedawna ogromna większość fizyków - z wyjątkiem A. Einsteina, M. Plancka i szeregu fizyków radzieckich - uważała za zadowalającą. Po drugie, interpretacja mechaniki kwantowej jest tematem szczególnie

ożywionych dyskusji filozoficznych. Nic więc dziwnego, że właśnie spojrzenie przez pryzmat tej interpretacji na całokształt współczesnej wiedzy skłoniło Heisenberga do wysunięcia określonej propozycji światopoglądowej. To, co pisze on np. o szczególnej i ogólnej teorii względności - stanowi przede wszystkim ilustrację pewnych zasadniczych tez jego koncepcji filozoficznej, której źródłem jest mechanika kwantowa. Jest to zrozumiałe z punktu widzenia psychologii, każdy bowiem uczony jest skłonny patrzeć na całość wiedzy przede wszystkim przez pryzmat tych teorii, do których powstania sam się przyczynił, zwłaszcza gdy teoria ta ma doniosłe znaczenie filozoficzne.

Heisenberg nie pierwszy raz staje w szranki dyskusji filozoficznej. W niniejszej pracy, broniąc interpretacji kopenhaskiej, polemizuje z A. Einsteinem, E. Schrodingerem, który podjął próbę własnej interpretacji i przypisał realne istnienie tylko falom (a więc odrzucił zasadę komplementarności Bohra), a także z szeregiem innych uczonych, takich jak np. L. de Broglie, D. Bohm, J. P. Yigier, L. Janossy, D. I. Bło-chincew, A. D. Aleksandrow.

W najogólniejszym zarysie jego stanowisko w tej dyskusji jest następujące: Nikomu dotychczas nie udało się dowieść, że interpretacja kopenhaska jest niespójna logicznie lub niezgodna z jakimkolwiek doświadczeniem przeprowadzonym lub tylko pomyślanym. Nikt też nie zdołał podać w pełni obiektywnej i deterministycznej interpretacji teorii mikroprocesów, która by była zadowalająca z logicznego i fizycznego punktu widzenia. Oczywiście, każdemu wolno mieć nadzieję, że kiedyś to nastąpi, jednakże owa nadzieja wydaje się złudna. Ponieważ interpretacja kopenhaska jest jedyną spójną teorią wszystkich dotychczas poznanych zjawisk mi-kroświata, nie ma żadnych faktów, które musiałyby skłonić myśliciela nieuprzedzonego, nie tkwiącego w pętach dziewiętnastowiecznych tradycji filozoficznych (w pętach *realizmu dogmatycznego* lub *realizmu metafizycznego* - mówiąc językiem Heisenberga) do uznania jej za niewłaściwą. Dotychczasowe zarzuty pod adresem interpretacji kopenhaskiej albo nie są związane z żadnymi nowymi propozycjami merytorycznymi i wypływają z przesłanek filozoficznych, religijnych, ideologicznych czy nawet politycznych, albo są związane z propozycjami, których nie można uznać za słuszne ze względu na szereg faktów fizycznych lub powszechnie uznawane reguły metodologiczne. Deterministyczna i w pełni obiektywna interpretacja teorii kwantów jest niemożliwa, jeśli np. ma pozostać w mocy reguła zakazująca wprowadzania do teorii fizycznej parametrów zasadniczo nieobserwo-walnych. Niemożliwość takiej interpretacji wynika - a sędzę, że jest to dla Heisenberga sprawa pierwszorzędnej wagi - z sensu tego pojęcia prawdopodobieństwa, z którym mamy do czynienia w prawach mechaniki kwantowej. Zdaniem autora niniejszej książki funkcja falowa opisująca stan mikroukładu, związana z pojęciem

prawdopodobieństwa, zawiera zarówno element obiektywny, który wyklucza możliwość interpretacji deterministycznej, jak i pierwiastek subiektywny, wykluczający możliwość interpretacji całkowicie obiektywnej.

Czytelnik ma prawo twierdzić, że Heisenberg broni m. in. następujących trzech ogólnych tez:

1. Współczesna teoria mikroprocesów - mechanika kwantowa - jest jedyną teorią mikroświata, którą można uznać za słuszną.

2. Interpretacja kopenhaska oznacza przewrót w filozofii, implikuje bowiem wnioski niezgodne z dominującym w przyrodoznawstwie ubiegłego stulecia światopoglądem materialistycznym i związanym z nim postulatem w pełni obiektywnego i deterministycznego opisu zjawisk przyrody.

3. Filozoficzne wnioski, które wynikają z mechaniki kwantowej i znajdują wyraz właśnie w interpretacji kopenhaskiej, powinny być punktem wyjścia filozoficznej interpretacji całości naszej wiedzy.

Dość łatwo jest zauważyć, że tezy te nie stanowią całości logicznie spójnej - nie stanowią spójnej całości w tym sensie, że uznanie np. pierwszej nie prowadzi z konieczności do uznania drugiej, a uznanie drugiej nie zmusza do przyjęcia również i trzeciej. Jest rzeczą możliwą, iż rację ma Heisenberg, sądząc, że współczesna teoria kwantów jest jedyną możliwą teorią mikroprocesów i że wynikają z niej nieuchronnie właśnie takie wnioski filozoficzne, jakie on wysnuwa, oraz że wnioski te mają znaczenie ogólne. Nie sposób jednakże z góry uznać za niesłuszny pogląd, który głosi, że nawet na gruncie takiej teorii mikroprocesów, jaką jest współczesna mechanika kwantowa, możliwa jest inna interpretacja filozoficzna i że nieuzasadnione jest uznanie wniosków filozoficznych wysnutych ze współczesnej teorii mikrozwisk za podstawę interpretacji całości naszej wiedzy o przyrodzie. W związku z wyróżnieniem trzech powyższych tez Heisenberga powstają trzy następujące zagadnienia:

1. Czy współczesna mechanika kwantowa jest jedyną aktualnie możliwą teorią zjawisk mikroświata?

2. Czy rzeczywiście - jeśli odpowiedź na pierwsze pytanie byłaby twierdząca - wynikają z niej niezbicie te właśnie

filozoficzne wnioski, które znajdują wyraz w interpretacji kopenhaskiej ?

3. Co nowego do naszych poglądów na przyrodę wnoszą wnioski filozoficzne wynikające z teorii współczesnej fizyki?

Tymi zagadnieniami zajmiemy się obecnie.

III

Należy zdać sobie sprawę z tego, że przeciwko teorii kwantów rzeczywiście wysuwa się zarzuty dwojakiego rodzaju. Niektóre z nich - i tu Heisenberg ma bez wątpienia rację - wynikają z niezadowolenia spowodowanego odrzuceniem w mechanice kwantowej panującego dotychczas w nauce ideału obiektywnego i deterministycznego opisu procesów przyrody. Należy uznać za całkowicie słuszne tezy Heisenberga, że podczas badania nowych obszarów przyrody istotna modyfikacja naszych poglądów może się okazać konieczna, że nowo poznane zjawiska często trzeba opisywać w terminach trudno przekładalnych na język potoczny (a nawet nie mających odpowiedników w tym języku) i że poglądy oparte na danych nauk przyrodniczych określonej epoki nie mogą mieć waloru prawdy absolutnej. Niemniej jednak sędzę, że należy zachowywać daleko idącą ostrożność, kiedy się ocenia dawne poglądy. Stare poglądy mogą hamować proces poznania przyrody. Dotyczy to również poglądów filozoficznych. Z tego jednakże bynajmniej nie wynika, że należy całkowicie odrzucić stare koncepcje i zastąpić je nowymi, które nie nawiązywałyby do starych, nie byłyby w większej "lub mniejszej mierze ich kontynuacją. Wdając się w rozważania nad filozoficznymi konsekwencjami nowych koncepcji fizycznych nie jest rzeczą rozsądną zapominać, że ideał nauki obiektywnej i deterministycznej nie wynikał z filozoficznego nieokrzesania dawnych myślicieli lub ich ignorancji w dziedzinie fizyki. Zgadzając się całkowicie z tezą autora, że zarzuty, które są oparte jedynie na przesłankach filozoficznych, nie są dostatecznie przekonujące w dyskusji naukowej nad teorią kwantów, nie dopatrywałbym się dogmatyzmu i tylko dogmatyzmu - zawężającego horyzonty poznawcze, dogmatyzmu godnego potępienia w tym, że niektórzy uczeni uporczywie bronią ideału nauki obiektywnej i deterministycznej. Przecież obrona tego ideału może się przyczynić do usunięcia pewnych słabych miejsc z nowej teorii; może ponadto - i to wydaje mi się najważniejsze - pobudzić do poszukiwania w starych koncepcjach tych elementów treści, które w nowej postaci powinny być zachowane - właśnie w imię zasady korespondencji. W dziewiętnastym stuleciu trudno było przypuszczać, że dawno przewyżczona arystotelesowska koncepcja potencji odżyje w wieku dwudziestym w interpretacji procesów przyrody. Czyż dziś mamy więc uznać za uzasadniony pogląd, który głosi, że koncepcja nauki obiektywnej i deterministycznej jest pogrzebana raz na zawsze?

Oczywiście nie są to bynajmniej argumenty przeciwko uznaniu mechaniki kwantowej w jej współczesnej postaci za teorię słuszną. Są to co najwyżej uwagi, które mogą ewentualnie skłonić do zachowania sceptycyzmu wobec zbyt ogólnych i zbyt pochopnych

wniosków filozoficznych wysnutych z tej teorii.

Mówi się dziś często - polemizując z koncepcjami szkoły kopenhaskiej - że przyszłe doświadczenia, których celem będzie np. zbadanie struktury cząstek elementarnych, mogą zmusić fizyków do rewizji pewnych aktualnych poglądów teoretycznych. W związku z tym niektórzy uczeni mają nadzieję, że nastąpi powrót do deterministycznej i obiektywnej interpretacji procesów zachodzących w przyrodzie. Ale dziś trzeba przyznać rację Heisenbergowi, kiedy twierdzi on, że mimo wielu prób dotychczas nie udało się stworzyć innej teorii mikro-zjawisk niż ta, do której powstania on się przyczynił. Mógłby chyba nawet dodać, że ewentualne wykrycie na jakimś głębszym poziomie strukturalnym materii pewnych nowych parametrów - dziś "utajonych" - umożliwiające deterministyczny opis obecnie znanych mikroprocesów, nie musiałoby przesądzać sprawy na rzecz determinizmu. Nie sposób bowiem wykluczyć tego, że nawet gdyby tak się stało i parametry te zostały wykryte, procesy zachodzące na owym głębszym poziomie nie tylko mogłyby mieć charakter probabilistyczny (i całe zagadnienie sporne przeniosłoby się po prostu o "piętro niżej"), ale, co więcej, moglibyśmy wtedy stwierdzić nieadekwatność całego szeregu pojęć, którymi dziś operujemy w fizyce, analogicznie do tego, jak niektóre pojęcia fizyki klasycznej (np. pojęcie lokalizacji przestrzennej obiektu) uznaje się za nieadekwatne w dziedzinie tych zjawisk, których teorią jest mechanika kwantowa. (Już dziś wszakże wysuwa się koncepcje kwantowania czasu i przestrzeni, hipotezy o różnych kierunkach upływu czasu w mikroprocesach itp.). Co więcej, mógłby również powołać się na zasadę korespondencji i powiedzieć, że jeśli nawet słuszny jest pogląd, wedle którego współczesna teoria kwantów jest teorią "niekompletną", to niemniej jednak pewne jej zasadnicze idee będą z pewnością przejęte przez przyszłą teorię. Zauważmy w tym miejscu, że od wielu lat przez najwybitniejszych teoretyków - a wśród nich Heisenberga - podejmowane są próby stworzenia jednolitej teorii pola, która obejmowałaby zarówno zjawiska makroświata, jak i mikro-świata i z której - jako przypadek szczególny - dałoby się wyprowadzić współczesną teorię mikro-zjawisk. Trudno wykluczyć *a priori*, że - gdyby powiodły się te próby - można by było w nowy sposób ująć przynajmniej niektóre aspekty współczesnych teorii.

Sądzę, że żadna dyskusja *filozoficzna* nie może doprowadzić do rozwiązania tych zagadnień i że doprowadzić do tego może tylko dalszy rozwój fizyki. Dlatego też uważam, że ktoś, kto, jak piszący te słowa, nie potrafi przeciwstawić współczesnej teorii kwantów żadnego rozwiązania alternatywnego, musi się zgodzić z autorem tej książki, że dotychczas teoria ta ostała się wszelkim krytykom i zdaje dobrze sprawę ze wszystkich przeprowadzonych doświadczeń. Nie jest to mało. Toteż, jeśli nawet z takiego czy innego

powodu sądzi się, że spór o interpretację teorii kwantów jest nierozstrzygnięty, to niemniej warto się zastanowić, czy rzeczywiście wszystkie wnioski filozoficzne, które Heisenberg wysnuwa z tej teorii, są równie usprawiedliwione, jak przekonanie, że jest ona teorią słuszną. Tym zagadnieniem zajmiemy się obecnie.

IV

Teoria kwantów, zdaniem Heisenberga, nie da się pogodzić z filozofią materialistyczną, przede wszystkim dlatego, że jest sprzeczna: a) z materialistycznym ideałem nauki deterministycznej i b) z materialistycznym ideałem nauki opisującej obiektywnie rzeczywistość; krótko mówiąc - dlatego, że jest ona indeterministyczna, a w jej treści zawarte są elementy subiektywne.

Zgodnie z tym, co powiedziano poprzednio, spróbujemy ustosunkować się do tych twierdzeń Heisenberga, zakładając, że słuszny jest jego pogląd, wedle którego mechanika kwantowa w swej współczesnej postaci jest uzasadnioną i aktualnie jedyną możliwą teorią mikroprocesów, a jej charakter indeterministyczny nie jest zjawiskiem "przejęciowym", deterministyczna zaś teoria mikroprocesów jest niemożliwa.

Pierwsze pytanie, na które musielibyśmy tu odpowiedzieć, można sformułować w sposób następujący: *Czy prawdą jest, że indeterministyczny charakter teorii kwantów musi oznaczać, iż teoria ta jest sprzeczna ze światopoglądem materialistycznym?*

Czytelnik, który zna historię filozofii, skłonny jest niewątpliwie odpowiedzieć na to pytanie twierdząco - tak jak odpowiada na nie Heisenberg. Wedle starej tradycji filozoficznej stanowiska indeterministycznego nie sposób pogodzić ze stanowiskiem materialistycznym, którego warunkiem koniecznym (choć oczywiście niewystarczającym) ma być - zgodnie z tą tradycją - determinizm. Źródłem tej tradycji jest niewątpliwie sposób, w jaki przez długie wieki formułowano stanowisko indeterministyczne. Wiemy z historii filozofii, że dotychczas indeterminizm zawsze był związany bądź z teologią, bądź z zaprzeczeniem istnienia obiektywnych prawidłowości przyrody, bądź z negacją możliwości poznania tych prawidłowości, a więc z tezami filozoficznymi, których nie da się w żaden sposób pogodzić ze stanowiskiem materialistycznym, z tezami związanymi *par excellence* z taką lub inną odmianą idealizmu. Świadomość tej tradycji jest bez wątpienia żywa. Każde ona zazwyczaj idealistycznie widzieć w podważeniu determinizmu argument na rzecz idealizmu, materialistę zaś skłania do odrzucenia - niemal *a priori* - wszelkich koncepcji indeterministycznych jako nie dających się pogodzić z dobrze uzasadnionymi - jak sądzi - przez dotychczasowy rozwój

nauki - jego tezami ogólnymi.

Spróbujmy jednakże zastanowić się, czy takie stanowisko jest rzeczywiście jedynym możliwym. Warto w tym celu poświęcić parę słów wyjaśnieniu, na czym polega spór między determinizmem a indeterminizmem.

Faktem jest, że spór między determinizmem a indeterminizmem przybierał w historii nauki i filozofii rozmaite formy i dotyczył różnych problemów. Wskutek tego termin *determinizm* (resp. *indeterminizm*) obejmuje dziś nie jakieś poszczególne, wyraźnie określone stanowiska, lecz całą ich gamę. Na przykład indeterminizmem nazywa się dziś zarówno koncepcję, wedle której nieprawdą jest, jakoby wszystkie procesy przyrody podlegały *obiektywnym* prawidłowościom, jak i pogląd negujący tezę, że wszystkie te prawa mają charakter *jednoznaczny*; ponadto indeterministą nazywa się nie tylko tego, kto odrzuca powszechny walor zasady przyczynowości, ale i tego, kto np. zajmuje stanowisko finalistyczne. Toteż kiedy Heisenberg twierdzi, że współczesna mechanika kwantowa jest teorią indeterministyczną i dlatego obala materializm, musimy spróbować wyraźnie określić, na czym, jego zdaniem, indeterminizm ten polega.

Otóż, jak łatwo zauważyć, Heisenberg, podobnie zresztą jak i inni współcześni fizycy, nigdzie nie przeczy, że zjawiska mikroświata podlegają jakimś prawidłowościom i że na podstawie znajomości tych prawidłowości można zjawiska te przewidywać. Kiedy mówi, że mechanika kwantowa jest teorią indeterministyczną, chodzi mu o to, że prawa jej mają charakter statystyczny, a wobec tego oparte na nich prognozy zdarzeń elementarnych mają charakter probabilistyczny, nie zaś jednoznaczny. Nie możemy powiedzieć, gdzie w określonej chwili znajdzie się dana cząstka, możemy tylko podać prawdopodobieństwo tego, że znajdzie się ona w danym obszarze.

Krótko mówiąc - spór między determinizmem a indeterminizmem we współczesnej fizyce dotyczy kwestii, czy możliwe jest sformułowanie takiej teorii mikroświata, która pozwoli formułować jednoznaczne prognozy mikro-zjawisk, to znaczy, czy u podłoża statystycznych praw mechaniki kwantowej leżą jakieś ukryte jednoznaczne prawidłowości, których jeszcze nie zdołaliśmy poznać. Moglibyśmy więc powiedzieć, że stanowisko deterministyczne, z którym Heisenberg polemizuje na gruncie mechaniki kwantowej, znajduje wyraz w następującym twierdzeniu:

“Wszystkie procesy zachodzące w przyrodzie przebiegają w taki sposób, że stan układu izolowanego w chwili t_1 wyznacza w sposób jednoznaczny stan, w jakim znajdzie się ten układ w chwili t_2 ”.

Wyrazem tego samego stanowiska - w płaszczyźnie teo-riopoznawczej - jest teza:

“Dla wszystkich procesów zachodzących w przyrodzie można podać taką teorię, która na podstawie znajomości stanu układu w chwili t_1 , pozwala przewidzieć jednoznacznie stan, w jakim znajdzie się on w chwili t_2 ”.

Indeterminizm Heisenberga i wielu innych fizyków współczesnych polega na kwestionowaniu tych tez. Sądzą oni, jak powiedzieliśmy, że zależności i prognozy mogą mieć tylko charakter probabilistyczny. Dlatego też, kiedy pytamy o stosunek mechaniki kwantowej do materializmu filozoficznego, głównym problemem, który należy rozstrzygnąć, jest, jak sądzimy, zagadnienie interpretacji praw statystycznych. W każdym razie przy określonej interpretacji praw statystycznych - a mianowicie takiej, która uznawałaby ich po-znawalność i obiektywny charakter, przedstawiona wyżej wersja indeterminizmu różniłaby się od determinizmu tylko w kwestii natury obiektywnych praw przyrody - tzn. jej zwolennicy w inny sposób niż determiniści odpowiedzialiby na pytanie: Czy prawa te mają charakter jednoznaczny, czy probabilistyczny ?

Nie ulega wątpliwości, że taka wersja indeterminizmu jest rzeczywiście sprzeczna z tą formą materializmu, która ukształtowała się na gruncie przyrodoznawstwa XVIII i XIX wieku. Na tym właśnie oparty jest pogląd Heisenberga, że mechanika kwantowa, która ma charakter statystyczny, obala materializm. Czy jednak wniosek Heisenberga nie jest zbyt daleko idący? Czy słusznie czyni on, kiedy zamiast powiedzieć, że mechanika kwantowa nie daje się pogodzić z dziewiętnastowieczną wersją materializmu, głosi, że obala ona materializm w ogóle?

Materializm jest to stanowisko filozoficzne, wedle którego realnie istnieje tylko materia, czyli układ obiektów fizycznych o *jakiejś* strukturze i *jakichś* relacjach wzajemnych, układ obiektów podlegających *jakimś* prawidłowościom niezależnym od podmiotu. Sens owego *jakieś* wyjaśniają w każdej epoce nauki przyrodnicze, przede wszystkim fizyka jako podstawowa nauka o przyrodzie. Materializm nie jest jednak stanowiskiem petryfikującym określone przyrodnicze koncepcje na temat relacji, własności i prawidłowości obiektów materialnych; wraz z rozwojem wiedzy o przyrodzie sam się zmienia, przeobraża. Po każdorazowej zmianie teorii naukowych za owymi *jakieś* pojawia się nowa treść.

Materializm w tej postaci, która ukształtowała się na gruncie przyrodoznawstwa XIX wieku, był teorią głoszącą

m. in., że struktura obiektów fizycznych, prawidłowości, którym obiekty te podlegają itd. - są takie, a nie inne. Uważano więc, że cała przyroda składa się z pewnych elementar-

nych, niepodzielnych i niezmiennych składników elementarnych; sądzono, że te najprostsze "cegiełki", z których składają się wszystkie obiekty, mają niewielką ilość własności, przy czym miały to być te własności, które znamy z mechaniki klasycznej; mniemano, że wszystkie prawidłowości, którym podlegają te obiekty, mają charakter jednoznaczny.

Nie sądzę jednak, aby ktoś, kto akceptuje przedstawione wyżej ogólne, podstawowe tezy filozofii materialistycznej, musiał zarazem być zwolennikiem tych poglądów dziewiętnastowiecznych, które stanowią ich swoistą konkretyzację. Materializm wprawdzie implikuje pogląd, że prawa przyrody mają charakter obiektywny, nie głosi jednak raz na zawsze ustalonych twierdzeń dotyczących natury tych więzi. Z materializmu wynika pogląd, iż wiezie przestrzenno-czasowe mają charakter obiektywny, nie wynika z niego jednak, że są one właśnie takie, za jakie uznawano je w nierelatywistycznej mechanice klasycznej.

Z tego względu nie wydaje się, aby ten fakt, że niektóre prawa przyrody mają charakter probabilistyczny (nie są jednoznaczne) i że możliwe jest tylko probabilistyczne przewidywanie zjawisk mikroświata - zmuszał do odrzucenia materializmu. Również dlatego nie sądzę, aby słuszny był pogląd, wedle którego jedynie determinizm jest stanowiskiem zgodnym z materializmem. Nie wydaje mi się, aby ewentualne ugruntowanie się w nauce tej koncepcji indeterministycznej, wedle której wiezie prawidłowe są obiektywne i poznawalne, stanowiło koniec materializmu. Sądzę raczej, że gdyby na skutek już dokonanych i przyszłych odkryć trzeba było zrezygnować z koncepcji, która głosi, że wszystkie wiezie prawidłowe mają charakter jednoznaczny, oznaczałoby to *nie koniec materializmu w ogóle, lecz koniec pewnej jego wersji, jeszcze jedną zmianę jego formy*. Wydaje mi się rzeczą nader wątpliwą, aby jedyną nadzieją dla współczesnego materialisty było znalezienie deterministycznej teorii mikroprocesów; wobec tego wątpię też, aby musiał on odrzucać *a priori* wszelką myśl o możliwości indeterministycznego charakteru niektórych procesów przyrody.

Z tego, co powiedziano, wynika, moim zdaniem, że pogląd Heisenberga, wedle którego procesy mikroświata mają charakter indeterministyczny, *nie musiałby* nieuchronnie być sprzeczny z materializmem, a jego wniosek, rzekomo wynikający z mechaniki kwantowej, iż teoria ta obala materializm, nie musiałby bynajmniej być tak pewny, jak to się jemu wydaje.

Używając w poprzednim zdaniu trybu warunkowego, miałem na myśli to, że to, co powiedziałem, byłoby słuszne, gdyby Heisenberg uważał, że prawa probabilistyczne, którym podlegają mikroprocesy, mają charakter całkowicie obiektywny. Na tym jednakże polega cały problem. Materialistyczna interpretacja współczesnej mechaniki kwantowej - jeśli się zakłada, że teoria ta musi mieć charakter indeterministyczny - możliwa jest tylko w tym

przypadku, gdy uznaje się obiektywny charakter praw mikroświata. Twierdzenie Heisenberga, że współczesna fizyka jest sprzeczna z materializmem, opiera się nie tylko na tej przesłance, że jej prawa mają charakter indeterministyczny, ale i na tym, że prawa te, ze względu na sens pojęcia prawdopodobieństwa, nie mają charakteru całkowicie obiektywnego.

V

Zdaniem Heisenberga funkcja prawdopodobieństwa, z którą mamy do czynienia w mechanice kwantowej, stanowi jak gdyby połączenie dwóch elementów, "opisuje bowiem pewien fakt, a zarazem wyraża stan naszej wiedzy o tym fakcie" (s. 27). I właśnie dlatego, że opis mikroprocesów jest niemożliwy bez odwołania się do funkcji prawdopodobieństwa, która nie ma charakteru wyłącznie obiektywnego, mechanika kwantowa jest sprzeczna z ideałem całkowicie obiektywnej teorii, postulowanym przez filozofię materialistyczną. Heisenberg pisze, że "fizyka atomowa sprowadziła naukę z drogi materializmu, którą kroczyła ona w dziewiętnastym stulaciu" (s. 42).

Spróbujmy więc rozpatrzyć argumenty na rzecz tego twierdzenia, przytoczone przez autora.

Heisenberg sądzi, że realne procesy zachodzące w mikro-świecie mają charakter obiektywnie probabilistyczny. Z tym przekonaniem związana jest jego interpretacja pojęcia prawdopodobieństwa jako miary pewnej *potencji*, obiektywnej tendencji. W związku z tym w dziedzinie mikrofizyki mamy

do czynienia z rzeczywistością fizyczną inną niż ta, o której była mowa w fizyce klasycznej. Jest to raczej świat potencji, czy też możliwości, niż świat rzeczy i faktów, coś pośredniego pomiędzy możliwością a rzeczywistością. Poznanie jest procesem dokonującym się dzięki obserwacji, która zakłóca obiektywny stan rzeczy i przekształca możliwość w rzeczywistość. Spośród rozmaitych możliwości, którym odpowiadają określone prawdopodobieństwa, realizuje się skutek naszej obserwacji jedna z nich. Ponadto nasz opis tych obserwacji nie może być wolny od pewnych elementów subiektywizmu, jest bowiem dokonywany w terminach klasycznych, co wynika z natury ludzkiego myślenia i natury doświadczeń dokonywanych przez człowieka, w toku których można jedynie rejestrować oddziaływania mikroobektów na makroskopowe przyrządy pomiarowe. Konsekwencją posługiwania się pojęciami klasycznymi jest to, co stwierdza zasada komplementarności. Właśnie z tych względów prawdopodobieństwo ma w dziedzinie mikrofizyki zarazem charakter obiektywny (jako miara potencji), jest bowiem ilościowym wyrazem niejednoznacznego wyznaczania

stanów późniejszych przez stany wcześniejsze, jak i charakter subiektywny, jako że uwzględnia nie tylko nieoznaczoności wynikające z oddziaływania mikroobiektu z przyrządem pomiarowym, ale i zwykle błędy doświadczalne.

W opisie stanu mikroukładu dokonywanym za pomocą funkcji falowej, w którym mamy do czynienia zarówno z obiektywnym, jak i subiektywnym prawdopodobieństwem, obiektywny stan rzeczy nie daje się oddzielić od naszej subiektywnej wiedzy o nim.

Zanim przejdziemy do sprawy zasadniczej, to znaczy do analizy owego subiektywnego aspektu mikrofizyki, poświęćmy parę słów ontologii proponowanej przez autora.

Na podstawie tekstu trudno jest dokładnie odtworzyć on-tologię W. Heisenberga. Wydaje się ona niezupełnie sprecyzowana i nie wolna od eklektyzmu. Twierdzi on, że tworzywem cząstek elementarnych jest pewna elementarna substancja - energia, a jednocześnie pisze, że cząstki te istnieją tylko potencjalnie. Kiedy się czyta ten fragment, w którym Heisenberg ocenia koncepcje filozoficzne Heraklita, może się wydawać, że świat potencji, który ma zastąpić świat rzeczy, to nic innego, jak świat energii i rozmaitych jej przemian. Posługując się terminologią arystotelesowską, można by było powiedzieć, że według Heisenberga świat potencji (czy też *materia prima*) - to energia. Formy materii (w arystotelesowskim sensie słowa) są - wedle niego - rozwiązaniami wynikającymi ze schematów matematycznych przedstawiających prawa natury. Tak więc świat obiektów fizycznych jawi się Heisenbergowi jako coś, co przypomina arystotelesowską nie uformowaną *materia prima*, którą ma być energia, a której formami (formami takimi są właśnie cząstki elementarne) mają być rozwiązania równań przedstawiających prawa przyrody. Zarazem jednak interpretacja ta żywo przypomina kantowską koncepcję *rzeczy samych w sobie*. Kantowską koncepcją rzeczy samych w sobie, o których niepodobna wnioskować na podstawie postrzeżeń, ma, według Heisenberga, swoją formalną analogię w teorii kwantów, polegającą na tym, że chociaż we wszystkich opisach doświadczeń posługujemy się pojęciami klasycznymi, możliwe jest nieklasyczne zachowanie się mikroobektów (cf. s. 63). Rzecz sama w sobie, niedostępna naszej obserwacji i natychmiast przez nią przekształcana z możliwości w rzeczywistość - to właśnie potencja czy też tendencja. Tak więc ontologia Heisenberga i jego *realizm praktyczny* sprowadzają się do tego, że uznaje on wprawdzie istnienie jakiejś rzeczywistości pozazjawiskowej, lecz rzeczywistość ta to nie świat obiektów, lecz świat potencji, coś pośredniego między ideą zdarzenia a samym zdarzeniem, coś, czemu rzeczywistość nadają rozwiązania matematyczne. "Zamiast pytać: Jak opisać daną sytuację doświadczalną, posługując się schematem matematycznym?" - pisze

autor - postawiono pytanie: „Czy prawdą jest, że w przyrodzie zdarzać się mogą tylko takie sytuacje doświadczalne, które można opisać matematycznie?” (s. 15-16). Nie ulega wątpliwości, że Heisenberg na to ostatnie pytanie odpowiada twierdząco.

Problem ontologicznej interpretacji danych współczesnej mikrofizyki, udzielenia odpowiedzi na pytanie, co to jest realność fizyczna - jest nader złożonym zagadnieniem, którego nie możemy tu rozpatrywać szczegółowo. Mechanika kwantowa wykazała, że obecnie nie sposób bronić tej koncepcji obiektu materialnego, która powstała w przyrodoznawstwie XIX wieku. Mikroobiekty z pewnością nie mają własności identycznych z tymi, które dziewiętnastowieczny materialista uważał za najbardziej podstawowe i uniwersalne własności wszelkich obiektów materialnych. Nie wydaje

się to jednak wystarczającą podstawą do twierdzenia, że z punktu widzenia fizyki współczesnej żadna materialistyczna ontologia jest niemożliwa.

Problem: czy cząstki elementarne są realnymi samoistnymi bytami materialnymi, czy też są one osobliwościami materii polowej - jest, jak pisze sam Heisenberg, nadal nie rozstrzygnięty. Koncepcja, ku której skłania się autor, a mianowicie koncepcja głosząca, że cząstki elementarne są osobliwościami pól, nie musi bynajmniej być sprzeczna z materializmem, mimo że nie mieści się w nurcie atomistycznym, z którym zazwyczaj materializm był związany. Twierdzenie, że cząstki elementarne okazałyby się w tym przypadku „rozwiązaniami równań matematycznych”, zdaje się mieć tylko ten sens, że w schemacie matematycznym opisującym pole (Heisenberg, jak wiadomo, podjął próbę stworzenia unitarnej teorii pola) pewnym wyrazom matematycznym przyporządkowane byłyby określone wielkości fizyczne, odpowiadające cząstkom elementarnym. Wypowiedzi Heisenberga, które świadczą o tym, że uważa on, iż aparat matematyczny „formuje” rzeczywistość fizyczną, nie wydają się ani jedyną możliwą interpretacją, ani też taką, która odpowiadałaby niemal powszechnie, co najmniej od czasów Galileusza, przyjętemu pogładowi na stosunek matematyki do *rzeczywistości*.

Wydaje się, że najistotniejsza jest ta teza ontologiczna Heisenberga, w której utożsamia on obiektywne prawdopodobieństwo z potencją. Sądzę, że obiektywizacja pojęcia prawdopodobieństwa i nadanie mu statusu ontologicznego mają doprowadzić do uzyskania niesubiektywistycznej, niepozytywistycznej interpretacji mechaniki kwantowej. Tę właśnie tezę, której Heisenberg nie rozwija konsekwentnie, sądzi bowiem, że prawa mechaniki kwantowej muszą zawierać oprócz owego elementu obiektywnego również i element subiektywny, rozpatrzmy obecnie.

VI

Heisenberg w swej książce nie wyjaśnia dokładnie, jak należy rozumieć owo obiektywne prawdopodobieństwo wyrażane przez funkcję prawdopodobieństwa, za pomocą której opisujemy stan mikroukładu. Wydaje się, że owo obiektywne prawdopodobieństwo, potencję, należy pojmować w następujący sposób:

Stanowisko indeterministyczne polega, jak wiadomo, na tym, że twierdzi się, iż S_1 , stan układu w chwili t_1 , określony przez pełny (ze względu na dane zjawisko) zespół parametrów fizycznych, nie wyznacza jednoznacznie stanu S_2 , w jakim znajdzie się ten układ w chwili t_2 , wyznacza bowiem jedynie prawdopodobieństwa różnych stanów $S_2', S_2'', S_2''', \dots, S_2^n$, w których układ może się znaleźć w chwili t_2 . Można by było po prostu powiedzieć, że indeterminizm to stanowisko, wedle którego zespoły statystyczne o skończonej dyspersji mogą być zespołami czystymi, to znaczy takimi, że nie sposób wskazać parametrów, które pozwoliłyby wyodrębnić z owych zespołów jakichś podzespołów o mniejszej dyspersji. Otóż obiektywny element funkcji prawdopodobieństwa wyraża to, że określonej sytuacji fizycznej właściwa jest dyspozycja do wywoływania pewnych zdarzeń z określonymi częstościami względnymi (przy wielokrotnym powtarzaniu się tej sytuacji); mimo że sytuacja ta jest opisana przez pełen zespół parametrów, parametry te nie wyznaczają jednoznacznie przyszłych zdarzeń. Można by więc było powiedzieć, że owa dyspozycja do wywoływania jakichś zdarzeń z określoną częstością względną jest "wewnętrzna" własnością tak scharakteryzowanej sytuacji doświadczalnej, przy czym realizacja określonych zdarzeń nie zależy od żadnych warunków uzupełniających, "zewnętrznych" w stosunku do tych, które są charakterystyczne dla tej sytuacji. Realizacja zdarzeń należących do czystego zespołu statystycznego, odpowiadającego danemu pełnemu zespołowi parametrów charakteryzujących sytuację doświadczalną, nie zależy więc od ewentualnie nie uwzględnionych cech sytuacji, od jakichś parametrów utajonych, jeśli takowe w ogóle istnieją. To właśnie miałem na myśli, mówiąc o obiektywizacji pojęcia prawdopodobieństwa - prawdopodobieństwa, które Heisenberg utożsamia w swej indeterministycznej ontologii z potencją. Jak powiedziałem poprzednio, gdyby stanowisko Heisenberga w tej kwestii polegało jedynie na obronie tego rodzaju tezy, nie mielibyśmy powodu uznawać tego stanowiska - choć indeterministycznego - za sprzeczne z materializmem*.

Można wykazać, że obiektywna interpretacja wypowiedzi probabiliJednakże funkcja prawdopodobieństwa, zdaniem Heisenberga, nie tylko opisuje pewne obiektywne potencje, tendencje czy dyspozycje; zawiera ona też pierwiastki subiektywne, albowiem zarówno

przedstawia obiektywny stan mikroukładu, jak i wyraża naszą wiedzę o nim. Źródłem tych subiektywnych pierwiastków jest niedokładność pomiaru i konieczność dokonywania opisu w terminach fizyki klasycznej.

Jeśli chodzi o pierwszy z tych czynników (chodzi tu o niedokładność, która nie jest związana z relacjami nieznaczo-ności, lecz występuje we wszystkich pomiarach fizycznych), to nasuwa się następująca wątpliwość:

Heisenberg twierdzi, że statystyczna interpretacja "normalnych" błędów doświadczalnych wprowadza do teorii element subiektywny, przyjmując bowiem tę interpretację powołujemy się na niedokładność naszej wiedzy. Jest to, wydaje się, problem nie mający nic wspólnego z mechaniką kwantową; z zagadnieniem tym w równej mierze mamy do czynienia w fizyce klasycznej. Wiadomo powszechnie, że każde prawo fizyczne stanowi pewnego rodzaju idealizację, polegającą między innymi na tym, że pewne realne oddziaływania (na przykład opór powietrza w sformułowaniu prawa swobodnego spadku ciał) w ogóle nie są uwzględniane, i na tym, że zakłada się, iż początkowy stan układu zmierzono absolutnie dokładnie, czego w rzeczywistości nigdy nie można dokonać. Dokładność teoretycznego przewidywania stanu, w którym znajdzie się układ w chwili t_2 , zależy od dokładności pomiaru parametrów stanu układu w chwili t_1 . Jeśli badamy rozkład statystyczny wartości parametrów charakteryzujących początkowy stan układu (oczywiście chodzi tu o rozkład wartości parametrów zmierzonych podczas serii doświadczeń przeprowadzonych możliwie w identycznych warunkach), robimy to między innymi po to, by wiedzieć, jakiego możemy się spodziewać odchylenia wyników pomiarów parametrów charakteryzujących końcowy stan układu od stycznych jako wypowiedzi charakteryzujących dyspozycje sytuacji doświadczalnej, przy odpowiednim rozumieniu terminu *dyspozycja*, da się pogodzić również ze stanowiskiem deterministycznym (patrz: S. Amsterdamski, *Obiektywne interpretacje pojęcia prawdopodobieństwa*, w zbiorze *Prawo konieczność, prawdopodobieństwo*, Warszawa 1964). Obecnie jednak interesuje nas tylko zagadnienie, czy indeterministyczna interpretacja zjawisk mikroświata musi zawierać pierwiastek subiektywny. Dlatego pomijamy sprawę stosunku obiektywnej interpretacji wypowiedzi probabilistycznych do deterministycznej wizji świata. „-„ „• -.

wyników teoretycznie przewidzianych na podstawie znajomości jednoznacznej charakterystyki stanu układu w chwili początkowej. Innymi słowy: badamy rozkład statystyczny po to, aby z góry wiedzieć, jakie odchylenie przyszłego pomiaru od wyniku przewidzianego teoretycznie trzeba uznać za sprzeczne z teorią, (może to dotyczyć każdej

teorii), a jakie za zgodne z nią "w granicach błędu doświadczenia". Dzięki temu możemy się opierać na teoriach, uwzględniając możliwe błędy doświadczalne, w związku z czym jednym z doniosłych zastosowań rachunku prawdopodobieństwa jest, jak wiadomo, teoria błędu. Trudno jednak zgodzić się z tym, że funkcja prawdopodobieństwa wnosi do teorii kwantów - jak twierdzi autor - pewien element subiektywizmu dlatego, że wyraża niedokładność naszej wiedzy o przedmiocie, niezależną od własności samego przedmiotu. Twierdzenie Heisenberga, że funkcja prawdopodobieństwa, z którą mamy do czynienia w mechanice kwantowej, uwzględniając również i "normalne" błędy doświadczalne, nie wynikające z własności samego obiektu, wnosi do teorii pierwiastek subiektywny - wydaje się niesłuszne. Tego rodzaju "pierwiastek subiektywny" - to znaczy po prostu niedokładność wynikająca z błędów doświadczalnych - zawiera każde przewidywanie teoretyczne oparte na znajomości wyników pomiarów jakichś wielkości charakteryzujących początkowy stan układu, które podaje wartości charakteryzujące jego stan końcowy. Wiadomo dobrze, że ta niedokładność ulega redukcji wskutek wielokrotnego powtarzania pomiaru przez różnych obserwatorów.

Bez porównania bardziej skomplikowany jest drugi problem. Chodzi o to, że zdaniem Heisenberga pierwiastek subiektywny teorii kwantów wynika z konieczności posługiwania się pojęciami klasycznymi przy opisywaniu mikrozjawisk, do których pojęcia te nie stosują się adekwatnie. Jest to problem interpretacji filozoficznej sensu relacji nieoznaczoności - charakterystycznej dla zjawisk mikroświata - i związanej z nią zasady komplementarności.

Heisenberg wyróżnia trzy etapy formułowania kwantowo-mechanicznego opisu układu. Pierwszy polega na opisanie stanu układu w chwili t_1 , za pomocą funkcji falowej przedstawiającej obiektywne potencje układu i błędy wynikające z niedokładności pomiaru (przy czym tych ostatnich można ewentualnie nie brać pod uwagę w tak zwanym "przypadku czystym"). Etap drugi polega na ustaleniu zmian tej funkcji w czasie. Etap trzeci polega na dokonaniu nowego pomiaru parametrów stanu układu w chwili t_2 , którego wynik może być obliczony na podstawie funkcji prawdopodobieństwa. Akt pomiaru powoduje "przejście od tego, co możliwe, do tego, co rzeczywiste". Tu przede wszystkim ujawnia się ów pierwiastek subiektywny. Polega on na tym, że akt pomiaru zmienia stan układu fizycznego, co wyraża zasada nieoznaczoności, i że zmianę tę musi uwzględnić funkcja prawdopodobieństwa opisująca stan, w jakim znajdzie się układ w chwili t_2 . Problem polega na tym, że poszczególnym wyrazom matematycznym, które zawiera funkcja falowa, przyporządkowujemy określone wielkości fizyczne, o tych zaś wielkościach mówimy posługując się wywodzącym się z języka potocznego językiem fizyki klasycznej, a język ten jest

nieadekwatnym narzędziem opisu zjawisk mikroświata. To właśnie miał na myśli Heisenberg, cytując powiedzenie: "Przyroda istniała przed człowiekiem, ale człowiek istniał przed powstaniem nauk przyrodniczych". Treści tej wypowiedzi nie sposób nie uznać za słuszną. To znaczy: nie sposób zaprzeczyć temu, że zarówno nasz język, jak i nasz aparat pojęciowy ukształtowały się w toku ludzkiej działalności praktycznej, w wyniku kontaktu ludzi z określonym obszarem rzeczywistości, w którym żyjemy, i że są one uwarunkowane naturą gatunku ludzkiego, naturą człowieka, jako makrociała, jako organizmu, którego sfera doświadczenia codziennego ogranicza się, przynajmniej początkowo, właśnie do makroświata. Nie sposób również przeczyć twierdzeniu autora, że nasze pojęcia potoczne, na których język staramy się przekładać wnioski wynikające z tych czy innych teorii naukowych, mogą w poszczególnych przypadkach okazać się nieadekwatne albo nie w pełni adekwatne do opisywanej rzeczywistości. Przebieg mikroprocesów opisujemy posługując się określonym aparatem matematycznym, przy czym poszczególnym wyrazom przyporządkowujemy zmierzone doświadczalnie wielkości, które interpretujemy korzystając z pojęć pewnego określonego języka. Tak na przykład relacja nieoznaczoności jest matematycznym wyrazem niedokładności, jakie popełniamy opisując zachowanie się mikroobiektów za pomocą takich pojęć, zaczerpniętych z języka potocznego i z fizyki klasycznej, jak położenie i prędkość. Jednakże założenie, że nie można podać opisu posługując się innym językiem, nie jest, moim zdaniem, równoznaczne z wprowadzeniem do teorii pierwiastka subiektywnego. Zgadzam się całkowicie z autorem, gdy mówi on, że "nie ma sensu dyskutować na temat tego, co by było, gdybyśmy byli innymi istotami, niż jesteśmy" (s. 32). Trudno jest natomiast zgodzić się z nim, gdy to, że opisujemy mikroświat posługując się określonym i rzeczywiście niezupełnie adekwatnym językiem, nazywa subiektywizmem, twierdząc jednocześnie, iż wskutek tego, że poznajemy coraz to nowe obszary rzeczywistości, do których nasz język i nasze środki poznawcze niezupełnie "pasują", pierwiastek subiektywny w całości naszej wiedzy o świecie stale się potęguje.

Spróbujmy tę sprawę rozpatrzeć nieco bardziej dokładnie.

"Położenie" elektronu i położenie pocisku makroskopowego to, jak dziś wiemy, pojęcia różne. Oznaczamy je jednak za pomocą tego samego terminu. Usprawiedliwione jest to tym, że istnieje między nimi określona korespondencja. Wyraża ją między innymi właśnie relacja nieoznaczoności, wskazująca, że gdy stała Plancka może być uznana za wielkość, której wolno nie brać pod uwagę, pojęcia te wzajemnie w siebie przechodzą. Niedokładność opisu makrozjawisk, wywołana tym, że nie uwzględniamy w pełni oddziaływania obserwatora na makroobiekt (czyli uznajemy stałą Plancka za równą zero), choć istnieje, jest

tak znikoma, że nie sposób jej wykryć doświadczalnie. Dlatego mechanika klasyczna jest - w sferze doświadczenia makroskopowego - adekwatną teorią opisywanych przez nią zjawisk. Zupełnie tak samo - kiedy posługując się teorią klasyczną, ujmujemy procesy przebiegające z prędkością znikomo małą w porównaniu z prędkością światła, popełniamy pewną niedokładność, której niepodobna wykryć doświadczalnie. Fakt, że proces naszego poznania rozpoczął się od poznawania makroświata, jest zrozumiały, gdy pamięta się, że sam człowiek jest makrociałem, w związku z czym makroświat jest *dla człowieka* obszarem wyróżnionym.

Gdy przechodzimy do badania zjawisk mikroświata, okazuje się, że w tej sferze rzeczywistości akty pomiaru mają tak wielki wpływ na stan obiektów, że nie sposób go pominąć, przewidując przyszłe zdarzenia. To właśnie wyraża zasada nieoznaczoności. Ów wpływ musi być uwzględniony, a relacja nieoznaczoności wskazuje, w jakiej mierze może być on uwzględniony, to znaczy wskazuje, jak dokładne pomiary wielkości charakteryzujących mikrozjawiska można przeprowadzić za pomocą makroprzrządów. Oddziaływanie wzajemne przyrządu i mikroobektu staje się jednym z elementów obiektywnej sytuacji doświadczalnej, które musi uwzględniać funkcja prawdopodobieństwa, opisująca dyspozycje tej sytuacji.

To, co nazywamy "położeniem elektronu", zawiera już w sobie wynik oddziaływania, które zachodzi między makro-przyrządem i tą mikrocząstką w chwili pomiaru; położenia elektronu, nie będącego obiektem pomiaru, nie możemy poznać. We wszelkich badaniach fizycznych zakłada się, że układ badany podlega tylko pewnym określonym oddziaływaniam. Badając zjawiska makroświata można w wielu przypadkach pominąć oddziaływanie zachodzące między obiektem a przyrządem, badając zjawiska mikroświata nie wolno tego czynić. Nie wolno tego czynić ze względu na obiektywne własności mikroobektów ujawnione przez mechanikę kwantową, znajdujące wyraz w matematycznym schemacie tej teorii i opisywane nie w pełni adekwatnie za pomocą języka, który się ukształtował na gruncie doświadczenia makroskopowego. O nie zmierzonym położeniu pocisku możemy mówić w pełni sensownie, wiemy bowiem z doświadczenia, że pomiar taki, gdybyśmy go dokonali, nie zmieniłby położenia tego pocisku w takim stopniu, że można by było w jakiś sposób wykryć tę zmianę. O położeniu elektronu, którego nie mierzymy, w ten sposób mówić nie można. Nie znaczy to oczywiście, że elektron, wtedy gdy nie jest przedmiotem doświadczenia, nie istnieje, znaczy to tylko, że wtedy nie można do niego stosować terminu "położenie", ukształtowanego na gruncie doświadczenia makroskopowego. "Położenie" elektronu, którego nie mierzymy, i "położenie" elektronu, które mierzymy - to nie to samo, podobnie jak nie jest tym samym jego masa *spoczynkowa* i masa *elektrodynamiczna*, utożsamiane przed

powstaniem mechaniki relatywistycznej. Teoria fizyczna mikroświata musi przewidywać przyszły stan obiektu, musi więc uwzględniać skutki oddziaływania wzajemnego między obiektem a ma-kroprzrzędem. Charakter procesów mikroświata sprawia, że skutków tych nie sposób określić jednoznacznie. Dlatego funkcja prawdopodobieństwa mówi nam o obiektywnych "potencjach", dyspozycjach sytuacji doświadczalnej, dlatego do elementów charakterystyki tej sytuacji doświadczalnej należy zaliczyć oddziaływanie wzajemne między obiektem a przyrządem. Heisenberg ma rację, gdy mówi, że tego stanu rzeczy nie zmienia zabieg terminologiczny, który polegałby na innym zdefiniowaniu pojęcia obiektu badanego, tak aby objęło ono i przyrząd pomiarowy, nie ma jednak, jak sądzę, racji, gdy z tego faktu wnioskuje, że teoria kwantów ma charakter subiektywny.

Gdy w filozofii mówi się o subiektywizmie, ma się na myśli nie to, że opisując zjawiska, posługujemy się aparatem pojęciowym ukształtowanym przez historyczną i biologiczną ewolucję gatunku ludzkiego. W tym sensie cała nasza wiedza miałaby do pewnego stopnia charakter subiektywny jako wiedza *ludzka*. Mówiąc o subiektywizmie ma się na myśli zazwyczaj bądź to, że treść wypowiedzi nie spełnia postulatu sprawdzalności intersubiektywnej, to znaczy nie może być sprawdzona przez każdego obserwatora, bądź też ma się na myśli odnośnienie naszej wiedzy do świata wrażeń, a nie do obiektywnej rzeczywistości. Interpretacja kopenhaska z pewnością spełnia postulat intersubiektywności. Jeśli proponowana przez Heisenberga interpretacja mechaniki kwantowej miałaby sugerować, że nic nie wiemy lub nic nie możemy wiedzieć o istnieniu i charakterze mikroświata, a teoria ta dotyczy jedynie naszych wrażeń, ujmuje w schemat teoretyczny "dane doświadczenia", to byłaby ona subiektywna w drugim z wymienionych wyżej sensów. Jednakże Heisenberg zupełnie wyraźnie oświadcza, że jego interpretacja nie ma charakteru pozytywistycznego i że przedmiotem naszego poznania nie są postrzeżenia, lecz rzeczy. Dlatego też sądzę, że tzw. problem subiektywizmu interpretacji kopenhaskiej, czy też immanentnego pierwiastka subiektywnego teorii kwantów, nie jest w gruncie rzeczy problemem subiektywizmu, lecz zagadnieniem adekwatności, dokładności opisu, którą można osiągnąć posługując się naszą metodą badania przyrody i naszym językiem. Teoria kwantów głosi: 1) że procesy zachodzące w mikroświecie nie podlegają prawom deterministycznym; 2) że opisując te procesy nie można nie brać pod uwagę oddziaływania wzajemnego między mikro-obiektami a przyrządami pomiarowymi, które w sposób niejednoznaczny warunkują zachowanie się tych mikroobiek-tów. Uwzględnia to funkcja prawdopodobieństwa, za pomocą której opisujemy zachowanie się mikroobiek-tów. Heisenberg przyznaje, że oddziaływanie mikroobektu z przyrządem jest oddziaływaniem fizycznym, obiektywnym. Funkcja prawdopodobieństwa,

która uwzględnia to oddziaływanie, ma więc treść obiektywną. W wyniku owego oddziaływania ulega zmianie stan układu badanego, następuje to, co w mechanice kwantowej zwykło się nazywać *redukcją paczki falowej* albo przekształceniem możliwości w rzeczywistość, któremu odpowiada zmiana rozkładu prawdopodobieństw. Można by było chyba powiedzieć, że funkcja prawdopodobieństwa, która opisuje ten proces i która, jak mówi autor, ulega wtedy nieciągłej zmianie, opisuje po prostu zmianę obiektywnych "potencji" czy też dyspozycji układu, która zachodzi w momencie kontaktu obiektu z makroprzysządem. Nieciągła zmiana funkcji prawdopodobieństwa odpowiada zmianie sytuacji doświadczalnej; zmianie sytuacji doświadczalnej odpowiada zmiana rozkładu prawdopodobieństw. W tym sensie można by było, jak sądzę, twierdzić, że prawa probabilistyczne mechaniki kwantowej nie zawierają żadnych pierwiastków subiektywnych. Zauważmy ponadto, że to, co zwolennicy interpretacji kopenhaskiej nazywają redukcją paczki falowej czy też redukcją prawdopodobieństw, nie musi być koniecznie związane z aktem pomiaru. Jest to rezultat wszelkiego - mierzonego lub nie mierzonego oddziaływania między mikroobiektem a makroobiektem. Szczególnym przypadkiem takiego oddziaływania jest oddziaływanie między mikroobiektem a przyrządem pomiarowym. • Gdy Bohr formułował zasadę komplementarności, uznawaną przez Heisenberga, punktem wyjścia jego rozważań był ten fakt, że niektóre nasze pojęcia nie są adekwatnym narzędziem opisu mikroobiektów i procesów zachodzących w mikroświecie. Wypowiedzi, w których jest mowa o "położeniu" elektronu, i wypowiedzi, w których jest mowa o jego "pędzie", są komplementarne w tym sensie, że niezależne od obserwatora oddziaływanie przyrządu pomiarowego, za pomocą którego mierzymy położenie, powoduje zmianę pędu tej mikrocząstki i *vice versa*, i że te niezależne od poznającego podmiotu realne oddziaływania opisujemy za pomocą funkcji matematycznej, w której pewnym wyrazom przyporządkowujemy pewne pojęcia zaczerpnięte z języka potocznego i z fizyki klasycznej, przy czym pojęcia te wprawdzie korespondują z nimi, lecz nie są do nich w pełni adekwatne. Owa komplementarność dotyczy zarówno takich pojęć, jak "położenie" i "pęd", którymi posługując się nie można opisać adekwatnie skutku oddziaływania wzajemnego między . przyrządem a mikroobiektem, jak też i innych par pojęć, na przykład "fala" i "korpuskuła". Jeśli odrzucamy twierdzenie, że posługiwanie się określonym językiem i określonym systemem pojęciowym jest przejawem subiektywizmu, albo ściślej mówiąc - jeśli materialistycznie interpretujemy subiektywne aspekty poznania ludzkiego jako coś, co jest uwarunkowane przez proces dostosowywania się gatunku ludzkiego do warunków jego biologicznej i społecznej egzystencji w określonym obszarze przyrody - to wówczas ani w relacji nieoznaczoności, ani w związanej z nią zasadzie

komplementarności nie stwierdzamy pierwiastków subiektywnych.

Dlatego sędzę, że nawet w przypadku, gdyby Heisenberg miał rację twierdząc, że deterministyczna interpretacja mikroprocesów jest niemożliwa, że teoria mikroświata musi mieć charakter indeterministyczny (obiektywnie probabilistyczny), że względu na naturę mikroobiektów i mikrozjawisk, że przebieg mikroprocesów zależy od oddziaływań między mikroobjektami a przyrządami pomiarowymi i że skutki tych oddziaływań nie dadzą się jednoznacznie opisać w terminach naszego języka ukształtowanego na podstawie doświadczenia potocznego - to wszystkie te twierdzenia nie upoważniają jeszcze do głoszenia poglądu, że współczesna mechanika kwantowa jest sprzeczna z materializmem.

VII

Wyżej starałem się uzasadnić przekonanie, iż teza Heisenberga o obaleniu materializmu przez współczesną fizykę nie wynika w sposób nieuchronny z treści teorii i koncepcji fizycznych. Nie znaczy to jednak, że powstanie mechaniki kwantowej czy też teorii względności w niczym nie zmieniło tradycyjnych poglądów na przyrodę, które ukształtowały się na gruncie nauki dziewiętnastowiecznej. Poglądy współczesnego materialisty nie mogą pokrywać się z materializmem sprzed stu lat. Różnica ta dotyczy nie tylko treści głoszonych tez ontologicznych czy gnozeologicznych. Jest to, jak sędzę, ponadto i różnica postawy poznawczej.

Współczesna fizyka nauczyła nas nie tylko tego, że ukształtowane na podstawie doświadczeń makroskopowych pojęcie mikroobektu materialnego jako korpuskuły o własnościach analogicznych do najogólniejszych własności makrociała nie w pełni odpowiada rzeczywistości; że relacje czasoprzestrzenne, z którymi mamy do czynienia w życiu codziennym, co najwyżej w pierwszym przybliżeniu odpowiadają rzeczywistej strukturze czasoprzestrzeni; że prawidłowości przyrody, z jakimi mieliśmy do czynienia dotychczas, bynajmniej nie wyczerpują ich nieskończonej różnorodności; że nader wątpliwa *jest* hipoteza o istnieniu niezmiennych i niepodzielnych, najbardziej elementarnych "cegiełek przyrody" o skończonej ilości nieprzywiedlnych własności pierwotnych. Współczesna fizyka nauczyła nas ponadto czegoś więcej. Nauczyła nas ona że teorie fizyczne mają walor prawd względnych - po pierwsze dlatego, że nasza wiedza o danym obszarze przyrody, którego teoria dotyczy, nigdy nie jest pełna, po drugie zaś dlatego, że poznanie nowych obszarów rzeczywistości może nas zmusić do rewizji naszych dotychczasowych teorii, przy czym stwierdzenie ich ograniczoności okazuje się możliwe dopiero wówczas, gdy poznajemy te

nowe obszary. Współczesna nauka nauczyła nas więc traktować wszelkie teorie naukowe jako kolejne szczeble przybliżenia *do* adekwatnego opisu rzeczywistości i być zawsze przygotowanymi do poznania takich nowych zjawisk i cech rzeczywistości, które nie dadzą się ująć w ramy starych schematów teoretycznych. Niewątpliwą zasługą Heisenberga jest szczególne podkreślanie tego faktu. Warto, być może, dodać, że taka postawa poznawcza, którą przyjmuje obecnie coraz więcej uczonych, była propagowana przez twórców materializmu dialektycznego już w dziewiętnastym wieku, a więc wówczas, gdy uczeni skłonni byli raczej w sposób dogmatyczny traktować wyniki swych badań jako ostateczne. Współcześni uczeni mają tendencję do traktowania zespołu fundamentalnych teorii fizyki jako osiągnięcia tymczasowego, sądzą bowiem, iż wcześniej czy później okaże się, że za pomocą owego zespołu teorii nie można wytłumaczyć nowo odkrytych zjawisk przyrody i że musi on ulec wzbogaceniu i zasadniczej modyfikacji. Z drugiej jednak strony tę nową postawę poznawczą cechuje zaufanie do szeroko pojmowanej zasady *korespondencji*, w której nietrudno dostrzec swoistego rodzaju dialektyczną koncepcję *Aufhebung* - krytycznego przewycięzania i wznoszenia zarazem na wyższy poziom starych teorii przez teorie nowe. Schyłek starych teorii jest tylko wstępem do powstawania nowych, ogólniejszych, ogarniających nowo poznane dziedziny zjawisk i zawierających w sobie dawne teorie jako przypadki szczególne czy też graniczne.

Ta nowa postawa poznawcza, która ukształtowała się na gruncie współczesnej nauki i do powstania której, być może, najbardziej przyczyniła się właśnie przedstawiona w tej książce ewolucja poglądów fizycznych, dotyczy nie tylko teorii naukowych, lecz i naszych poglądów filozoficznych na przyrodę.

Poglądy współczesnego materialisty, który zna treść współczesnych teorii naukowych, nie pokrywają się z historycznie ograniczonymi koncepcjami jego filozoficznych prekursorów; jest on jednak świadom tego, że pomiędzy starymi i nowymi teoriami istnieje jakaś korespondencja, stara się badać, analizować zasadnicze "punkty styku", w których stare teorie przechodzą w nowe, i na podstawie wyników tych badań kontynuować idee filozoficzne materializmu dotyczące własności obiektów materialnych. Naiwnością byłoby dziś, na przykład, przypuszczać, że poznając coraz lepiej strukturę przyrody, będziemy poznawać obiekty coraz dokładniej odpowiadające modelowi "punktu materialnego", będącego - jak wiadomo - wyidealizowanym modelem makrociała. Naiwnością byłoby zakładać, że np. stosunek między mikro-obiektami a makroobiektami przypominać musi stosunek między homoiomeriami Anaksagorasa a makroobiektami.

Współczesny materialista będzie raczej twierdził, że obiekty mikroświata (ewentualnie

jakichś submikroświatów) muszą być pod jakimś względem podobne do makroobiektów, chociażby pod tym, że mają charakter czaso-przestrzenny. Ale podobieństwo to nie oznacza bynajmniej identyczności. Współczesny materialista nie musi więc twierdzić, że każdy mikroobiekt można zlokalizować w określonym punkcie przestrzeni. Podobieństwo to może polegać jedynie na tym, że obiektom mikroświata muszą być właściwe jakieś cechy przestrzennoczasowe, które warunkują przestrzennoczasowe własności ich większych agregatów, tzn. makroobiektów. Ponadto mikroobiekty te muszą być "wrażliwe" na zmiany sytuacji makroskopowych, w których się znajdują, to znaczy przestrzennoczasowe cechy tych sytuacji muszą warunkować ich zachowanie się.

Zagadnienie nie sprowadza się oczywiście tylko do problemu czaso-przestrzennych własności obiektów materialnych; chodzi o wszelkie ich cechy. Teza Heisenberga, iż fizyka współczesna obala materializm, jest więc oparta na niesłusznym założeniu, że współczesny materialista musi bronić tych poglądów, które w nauce zostały już przewyżczone, i że nie jest on w stanie, wzorując się na fizykach, rozwijać i unowocześniać swych idei i koncepcji, nadawać nowej treści swym podstawowym hipotezom ontologicznym. W posłowniu tym zająłem się tylko niektórymi spośród zagadnień, które nasunęły mi się, gdy czytałem książkę W. Heisenberga. Rozpatrzenie wszystkich wymagałoby oczywiście nie posłownia, lecz obszernego studium - tak wiele problemów zostało poruszonych w tej książce, tak wiele daje ona do myślenia. Jeśli podjąłem dyskusję z tymi tezami Heisenberga, które dotyczą problemu stosunku fizyki współczesnej do filozofii materialistycznej, to uczyniłem to dlatego, że wokół tego zagadnienia toczy się obecnie najwięcej sporów. Daleki jednak jestem od przekonania, że w tym posłowniu zostały rozwiązane trudne zagadnienia współczesnej filozofii przyrodoznawstwa. Stanowi ono co najwyżej szkic, w którym starałem się wskazać te zasadnicze wątki myślowe filozofii materialistycznej, które, jak sądzę, warto kontynuować w przyszłości.

S. AMSTERDAMSKJ

Warszawa, lipiec 1962.