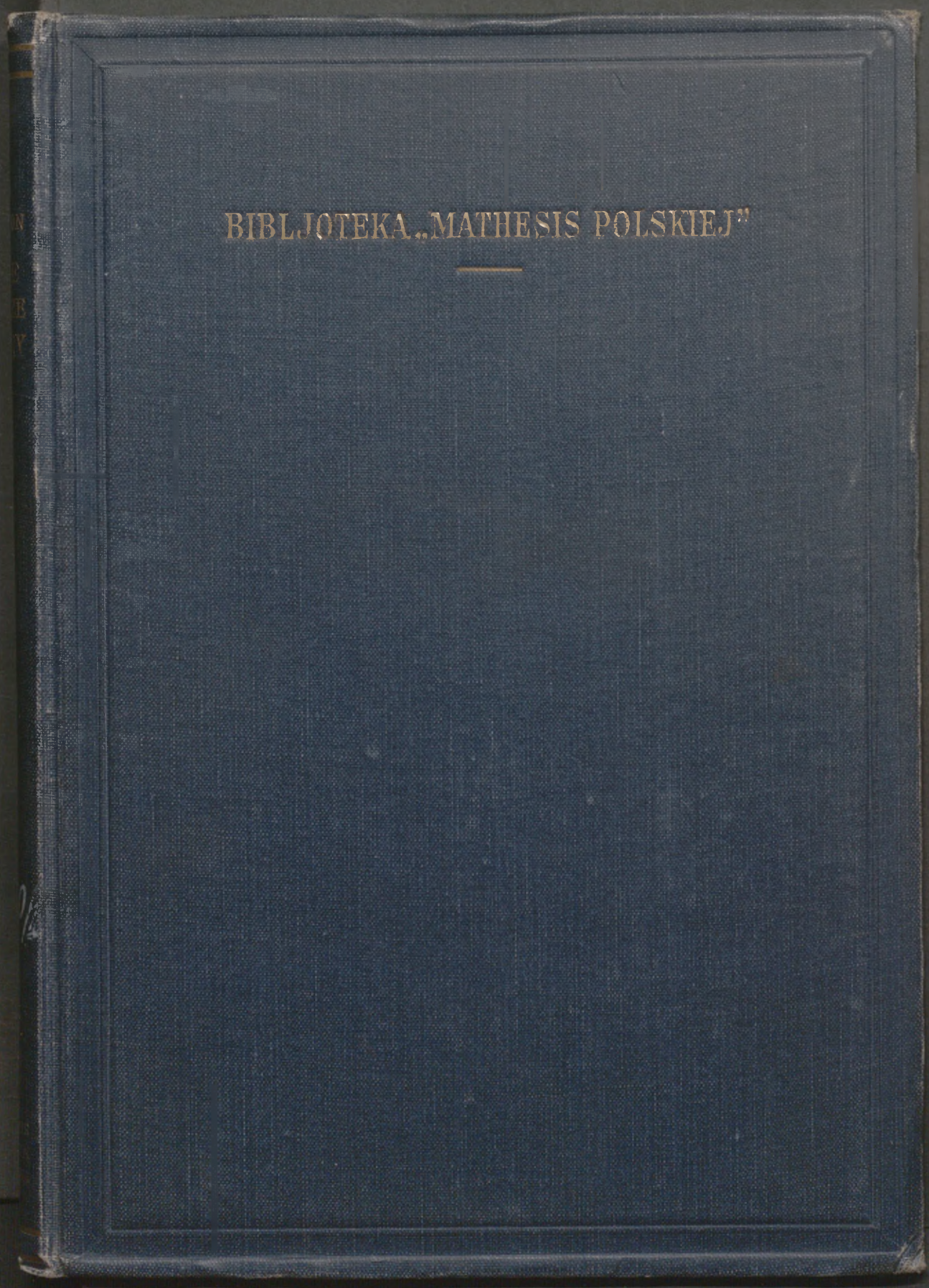

R G B WH GR BL
Grey Scale #13
C M Y K
Part Code ST1316
DANES PICTA .COM
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19


BIBLJOTEKA „MATHESIS POLSKIEJ"


Inches
Centimetres
Colour Chart #13
Blue
Cyan
Green
Yellow
Red
Magenta
White
3/Color
Black
DANES PICTA .COM

BIBLJOTEKA „MATHESIS POLSKIEJ"

Książka niniejsza omawia bilans filozoficzny wielkich przewrotów w dziedzinie myśli naukowej, któreśmy ostatnio przeżyli. Teorja względności i teorja kwantów doprowadziły do dziwnych i nowych wyobrażeń o świecie fizycznym, postępy zasad termodynamiki doprowadziły w sposób bardziej stopniowy do zmiany niemniej głębokiej. Celem tej książki jest wyjaśnienie współczesnego naukowego poglądu na świat; tam zaś, gdzie pogląd ten jest jeszcze niezupełny, zmierzają one do zorjentowania się w kierunku, w którym się on rozwija. Końcowe rozdziały rozważają stanowisko, które pogląd naukowy powinien zająć w stosunku do rozleglejszych dziedzin doświadczenia ludzkiego, włączając w nie religje.

Piękny język, niezwykła jasność oraz pełen specyficznego humoru sposób wypowiadania się autora trzymają w napięciu w równym stopniu fizyka i filozofa jak i laika.

BIBLJOTEKA „MATHESIS POLSKIEJ"

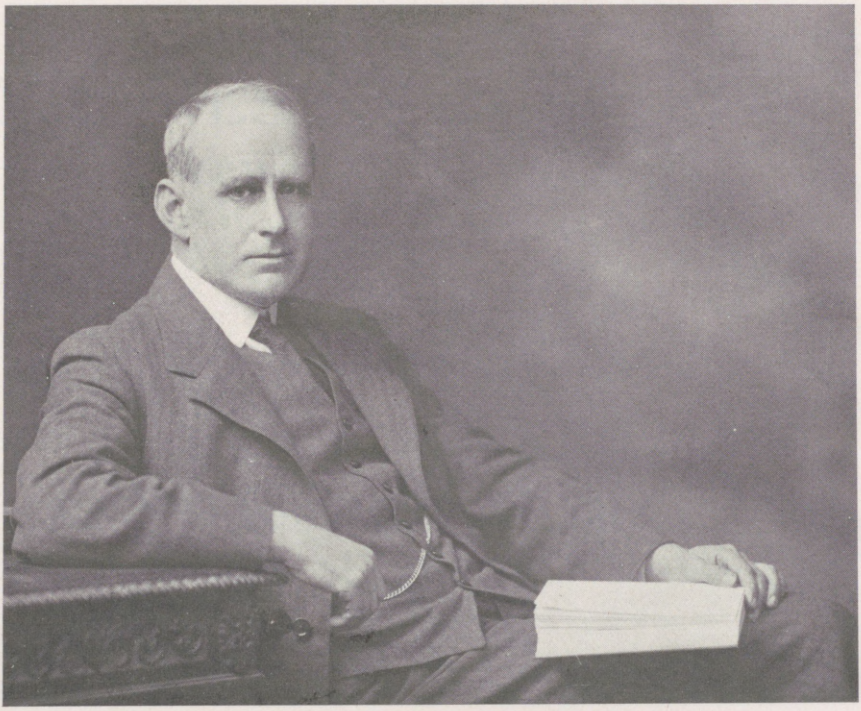
BIBLJOTEKA
„MATHESIS POLSKIEJ“
CZASOPISMA MATEMATYCZNO-FIZYCZNEGO

SIR A. S. EDDINGTON

NOWE OBLICZE NATURY

PRZEŁOŻYŁ
Dr A. WUNDHEILER

WARSZAWA
NAKŁADEM „MATHESIS POLSKIEJ“
1934



A. S. Eddington

NOWE OBLICZE NATURY

ŚWIATOPOGLĄD FIZYKI WSPÓŁCZESNEJ

NAPISAŁ

SIR ARTHUR S. EDDINGTON

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

Z ÓSMEGO WYDANIA ORYGINAŁU PRZEŁOŻYŁ, PRZEDMOWĄ I PRZYPISAMI OPATRZYŁ

Dr ALEKSANDER WUNDHEILER

WARSZAWA

NAKŁADEM „MATHESIS POLSKIEJ"

1934

53

Tytuł oryginału:

THE NATURE OF THE PHYSICAL WORLD

Pierwsze wydanie oryginału	*listopad*	*1928*
Drugi przedruk	*styczeń*	*1929*
Trzeci przedruk	*luty*	*1929*
Czwarty przedruk	*kwiecień*	*1929*
Piąty przedruk	*lipiec*	*1929*
Szósty przedruk	*luty*	*1930*
Siódmy przedruk	*luty*	*1931*
Ósmy przedruk	*marzec*	*1932*

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

2864/D

Dublet Biblioteki Naukowej WAP

Zakł. Graf. „Drukarnia Bankowa" — Warszawa, Moniuszki 11.

Biblioteka Wojsk. Akad. Polit. im. F. Dzierżyńskiego
43039/2

SPIS RZECZY

		Str.
Przedmowa		VII
Od tłumacza		X
Wstęp		XIII

Rozdziały

I	Upadek fizyki klasycznej	1
II	Względność	19
III	Czas	34
IV	Bieg zjawisk we wszechświecie	59
V	Rozwój wszechświata	81
VI	Grawitacja: jej prawo	103
VII	Grawitacja: jej wyjaśnienie	129
VIII	Stanowisko człowieka we wszechświecie	152
IX	Teorja kwantów	167
X	Nowa teorja kwantów	186
XI	Budowa świata	212
XII	Wskazania przyrządów	229
XIII	Rzeczywistość	252
XIV	Powodowanie	271
XV	Nauka a mistycyzm	293
Zakończenie		317

PRZEDMOWA

Na książkę niniejszą składa się zasadniczo treść wykładów z fundacji Gifforda, które wygłosiłem w uniwersytecie edynburskim w czasie od stycznia do marca 1927 roku. Omawia ona bilans filozoficzny wielkich przewrotów w dziedzinie myśli naukowej, któreśmy ostatnio przeżyli. Teorja względności i teorja kwantów doprowadziły do dziwnych i nowych wyobrażeń o świecie fizycznym; postępy zasad termodynamiki doprowadziły w sposób bardziej stopniowy do zmiany niemniej głębokiej. Pierwszych jedenaście rozdziałów poświęciłem głównie nowym teorjom fizycznym, powodom, które doprowadziły do ich uznania, a zwłaszcza pojęciom, na których się opierają. Celem ich jest wyjaśnienie współczesnego naukowego poglądu na świat; tam zaś, gdzie pogląd ten jest jeszcze niezupełny, zmierzają one do zorjentowania się w kierunku, w którym się on rozwija. W ostatnich czterech rozdziałach rozważam stanowisko, które ten pogląd naukowy powinien zająć w stosunku do rozleglejszych dziedzin doświadczenia ludzkiego, włączając w nie religję. Ogólne stanowisko badawcze w tych wykładach jest zarysowane w zakończeniu wstępu (str. XIX).

Mam nadzieję, że rozdziały naukowe będą mogły być czytane z zainteresowaniem niezależnie od ich dalszych zastosowań w niniejszej książce. Lecz muszę zaznaczyć, że nie zostały one całkowicie zredagowane na zasadach, którychbym się trzymał, gdyby były istotnie całkowicie niezależne. Nie odpowiadałoby moim zamierzeniom, gdybym dał łatwy wstęp do teorji względności i kwantów. Istotną rze-

czą było dotarcie na tym terenie do świeższych i bardziej głębokich posunięć, w których chcieliśmy znaleźć koncepcje o najwyższej doniosłości filozoficznej. Jakkolwiek większa część książki będzie się zapewne czytała bardzo łatwo, od czasu do czasu zdarzają się rozumowania dość trudne.

Głównym moim celem jest wykazanie, że rozwój nauki współczesnej dostarcza filozofowi nowego materjału. Wprawdzie posunąłem się dalej i wskazałem, jak, mojem zdaniem, możnaby tego materjału użyć. Zdaję sobie sprawę z tego, że poglądy filozoficzne, które tu formułowałem, mogą zasługiwać na uwagę tylko o tyle, o ile stanowią bezpośrednie wnioski z badania i z ujęcia współczesnej twórczości naukowej. Ogólne wyobrażenia o istocie rzeczy, które sobie wytworzyłem niezależnie od tej podniety naukowej, mogą być ważne tylko dla mnie samego. Ale jakkolwiek dwa te źródła były porządnie oddzielone w moim umyśle, gdy przystępowałem do pracy, poplątały się one beznadziejnie, gdy się starałem zbudować składne stanowisko i obronić je przed ewentualną krytyką. Oto dlaczego chciałbym zaznaczyć, że idealistyczne zabarwienie mego pojmowania świata fizycznego wyrosło na gruncie badań matematycznych w dziedzinie teorji względności. O ile posiadałem jakieś wcześniejsze poglądy filozoficzne, to miały one zupełnie inny charakter.

Od samego początku miałem wątpliwości, czy fizyk powinien się tak daleko zapuszczać w dziedzinę pozanaukową. Zasadniczem usprawiedliwieniem takiej eskapady jest fakt, że może ona zapewnić ocenę własnej dziedziny naukowej. W wykładach ustnych nie wydawało się rzeczą bardzo niewłaściwą omawiać swobodnie wszystkie pomysły, które mi się narzucały. Lecz trudno było się zdecydować na utrwalenie ich i ujęcie w formy bardziej zakończone. Bardzo się obawiam krytyki doświadczonego filozofa, ale jeszcze większe budzi we mnie obawy myśl o czytelnikach, którzy będą oceniali moją książkę według tego, czy odpowiada ich przekonaniom religijnym. W ciągu roku, który upłynął od chwili wygłoszenia tych odczytów, dokładałem

wielokrotnych starań, by nadać tej czy innej części mej książki postać bardziej zadowalającą. Tem niemniej wydaję ją z większem wahaniem, niż którąkolwiek ze swych książek poprzednich.

Postanowiłem nie zmieniać konwersacyjnego stylu wykładów, jakkolwiek może się on wydać niewłaściwy w większej książce. Fizyk, rezygnując ze wzorów matematycznych, ze swego najbardziej naturalnego i jasnego języka, ma prawo, być może, żądać od czytelnika z jego strony pewnych ustępstw. Pozatem wiele kwestyj odznacza się tak istotną trudnością, że jedyną nadzieję na porozumienie się widziałem w omawianiu ich tak, jakgdybym się znajdował oko w oko z czytelnikiem.

A. S. E.

W sierpniu roku 1928.

OD TŁUMACZA

Arthur Stanley Eddington, jeden z czołowych fizyków i astronomów współczesnych, urodził się dnia 28 grudnia 1882 roku w Kendal w Anglji. Ojciec jego był kierownikiem starej szkoły kwakierskiej (Stramongate School), w której niegdyś nauczał sławny chemik, John Dalton. Eddington ukończył w 1902 roku fizykę na uniwersytecie w Manchester, a w roku 1906 matematykę w Trinity College w Cambridge. W tymże roku został głównym asystentem Obserwatorjum w Greenwich. W roku 1913 zajął katedrę po Sir George'u Darwinie w Cambridge, a w roku następnym został kierownikiem obserwatorjum w tymże uniwersytecie. W roku 1930 otrzymał tytuł szlachecki.

Pierwsze jego prace naukowe dotyczyły astronomji, a mianowicie ruchu własnego i repartycji gwiazd. W roku 1916 rozpoczął swe znakomite badania nad wewnętrzną budową gwiazd i od tego czasu zajmował się przeważnie astrofizyką. Jego dzieło „The Internal Constitution of Stars" należy obecnie do podstaw fachowej literatury astrofizycznej, podczas gdy „Stars and Atoms" zawierają popularny wykład współczesnego stanu wiedzy o budowie wewnętrznej gwiazd. Zagadnienia, które uprawia Eddington, posiadają zazwyczaj wielką doniosłość kosmologiczną, t. j. wiążą się z najbardziej interesującemi sprawami, dotyczącemi wszechświata jako całości.

Równolegle do prac astronomicznych zajmował się Eddington z entuzjazmem teorją względności. Był on pierwszym fizykiem angielskim, który (w roku 1915) publikował w tej dziedzinie. W roku 1919 stanął na czele dwóch sław-

nych ekspedycyj (do Sobral i Principe), które miały za zadanie pomiar uchylenia promieni świetlnych w pobliżu słońca, podczas jego zaćmienia, i potwierdzenie na tej drodze teorji względności ogólnej. Jest on twórcą jednej z połączonych teoryj grawitacji i elektromagnetyzmu. Dla sprawy swej teorji okazywał i okazuje wiele zapału, którego oddźwięki znajdzie czytelnik w rozdziałach VII i XI niniejszej książki. Matematycznej teorji względności poświęcił większe dzieło; prócz tego napisał jedną z najlepszych książek popularnych o teorji względności p. t.: „Space, Time and Gravitation". Obecnie bierze żywy udział w pracy nad rozbudową matematyczną najnowszej teorji falowej materji.*

*

Natura z nieporównaną złośliwością najpilniej strzeże właśnie swych najciekawszych tajemnic: tych, które niepokoją nietylko uczonego, ale nawet zjadacza chleba. Od lat tysięcy borykamy się z zagadnieniami początku, końca, rozmiarów świata, stanowiska człowieka we wszechświecie, stosunku materji do ducha, jeżeli już pominąć zagadnienia czasu, przestrzeni, materji, przyczynowości. Nie zrezygnujemy z rozstrząsania tych zagadnień, jak nie możemy zrezygnować z oddychania, nawet, jeżeli niema nadziei dojść do rozstrzygnięć ostatecznych. Ale będziemy żądali wniosków przynajmniej najbardziej zgodnych ze współczesnym stanem nauki, będziemy szukali stanowiska najbardziej aktualnego.

To właśnie jest celem niniejszej książki. Związek najnowszych posunięć w dziedzinie fizyki z światopoglądem ogólnym — to co najbardziej laika interesuje — jest tłem, na którem Eddington rozwija obraz nowej fizyki. Troska o tę najwyższą zgodność z wiedzą ścisłą, wysokie poczucie odpowiedzialności za wnioski natury ogólniejszej, wyróżniają tę głęboką książkę zpośród innych podobnych. Z tro-

* Powyższe dane biograficzne zawdzięcza tłumacz uprzejmości autora.

ską tą łączy się wyjątkowo żywe zrozumienie dla zagadnień, dotyczących „szerszej"' dziedziny doświadczenia, związanych z „duchową" jego stroną.

Im lepiej poznajemy tę książkę, tem bardziej podziwiamy, jak Eddington umiał jednocześnie uniknąć pedanterji i zdobyć się na stanowisko tak odpowiedzialne. Pomimo żywości wykładu znajdujemy w tej książce coraz nowe głębie przy ponownych czytaniach, odkrywamy, że każde zdanie posiada wagę, że niema tu improwizacyj. Na drogę, w którą się czytelnik za wielkim uczonym wybiera, chcielibyśmy się podzielić z nim jednem doświadczeniem: niech się nie pozwoli w licznych miejscach zwieść pozorną ich łatwością.

*

Niewszystkie trudności przekładu dały się rozwiązać zadowalająco: brzmienie nieraz ścierało się ze ścisłością, szczególnie w rozdz. III. Odpowiednie omówienia znajdują się w przypisach; przydadzą się one być może w pewnych miejscach, które mogłyby się okazać niezrozumiałe. Ze względów technicznych miejsca przypisów nie są zaznaczone w tekście.

Panu Profesorowi Andrzejowi Tretiakowi serdecznie dziękuję za uprzejmość, z którą zajął się przekładem cytat z Miltona, Szekspira i Omara Chajama, a panu Drowi Stanisławowi Helsztyńskiemu za piękny przekład wiersza Brooke'a.

A. W.

WSTĘP

Zasiadam do spisania tych wykładów i przysuwam *krzesła* do swych *dwóch stołów*. Do dwóch stołów? Tak jest! wszystkie przedmioty dokoła mnie istnieją w dwóch egzemplarzach — dwa stoły, dwa krzesła, dwa pióra.

Niezbyt to głęboki początek jak na wykład, który ma wspiąć się na szczyty filozofji naukowej. Ale nie możemy odrazu wedrzeć się wgłąb; musimy najprzód poskrobać nieco powierzchnię rzeczywistości. Lecz kiedykolwiek się do tego zabieram, trafiam niechybnie na swe dwa stoły.

Jeden z nich jest mi bliski od najwcześniejszego dzieciństwa. Jest to pospolity przedmiot z tego otoczenia, które nazywam światem. Jak go mogę opisać? Jest rozciągły, stosunkowo niezmienny, posiada barwę; ale przedewszystkiem jest *materjalny*. Kiedy powiadam „materjalny", mam na myśli nietylko, że się nie rozpływa, gdy się o niego opieram. Idzie mi również o to, że składa się z „substancji" i przy pomocy tego wyrazu próbuję wam dać jakieś pojęcie o jego wewnętrznej istocie. Stół jest *rzeczą;* inaczej niż przestrzeń, która jest czystem przeczeniem; inaczej niż czas, który jest Bóg wie czem. Ale niewiele wam to wyjaśni: cechą charakterystyczną „rzeczy" jest właśnie materjalność, a nie sądzę, by można było opisać materjalność lepiej, niż przez podanie, że jest to cecha, którą naprzykład znajdujemy w zwykłym stole. I tak oto krążymy w kółko. Ostatecznie, jeżeli ktoś jest zwykłym, rozsądnym człowiekiem, którego niebardzo trapią skrupuły naukowe, będzie wierzył, że pojmuje istotę zwykłego stołu. Słyszałem o naiwnych ludziach, którzy byli przekonani, że lepiej zrozumieliby ta-

jemnicę swej własnej istoty, gdyby uczeni znaleźli jakiś sposób na wytłumaczenie jej w wyrazach równie łatwo zrozumiałych, jak istota stołu.

Stół Nr. 2 to mój stół naukowy. Dalsza to nieco znajomość i nie czuję się z nim tak poufale. Nie należy on do świata, o którym poprzednio mówiłem — do świata, który się pojawia samorzutnie, skoro tylko otworzę oczy (nie wchodzę tu w to, wiele jest w tym świecie objektywnego, a wiele subjektywnego). Stół ten jest częścią innego świata, który narzucił się mej uwadze bardziej okólnemi drogami. Mój stół naukowy to przeważnie próżnia. W próżni tej są skąpo rozproszone liczne ładunki elektryczne, mknące z wielką szybkością; ale połączona ich objętość nie sięga nawet jednej biljonowej objętości samego stołu. Pomimo tak dziwnej budowy stół ten całkowicie spełnia swe zadanie. Stanowi dla mego papieru równie pewną podstawę, jak stół Nr. 1, gdyż małe cząsteczki elektryczne o szalonych szybkościach uderzają ustawicznie w spód papieru, utrzymując go w ten sposób prawie na niezmiennym poziomie, jak to się czasem dzieje z piłką przy siatkówce. Nie przebiję go nawet nawylot, gdy się o ten stół oprę; lub raczej całkiem już ściśle, szanse tego, że mój „naukowy“ łokieć przebije mój „naukowy“ stół są tak znikome, że można je w życiu praktycznem zaniedbać. Gdy tak pokolei porównamy ich własności, okazuje się, że do zwykłych celów nadają się one zupełnie jednakowo; ale w obliczu mniej zwykłych okoliczności stół naukowy wykazuje przewagę. Gdy dom się zapali, stół naukowy rozpłynie się całkiem naturalnie w naukowy dym, podczas gdy materjalna natura mego powszedniego stołu ulegnie wtedy przemianie, którą muszę uważać za cud.

W drugim stole niema nic *materjalnego*. Prawie cały jest próżnią; próżnia ta jest coprawda przeniknięta polami sił, ale te należą do kategorji „wpływów“, a nie „rzeczy“. Nawet do tej maluteńkiej części niepróżnej nie możemy przenieść starego wyobrażenia substancji. Przy rozdrabnianiu materji na ładunki elektryczne oddaliliśmy się bardzo od obrazu, który nas naprowadził na pojęcie substancji;

sens tego pojęcia — jeżeli kiedykolwiek istniał — zaginął po drodze. Wszystkie współczesne poglądy fizyczne zmierzają do zniweczenia oddzielnych kategoryj „rzeczy", „wpływów", „form" i t. d. i do podstawienia jednolitego tła dla wszelkiego doświadczenia. Czy badamy przedmiot materjalny, czy pole magnetyczne, czy figurę geometryczną lub odstęp czasowy — wyniki naukowe naszych badań wyrażają się w pomiarach; ani przyrządy pomiarowe ani sposób ich użycia nie wskazują na żadne istotne różnice pomiędzy temi problemami. Same pomiary nie dają żadnej podstawy do podziału na kategorje. Odczuwamy, że konieczne jest wprowadzenie jakiegoś podkładu dla tych pomiarów — w postaci świata zewnętrznego. Ale cechy tego świata znajdują się poza badaniem naukowem, o ile nie ujawniają się przez pomiary. Nauka zbuntowała się wreszcie przeciwko wiązaniu ścisłej wiedzy, zawartej w pomiarach, z jakąś tradycyjną galerją obrazów-pojęć, które nie dają rzetelnych wiadomości o tym świecie i wprowadzają do gmachu wiedzy rzeczy nieistotne.

Nie będę tu więcej akcentował niematerjalności elektronów, bo jest to mało związane z naszym chwilowym biegiem myśli. Możecie je rozumieć tak materjalnie, jak się wam podoba; pozostanie wciąż jeszcze olbrzymia różnica pomiędzy stołem naukowym, którego substancja (jeżeli wogóle istnieje) jest rozsiana rzadziutko gdzie niegdzie w przeważnie pustym obszarze, a stołem w pojęciu powszednieni, który uważamy za wzór materjalnej rzeczywistości — za wcielony protest przeciwko subjektywizmowi Berkeleya. Zachodzi olbrzymia różnica pomiędzy tem, czy papier jest jakgdyby zrównoważony na roju muszek, które go podtrzymują mnóstwem leciutkich uderzeń, czy też spoczywa, bo się pod nim znajduje materja, której istotną własnością jest zajmowanie przestrzeni z wyłączeniem innej substancji. W każdym razie zachodzi olbrzymia różnica w stanowisku, jakkolwiek jest ona nieistotna, jeżeli idzie o praktyczną sprawę pisania na papierze.

Czy należy dodać, że fizyka współczesna, ze swą precy-

Biblioteka Wojsk. Akad. Tech. im. F. Dzierżyńskiego

zją eksperymentalną i nieubłaganą logiką, zapewniła mnie, że ten drugi, naukowy stół jest jedynym, który naprawdę na świecie istnieje — czemkolwiek miałby ten świat być? Z drugiej strony nie trzeba dodawać, że fizyce współczesnej nigdy się nie uda wykląć tego pierwszego widzialnego i namacalnego stołu — dziwnego konglomeratu zewnętrzności, wyobraźni i odziedziczonego przesądu. Musimy się z nim teraz rozstać, bo zamierzamy porzucić świat powszedni i zwrócić się do świata naukowego, odkrytego przez fizykę. Jest to, przynajmniej w intencjach fizyków, świat całkowicie zewnętrzny.

„Pocóż to paradoksalne rozróżnienie dwóch światów? Czy nie idzie tu naprawdę o dwie strony, czy dwie interpretacje jednego i tego samego świata?"

Tak, niewątpliwie zostaną one ostatecznie jakoś utożsamione. Ale proces, który przekształca zewnętrzny świat fizyki na dobrze znany świat ludzkiej świadomości, leży już poza zakresem fizyki. Tak więc świat badany metodami fizyki pozostaje odcięty od świata powszedniego, dopóki fizyk nie zakończy swej pracy nad nim. Narazie zatem będziemy traktowali stół, który jest przedmiotem badania fizycznego, jako coś różnego od stołu powszedniego, nie przesądzając sprawy ich ostatecznego utożsamienia. Prawda, że punktem wyjścia całego badania jest świat powszedni i do tego świata musi ono wkońcu wrócić; ale ta część drogi, nad którą fizyk ma pieczę, znajduje się poza zakresem świata powszedniego.

Do niedawna związek był bardziej ścisły; fizyk zapożyczał swój surowiec ze świata powszedniego. Dziś już tego nie robi. Jego obecne surowce to eter, elektrony, kwanty, potencjały, funkcje Hamiltona i t. d.; stara się on pilnie je osłonić przed wszelkiem pomieszaniem z pojęciami, zapożyczonemi z innego świata. Istnieje stół powszedni odpowiadający naukowemu, ale niema powszednich elektronów, kwantów, potencjałów, odpowiadających naukowej odmianie tych pojęć. Nie pragniemy już nawet zbudować powszednich odpowiedników dla nich, czyli, jak to się mówi

poprostu „wytłumaczyć“ elektron. Gdy fizyk całkowicie zakończył budowę swego świata, wolno mu zająć się powiązaniem czy utożsamieniem go z powszednim. Ale przedwczesne próby powiązania okazały się wręcz szkodliwe.

Nauka zmierza do skonstruowania świata, któryby jakoś symbolizował świat doświadczenia codziennego. Nie jest zupełnie konieczne, żeby każdy symbol oddzielnie coś oznaczał w doświadczeniu codziennem, a nawet żeby się jakoś w terminach tego doświadczenia pozwalał wyjaśnić. Człowiek przeciętny zawsze wysuwa to żądanie konkretnego wyjaśnienia pojęć spotykanych w nauce, ale musi się z konieczności rozczarować. Przypomina to nasze doświadczenia przy nauce czytania. Zawartość książki, symbolizuje jakąś sprawę z życia rzeczywistego, a intencją książki jest, aby czytelnik ostatecznie zidentyfikował jakiś symbol, np. chleb z jednem z pojęć życia codziennego. Ale niemądra jest próba takiego utożsamienia, zanim litery nie zostaną powiązane w słowa, a słowa w zdania. Znak *A* nie jest odpowiednikiem niczego w życiu powszedniem. Dziecku litera *A* wydaje się strasznie abstrakcyjna, i dlatego dodajemy mu do tej litery w elementarzu jakieś bliskie pojęcie: „*A* to *Anioł*“. To mu pozwala przebrnąć przez najbliższe trudności. Ale nie zrobi ono postępów, dopóki *Anioły, Baby, Celiny* będą mu się plątały pomiędzy literami. Litery te są abstrakcyjne i dziecko prędzej czy później musi sobie to uświadomić. W fizyce z takich definicyj symbolów podstawowych jużeśmy wyrośli. Na pytanie, czem jest naprawdę elektron, możemy odpowiedzieć tylko: „Elektron to znak abecadła fizyki“.

Świat zewnętrzny fizyki stał się w ten sposób światem widm. Wraz z naszemi złudzeniami wygnaliśmy substancję: czyż nie przekonaliśmy się, że substancja jest jednem z największych złudzeń? Może później zapytamy, czy w naszym zapale karczowania wszystkiego co nierealne, nie użyliśmy siekiery zbyt bezlitośnie. Może naprawdę rzeczywistość jest jak dziecko, które nie może żyć bez fantazyj, zasłyszanych od piastunki. Ale jeżeli tak, to fizyka mało to obchodzi. Ma

on rozsądne i wystarczające powody do zajmowania się światem widm i chętnie pozostawia filozofowi określenie jego dokładnego stosunku do rzeczywistości. W świecie fizyki obserwujemy grę widm, przedstawiających dramat życia powszedniego. Łokieć-widmo spoczywa na stole-widmie, a widmo-atrament spływa na takiż papier. Wszystko to jest symboliczne, i fizyk pozostawia to jako symbole, aż Umysł-czarodziej te symbole poprzemienia. Rozproszone gdzie niegdzie jądra siły elektrycznej stają się namacalnem ciałem; ich nieustający ruch — ciepłem słonecznem; oktawa drgań eteru — przepyszną tęczą. Ale tu czary nie ustają. W tym zmienionym świecie powstają nowe treści, których nie odnajdziemy w świecie symbolów: powstaje świat piękna i celu — ale niestety, również świat cierpienia i zła.

Otwarte wyznanie, że przedmiotem fizyki jest świat widm, to jeden z najznamienniejszych postępów naszych czasów. Nie chcę przez to powiedzieć, że fizycy interesują się w jakimś stopniu filozoficznemi konsekwencjami tego stanowiska. Z ich punktu widzenia jest ono nietyle rezygnacją z beznadziejnych uroszczeń, ile raczej zwiastunem swobodnego, niezależnego rozwoju teorji fizycznej. W tej chwili podkreślam widmowy i symboliczny charakter świata fizyki nie dla konsekwencyj filozoficznych, lecz aby uprzedzić was o jego jaskrawym dystansie od wyobrażeń powszednich. Bez tego przygotowania narażam współczesne teorje naukowe na brak sympatji z waszej strony. Moglibyście nawet, jak niewątpliwie wielu ludzi to czyni, uważać je za śmieszne.

Trudno się nauczyć traktować świat fizyki jako czysto symboliczny. Popadamy ciągle na nowo w stare błędy i mieszamy z symbolami niewłaściwe wyobrażenia świata naszej świadomości. Pomimo nauk długiego doświadczenia wciąż jeszcze wyciągamy ramiona, aby uchwycić widmo, zamiast uznać jego niematerjalność. W rzeczy samej, o ile się nie ograniczamy całkowicie do symbolów matematycznych, trudno się powstrzymać od ubierania naszych symbolów w zwodniczą szatę. Gdy myślę o elektronie, pojawia się w mej

wyobraźni twarda, czerwona, malutka kulka; podobnie proton jest neutralnie szary. Naturalnie zabarwienie to jest niedorzeczne — zresztą może nie bardziej niedorzeczne niż reszta tego obrazu — ale jestem już niepoprawny. Mogę doskonale zrozumieć, że młodsze umysły odczuwają te obrazy zbyt konkretne i próbują skonstruować świat z funkcyj Hamiltona i symbolów tak odległych od ludzkiej intuicji, że nawet nie ulegają one prawom tradycyjnej arytmetyki. Osobiście jest mi trochę trudno wspiąć się na ten poziom myślenia, ale jestem przekonany, że jest to nieuniknione.

W tych wykładach pragnę omówić pewne wyniki współczesnych badań świata fizyki, które najwięcej dają pokarmu myśli filozoficznej. Wypadnie mówić o nowych pojęciach naukowych, a również o nowej wiedzy. Pod każdym z tych względów inaczej teraz spoglądamy na świat, niż spoglądaliśmy naogół w końcu ubiegłego stulecia. Nie tracę z oka ostatecznego celu, który winien przyświecać tym wykładom: powiązania czysto fizycznych odkryć z szerszemi perspektywami i zainteresowaniami natury ludzkiej. Związki te musiały ulec zmianie, skoro zmieniło się całe nasze ujęcie świata fizycznego. Jestem przekonany, że właściwa ocena świata fizycznego, tak jak go dziś rozumiemy, pociąga za sobą pozbawiony uprzedzeń stosunek do spraw o szerszem znaczeniu, przerastającem zakres pomiarów naukowych, stosunek, który przed pokoleniem mógł się wydawać nielogiczny. W ostatnich wykładach spróbuję w miarę swych sił poszukać, dokąd ten stosunek prowadzi. Ale byłbym zdradził sprawę nauki, gdybym nie podkreślił, że jest ona samej sobie celem. Drogą wiedzy należy wędrować dla niej samej, nie dla rozległych widoków, które nam może krajobraz roztaczać. W tym duchu musimy iść ścieżką, czy prowadzi nas na pagórek wizyj, czy do jaskini ciemności. Zatem dopóki nie osiągniemy ostatniego etapu drogi, musicie iść za mną utartym szlakiem wiedzy i nie łajać mnie zbyt surowo za zrywanie kwiatów przydrożnych. Oto nasza umowa. Czy zgoda?

Rozdział I

UPADEK FIZYKI KLASYCZNEJ

Struktura atomu. W latach od 1905 do 1908 Einstein i Minkowski zmienili zasadniczo nasze pojęcia o czasie i przestrzeni, a w roku 1911 Rutherford dokonał największej od czasu Demokryta zmiany w naszych pojęciach o materji. Jest rzeczą ciekawą, że dwie te zmiany zostały w różny sposób przyjęte. Nowe pojęcia czasu i przestrzeni uważano powszechnie za rewolucyjne. Jedni przyjmowali je z największym entuzjazmem, inni z najostrzejszym oporem. Nowe pojęcie materji przeszło natomiast zwykłe koleje odkrycia naukowego: zdobywało stopniowo coraz to nowe pozycje, a gdy przytłaczająca masa dowodów przekonała wszystkich, zastąpiło spokojnie poprzednie teorje. Obeszło się bez wielkiego wstrząśnienia. A jednak, gdy słyszę dzisiejsze protesty przeciwko bolszewizmowi nauki współczesnej i westchnienia za dawnym porządkiem, wydaje mi się zawsze, że to Rutherford, a nie Einstein jest prawdziwym winowajcą. Gdy porównamy świat w naszem współczesnem ujęciu ze światem naszych poprzednich wyobrażeń, najbardziej zastanawiającą zmianą wydaje się nie przebudowanie czasu i przestrzeni przez Einsteina, lecz rozbicie wszystkiego, co uważamy za najtrwalsze, na malutkie ziarenka, unoszące się w próżni. Jest to ostry zgrzyt dla wszystkich, którzy przypuszczają, że rzeczy są zasadniczo takie, jakiemi się wydają. Próżnia odkryta wewnątrz atomu przez współczesną fizykę jest bardziej niepokojąca, niż ta, którą astronomja odkryła w przestrzeniach międzygwiazdowych.

Atom jest tak pusty, jak układ słoneczny. Gdybyśmy usunęli całą niewypełnioną przestrzeń z ciała ludzkiego i zespolili jego elektrony i protony, to człowiek stałby się punkcikiem ledwie dostrzegalnym przez lupę.

Tej porowatości materji nie nasuwała teorja atomistyczna. Wiedziano oczywiście, że w gazie, np. w powietrzu, atomy są rozmieszczone daleko od siebie, pozostawiając wiele wolnej przestrzeni; ale to było zupełnie naturalne: ciała podobne do powietrza nie mogły zawierać dużo materji. „powietrze" w języku potocznym jest symbolem niczego. W ciałach stałych znowu atomy są w ścisłem zetknięciu, tak iż stara teorja atomistyczna godziła się z naszemi wyobrażeniami, że ciała stałe są zasadniczo substancją pozbawioną wielkich luk.

Elektryczna teorja materji, która powstała mniej więcej w końcu XIX stulecia, nie zmieniała zpoczątku tego poglądu. Wiedziano, że elektryczność ujemna jest skoncentrowana w jednostkowych ładunkach o bardzo małej masie; ale inny składnik materji, elektryczność dodatnią, wyobrażano sobie jako galaretowatą kulę o tych samych wymiarach co atom. Malutkie ładunki ujemne były wbudowane w tę kulę, tak że przestrzeń wewnątrz ciała sztywnego była w przeważnej swej części dobrze wypełniona.

Tymczasem w roku 1911 Rutherford wykazał, że elektryczność dodatnia była również skupiona w małych ziarenkach. Doświadczenia jego nad rozpraszaniem promieni α wykazały, że atom może być źródłem wielkich sił elektrycznych, co byłoby niemożliwe, gdyby ładunek dodatni nie działał, jak silnie skupiony środek przyciągania. Ładunek ten musi być wobec tego zawarty w jądrze, którego rozmiary są niezmiernie małe w porównaniu z rozmiarami atomu. Tak oto po raz pierwszy opróżniono całkowicie zasadniczą objętość atomu, a zamiast atomu typu „kuli bilardowej" podstawiono atom typu „układu słonecznego". W dwa lata później Niels Bohr na podstawie atomu Rutherforda rozwinął swą sławną teorję, a od tej chwili sprawa postępowała szybko. Cokolwiek miałaby przynieść przyszłość, powrót do

dawnych wypełnionych atomów jest nie do pomyślenia. Przyjęty współcześnie pogląd stwierdza, że wszystkie odmiany materji ostatecznie składają się z dwóch elementarnych składników — elektronu i protonu. Pod względem elektrycznym są one dokładnie wzajemnemi przeciwieństwami, gdyż proton jest ładunkiem elektryczności dodatniej, a elektron ujemnej. Ale pod innemi względami własności ich różnią się znacznie. Proton ma masę 1840 razy większą niż elektron, tak że materja prawie całą masę zawdzięcza swoim protonom. Czysty proton znajdujemy tylko w wodorze, który jest, jak się zdaje, najprymitywniejszą postacią materji, gdyż atom jego składa się tylko z jednego protonu i jednego elektronu. W innych atomach jest scementowana razem w jądro pewna liczba protonów i mniejsza od niej liczba elektronów. Elektrony, niezbędne do wyrównania ostatecznego ładunku, są dla jądra odległymi satelitami i mogą nawet uciec z atomu i wędrować swobodnie przez materję. Średnica elektronu wynosi około 1/50 000 średnicy atomu, średnica jądra nie o wiele jest większa. Izolowany proton jest prawdopodobnie jeszcze mniejszy.

Lat trzydzieści temu roztrząsano zaciekle sprawę unoszenia eteru: czy Ziemia w swym ruchu dokoła Słońca unosi z sobą eter? W tych czasach nikt nie kwestjonował, że atom jest wewnątrz pełny i trudno było uwierzyć, że Ziemia może mknąć przez eter nie mącąc go. Było rzeczą dziwną i niepokojącą, że doświadczenia wykazywały, iż niema unoszenia eteru. Ale teraz zdajemy sobie sprawę, że eter może przepływać przez atom tak łatwo jak przez układ słoneczny i oczekujemy już czego innego niż dawniej.

W późniejszych rozdziałach powrócimy do atomu typu układu słonecznego. W chwili obecnej obchodzą nas dwie rzeczy: jego niezmierna pustka i to, że jest zbudowany z ładunków elektrycznych.

Rutherforda jądrowa teorja atomu nie uchodzi pospolicie za jeden z przewrotów naukowych obecnego stulecia. Było to odkrycie doniosłe, ale układające się w klasycznym schemacie fizyki. Istota i znaczenie tego odkrycia mogły

być wyrażone w terminach prostych, t. j. zapomocą pojęć już pospolitych w fizyce. Epitet „rewolucyjny“ zachowuje się zwykle dla dwóch wielkich struktur współczesnych -- dla teorji względności i teorji kwantów. Teorje te nietylko zawierają nową wiedzę o świecie; pociągają one za sobą zmiany w naszym sposobie myślenia o nim. Nie można ich podać odrazu w terminach pospolitych, ponieważ najpierw trzeba opanować pewne nowe pojęcia, o których klasyczny schemat fizyki nawet nie marzył.

Zdaje mi się, że nazwa „fizyka klasyczna“ nie była nigdzie ściśle zdefinjowana. Ale zasadniczo idzie tu niewątpliwie o teorje, układające się w schemacie praw natury, zbudowanym przez Newtona w *Principiach*. W ramach tego schematu okazały się możliwe wielkie zmiany: teorja falowa światła zastąpiła korpuskularną; ciepło zmieniło się z substancji (cieplika) na energję ruchu; elektryczność z ciągłej cieczy stała się zbiorem ognisk napięcia w eterze. Ale wszystko to zostało przewidziane w teorji sprężystości w ramach schematu pierwotnego. Fale, energja elektryczna i napięcie miały już swe miejsce w pierwotnym schemacie i zastosowanie tych samych pojęć do wyjaśnienia szerszego zakresu zjawisk było hołdem dla dalekowzroczności pierwotnych koncepcyj Newtona.

Musimy się teraz przyjrzeć, jak został rozbity schemat klasyczny.

Skrócenie FitzGeralda. Najlepiej będzie zacząć od następującego faktu. Przypuśćmy, że mamy pręt poruszający się z bardzo wielką szybkością. Przypuśćmy, że był on najpierw skierowany poprzecznie do kierunku ruchu i obróćmy go o kąt prosty tak, żeby jego własny kierunek pokrywał się z kierunkiem ruchu. Wtedy pręt się skraca; jest krótszy, gdy jest skierowany wzdłuż linji swego ruchu, niż gdy jest skierowany wpoprzek.

Skrócenie to, znane pod nazwą skrócenia Lorentza-FitzGeralda jest niezmiernie małe w zwykłych okolicznościach.

Nie zależy ono zupełnie od materjału pręta, ale wyłącznie od jego szybkości. Naprzykład, jeżeli szybkość wynosi 30 km na sekundę — jest to szybkość Ziemi w jej ruchu dokoła Słońca — to skrócenie wynosi jedną część na 200 000 000, co daje skrócenie średnicy ziemskiej o 64 mm.

Skrócenie to można udowodnić przy pomocy wielu różnych doświadczeń. Najwcześniejsze z nich i najlepiej znane, to doświadczenie Michelsona-Morleya, wykonane po raz pierwszy w roku 1887, powtórzone dokładniej przez Morleya i Millera w roku 1905 i później przez kilku badaczy w ciągu ostatnich dwóch lat. Nie będę opisywał tu tego eksperymentu, wspomnę tylko, że dogodnym sposobem nadania prętowi wielkiej szybkości jest umieszczenie go na Ziemi, która przecie się porusza dokoła Słońca. Nie będę również roztrząsał sprawy, w jakim stopniu jest ścisły dowód skrócenia, dostarczony przez te eksperymenty. Ważniejsze jest, żebyście sobie zdali sprawę z tego, że skrócenia należało właśnie oczekiwać na podstawie naszej pospolitej wiedzy o pręcie materjalnym.

Dziwicie się, że wymiary pręta mogą ulec zmianie jedynie na skutek zmiany jego kierunku? Spodziewalibyście się raczej, że pozostaną niezmienione? Ale o którym pręcie myślicie? (Proszę sobie przypomnieć moje dwa stoły!). Jeżeli myślicie o ciągłej substancji, wypełniającej przestrzeń, dlatego tylko że własnością substancji jest wypełnianie przestrzeni, to niema żadnego ważkiego powodu do zmiany wymiarów. Ale pręt naukowy jest rojem cząsteczek elektrycznych, żywo się poruszających i bardzo od siebie oddalonych. Najdziwniejsze jest, że taki rój może jednak zachować pewną określoną rozciągłość. Pochodzi to stąd, że cząsteczki zachowują pewne średnie odległości, tak że objętość całkowita pozostaje przeciętnie niezmienna; ponieważ wywierają one wzajemnie na siebie siły elektryczne, przeto objętość, którą zajmują, jest wyznaczona przez równowagę pomiędzy temi siłami przyciągającemi a różnemi ruchami, zmierzającemi od rozproszenia cząsteczek. Te siły elektryczne zmieniają się, gdy pręt zaczyna się poruszać, bowiem poru-

szająca się elektryczność stanowi prąd elektryczny, a prądy elektryczne wywołują siły innego rodzaju, niż elektryczność w spoczynku, np. siły magnetyczne. Otóż, te siły, powstające z ruchu cząsteczek elektrycznych, będą miały inne natężenie w kierunku ruchu, a inne w kierunku poprzecznym.

Wprawiając w ruch pręt, a więc i wszystkie zawarte w nim drobne ładunki elektryczne, wprowadzamy nowe siły magnetyczne pomiędzy cząsteczkami. Rzecz jasna, że zniknie wtedy równowaga, która pierwotnie zachodziła, a przeciętna odległość pomiędzy cząsteczkami będzie się zmieniała, dopóki nie ustali się nowa równowaga. W ten sposób rozciągłość roju cząsteczek — a więc długość pręta — ulega zmianie.

Niema naprawdę nic tajemniczego w skróceniu Lorentza-FitzGeralda. Byłoby ono czemś nienaturalnem, gdybyśmy sobie po staremu wyobrażali pręt jako substancję ciągłą, wypełniającą przestrzeń poprostu z racji swej materjalności. Tymczasem jest ono całkowicie naturalną własnością roju cząsteczek, utrzymywanych w delikatnej równowadze przez siły elektromagnetyczne i wypełniających przestrzeń dlatego, że odpychają wszystko, co ją pragnie zająć. Możecie też ująć to tak: przewidywanie, że pręt zachowa swą pierwotną długość zakłada oczywiście, że się z nim starannie obchodzą i nie narażają go na nowe napięcia. Ale pręt w ruchu jest poddany nowemu napięciu magnetycznemu, które powstaje nie naskutek nieporządnego uderzenia zzewnątrz, lecz jest nieuniknioną konsekwencją własnej budowy elektrycznej pręta. Być może będziecie podejrzewali, że gdyby pręt był dostatecznie sztywny, to mógłby się oprzeć sile ściskającej. Nie jest to prawdą: skrócenie Lorentza-FitzGeralda jest takie samo dla pręta stalowego, jak dla pręta z gumy. Sztywność i siła ściskająca są tak powiązane z budową ciała, że jeżeli jedna z nich jest wielka, to i o drugiej można to samo powiedzieć. Trzeba koniecznie wyperswadować sobie, jakoby niemożliwość zachowania stałej długości, była jakimś defektem pręta. Byłby to defekt w porównaniu z jakiemś urojonem „czemś“, które

nie posiada tej elektrycznej budowy — a więc wogóle nie jest materją.

Wyciągaliśmy tu z elektrycznej struktury materji wnioski jakościowe, wyliczenie ilościowe efektu musimy już pozostawić matematykom. Zagadnienie to rozwiązali Lorentz i Larmor w roku 1900. Obliczyli oni zmianę przeciętnego odstępu pomiędzy cząsteczkami, niezbędną do przywrócenia równowagi, zburzonej przez nowe siły, powstałe dzięki zmianie ruchu ładunków. Rachunek doprowadził dokładnie do skrócenia Lorentza - FitzGeralda, t. j. do liczb już uzyskanych z eksperymentów, o których wspominaliśmy wyżej.

Mamy zatem podwójne oparcie. Jedni wolą wierzyć w konsekwencje, ponieważ wydają się one mocno uzasadnione przez eksperymenty; innych łatwiej znowu przekona to, że skrócenie FitzGeralda jest koniecznem następstwem praw elektromagnetyzmu, przyjętych powszechnie od czasów Maxwella. Niekiedy zawodzą doświadczenia, niekiedy teorje: dobrze jest więc mieć jedno i drugie na poparcie.

Konsekwencje skrócenia. Już ten wynik, jakkolwiek nie prowadzi niechybnie do teorji względności, powinien podważyć wasze zaufanie do fizyki klasycznej. Gdy fizyk pragnie zmierzyć jakąś długość — a bez tej czynności nie zajdzie daleko w żadnym eksperymencie — bierze sztabę miernicą i obraca ją w odpowiednim kierunku. Nigdy mu nie przychodziło na myśl, że pomimo wszelkich ostrożności sztaba zmieni wtedy długość; a zmiana długości musi nastąpić, chyba że się ziemia zatrzyma. Stałość sztaby miernicej była skałą, na której oparto całą budowlę fizyki; i skała ta się rozpadła. Może się wam wydawać, że założenie to niebardzo zmyliło fizyków i że zmiany długości nie są znowu tak znaczne, bo przecież zostałyby zauważone. Proszę, osądźcie sami.

Przyjrzyjmy się pewnym następstwom skrócenia FitzGeralda. Weźmy najprzód przykład, który się może wydać fantastyczny. Wyobraźcie sobie, że znajdujecie się na plane-

cie, która porusza się naprawdę bardzo szybko, powiedzmy z szybkością 260 000 km na sekundę. Dla takiej szybkości skrócenie wynosi połowę. Każde ciało sztywne skraca się o połowę, gdy z położenia poprzecznego względem kierunku ruchu przejdzie do położenia z nim zgodnego. Podróż pomiędzy dwoma miastami, odległemi w południe o 100 km, skróci się do 50 km o 6 pp., gdy planeta obróci się o kąt prosty. Mieszkańcy tej planety będą naśladowali to, co się działo z Alicją w Krainie Czarów: będą się wyciągali i zsuwali jak luneta.

Nie znam planety, kóraby się poruszała z szybkością 260 000 km na sekundę, ale mógłbym wskazać odległą mgławicę spiralną, która się porusza z szybkością 5000 km na sekundę. Może ona zawierać jakąś planetę i nie pozwolę sobie chyba zbyt wiele, gdy umieszczę na niej istoty obdarzone inteligencją. Przy szybkości 5000 km na sekundę skrócenie nie jest jeszcze dostatecznie wielkie, by dawało się odczuwać w sprawach codziennych. Ale jest zupełnie dostateczne, aby mogło być zauważone w pomiarach o dokładności naukowej, a nawet tylko technicznej. Jedną z najbardziej podstawowych czynności w fizyce jest mierzenie długości sztabą miernicą poruszaną we wszystkich kierunkach. Wyobraźcie sobie konsternację fizyków na tej planecie, gdy się dowiedzą, że się pomylili, przypuszczając, że ich sztaba jest niezmienną miarą długości. Cóż za kłopot z ponowną kontrolą wszystkich kiedykolwiek wykonanych doświadczeń, z zastosowaniem poprawek na kierunek sztaby w danej chwili, z ponownem wyciąganiem wniosków i praw fizycznych z poprawionych danych! Jakże się nasi fizycy powinni cieszyć, że się nie znajdują w tej mknącej jak szalona mgławicy, lecz na przyzwoicie wędrującej planecie, jaką jest Ziemia.

Ale ostrożnie: czy to takie pewne, że znajdujemy się na nowolnej planecie? Mogę sobie przecie wyobrazić astronomów w tamtej mgławicy, obserwujących w dalekiej przestrzeni jakąś tam gwiazdę, której towarzyszy jakaś tam planeta, zwana Ziemią. I oni również obserwują, że planeta ta porusza się z olbrzymią szybkością 5000 km na sekundę.

Ponieważ my widzimy, że oni oddalają się od nas z szybkością 5000 km na sekundę, więc i oni oczywiście będą widzieli nas, oddalających się z tą samą szybkością. „Pięć tysięcy km na sekundę!“ zawołają fizycy z mgławicy, „jakże nieszczęśliwi są fizycy na Ziemi! Skrócenie Lorentza-FitzGeralda będzie zupełnie pokaźne i wszystkie ich pomiary przy pomocy sztab będą zawierały poważne błędy. Jakież niesamowite prawa natury musieli oni wyprowadzić, jeżeli przeoczyli tę poprawkę!“

Niema żadnego sposobu na rozstrzygnięcie, kto ma rację, to jest kto z nas naprawdę posiada tę względną szybkość 5 000 km na sekundę. Pod względem astronomicznym Droga Mleczna, do której należy Ziemia, nie wydaje się ani ważniejszą, ani bardziej centralną niż owa mgławica. Domniemanie, że to my jesteśmy bliżsi spoczynku, niema poważnych podstaw: jest poprostu objawem zarozumialstwa.

Ale odpowiecie mi: „Przecież gdyby te znaczne zmiany długości zachodziły na Ziemi, to moglibyśmy je wykryć zapomocą pomiarów“. To właśnie najciekawsza sprawa: okazuje się, że żadne pomiary jej nie ujawnią. Zmiany długości mogą zachodzić, a jednak pozostać całkowicie niedostrzeżone. Spróbujmy wyjaśnić, jak się to dzieje.

Wyobraźmy sobie, że pokój ten porusza się pionowo wgórę z szybkością 260 000 km/sek, a przynajmniej, że tak utrzymuję i że macie to twierdzenie obalić. Obracam rękę z położenia poziomego do pionowego i twierdzę, że skraca się ona wtedy do połowy. Nie wierzycie? Proszę zmierzyć sztabą miernicą. Najprzód, w pozycji poziomej, 75 cm; teraz, w pionowej, wypada 75 półcentymetrów. Musicie uwzględnić, że każdy centymetr sztaby skraca się do półcentymetra, gdy obracamy ją do położenia pionowego.

„Ale widzimy przecie, że ręka się nie skraca; czy nie wolno nam wierzyć własnym oczom?“

Oczywiście, że nie wolno, chyba że sobie przypomnicie, iż kiedy wstaliście dziś rano, to siatkówka skróciła się do połowy w kierunku pionowym. Wobec tego dwukrotnie przecenia odległości pionowe w porównaniu z poziomemi.

„Dobrze", odpowie ktoś, „wobec tego nie będę wstawał. Będę leżał i obserwował Pańskie wyczyny w pochylonem zwierciedle. Siatkówka będzie wtedy w porządku i jestem przekonany, że nie zauważę żadnego skrócenia".

Ale poruszające się zwierciadło daje zniekształcony obraz wydarzeń. Kąt odbicia światła zmienia się naskutek ruchu zwierciadła, zupełnie podobnie, jak zmieniłby się kąt odbicia kuli bilardowej, gdyby się banda poruszała. Gdybyście zbadali na podstawie zwykłych praw optyki, jakie są skutki tego, że się zwierciadło porusza z szybkością 260 000 km/sek, przekonalibyście się, że powstaje zniekształcenie, ukrywające właśnie skrócenie mej ręki.

I tak będzie z każdą próbą. Nie możecie obalić mego twierdzenia, chociaż oczywiście ze swojej strony nie potrafię go udowodnić. Mógłbym równie dobrze obrać sobie inną prędkość i bronić jej z tem samem powodzeniem. Na pierwszy rzut oka wydaje się to przeczyć temu, co powiedziałem poprzednio — że skrócenie było wykazane i zmierzone przez eksperyment Michelsona - Morleya i inne — ale niema tu żadnej sprzeczności. Były to wszystko eksperymenty *zerowe*, podobnie jak wasz eksperyment, który polegał na obserwacji mojej ręki w pochylonem zwierciedle. Poszukiwano pewnych optycznych czy elektrycznych następstw ruchu Ziemi, następstw tego typu, co zniekształcenie obrazów w poruszającem się zwierciedle. Zaobserwowanie ich byłoby możliwe, gdyby nie zachodziło skrócenie o rozmiarach dokładnie kompensujących oczekiwany efekt. Otóż następstw tych nie zaobserwowano: zatem skrócenie kompensujące istotnie miało miejsce. Była tylko jedna jeszcze możliwość: że prawdziwa szybkość Ziemi względem przestrzeni jest zerem. Możliwość tę wyłączono przez powtórzenie doświadczenia po upływie sześciu miesięcy, gdyż szybkość Ziemi nie mogła być zerem w obu tych wypadkach. W ten sposób udowodniono skrócenie i prawo jego zależności od szybkości. Ale prawdziwa wartość skrócenia pozostała nieznana, ponieważ nie znana jest prawdziwa szybkość Ziemi, różna od jej szybkości orbitalnej względem Słońca. A szybkość Ziemi

pozostaje nieznana, ponieważ następstwa optyczne i elektryczne, przy których pomocy moglibyśmy ją zmierzyć, są skompensowane właśnie przez skrócenie.

Powiedziałem, że stałość skali mierniczej jest skałą, na której wzniesiono budowlę fizyki. Ale budowla ta została wzmocniona dodatkowemi podporami, ponieważ często do pomiarów zamiast materjalnych skal można użyć sposobów optycznych i elektrycznych. Lecz wszystkie te metody zmówiły się, by się nawzajem nie zdradzać. Skała się rozpadła, a wraz z nią runęły podpory.

Rusztowania przestrzenne. Możemy teraz wrócić do naszego sporu z fizykami z mgławicy. Jedna z dwóch stron ma wielką szybkość i jej pomiary naukowe są poważnie zagrożone przez skrócenie sztab mierniczych. Każda ze stron przyjmowała dotąd, że to ta druga się myli. Nie możemy rozstrzygnąć sprawy przez odwołanie się do doświadczenia, skoro w każdem doświadczeniu kompensują się dwa ewentualne błędy, spowodowane przez mylne stanowisko.

Bardzo to osobliwe błędy, którym stale towarzyszy własna ich kompensacja. Ale proszę sobie przypomnieć, że kompensacja ta stosuje się jedynie do zjawisk naprawdę zaobserwowanych, albo obserwowalnych. Kompensacja ta nie stosuje się do środkowej partji naszej dedukcji — do tego systemu wniosków z doświadczeń, który tworzy klasyczną teorję fizyczną wszechświata.

Przypuśćmy, że i my, i fizycy mgławicowi, obserwujemy świat. Obserwacja taka polega przedewszystkiem na tem, że wyznaczamy dla otaczających przedmiotów odpowiednio ich położenia w przestrzeni. Jedna ze stron, dajmy na to fizycy mgławicowi, posiada wielką szybkość; ich sztaby miernicze będą się skracały, gdy będą mierzyli odległości w określonym kierunku, i w tym kierunku będą wobec tego otrzymywali odległości zbyt wielkie. Jest rzeczą obojętną, czy używają sztaby mierniczej, czy teodolitu, czy też oceniają odległości poprostu na oko — wszystkie metody pomiaru muszą być zgodne między sobą. Gdyby wszelki ruch wywo-

ływał jakieś różnice w wynikach pomiaru, moglibyśmy obliczyć jego szybkość z rozmiarów tych różnic. Lecz, jakieśmy to już widzieli, i teorja i obserwacja wykazują, że zachodzi całkowita kompensacja. Gdyby fizycy mgławicowi próbowali zbudować kwadrat, zbudowaliby prostokąt, i żadna kontrola nigdyby im nie odkryła błędu. Największe ustępstwo, na które mogą się zdobyć, to uświadomić sobie, że w innym świecie są ludzie, którzy sobie wmówili, że jest to prostokąt. Mogliby się okazać nawet tak tolerancyjni, żeby uznać, że ten drugi punkt widzenia, choć tak absurdalny napozór, da się równie dobrze obronić jak pierwszy. Rzecz jasna, że całe ich ujęcie przestrzeni będzie zniekształcone w porównaniu z naszem, a nasze zniekształcone w porównaniu z ich ujęciem. Obserwujemy ten sam świat, ale umieściliśmy go w różnych przestrzeniach. Pierwotny zatarg o to, kto z nas porusza się z szybkością 5 000 km/sek, stworzył taką przepaść pomiędzy nami, że nawet nie możemy korzystać z tej samej przestrzeni.

Przestrzeń i czas — to wyrazy, które posiadają więcej niż jedno znaczenie. Przestrzeń to pusta próżnia; lub może taka a taka liczba metrów, arów, litrów. Czas to wiecznie płynący strumień; lub też coś podawanego zapomocą sygnałów radjowych. Fizyk nie może używać mętnych pojęć (jakże często go oplatają niestety!). Gdy zatem mówi o przestrzeni, powinien mieć zawsze na myśli metry, czy litry. Z tego punktu widzenia obie przestrzenie, nasza i fizyków mgławicowych, są różne: różne są rachunki metrów i litrów. Aby uniknąć możliwych nieporozumień, lepiej może mówić, że mamy różne *rusztowania przestrzenne* — różne rusztowania, do których odnosimy rozmieszczenie przedmiotów. Ale nie wyobrażajcie sobie rusztowania, jako czegoś świadomie zbudowanego. Rusztowanie to pojawia się w naszym umyśle wraz z pierwszą percepcją przestrzeni. Rozważmy, naprzykład, nieco krańcowy przypadek, gdy skrócenie FitzGeralda wynosi połowę. Jeżeli ktoś bierze prostokąt o wymiarach 2 m na 1 m za kwadrat, to jasne, że mu się przestrzeń objawiła w zupełnie inny sposób niż nam.

Rusztowanie przestrzenne, użyte przez jakiegoś obserwatora, zależy wyłącznie od jego ruchu. Obserwatorzy na różnych planetach, ożywieni tą samą szybkością (to jest posiadający szybkość względną zero) będą się wzajemnie zgadzali na swe rozlokowania przedmiotów w przestrzeni. Ale obserwatorzy na planetach z różnemi szybkościami mają różne rusztowania do umiejscawiania przedmiotów. Moglibyście mnie tu zapytać, skąd mam pewność, że owe urojone istoty będą tak właśnie interpretowały swe obserwacje. Jeżeli mnie będziecie naciskali, nie będę się bronił. Ale komu się nie podobają moje urojone istoty, naraża się na argumentację upstrzoną symbolami matematycznemi. Zamiarem naszym było wyrazić w łatwo zrozumiałej postaci pewne wnioski, dotyczące wpływu ruchu na zjawiska elektryczne, optyczne i metryczne, a wynikające z ziemskich eksperymentów i z rachunków. W tym zakresie zrobiono tak wiele i tak starannie, że nauka potrafi powiedzieć, jakie będą następstwa pomiarów instrumentami o wysokiej szybkości— czy to będą instrumenty techniczne, czy naprzykład siatkówka ludzka. Pod jednym tylko względem traktuję swego mgławicowego obserwatora jako coś więcej niż aparat rejestrujący: przyjmuję, że i on cierpi na pospolitą ułomność natury ludzkiej, mianowicie uważa za pewne, że to jego planetę Bóg miał głównie na myśli, gdy tworzył wszechświat. Dlatego też (jak i mój czytelnik, być może?) niebardzo jest skłonny brać na serjo poglądy na przestrzeń takich ludzi, którzy mają pecha poruszać się z szybkością 5 000 km/sek względem jego chałupy.

Jakiś wyjątkowo skromny obserwator mógłby wziąć nie własną a inną planetę, jako wzorzec spoczynku. Musiałby wtedy poprawić wszystkie swe pomiary, uwzględniając skrócenie FitzGeralda, pochodzące od jego własnego ruchu względem tego wzorca, a poprawione pomiary dałyby mu rusztowanie przestrzenne, odpowiadające planecie wzorcowej, podobnie jak jego pierwotne pomiary odpowiadały rusztowaniu przestrzennemu jego własnej planety. Dla tego obserwatora dylemat jest jeszcze bardziej zaostrzony, bo

nic mu nie podsuwa planety, którą ma wybrać jako wzorzec spoczynku. Gdy raz zrezygnuje z naiwnego przekonania, że jego własne rusztowanie jest jedynem właściwem, to powstaje sprawa: które z niezliczonych innych rusztowań jest właściwe? Niema na to odpowiedzi, i o ile możemy przewidzieć, nie istnieje żadna możliwość odpowiedzi. Tymczasem wszystkie jego pomiary eksperymentalne oczekują opracowania, bo poprawki, które ma zastosować, zależą przecie od odpowiedzi na ten dylemat. Obawiam się, że naszemu skromnemu obserwatorowi grozi, że pozostanie wtyle za swymi pewniejszymi siebie kolegami.

Kłopot, który powstał, polega nie na tem, że coś jest zasadniczo złego w rusztowaniu przestrzennem, któregośmy używali w naszym systemie fizyki. Nie doprowadziło ono do żadnych sprzeczności z doświadczeniem. „Zło" polega na tem, że rusztowanie to nie jest jedyne. Gdyby się okazało, że jest ono niezadowalające i że inne rusztowanie lepiej się nadaje, nie wywołałoby to wielkiej rewolucji w naszem ujęciu. Ale odkrycie, że nasze rusztowanie jest jednem z wielu jednakowo dobrych, prowadzi do zmiany pojmowania samego pojęcia rusztowania przestrzennego.

Zarzuty zdrowego rozsądku. Zanim pójdę dalej, muszę odpowiedzieć krytykowi, który powołuje się na zdrowy rozsądek. Przestrzeń — *swoją* przestrzeń — odczuwa on niezmiernie żywo. „Ten przedmiot jest oczywiście tu; tamten jest właśnie tam. Wiem to i wiary tej nie pozwolę zachwiać żadnemu obskurantyzmowi naukowemi, plotącemu o skróceniu sztab mierniczych".

Posiadamy pewne uprzednio powzięte wyobrażenia o rozmieszczeniu w przestrzeni, które odziedziczyliśmy po naszych małpich przodkach. Są one zakorzenione w naszym sposobie myślenia tak głęboko, że bardzo trudno skrytykować je bezstronnie i uświadomić sobie, na jak kruchych spoczywają podstawach. Przypuszczamy pospolicie, że każdy

z otaczających nas przedmiotów ma określone położenie i że *postrzegamy* to prawdziwe położenie. Przedmioty w moim gabinecie znajduję naprawdę w miejscu, w którem je „postrzegam". I jeżeli jakiś obserwator (na innej gwieździe), badając pokój przy pomocy sztab i t. d., wywnioskuje inny rozkład przestrzenny przedmiotów, to poprostu snuje paradoks naukowy, który nie podważa prawdziwych stosunków rozmieszczenia, oczywistych dla każdego człowieka o zdrowym rozsądku. Stanowisko to pogardliwie odrzuca wszelkie kwestje, dotyczące postrzegania rozmieszczenia. Co za niekonsekwencja! jeżeli rozmieszczenie zostało wyznaczone z wyszukanemi ostrożnościami przez pomiary naukowe, to zwykle śpieszymy szukać różnych możliwości błędnego działania przyrządu. Ale jeżeli wiedza o rozmieszczeniu została uzyskana bez żadnych środków ostrożności, jeżeli tak poprostu przyszła nieposzukiwana sama do głowy, to uważamy ją za jawnie prawdziwą, a wątpliwości w tej sprawie — niemal za policzek wymierzony zdrowemu rozsądkowi. Mamy jakieś wrażenie (chociaż niechętnie się do niego przyznajemy), że dusza wysyła macki w przestrzeń, aby sprawdzić dokładnie, gdzie się każdy z bliskich przedmiotów znajduje. Jest to niedorzeczne: naszą wiedzę o rozmieszczeniu nie na tej drodze uzyskaliśmy. Ściśle biorąc, jest to wiedza zmysłów, a nie rozsądku. Częściowo uzyskaliśmy ją przez dotyk i dzięki ruchowi: taki a taki przedmiot jest na odległości ręki albo o parę kroków od nas. Czy zachodzi jakaś istotna różnica (poza stopniem) pomiędzy tą metodą, a pomiarami naukowemi zapomocą skal? Częściowo uzyskaliśmy ją dzięki wzrokowi, który stanowi grubą odmianę naukowych pomiarów zapomocą teodolitu. Nasza pospolita wiedza o tem, gdzie się rzeczy znajdują, nie jest żadnem cudownem objawieniem jakiegoś nieomylnego autorytetu: jest ona wywnioskowana z obserwacyj tego samego rodzaju co naukowe, ale grubszych. W pewnych granicach dokładności ten schemat rozmieszczenia przedmiotów, który postrzegam „instynktownie", jest tem samem co naukowy schemat rozmieszczenia, czyli rusztowanie przestrzenne.



Gdy używamy starannie wykonanej soczewki w lunecie i uczulonej płyty zamiast kryształowej soczewki i siatkówki naszego oka, powiększamy tylko dokładność, ale nie zmieniamy zasadniczo charakteru badania przestrzeni. Tylko dzięki temu powiększeniu czułości możemy „postrzegać" pewne cechy przestrzeni, nieznane naszym małpim przodkom w czasach, gdy tworzyli sobie swe powszednie pojęcia, które nam przekazali. Ich schemat rozmieszczenia działa sprawnie tylko tak długo, dopóki niema poważnej zmiany w ich ruchu (kilka kilometrów na sekundę nie czyni wielkiej różnicy). Ale wielka zmiana szybkości zmusza do przejścia do innego systemu rozmieszczenia, który podobnie jest sam w sobie niesprzeczny, jakkolwiek jest sprzeczny z pierwotnym. Gdy posiadamy kilka tych sposobów rozmieszczenia, czy rusztowań przestrzennych, nie można już dłużej twierdzić, że każdy z nich poprostu wskazuje „gdzie się rzeczy znajdują". Rozmieszczenie nie jest objawione umysłowi nadnaturalnie. Jest ono czemś w rodzaju umownego streszczenia tych własności, czy stosunków przedmiotów, które powodują pewne wrażenia wzrokowe i dotykowe.

Czy to nie wskazuje niechybnie, że „prawdziwe" rozlokowanie w przestrzeni nie może być nawet w przybliżeniu tak ważne i podstawowe, jak to przedstawia Newtonowski system świata? Różni obserwatorzy mogą się z niem obchodzić dość bezceremonjalnie, nie sprowadzając żadnych złych następstw.

Przypuśćmy, że rozmieszczenie jest — nie mitem — ale w każdym razie nie tak określoną rzeczą, jak to przedstawia fizyka klasyczna; że Newtonowska idea rozmieszczenia zawiera trochę prawdy i trochę bredni i że to nie o prawdę, ale właśnie o te brednie sprzeczają się nasi obserwatorzy. Toby już wiele wyjaśniło. Wyjaśniłoby naprzykład, dlaczego wszystkie siły natury, jakby się sprzysięgły, aby nie pozwolić na odkrycie określonego położenia przedmiotu (jego położenia w „prawdziwem" rusztowaniu przestrzennem). Nie mogą tego położenia ujawnić, bo nie istnieje ono poprostu.

Podejmiemy tę myśl w rozdziale następnym. Tymczasem rzućmy poza siebie okiem na wywody, które nas doprowadziły do obecnej sytuacji. Zrodził ją zawód, który nam sprawiła obdarzana takiem zaufaniem sztaba miernicza, zawód, który wyniknął z mocnych dowodów doświadczalnych, albo prościej jeszcze: okazał się nieuchronnem następstwem przyjęcia elektrycznej teorji materji. To nieprzewidziane zachowanie się jest powszechną własnością wszystkich rodzajów materji i dotyczy również wszystkich metod pomiarów elektrycznych i optycznych. Dzięki temu nie ujawnia się żadna rozbieżność przy stosowaniu zwykłych metod pomiaru. Rozbieżność ukazuje się wtedy, gdy zmieniamy wspólny ruch sprzętu mierniczego, naprzykład gdy porównywamy długości i odległości mierzone przez obserwatorów ziemskich z odpowiedniemi wielkościami mierzonemi przez obserwatorów na planecie z inną szybkością. Będziemy prowizorycznie nazywali te zmierzone długości, zawierające rozbieżność, „długościami fikcyjnemi".

Zgodnie ze schematem Newtonowskim długość jest jedyna i określona; i każdy obserwator powinienby zastosować poprawki (zależne od jego ruchu), aby sprowadzić swe fikcyjne długości do jedynej długości Newtona. Ale tu nasuwają się dwa zarzuty. Poprawki, które należy zastosować, aby przejść do długości Newtonowskiej są nieokreślone. Znamy poprawki na sprowadzenie naszych fikcyjnych długości do długości obserwatora, który się porusza dowolnym przepisanym ruchem, ale niema żadnego kryterjum na stwierdzenie, który to układ jest tym, o którym mowa w schemacie Newtonowskim. Powtóre, całość fizyki współczesnej została oparta na długościach mierzonych przez obserwatorów ziemskich bez tej poprawki, tak że twierdzenia jej odnoszą się naprawdę do długości fikcyjnych, jakkolwiek jawnie są sformułowane dla długości Newtonowskich.

Może się wydawać, że skrócenie Lorentza-FitzGeralda jest zbyt małym drobiazgiem, aby zachwiać całą fizykę. Ale możnaby policzyć na palcach te ważne dla nauki doświad-

czenia, któreby nie zostały pozbawione znaczenia, gdyby nasze metody pomiaru długości były zasadniczo niezdrowe. Przekonaliśmy się, że niema żadnej gwarancji, że nie podlegają one pewnym systematycznym błędom. Gorzej: nie wiemy, czy błędy te są popełniane czy nie, i wszystko przemawia za tem, że tego rozstrzygnąć nie można.

Rozdział II

WZGLĘDNOŚĆ

Zasada Einsteina. Ów skromny obserwator, o którym wspominaliśmy w rozdziale pierwszym, pragnąc dokonać wyboru pomiędzy wieloma rusztowaniami przestrzennemi, nie miał się czem kierować. Rusztowania te są różne w tym sensie, że rozmaicie rozmieszczają na świecie przedmioty materjalne, włączając samego obserwatora. Są one natomiast nierozróżnialne w tym sensie, że świat badany w jednej przestrzeni, zachowuje się według tych samych praw, jak badany w innej. Obserwator nasz, urodzony przypadkiem na pewnej określonej planecie, przyjmował dotąd jedno z tych rusztowań bezkrytycznie. Ale uprzytamnia sobie teraz, że niema żadnej podstawy do upierania się przy tem, że jest to rusztowanie prawdziwe. Któreż więc jest to prawdziwe?

W tej krytycznej sytuacji Einstein podsuwa myśl następującą:

„Szukacie rusztowania, które nazywacie *prawdziwem*. Ale na czem polega jego *prawdziwość?*"

Stoicie oto z nalepką, którą zamierzacie nakleić na jednej z paczek zupełnie do siebie podobnych. Niecierpliwicie się, bo nic wam nie pomaga zdecydować się na jedną z nich. Spójrzcie przecież na nalepkę i przeczytajcie, co na niej napisano: jest zupełnie czysta.

Wyraz „prawdziwy" w zastosowaniu do rusztowań przestrzennych — to właśnie taka niezapisana nalepka. Użycie tego wyrazu zakłada, że istnieje coś, co odróżnia rusztowa-

nie prawdziwe od fałszywego. Lecz gdy pytamy, jaka jest ta rozróżniająca własność, otrzymujemy niezmiennie tę samą odpowiedź: „prawdziwość". Odpowiedź ta nie wyjaśnia sensu tego rozróżnienia, ani też nie daje nam pewności, że sens taki istnieje.

Gotów jestem przyznać, że rusztowania przestrzenne, jakkolwiek w chwili obecnej tak podobne, mogą się w przyszłości okazać rozróżnialne. (Uważam to osobiście za nieprawdopodobne, ale nie wyłączam tej możliwości). Fizyk przyszłości mógłby odkryć, że rusztowanie związane naprzykład z Arkturem jest jedyne pod względem pewnej własności, dotąd nauce nieznanej. Wtedy bezwątpienia nasz przyjaciel z nalepką pośpieszy ją przykleić: „A co, nie mówiłem! Wiedziałem, że miałem coś na myśli, gdy mówiłem o prawdziwem rusztowaniu". Ale nie wydaje się rozsądne wydawać jakieś dziwne dźwięki na tej chwiejnej zasadzie, że potomność może potrafi przypisać im jakieś znaczenie.

Teorja Einsteina zajmuje stanowisko, że kwestja jedynego prawdziwego rusztowania wogóle nie istnieje. Istnieje rusztowanie przestrzenne *dla* obserwatora ziemskiego, inne *dla* mgławicowego, inne dla innych gwiazd. Rusztowania przestrzenne są względne. Długości, odległości, objętości — wszystkie wielkości stosowane przy pomiarach przestrzeni — są również względne. Odległość zmierzona przez obserwatora na jednej gwieździe jest równie dobra, jak podobna odległość zmierzona przez innego na innej gwieździe. Nie powinniśmy spodziewać się zgodności pomiędzy temi odległościami: jedna odnosi się do jednego, druga do innego rusztowania. Odległość absolutna, nieodniesiona do żadnego rusztowania, to wyrażenie bezsensowne.

Dalej: inne wielkości fizyczne są również związane z rusztowaniem, a zatem są również względne. Widzieliście być może tablicę „wymiarów" wielkości fizycznych, która podaje, jak są one powiązane z pomiarami czasu, długości i masy. Jeżeli zmieniacie miarę długości, to zmieniacie również miarę innych wielkości fizycznych.

Wyobraźcie sobie na powierzchni ziemi ciało, posiada-

jące ładunek elektryczny. Dopóki znajduje się w spoczynku, otoczone jest wprawdzie polem elektrycznem, ale nie magnetycznem. Ale dla fizyka mgławicowego porusza się ono z szybkością 5 000 km/sek. Poruszający się ładunek przedstawia prąd elektryczny, który zgodnie z prawami elektromagnetyzmu rodzi pole magnetyczne. Jakże to samo ciało może jednocześnie wywoływać i nie wywoływać pola magnetycznego? Według teorji klasycznej należałoby traktować jeden z tych wyników jako złudzenie. (Nie przedstawia to żadnych trudności. Tylko że nic nie wskazuje na to, który właśnie z tych wyników miałby być złudzeniem). Według teorji względności oba są usprawiedliwione. Pola magnetyczne są względne. W naszym przykładzie niema pola magnetycznego w stosunku do ziemskiego rusztowania przestrzennego, natomiast istnieje ono w stosunku do rusztowania mgławicowego. Fizyk mgławicowy wykryje, jak należy, pole magnetyczne przy pomocy swych przyrządów, chociaż nasze go nie wykazują. Dzieje się tak dlatego, że używa on instrumentów, które spoczywają na jego planecie, podczas gdy nasze spoczywają na naszej, albo też korygujemy nasze obserwacje tak, aby je uzgodnić ze wskazaniami przyrządów spoczywających w naszych rusztowaniach.

Ale *naprawdę* pole istnieje, czy nie? Z pytaniem tem jest tak samo, jak z poprzedniem zagadnieniem o kwadracie i prostokącie. Istnieje jedna kwalifikacja pola ze względu na jedną planetę, druga ze względu na inną. Absolutnej kwalifikacji niema.

Niezupełnie to jednak prawdziwe, że wszystkie wielkości fizyczne są zależne od rusztowania przestrzennego. Możemy budować nowe wielkości przez mnożenie, dzielenie i t. d. Mnożymy naprzykład masę i szybkość, uzyskując pęd; dzielimy energję przez czas, i otrzymujemy dzielność. Możemy postawić sobie zagadnienie matematyczne, polegające na zbudowaniu przy pomocy operacyj matematycznych wielkości, które mają być niezmiennikami, to jest które będą miały tę samą miarę, bez względu na zastosowane ru-

sztowanie. Jeden czy dwa z tych niezmienników okazują się wielkościami już poznanemi w fizyce przedwzględnościowej. Fizyka względnościowa interesuje się nimi specjalnie; odkryła i nazwała jeszcze kilka niezmienników. Przypuszczenie, że teorja względności twierdzi, iż wszystko jest względne, jest pospolitym błędem. W rzeczywistości powiada ona, że istnieją na świecie rzeczy absolutne, ale trzeba ich szukać głęboko. Rzeczy, które się natarczywie narzucają naszej uwadze, są przeważnie względne.

Wielkości względne i bezwzględne. Spróbuję wyjaśnić różnicę pomiędzy wielkościami względnemi a bezwzględnemi. Ilość (oddzielnych indywiduów) jest wielkością bezwzględną. Jest ona wynikiem liczenia, a liczenie jest operacją bezwzględną. Jeżeli dwóch ludzi liczy ilość ludzi w tej sali i uzyskuje różne wyniki, to z pewnością jeden z nich się pomylił.

Mierzenie odległości nie jest czynnością bezwzględną. Jest możliwe, że dwóch ludzi będzie mierzyło tą samą odległość i uzyskają różne wyniki, a jednak żaden z nich się nie pomyli.

Robię dwie kropki na tablicy i proszę dwóch studentów o bardzo dokładne zmierzenie odległości pomiędzy niemi. Ażeby nie było wątpliwości, co rozumiem przez odległość, daję im szczegółowe instrukcje co do sztab mierniczych i co do ostrożności niezbędnych do precyzyjnego pomiaru odległości. Wyniki, które mi przynoszą, okazują się różne. Proszę ich o porównanie notatek, ażeby stwierdzić, który z nich się pomylił i w czem. Po chwili wracają i mówią: „To Pan zawinił, ponieważ pod pewnym względem instrukcje Pana były niejasne. Nie mówił Pan nic o tem, jaki ruch ma posiadać sztaba miernicza w czasie pomiaru". Jeden z nich, niewiele się zastanawiając, utrzymywał sztabę w spoczynku względem Ziemi. Drugi rozważył sobie, że Ziemia jest błahą planetą, o której profesor miał kiepską opinję. Pomyślał więc sobie, że jedyną rozsądną rzeczą będzie wybór jakiegoś

ważniejszego ciała, aby ustalić ruch sztaby. Zdecydował się więc na to, by ją wprawić w ruch zgodny z ruchem olbrzymiej gwiazdy Beteigeuze. Oczywiście skrócenie FitzGeralda sprawiło, że wyniki były różne.

Nie mam ochoty uwzględniać tego usprawiedliwienia. Powiadam surowo: „To nonsens wciągać w tę sprawę Ziemię, Beteigeuzę czy jakieś inne ciało. Nie potrzebujecie żadnego wzorca postronnego w tem zagadnieniu. Poleciłem wam zmierzyć odległość dwóch punktów na tablicy. Należało więc uzgodnić ruch sztaby z ruchem tablicy. To jasne, że zdrowy rozsądek nakazuje poruszać sztabę miernicą tak, jak się porusza to, co mierzycie. Pamiętajcie o tem na przyszłość".

Po kilku dniach poleciłem im zmierzyć długość fali światła sodu — odległość od czoła do czoła fali świetlnej. Wracają i stwierdzają w triumfującej zgodzie: „Długość fali jest nieskończona". Zwracam im uwagę, że się to nie zgadza z długością podaną w podręczniku (0,000059 cm). „Tak", odpowiadają, „zauważyliśmy to, ale autor podręcznika nie wykonał pomiaru poprawnie. Powiedział nam Pan, że należy zawsze poruszać sztabę tak, jak się porusza przedmiot mierzony. Wobec tego z wielkiem mozołem i olbrzymiemi kosztami puściliśmy nasze sztaby szalonym pędem przez laboratorjum z tą samą szybkością, co światło". Przy tej szybkości skrócenie FitzGeralda jest nieskończenie wielkie, sztaby miernicze skracają się do zera, i trzeba ułożyć ich nieskończenie wiele, aby wypełnić odstęp od czoła do czoła fali.

Mój przepis dodatkowy był w pewnej mierze zupełnie dobry: dałby on zawsze coś bezwzględnego, coś na coby się obaj z pewnością zgodzili. Tylko że na nieszczęście nie dałby on długości, czy odległości. Zachowuję się niemądrze: napozór stawiam pytanie, czy odległość jest względna czy bezwzględna, a właściwie najprzód postanawiam, że ma być bezwzględna, a potem dopiero zmieniam pospolite znaczenie terminu tak, aby uczynić zadość temu warunkowi.

Z drugiej strony nie wolno nam bezwzględnie zganić

naszych poprzedników, że niemądrze uczynili „długość" czemś względnem, gdy mogli wyrazem tym określić wynik pomiaru przestrzennego, który byłby bezwzględny i niedwuznaczny. Proponowany przepis dodatkowy ma swą ujemną stronę. Często wypada nam rozważać układy zawierające pewną liczbę ciał o różnych szybkościach. Byłoby bardzo niedogodne mierzyć każde z tych ciał przyrządami, znajdującemi się w różnych stanach ruchu, i popadlibyśmy w okropne zamieszanie, gdybyśmy próbowali potem uzgodnić różne pomiary. Było to ze strony naszych poprzedników bardzo rozsądne, że odnieśli wszystkie odległości do jednego rusztowania przestrzennego, jakkolwiek ich oczekiwania, że odległości te będą bezwzględne, zostały zawiedzone.

Co się tyczy wielkości bezwzględnej, uzyskanej dzięki zastosowaniu dodatkowego przepisu, możemy ją wprowadzić jako interesujący przedmiot badania, obok odległości mierzonych względem Ziemi, Beteigeuzy i t. d. Jest to t. zw. *„długość właściwa"*. Być może, że przyniosłoby wam ulgę uchwycenie czegoś absolutnego i pragnęlibyście się tego trzymać. Doskonale. Ale pamiętajcie, że takie postępowanie rozłączy was z klasycznym schematem fizyki, który obrał sobie za podstawę odległości *względne*. Pogoń za absolutem unosi nas w świat czterowymiarowy.

Lepiej znanym przykładem wielkości względnej jest „kierunek" jakiegoś przedmiotu. Istnieje kierunek Cambridge ze względu na Londyn, inny kierunek ze względu na Edynburg i t. d. Nie przychodzi nam na myśl uważać tego za sprzeczność, albo podejrzewać, że musi istnieć jakiś absolutny kierunek Cambridge (w tej chwili niby nieznany). Myśl, że musi istnieć bezwzględna odległość pomiędzy dwoma punktami, zawiera ten sam rodzaj złudzenia. Jest tu oczywiście różnica w szczegółach: względny kierunek, o którym wspominaliśmy wyżej, odnosi się do specjalnego położenia obserwatora, podczas gdy względna odległość odnosi się do specjalnej szybkości obserwatora. Możemy swobodnie zmieniać położenie i w ten sposób osiągać wielkie zmiany względnego kierunku. Ale nie możemy znacznie zmie-

niać szybkości — jakieś 500 km na godzinę, które można osiągnąć przy największym wysiłku, zupełnie tu nie gra roli. Oto dlaczego głęboko w naszej świadomości mamy zakorzenione mniemanie, że odległość powinna być bezwzględna.

Inną, aż nadto dobrze nam znaną ilustrację względności pojęć daje funt szterling. Jakikolwiek miałby być poprawny teoretyczny pogląd, przeciętny człowiek do niedawna uważał funt za bezwzględną miarę bogactwa. Ale smutne doświadczenie nauczyło nas ostatnio jego względności. Z początku czepialiśmy się myśli, że powinien istnieć funt bezwzględny i usiłowaliśmy wyrazić sytuację w paradoksalnych twierdzeniach — że funt *naprawdę* wynosi siedem szylingów i sześć pensów. Ale przyzwyczailiśmy się niebawem do zmiany i liczymy majątek w funtach jak poprzednio, pamiętając tylko, że funt jest względny i że nie należy się po nim spodziewać własności, które mu przypisywaliśmy w przekonaniu, że jest bezwzględny.

Możecie uzmysłowić sobie istotę różnicy charakteru fizyki przed zasadą względności Einsteina i po niej, jeżeli porównacie ją z różnicą w teorjach ekonomicznych, powstającą przez uznanie względności pieniądza. Przypuszczam, że w normalnych czasach praktyczne następstwa tej względności objawiają się głównie w malutkich wahaniach walut zagranicznych, które można porównać z malutkiemi zmianami długości, wpływającemi na przebieg subtelnych doświadczeń, jak naprzykład Michelsona - Morleya. Od czasu do czasu następstwa mogą się okazać bardziej sensacyjne — marka może spaść do jednej biljonowej, cząsteczka o wielkiej szybkości może skrócić do jednej trzeciej swój promień. Ale nie te przypadkowe objawy stanowią główny wynik. Rzecz jasna, że ekonomista, który wierzy w bezwzględność funta, nie uchwycił abecadła swego przedmiotu. Podobnie, jeżeli zrozumieliśmy świat fizyczny jako zbudowany niezależnie od obserwacji z tych długości, sił i mas, które odnoszą się wyłącznie do naszego specjalnego rusztowania, to daleko nam do należytego zrozumienia istoty rzeczy.

Plan budowy Natury. Wróćmy teraz do obserwatora, który tak zabiegał o wyszukanie „prawdziwego“ rusztowania przestrzeni. Przypuszczam, że miał wtedy na myśli własne rusztowanie Natury: rusztowanie, na którem oparła swe rachunki, gdy regulowała zapomocą grawitacji układ słoneczny, lub symetrje, które stosowała, gdy toczyła elektron na swej tokarce. Ale Natura okazała się sprytniejsza od niego: nie zdradziła żadnemi oznakami rusztowania, którego użyła. A może to zakonspirowanie nie jest żadnym podstępem? Może Natura zbudowała swe dzieło bez żadnego rusztowania przestrzennego? Pozwólcie, że wam opowiem przypowieść.

Był kiedyś archeolog, który obliczał wiek świątyń starożytnych na podstawie ich położenia. Wykrył on, że świątynie ustawiano fasadą w kierunku, w którym wschodziły pewne szczególne gwiazdy. Na skutek precesji dziś już gwiazda nie wschodzi nawprost fasady, ale można obliczyć datę, w której to miało miejsce, i w ten sposób ustalić epokę, w której świątynia została zbudowana. Istniało jednak plemię, do którego zasady tej nie można było stosować: budowało ono wyłącznie okrągłe świątynie. Archeologowi wydawało się to niesłychaną przebiegłością z ich strony: wykryli sposób, który całkowicie ukrywał datę budowy świątyni. Lecz pewien krytyk poważył się wysunąć bluźnierczą myśl, że być może plemię to wogóle niebardzo się interesowało astronomją.

Podobnie jak ów krytyk, nie przypuszczam, że Natura wysilała jakoś szczególnie swą przebiegłość, aby ukryć rusztowania, które wybrała. Poprostu nie interesuje się ona rusztowaniami przestrzennemi. Stanowią one metodę, która się okazała pożyteczną do rachunków, ale nie odgrywają one żadnej roli w architekturze wszechświata. Jest niewątpliwie niedorzecznością przypuszczać, że świat był planowany w ten sposób, żeby ten plan ukryć.

Jeżeli tak, to musimy najprzód uprzątnąć wszystkie rusztowania przestrzenne, zanim ujrzymy plan Natury we właściwem świetle. Natura sama nie zwracała na nie żadnej

uwagi, i mogą one tylko zaciemnić prostotę jej schematu. Nie chcę bynajmniej podsuwać myśli, że należy teraz całkowicie przerobić fizykę, usuwając wszelkie odniesienie się do rusztowań przestrzennych lub wszelkie wielkości do nich odniesione. Nauka ma wiele zadań poza przeniknięciem ostatecznego planu budowy świata. Ale jeżeli pragniemy wejrzeć w tę właśnie sprawę, to musimy przedewszystkiem uwolnić się od rusztowań, niezwiązanych z istotą rzeczy.

Wywoła to wielką zmianę w porównaniu z koncepcjami klasycznemi i pociągnie za sobą doniosłe konstrukcje. Wiadomo naprzykład, że zarówno siła ciążenia jak siła elektryczna zmieniają się w przybliżeniu odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości. Prawo to pociąga nas bardzo swą prostotą. Jest ono nietylko matematycznie proste, ale odpowiada również w sposób bardzo naturalny osłabieniu się skutku przy jego rozchodzeniu się w trzech wymiarach. Podejrzewamy wobec tego jako rzecz prawdopodobną, że jest to ścisłe prawo siły ciążenia i sił elektrycznych. Ale chociaż proste dla nas, bynajmniej nie jest ono proste dla Natury. Odległości odnoszą się do rusztowania przestrzennego, i wraz z niem się zmieniają. Nie możemy korzystać z prawa odwrotnych kwadratów odległości, dopóki nie ustaliliśmy przedtem pewnego rusztowania. Gdyby nawet przez jakąś samokompensację prawo to działało tak, że dawałoby te same sprawdzalne następstwa, jakiekolwiekbyśmy wybrali rusztowanie (co, nawiasem, nie jest prawdą), nie rozumielibyśmy jego prawdziwego działania. W rozdziale szóstym spróbujemy ująć inaczej to prawo (które dla większości zastosowań praktycznych zbliża się bardzo do prawa odwrotnych kwadratów) i uzyskamy pewien obraz jego działania, który nie wprowadza owych nieistotnych rusztowań. Poznanie względności zmusza nas do poszukiwania nowych dróg, by rozwikłać splot zjawisk fizycznych.

Szybkość względem eteru. Teorja względności jest związana oczywiście z niemożliwością wykazania szybkości bezwzględ-

nej. Gdyby w naszym sporze z fizykami mgławicowemi jedna ze stron mogła udowodnić, że trwa w bezwzględnym spoczynku, to istniałby wystarczający powód wyboru odpowiedniego rusztowania. Ma to coś wspólnego ze znaną doktryną filozoficzną, że ruch musi być koniecznie względny. Ruch to zmiana położenia względem *czegoś;* jeżeli próbujemy myśleć o zmianie położenia względem *niczego,* całe pojęcie się rozpływa. Ale nie rozwiązuje to całkowicie zagadnienia fizycznego. W fizyce nie powinniśmy robić sobie zbytnich skrupułów z użyciem wyrazu „bezwzględny". Ruch względem eteru albo względem jakiegoś rusztowania o powszechnej doniosłości mógłby być nazwany bezwzględnym.

Nie znaleziono żadnego rusztowania związanego z eterem. Możemy wykryć tylko ruch w stosunku do znaków materjalnych, rozproszonych przypadkowo we wszechświecie. Powiadamy: „Niech V będzie szybkością ciała względem eteru" i tworzymy różne równania elektromagnetyczne, w których V jest obficie rozsiane. Wstawiamy następnie zaobserwowane wielkości i próbujemy wyrugować wszystko, co jest niewiadome, wyjąwszy V. Rachunki idą świetnie. Ale gdyśmy się właśnie uwolnili od innych niewiadomych, patrzcie! V znikło również i uzyskaliśmy niewzruszony, ale irytujący wniosek:

$$0 = 0.$$

To ulubiony wybieg, do którego się uciekają równania matematyczne, gdy się im zadaje głupie pytania. Gdybyśmy poszukali szerokości i długości geograficznej punktu położonego na północny-wschód od bieguna północnego, tobyśmy prawdopodobnie uzyskali tę samą odpowiedź matematyczną. „Szybkość względem eteru" jest wyrażeniem tak samo pozbawionem sensu jak „na północny-wschód od bieguna północnego".

Nie znaczy to, że eter został usunięty. Eter jest nam potrzebny. Świat fizyczny nie może być podzielony na izolowane cząsteczki materji czy elektryczności, zawieszone

w przestrzeni pozbawionej cech. Musimy przypisać pewną fizjognomję nietylko cząsteczkom, ale również przestrzeni międzycząstkowej i we współczesnej fizyce trzeba całej armji symbolów, by opisać to, co się dzieje w tej przestrzeni. Coprawda jakiś filozof mógłby kwestjonować, czy wolno założyć same cechy, nie zakładając niczego do ich dźwigania— zlikwidowałby w ten sposób za jednym zamachem i przestrzeń i materję. Ale to nie należy do tematu.

W ubiegłem stuleciu wierzono powszechnie, że eter jest rodzajem materji, posiadającym takie własności jak masa, sztywność, ruch, podobnie jak pospolita materja. Trudno powiedzieć, kiedy ta wiara zanikła. Prawdopodobnie wegetowała ona dłużej w Anglji, niż na kontynencie, ale sądzę, że nawet tam, już na parę lat przed powstaniem teorji względności, przestała ona być poglądem prawowiernych fizyków. Pod względem logicznym była ona już podkopana przez licznych badaczy XIX stulecia, którzy traktowali materję jako wiry, węzły, leje i t. d. w eterze: bo przecie oczywiście nie mogli oni przyjąć, że eter składa się z wirów w eterze. A może owe powagi naukowe niebardzo były logiczne?

Dziś zgadzamy się na to, że eter nie jest rodzajem materji. Ponieważ jest niematerjalny, posiada osobliwe własności. Musimy je stwierdzić za pośrednictwem eksperymentu. Nie mamy podstawy do żadnych uprzedzeń, możemy zatem przyjąć wnioski doświadczalne bez zdziwienia lub niezadowolenia. Zamiast cech tego rodzaju co masa i sztywność, które spotykamy w materji, eter będzie posiadał nowe i swoiste własności. W oceanie materjalnym możemy powiedzieć o cząsteczce, która była przed chwilą tu, że jest teraz tam; w eterze nic podobnego powiedzieć nie można. Jeżeli myśląc o eterze przyjmowaliście, że cząstki jego można identyfikować bez zastrzeżeń, to musicie swe wyobrażenia o nim poddać rewizji, aby je uzgodnić ze współczesnemi odkryciami. Nie możemy wyznaczyć naszej szybkości względem eteru; nie możemy powiedzieć, czy eter w tym pokoju w tej chwili wypływa przez ścianę północną

czy południową. Zagadnienie to posiadałoby sens dla oceanu materjalnego, ale nie ma żadnego powodu przypuszczać, że posiada również sens dla niematerjalnego oceanu eteru.

Sam eter w naszym obecnym schemacie świata zajmuje tak mocną pozycję, jak zawsze. Ale *szybkość względem eteru* okazała się dziwnie nieuchwytna. Einstein natchnął nas śmiałym sceptycyzmem, podsuwając myśl, że szybkość ta wogóle nie istnieje.

Czy skrócenie FitzGeralda jest rzeczywiste? Często pytają mnie, czy skrócenie FitzGeralda zachodzi naprawdę. Wprowadziliśmy je w pierwszym rozdziale, zanim wspomnieliśmy jeszcze o względności, i być może nie jest zupełnie jasne, co się z niem stanie teraz, gdy teorja względności dała nam nowe wyobrażenia o świecie. Rzecz jasna, że pierwszy mój rozdział, w którym opisałem zjawiska zgodnie z fizyką klasyczną, aby wykazać konieczność nowej teorji, zawiera wiele twierdzeń, które inaczej należy wyrazić w fizyce relatywistycznej.

Czy naprawdę poruszający się pręt skraca się w kierunku swego ruchu? Niełatwo dać na to prostą odpowiedź. Wydaje mi się, że często przeprowadzamy różnicę pomiędzy *prawdziwem* a *rzeczywiście prawdziwem*. Twierdzenie, które dotyczy conajwyżej pozorów, może być *prawdziwe;* twierdzenie, które jest nietylko prawdziwe, ale dotyczy rzeczywistości, ukrywającej się pod pozorami, jest *rzeczywiście prawdziwe*.

Wyobraźcie sobie sprawozdanie bilansowe jakiejś spółki akcyjnej, której aktywa wynoszą tyle a tyle. Czy to prawda? Oczywiście, bo sprawozdanie jest podpisane przez przysięgłego księgowego. Ale czy to *rzeczywiście* prawda? Powstaje wiele spraw; prawdziwe wartości sum różnią się często znacznie od podanych w sprawozdaniu bilansowem. Nie mam tu na myśli wyłącznie oszukańczych spółek. Istnieje błogosławiony termin „ukryte rezerwy"; i naogół im poważniejsza jest spółka, tem znaczniej odchyla się sprawozdanie

bilansowe od rzeczywistości. Nazywają to zdrową polityką finansową. Ale pomijając świadome użycie sprawozdania w celu ukrycia prawdziwej sytuacji, nie jest ono przystosowane do opisywania rzeczywistości, ponieważ głównem zadaniem sprawozdania jest wyrównać debet i kredyt, a wszystko inne musi się temu podporządkować.

Fizyk, stosujący rusztowanie, musi zdać sprawę z każdego milimetra przestrzeni, musi w istocie złożyć sprawozdanie, które *powinno się zgadzać*. Naogół nie ma z tem wielkich trudności. Ale wyobraźmy sobie, że ma on do czynienia z człowiekiem, poruszającym się z szybkością 260 000 km/sek. Człowiek ten ma normalny wzrost 180 cm. O ile idzie o rzeczywistość, należy wzrost do bilansu wprowadzić jako 180 cm. Ale wtedy bilans nie będzie się zgadzał. W rachunku przestrzeni pozostało mu tylko 90 cm pomiędzy ciemieniem a podeszwami. „Zapis" długości wynosi zatem 90 cm.

Zapisy długości z uwzględnieniem zadań bilansu — to właśnie skrócenie FitzGeralda. Skrócenie poruszającego się pręta jest *prawdziwe*, ale nie *rzeczywiście prawdziwe*. Nie jest to twierdzenie o rzeczywistości (absolutnej), ale jest to prawdziwe twierdzenie o pozorach widzianych z naszego rusztowania *. Przedmiot ma różne długości w różnych rusztowaniach przestrzennych i każdy człowiek o wzroście 180 cm będzie miał w jakiemś rusztowaniu wzrost 90 cm. Twierdzenie, że wzrost tego szybkiego podróżnika wynosi 90 cm jest prawdziwe, ale nie podaje żadnej osobliwości tego człowieka. Wskazuje ono tylko, że w przyjętem przez nas rusztowaniu wzrost jego wynosi 90 cm. Gdyby tak nie było w naszem, to byłoby w innem rusztowaniu.

Być może przyjdzie wam na myśl inny sposób buchalterji przestrzennej, któryby bezpośrednio zdawał sprawę

* „Długość właściwa" (str. 24) pozostaje niezmieniona, ale długość względna się zmniejsza. Widzieliśmy już, że wyraz „długość" w potocznem użyciu odnosi się do długości względnych. Gdy potwierdzamy, że poruszający się pręt zmienia długość, przyjmujemy, oczywiście, że używamy tego wyrazu w znaczeniu potocznem.

z rzeczywistości. Ale wciągnąłby on nas w wielkie kłopoty, dla niewielkiej ostatecznie liczby tranzakcyj. Tem nie mniej faktycznie uprzedziliśmy wasze pragnienia. Minkowski znalazł sposób buchalterji, która operuje rzeczywistością (t. j. rzeczami bezwzględnemi) i daje zgodność w bilansie. Nie śpieszono się ze stosowaniem go do powszednich celów, bo jest to bilans czterowymiarowy. Opiera się on na traktowaniu świata jako przestrzeni czterowymiarowej.

Rzućmy okiem poza siebie, zanim pogrążymy się w cztery wymiary. Spotkaliśmy się z czemś, czego w klasycznej fizyce nie widzieliśmy — z mnogością rusztowań przestrzennych, z których każde było równie dobre jak inne. Zamiast odległości, siły magnetycznej, przyśpieszenia i t. d., które zgodnie z ideami klasycznemi powinny były być określone i jednoznaczne, spotkaliśmy różne długości, siły magnetyczne i t. d., odpowiadające różnym rusztowaniom, bez żadnej podstawy do wyboru pomiędzy niemi. Proste rozwiązanie, które przyjęliśmy, polegało na tem, żeby zarzucić myśl, że jedno z nich jest prawdziwe, a inne są fałszowanemi imitacjami, i przyjąć wszystkie *en bloc*. W ten sposób odległość, siła magnetyczna, przyśpieszenie i t. d. stają się wielkościami względnemi, podobnemi do innych wielkości względnych, które już znaliśmy dawniej, jak kierunek czy szybkość. Pozostawia to w zasadzie budowę naszej wiedzy fizycznej bez zmiany. Musimy tylko zrezygnować z pewnych przewidywań, dotyczących zachowania się tych wielkości oraz z pewnych milczących założeń, opartych na wierze w ich bezwzględność. W szczególności prawo Natury, które wydaje się zupełnie proste i właściwe dla wielkości bezwzględnych, może być zupełnie niestosowalne do względnych i wymagać wobec tego pewnego łatania. Struktura naszej wiedzy fizycznej niebardzo się zmieniła, ale zaszła radykalna zmiana w zasadniczych pojęciach. Oddaliliśmy się znacznie od dawnego stanowiska, które domagało się modeli mechanicznych dla wszystkiego w Naturze: nie uznajemy obecnie nawet określonej, jednoznacznej odległości pomiędzy dwoma punktami. Względność przyjętego schematu fizyki każe

nam szukać głębiej schematu bezwzględnego, który się za tamtym ukrywa, i doprowadzi nas do prawdziwego poglądu na świat.

Rozdział III

CZAS

Czas obserwatorjum państwowego. Myślę sobie nieraz, że dyskusja o istocie czasu pomiędzy kierownikiem państwowego obserwatorjum z jednej strony, a naprzykład Henrykiem Bergsonem z drugiej, byłaby niezmiernie interesująca. Autorytet Bergsona w tej sprawie jest powszechnie znany. Z drugiej strony pozwolę sobie przypomnieć, że do obowiązków kierownika obserwatorjum państwowego należy określanie czasu na codzienny użytek, a więc najpewniej ma on jakieś wyobrażenie o tem, co ma określać. Trzebaby tylko tę dyskusję przenieść o jakie dwadzieścia kilka lat wstecz, zanim rozpowszechnienie się idej Einsteina zbliżyło oba stanowiska. Doszłoby wtedy prawdopodobnie do gwałtownej wymiany zdań i przypuszczam, że to raczej filozof zwyciężyłby w starciu na słowa. Bergson wykazałby zapewne, że państwowy astronom ma o czasie zupełnie niedorzeczne wyobrażenia, i zakończyłby prawdopodobnie dyskusję spojrzeniem na zegarek. Poczem pośpieszyłby na pociąg, który odchodzi podług czasu obserwatorjum państwowego.

Czemkolwiek byłby czas *de iure*, czas obserwatorjum państwowego jest czasem *de facto*. Czas ten przenika do każdego zakątka fizyki. Nie trzeba mu poparcia logiki, bo jest poniekąd zalegalizowany przez to, że się go faktycznie używa. Jest on wetkany w schemat fizyki klasycznej. „Czas" w fizyce oznacza czas obserwatorjum państwowego. Wiecie już, być może, że teorja Einsteina odkryła, iż czas i przestrzeń są splecione z sobą w dość dziwny sposób. Dla po-

czątkującego jest to twardy orzech do zgryzienia. Miałby ochotę powiedzieć: „Ależ to jest niemożliwe, różnicę pomiędzy czasem a przestrzenią mam poprostu we krwi. Nie można ich połączyć". Na to państwowy astronom odpowiada z całą pewnością siebie: „Nie jest to niemożliwe. Właśnie *ja* je połączyłem". Otóż, to oświadczenie rozstrzyga sprawę. Skoro astronom państwowy splótł czas i przestrzeń, splot ten musi być podstawą współczesnej fizyki.

Musimy rozróżnić dwie sprawy, które niezupełnie się nakrywają. Po pierwsze: jaka jest prawdziwa istota czasu? Powtóre: jaka jest istota tej wielkości, która pod mianem czasu stała się podstawowym elementem budowli fizyki współczesnej? Po długich wysiłkach teorji i doświadczenia wyniki badania fizycznego zostały splecione w schemat, który w całości okazał się niezmiernie owocny. Czas — czas astronoma państwowego — zawdzięcza swą doniosłość temu, że jest składnikiem tego schematu, jego spoidłem, cementem. Doniosłość ta nie zmalałaby, gdyby się okazało, że czas ten źle reprezentuje czas bliski naszej świadomości. Dlatego też oddajemy pierwszeństwo drugiemu zagadnieniu.

Chciałbym jednak zauważyć, że teorja Einsteina, wyjaśniwszy drugą sprawę, odkrywszy, że czas fizyczny jest dziwacznie spleciony z przestrzenią, wraca później do pierwszej. *Istnieje* pewna nieznana w fizyce przedrelatywistycznej wielkość, która bardziej bezpośrednio reprezentuje czas znany świadomości. Nazywają ją *czasem właściwym* albo *elementem linjowym*. Nie możemy tu wyjaśnić, jak się ją oblicza. Powiemy tylko, że jest ona wyraźnie oddzielona od *przestrzeni właściwej* i do niej zupełnie niepodobna. Pragnę właśnie poprzeć protest waszego zdrowego rozsądku przeciwko splątaniu czasu i przestrzeni: jak wy, wierzę, że czas i przestrzeń należy oddzielić. Lecz pospolite ujęcie trwającego świata jako przestrzeni trójwymiarowej, przeskakującej przez czas od chwili do chwili, jest tylko *nieudałą* próbą tego oddzielenia. Zobaczymy, że świat czterowymiarowy teorji względności, o którym wspominaliśmy na str. 32, zbudowany jest podług innego planu, który zupełnie od-

dziela czas od przestrzeni. Uda się nam w tym świecie odrodzić zapomniany niemal przez naukę czas naszej świadomości i odkryć z radością, że jest on bardzo ważny w absolutnym schemacie Natury.

Lecz spróbujmy najprzód zrozumieć, skąd pochodzą odchylenia czasu fizycznego od czasu bezpośrednio postrzeganego. Stąd, że przeskoczyliśmy do pewnych zdań o czasie, traktując je niemal jako aksjomaty, chociaż nie są one usprawiedliwione niczem w naszem bezpośredniem odczuciu czasu. Oto przykład takiego zdania:

„Jeżeli dwóch ludzi spotkało się dwa razy, to każdy z nich przeżył ten sam czas pomiędzy spotkaniami, nawet jeżeli jeden z nich wędrował w tym czasie do odległych zakątków wszechświata".

Powiecie: niedorzeczny i niemożliwy eksperyment. Ależ najzupełniej: jest on poza doświadczeniem. Czy wobec tego wolno mi zauważyć, że to nie do doświadczalnego poczucia czasu odwołujecie się, gdy zaprzeczacie teorji, która odrzuca powyższe zdanie? A jednak, jeżeli sprawę postawić ostro, to większość ludzi odpowie ze zniecierpliwieniem, że zdanie to jest prawdziwe. Stworzyli oni sobie pojęcie czasu, płynącego poza nami, ukształtowane tak, że prowadzi niechybnie do tego wniosku. Nie zapytują bynajmniej, czy jest ono pozatem usprawiedliwione czemkolwiek, co jest rzeczywiście zawarte w naszem doświadczalnem poczuciu czasu.

Nie możemy coprawda wykonać odpowiedniego doświadczenia i wysłać człowieka do innej części wszechświata. Ale zato umiemy dość, ażeby obliczyć tempo atomistycznych i innych fizycznych przebiegów w ciele spoczywającem i w ciele szybko się poruszającem. Możemy powiedzieć z pewnością, że procesy fizjologiczne w ciele podróżnika odbywają się wolniej, niż odpowiednie procesy u człowieka spoczywającego (wolniej, oczywiście, podług czasu obserwatorjum państwowego). Nie jest to nic wyjątkowo tajemniczego; wiadomo dobrze z teorji i doświadczenia, że masa, czyli bezwładność materji, rośnie wraz z szybkością.

Opóźnienie jest naturalnem następstwem zwiększonej bezwładności. Dzięki temu, o ile idzie o procesy fizjologiczne, poruszający się szybko podróżnik żyje wolniej. Trawienie, zmęczenie, szybkość reacji mięśniowej na podniety, rozwój ciała, procesy materjalne w mózgu, które w mniejszym czy większym stopniu dotrzymują przecie kroku biegowi myśli i wzruszeń, wreszcie tykanie zegarka w kieszonce od kamizelki — wszystko to musi być zwolnione w tym samym stosunku. Jeżeli szybkość podróżnego jest bardzo wielka, to może się okazać, że przybył mu tylko jeden rok życia, podczas gdy osobnik-domator zestarzał się o lat 70. Starczyło mu apetytu tylko na 365 śniadań, obiadów i t. d.; umysł jego, powstrzymywany przez ociężały mózg, przemyślał tyle tylko, wiele na Ziemi zdążyłby w ciągu roku. Jego zegarek, który mierzy czas dokładniej i bardziej naukowo, potwierdza to całkowicie. Wnosząc z danych świadomości, która niezdarnie próbuje po swojemu mierzyć czas, dwaj ci ludzie nie *przeżyli* tego samego czasu pomiędzy swemi dwoma spotkaniami. A przecie pomiar czasu przez świadomość jest jeszcze jedynym, po którym moglibyśmy się spodziewać, że będzie niezależny od przestrzeni.

Odwołanie się do czasu, odczuwanego bezpośrednio przez świadomość, jest utrudnione jeszcze przez fakt, że ocena ta jest bardzo kapryśna. „Powiem Ci, z kim Czas idzie stępa, z kim Czas idzie kłusem, z kim Czas idzie galopem, a z kim nie rusza się wcale". Nie wspominałbym wogóle o tych subjektywnych wahaniach: czy warto mówić o tak niepewnym chronometrze? Ale muszę przecież odpowiedzieć krytykowi, który upiera się, że „czuje czas we krwi" i chciałbym zwrócić mu uwagę na to, że podstawą tego wyczucia jest czas *przeżyty*, który, jak przed chwilą widzieliśmy, może dla jednego wynosić pomiędzy dwoma spotkaniami 70 lat, a dla drugiego tylko jeden rok. Możemy zmierzyć „czas przeżyty" zupełnie naukowo, naprzykład zapomocą zegarka, poruszającego się z danym osobnikiem i przebywającego te same zmiany szybkości i bezwładności. Lecz zarzuty przeciwko powszechnemu przyjęciu „czasu przeży-

tego“ są oczywiste. Dla każdego osobnika oddzielnie mogłoby być bardzo pożyteczne korzystanie z czasu osobistego, dokładnie dostosowanego do czasu przeżytego; ale byłoby to z pewnością niezmiernie niewygodne przy umawianiu się na spotkanie. Oto dlaczego kierownik obserwatorjum państwowego przyjął uniwersalną rachubę czasu, która zgoła nie odpowiada dokładnie czasowi przeżytemu. Podług tej rachuby upływ czasu nie zależy zupełnie od tego, jak się dany przedmiot porusza. Przyznaję, że rachuba ta jest nieco surowa dla naszego podróżnika, bo będzie traktowała jako staruszka z ósmym krzyżykiem człowieka, który z pozorów wygląda na chłopca. Ale dobro ogólne wymaga poświęceń. W praktyce na szczęście nie spotykamy istot ludzkich, poruszających się z wielką szybkością. Z szaloną szybkością poruszają się natomiast często atomy i elektrony, tak że sprawa „czas osobisty contra czas powszechny“ jest bardzo ważna praktycznie.

Zatem, jeżeli idzie o czas fizyczny (albo czas obserwatorjum państwowego), dwie osoby będą przeżywały ten sam odstęp pomiędzy dwoma spotkaniami, czy to się zgadza z ich rzeczywistem doświadczeniem, czy nie. Wynika z tego odchylenie od czasu doświadczenia bezpośredniego i to odchylenie ponosi odpowiedzialność za splecenie przestrzeni z czasem, które byłoby oczywiście niemożliwe, gdybyśmy się uparcie trzymali czasu naszej świadomości. Czas fizyczny, jak przestrzeń, jest rodzajem rusztowania, w którem rozmieszczamy zjawiska świata zewnętrznego. Przyjrzyjmy się teraz, jak rozmieszczenie zjawisk zewnętrznych odbywa się w praktyce. Widzieliśmy jednak, że istnieje nieskończenie wiele różnych rusztowań do wyboru. Wolę wobec tego zaznaczyć wyraźnie, że to, co niżej powiem, odnosi się do rozmieszczenia zjawisk w *mojem* rusztowaniu.

Rozmieszczenie zjawisk. Na fig. 1 widzicie pewną liczbę zjawisk, zaznaczonych kółkami. W chwili obecnej nie znajdują się one jeszcze na właściwych miejscach: tem się

mam właśnie zająć — rozmieścić je należycie w naszem rusztowaniu czasowo-przestrzennem. Z pomiędzy nich mogę natychmiast wyróżnić i zaznaczyć zjawisko, które można nazwać: *„tu i teraz"*: to, co się dzieje w tym pokoju w tej chwili. Inne zjawiska znajdują się w różnem oddaleniu *stąd i od tej chwili,* a przytem jest dla mnie zupełnie oczy-

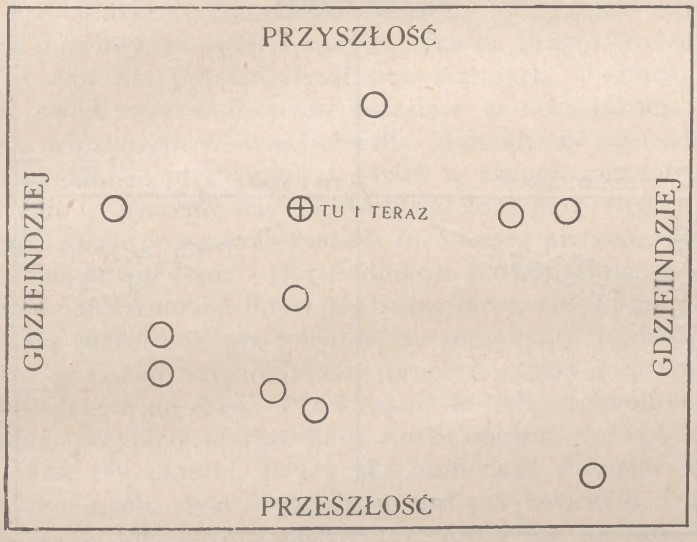


Fig. 1

wiste, że oddalenia te różnią się od siebie nietylko stopniem, ale jeszcze rodzajem. Niektóre zjawiska znajdują się w kierunku tego, co ogólnie nazywam przeszłością. Widzę również inne, które się znajdują w przyszłości. Inne są oddalone *na inny sposób,* np. w kierunku Chin, czy Peru, lub też ogólnie biorąc w kierunku „gdzieindziej". Na naszym rysunku mam do dyspozycji tylko jeden wymiar dla tego *gdzieindziej*. Drugi wymiar możnaby sobie jeszcze wyprowadzić prostopadle do płaszczyzny papieru, ale trzeci musicie już sobie wyobrazić, jak się wam uda.

Musimy przejść teraz od tego nieokreślonego schematu rozmieszczenia zdarzeń do schematu dokładnego. Rzecz naj-

pierwsza i najważniejsza to ulokować Mnie w tym obrazie. Brzmi to bardzo egotycznie, ale cóż robić: ponieważ będziemy używali *mojego* rusztowania, więc wszystko się wiąże ze *mną*. Oto jestem — robak czerowymiarowy (fig. 2). Obraz to zupełnie dokładny: posiadam znaczną rozciągłość

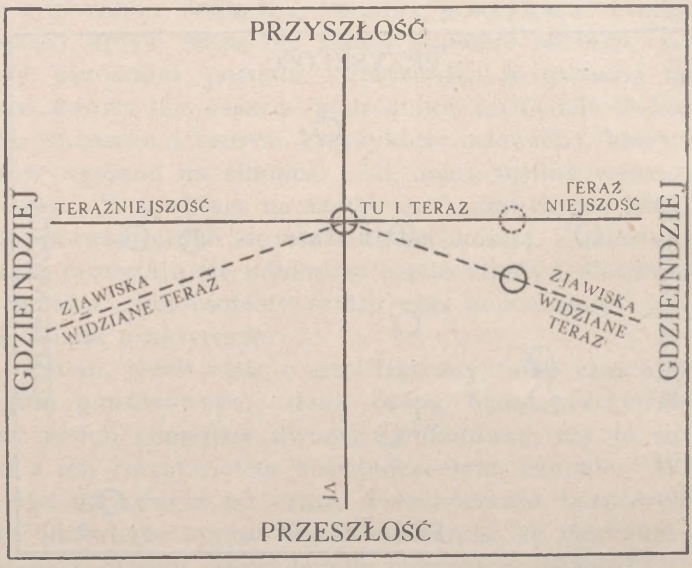


Fig. 2

w kierunku przeszłości i — jak sobie tuszę — w kierunku przyszłości, ale tylko bardzo skąpą w kierunku owego „gdzieindziej". „Ja chwilowe", to jest „ja w chwili obecnej", nakrywa się ze zjawiskiem „tu i teraz". Gdy obserwuję świat *stąd i w tej chwili,* widzę wiele zjawisk, które zachodzą teraz. Nasuwa mi to myśl, że moment, który sobie uświadamiam *tu,* należy tak rozszerzyć, żeby objął również te zjawiska. Stąd przeskakuję do wniosku, że *„teraz"* nie ogranicza się do *„tu i teraz"*. Wobec tego tworzę *„chwilę obecną"* — ostry przekrój przez świat zdarzeń, aby jakoś ulokować zjawiska odległe, ale zachodzące *teraz.* Wybieram te zdarzenia, które widzę w chwili obecnej i umie-

szczam je na tym przekroju, który nazywam „chwilą czy momentem czasu“ lub „chwilowym stanem świata“. Umieszczam je na linji, którą będziemy nazywali „linją teraźniejszości“, ponieważ się wydają teraźniejsze.

Ta metoda lokacji zjawisk przetrwała do roku 1667, kiedy się okazało, że jej nie można utrzymać. Astronom Römer odkrył, że zjawiska, które widzimy „teraz“, nie mogą być odniesione do „chwili obecnej“. (W języku codziennym mówimy, że światło zużywa czas na drogę). Był to potężny cios dla pojęcia chwil powszechnych, obejmujących cały świat, wprowadzonych umyślnie w celu lokacji zjawisk, widzianych w danej chwili. Mieszaliśmy dwa zdarzenia: jedno — pierwotne — gdzieś w świecie zewnętrznym i drugie — ujrzenie tego pierwotnego zdarzenia. Drugie zdarzenie zaszło w naszych ciałach *tu i teraz*; pierwsze nie zaszło ani *tu* ani *teraz*. Doświadczenie bezpośrednie nie daje nam wogóle zdarzeń, które zachodzą *teraz*, ale nie *tu*. I czas już na zarzucenie przekonania, że posiadamy jakieś intuicyjne poczucie teraźniejszości, prócz poczucia teraźniejszości w danem miejscu. Przekonanie to było pierwotnym powodem przyjęcia powszechnej chwili obecnej.

Tak czy inaczej, fizycy nie zamierzali zarzucać chwil powszechnych, skoro się do nich raz przyzwyczaili. I słusznie, bo są one bardzo pożyteczne, jeżeli ich nie brać zbyt serjo. Pozostawiono je, jako godny uwagi szczegół obrazu i poprowadzono dwie „proste zjawisk widzianych w danej chwili“, odchylające się wtył od linji teraźniejszości; na nich można było należycie ulokować zjawiska widziane. Kotangens kąta pomiędzy linją „zjawisk widzianych w danej chwili“, a linją teraźniejszości interpretowano jako szybkość światła.

Zgodnie z tem, widząc zjawisko w odległej okolicy wszechświata, naprzykład zabłyśnięcie nowej gwiazdy, lokuję je — i to zupełnie słusznie — na linji zjawisk widzianych teraz. Następnie wykonywam kilka obliczeń, opartych na zmierzonej paralaksie gwiazdy i kreślę swą obecną linję teraźniejszości o 300, powiedzmy, lat po tem zjawisku, a swą

linję teraźniejszości z przed 300 lat prowadzę przez samo zjawisko. Przy pomocy tej metody wytyczam swe linje teraźniejszości, czyli chwile, poprzez zjawiska i otrzymuję rusztowanie czasowe dla zjawisk zewnętrznych. Pomocnicze linje zjawisk widzianych w danej chwili, zostały usunięte ze schematu, po wykonaniu swego zadania.

Tak oto *ja* rozmieszczam zdarzenia: ale jak jest z Tobą? Muszę przedewszystkiem wprowadzić Ciebie do mego schematu (fig. 3). Przypuśćmy sobie, że znajdujesz się na innej gwieździe, poruszającej się z inną szybkością, ale prze-

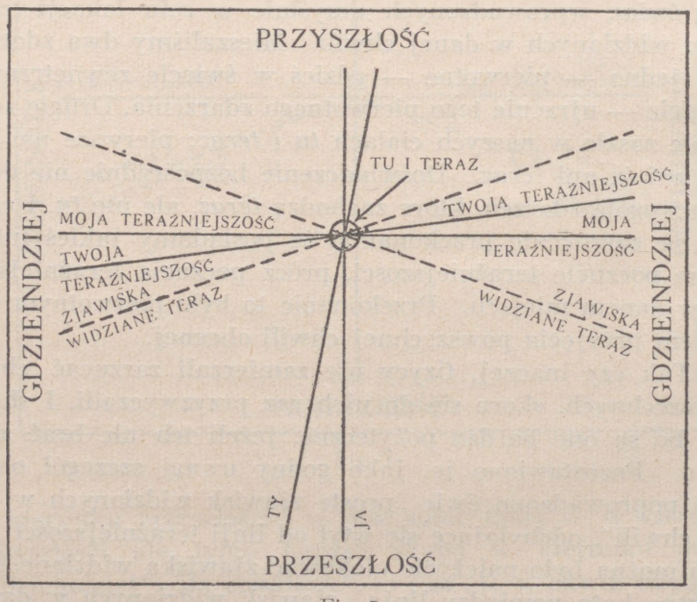


Fig. 3

biegającej w chwili obecnej tuż w pobliżu Ziemi. Byliśmy daleko od siebie w przeszłości i to samo czeka nas w przyszłości, ale w chwili obecnej jesteśmy *tu i teraz*. Zaznaczyliśmy to odpowiednio w schemacie. Obserwujemy zatem świat obaj *stąd i w tej chwili* i widzimy oczywiście te same zjawiska w tej samej chwili. Postrzeżenia, które tym zjawiskom zawdzięczamy, będą się naogół różniły. Różnica

w naszych stanach ruchu spowoduje różnice w przebiegu obserwowanych zjawisk, jak zmiany barwy, skrócenia FitzGeralda i t. d. Mogą zachodzić drobne nieporozumienia, dopóki się nie zorjentujemy, że to, co Ty opisujesz jako czerwony kwadrat, ja nazwałbym zielonym prostokątem i t. d. Ale, abstrahując od tego rodzaju różnic w opisie, wyjaśni się niebawem, że obserwujemy te same zjawiska, i godzimy się całkowicie na to, przez jakie zjawiska powinny przebiegać linje zjawisk widzianych obecnie. Wychodząc z naszych wspólnych linij zjawisk widzianych obecnie, musisz teraz wykonać odpowiednie rachunki, aby poprowadzić swoje linje teraźniejszości poprzez zjawiska. Ułożą się one jak na fig. 3.

Jakże to: wychodzisz z tych samych linij zjawisk widzianych w danej chwili, a wykreślasz inną linję teraźniejszości, niż moja? Tak jest; pochodzi to stąd, że w naszych rachunkach należy zanotować pewną, zmierzoną przez nas wielkość: szybkość światła. Oczywiście, Ty dowierzasz swym pomiarom tak, jak ja swoim. Skoro nasze przyrządy doznają skrócenia FitzGeralda i t. d., bardzo łatwo o rozbieżność. Tymczasem, najzupełniej niespodziewanie, otrzymujemy tę samą szybkość światła, 299 796 km/sek. Ale pozorna ta zgoda jest w istocie rzeczy rozbieżnością, ponieważ Ty uważasz tę liczbę za szybkość względem swojej planety, a ja znów za szybkość względem swojej *. Oto dlaczego się nasze rachunki nie zgadzają, i Twoja linja teraźniejszości różni się od mojej.

Gdybyśmy uwierzyli, że nasze chwile powszechne czy linje teraźniejszości przedstawiają coś przysługującego we-

* Zmierzona szybkość światła jest wielkością przeciętną, wyznaczoną w ruchu tam i z powrotem. Szybkości w jednym kierunku nie można zmierzyć, zanim się nie wytyczy linij teraźniejszości i dlatego nie można na niej odwrotnie oprzeć wytyczenia tych linij. Jak widzimy, jest to kozi róg, z którego się możemy wydostać tylko zapomocą jakiejś konwencji albo założenia dowolnego. Konwencja, którą się w rzeczywistości przyjmuje, brzmi, że względem obserwatora szybkości światła w dwóch przeciwnych kierunkach są jednakowo. Otrzymane na tej podstawie linje teraźniejszości należy uważać za jednakowo konwencjonalne.

wnętrznie światu zewnętrznemu, musielibyśmy się gwałtownie pokłócić. Wydaje mi się śmieszne, że zdarzenia, znajdujące się na Twej linji teraźniejszości naprawo, które zatem jeszcze nie zaszły, oraz zdarzenia położone nalewo, które już minęły, uważasz za chwilowy stan wszechświata. Ciebie w równym stopniu oburza mój układ. Nigdy się nie porozumiemy. Coprawda, z rysunku jakgdyby wynika, że moje chwile są naturalniejsze od Twoich. Ale to tylko dlatego, że to *ja* ten rysunek wykonałem. Twój rysunek oczywiście przedstawiałby się tak, że Twoje linje teraźniejszości byłyby prostopadłe do linji, przedstawiającej Ciebie.

Ale spór nasz byłby bezpodstawny, gdyby linje teraźniejszości były wyłącznie znakami, poprowadzonemi przez świat, aby było wygodniej rozmieszczać zjawiska, gdyby się okazały czemś podobnem do południków i równoleżników na ziemi. Wtedy nie byłoby wogóle kwestji linij prawdziwych czy fałszywych: prowadzimy je tak, jak nam najwygodniej. Chwile powszechne nie są naturalnemi warstwami w czasie: nic im w absolutnej strukturze świata nie odpowiada rzeczywistego. Są to wyobrażane przekroje, które się okazały wygodne.

Przyzwyczailiśmy się uważać świat — świat trwający — jakby za *nawarstwiony* z następujących po sobie stanów chwilowych. Ale obserwator z innej gwiazdy ułożyłby te warstwy w innym niż nasz kierunku. Pojmiemy jaśniej prawdziwy mechanizm świata fizycznego, jeżeli wyperswadujemy sobie to złudzenie nawarstwienia. Świat, który się nam wtedy ukaże, jakkolwiek dziwnie obcy, będzie w rzeczywistości znacznie prostszy. Łosoś jest nam najlepiej znany w postaci plasterków, ale niepokrojony łosoś jest prostszym objektem dla biologa, który pragnie poznać funkcje mechanizmu zwierzęcego.

Bezwzględna przyszłość i bezwzględna przeszłość. Spróbujmy teraz zdobyć się na ten bezwzględny punkt widzenia. Usuwamy wszystkie linje teraźniejszości. Usuńmy również

mnie i Ciebie, skoro już się nie uważamy za rzeczy istotne we świecie. Ale linje zdarzeń widzianych w danej chwili pozostają nietknięte: są one bezwzględne, skoro wszyscy obserwatorzy tu i w tej chwili kreślą je jednakowo. Ten płaski schemat na rysunku jest tylko przekrojem; musicie sobie wyobrazić, że obrócono go dokoła jakiejś prostej w jego płaszczyźnie (właściwie musiałyby tu nastąpić pewne dwa obroty, skoro poza rysunkiem istnieją jeszcze dwa wymiary). Zjawiska widziane obecnie tworzą właściwie wobec tego stożek, a raczej, jeżeli uwzględnimy przedłużenia prostych w przyszłość, stożek podwójny: coś jakby klepsydrę (fig. 4). Te właśnie klepsydry (poprowadzone z każ-

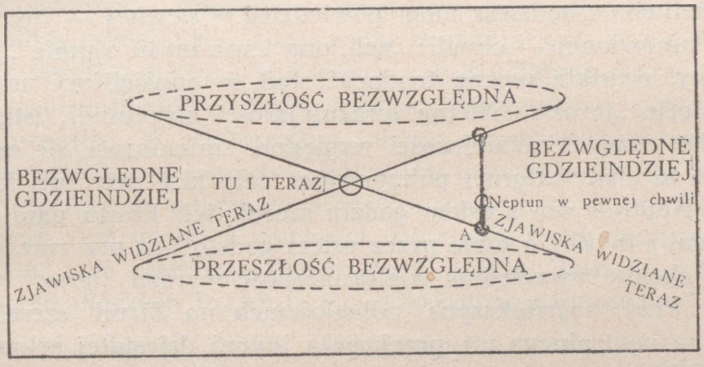


Fig. 4

dego punktu świata jako z wierzchołka), uzmysławiają to, co wiemy o absolutnej budowie świata, w zakresie przestrzeni i czasu. Wskazują one przebieg „włókien“ świata.

Skoro klepsydry są bezwzględne, dwa ich stożki dają odpowiednio absolutną przyszość i absolutną przeszłość dla zdarzenia, które zaszło tu i w tej chwili. Są one od siebie oddzielone klinowatym obszarem neutralnym, który nie zawiera ani chwil bezwzględnie przeszłych, ani bezwzględnie przyszłych. Rozpowszechnione przekonanie, że teorja względności wywraca przyszłość i przeszłość do góry nogami, jest zupełnie fałszywe. Natomiast, zupełnie inaczej niż to się dzieje z przeszłością i przyszłością względną, prze-

szłość i przyszłość absolutna nie są oddzielone nieskończenie cienką teraźniejszością. Dla neutralnego klina narzuca się nazwa „absolutnej teraźniejszości“, ale nie wydaje mi się ona właściwą. Lepiej ją nazwać „absolutnem gdzieindziej“. Usunęliśmy linje teraźniejszości i na skutek tego w absolutnym świecie teraźniejszość jest ograniczona do teraźniejszości w danem miejscu.

Pozwolę sobie zilustrować osobliwe warunki, wynikające z istnienia klinowatej zony neutralnej, na nieco może fantastycznym przykładzie. Przypuśćmy, że zakochałeś się w pewnej pani na Neptunie, która odpowiada Ci wzajemnością. Będzie dla Ciebie pewną ulgą w tej smutnej rozłące, jeżeli sobie będziesz mógł powiedzieć w pewnej — być może umówionej — chwili: „ach, ona teraz myśli o mnie“. Niestety, wynikła pewna trudność stąd, że musieliśmy usunąć pojęcie „teraz“. Niema teraźniejszości absolutnej, istnieją tylko różne teraźniejszości względne, zmieniające się zależnie od obserwatora i pokrywające cały klin netralny, który do Neptuna ma z osiem godzin szerokości. Twoja pani musiałaby myśleć o tobie przez osiem godzin bez przerwy, gdyby chciała uwzględnić wieloznaczność wyrazu „teraz“.

Przy największych odległościach na Ziemi szerokość klina neutralnego nie przekracza jednej dziesiątej sekundy. Dzięki temu pojęcie jednoczesności na Ziemi nie jest narażone na żadne trudności. To nasuwa pewne zastrzeżenie, dotyczące poprzedniego wniosku, że teraźniejszość absolutna jest ograniczona do teraźniejszości w danem miejscu. Jest to w każdym razie prawdą, jeżeli idzie o zdarzenia chwilowe. Ale w praktyce obserwujemy tylko zdarzenia, których trwanie nie jest nieskończenie krótkie. Jeżeli trwanie jest dostatecznie długie, by linja, która je wyobraża, przeszła przez całą szerokość strefy neutralnej, to zjawisko jako całość może być uważane zupełnie dorzecznie za absolutnie współczesne. Z tego punktu widzenia teraźniejszość zjawiska jest jakby cieniem, rzuconym przez nie na przestrzeń. Im dłużej trwa zjawisko, tem dalej się rozciąga cień.

Gdy szybkość materji zbliża się do szybkości światła,

masa jej rośnie do nieskończoności: oto dlaczego materja nie może poruszać się szybciej od światła. Wniosek ten otrzymano z klasycznej fizyki i to powiększanie się masy stwierdzono doświadczalnie w granicach bardzo szerokich. W świecie absolutnym oznacza to, że cząsteczka materji może się poruszać z danego punktu świata tylko w kierunku absolutnej przyszłości — zgodzicie się, że jest to ograniczenie rozsądne i właściwe. Nie może ona natomiast przejść do strefy neutralnej: oddzielający tę strefę stożek jest szlakiem światła, czy czegokolwiek, co się z szybkością światła porusza. Co do nas, jesteśmy przywiązani do ciał materjalnych i dlatego możemy poruszać się tylko w absolutną przyszłość.

Zdarzenia w absolutnej przyszłości nie znajdują się absolutnie gdzieindziej. Obserwator znajdujący się tu i w tej chwili mógłby dotrzeć do każdego z tych zdarzeń i przeżyć je, skoro niezbędna do tego szybkość jest mniejsza od szybkości światła. W rusztowaniu takiego obserwatora zdarzenie to miałoby miejsce „tu". Natomiast żaden obserwator nie może dotrzeć do zdarzenia w strefie neutralnej, bo do tego potrzeba zbyt wielkiej szybkości. Zdarzenie to nie znajduje się „tu" dla żadnego obserwatora (który jest tu i teraz): oto dlaczego znajduje się „absolutnie gdzieindziej".

Bezwzględne rozróżnienie przestrzeni i czasu. Nasze klepsydry podzieliły świat na bezwzględną przeszłość i przyszłość z jednej strony i bezwzględne „gdzieindziej" z drugiej, i w ten sposób stwarzają zasadnicze rozróżnienie pomiędzy czasem a przestrzenią. Nie jest to rozróżnienie pomiędzy czasem i przestrzenią, które występują w rusztowaniu czasowo-przestrzennem, ale raczej rozróżnienie pomiędzy relacjami czasowemi i przestrzennemi. Zdarzenia mogą się znajdować do nas w relacji czasowej (absolutna przyszłość i przeszłość) albo w relacji przestrzennej (absolutna gdzieindziej), ale nie w obu jednocześnie. Relacje czasowe są na naszym rysunku odcinkami, które wchodzą do wnętrza stożków przeszłości i przyszłości, a relacje przestrzenne — do strefy neu-

tralnej. Są całkowicie oddzielone od siebie przez linje zdarzeń widzianych w danej chwili, które utożsamiliśmy z włóknami absolutnej struktury wszechświata. Odtworzyliśmy zpowrotem rozróżnienie, które zatracił astronom państwowy, gdy powiązał czas z linjami teraźniejszości, które są tworami tylko sztucznemi.

Chciałbym zwrócić waszą uwagę na doniosłą różnicę w naszem postrzeganiu rozciągłości czasowej i przestrzennej. Jak już powiedzieliśmy, biegniemy przez świat w bezwzględną przyszłość, to jest poprzez szereg relacyj czasowych. Nie możemy przeżyć podobnego szeregu relacyj przestrzennych, bo wymagałoby to szybkości większej niż szybkość światła. Oto dlaczego znamy z bezpośredniego doświadczenia relacje czasowe, a nie znamy relacyj przestrzennych. Nasza wiedza o relacjach przestrzennych jest pośrednia — jak niemal cała nasza wiedza o świecie zewnętrznym: jest to sprawa wnioskowania oraz interpretacji postrzeżeń, które zawdzięczamy naszym zmysłom. Mamy podobnie pośrednią wiedzę tylko o relacjach czasowych, zachodzących pomiędzy zdarzeniami w świecie zewnętrznym. Ale prócz tego mamy bezpośrednie doświadczenie relacyj czasowych, które sami przebywamy — jest to wiedza o czasie, nie pochodząca zzewnątrz przez organy zmysłów, lecz wdzierająca się wprost do świadomości. Gdy zamykam oczy i pogrążam się wewnątrz siebie — czuję że *trwam*, a nie czuję, że jestem *rozciągły*. Odczuwamy właśnie czas jako coś, co nas dotyczy, a istnieje nietylko w relacjach zjawisk zewnętrznych, i fakt ten nadaje mu pewien swoisty charakter. Przestrzeń oceniamy przeciwnie, jako coś zewnętrznego.

Oto dlaczego czas wydaje się nam o tyle bardziej tajemniczy niż przestrzeń. Nic nie wiemy o wewnętrznej istocie przestrzeni i dlatego łatwo ująć ją w sposób, który nas zadowala. Natomiast posiadamy pewną intymną znajomość istoty czasu i dlatego wymyka się on naszemu zrozumieniu. Jest to paradoks podobny do następującego: wydaje nam się, iż rozumiemy istotę zwykłego stołu, podczas gdy istota

osobowości ludzkiej jest dla nas zupełnie tajemnicza. Nie posiadamy tak intymnego kontaktu z przestrzenią i stołami, żeby uprzytomnić sobie, do jakiego stopnia są one tajemnicze. Natomiast posiadamy bezpośrednią znajomość czasu i ducha ludzkiego, która nam każe odrzucić jako nieadekwatną tę czysto symboliczną koncepcję świata, tak często uważaną za ujęcie jego istoty.

Świat czterowymiarowy (czasoprzestrzeń). Nie wiem, czy sobie zdajecie wyraźnie sprawę z tego, że od pewnego czasu znajdujemy się w świecie czterowymiarowym, który będziemy również nazywali *czasoprzestrzenią.* Czwarty wymiar nie wymagał żadnych przygotowań: pojawił się, gdy tylko zaczęliśmy rozważać *zdarzenia.* Zdarzenia mogą oczywiście być porządkowane na cztery sposoby: prawo — lewo, przód — tył, góra — dół, wcześniej — później, albo według jakichś odmian tych uporządkowań. Czwarty wymiar nie jest pojęciem trudnem. Nie jest trudno pojmować zdarzenia, jako uporządkowane w czterech wymiarach: przeciwnie, trudno pojmować je inaczej. Kłopoty zaczynają się dopiero, gdy próbujemy posuwać się dalej po tej linji: na skutek długotrwałego przyzwyczajenia nauczyliśmy się dzielić świat zdarzeń na przekroje trójwymiarowe czyli chwile, a gromadzenie chwil uważaliśmy za coś innego niż poruszanie się w inny wymiar. Prowadzi to do zwykłej koncepcji świata trójwymiarowego, płynącego w strumieniu czasu. To wyróżnienie jednego z wymiarów nie jest całkowicie pozbawione podstaw: jest to niedokładne odbicie bezwzględnego oddzielenia relacyj czasowych i przestrzennych przy pomocy naszych klepsydr. Ale grube to rozróżnienie musiało ustąpić miejsca dokładniejszemu. Domniemane płaszczyzny strukturalne, utworzone przez linje teraźniejszości, oddzielały jeden z wymiarów od trzech pozostałych. Tymczasem stożki strukturalne, utworzone przez klepsydry, spinają mocno nasze cztery wymiary *.

* Na fig. 4 obrano taką skalę, że sekundzie czasu odpowiada 100000 km przestrzeni. W skali bliższej doświadczenia codziennego (na-

Przyzwyczailiśmy się myśleć o człowieku niezależnie od jego trwania. Gdy przedstawiłem „siebie“ na rysunku 2, zdziwiło was zapewne na chwilę, że włączyłem swoje dzieciństwo i starość. Ale myśleć o człowieku bez jego trwania jest rzeczą równie oderwaną, jak myśleć o nim bez jego wnętrza. Abstrakcje są bardzo pożyteczne i człowiek bez wnętrza (to znaczy *powierzchnia)* jest dobrze znanem pojęciem geometrycznem. Ale winniśmy sobie zdawać sprawę z tego, czem jest, a czem nie jest abstrakcja. „Robaki czterowymiarowe“, wprowadzone w tym rozdziale wydają się wielu ludziom niesłychanie oderwane. Nic podobnego: są to pojęcia mało nam bliskie, ale nie oderwane. Właśnie przekrój tego robaka („człowiek w danej chwili“) jest abstrakcją. Ponieważ przekroje te można prowadzić w różnych kierunnkach, abstrakcja ta wypada różnie dla różnych obserwatorów, którzy zgodnie z tem przypisują jej różne skrócenia FitzGeralda. Człowiek nie oderwany, trwający w czasie, to pospolite źródło różnego rodzaju abstrakcyj.

Wprowadzenie świata czterowymiarowego w tych rozważaniach zawdzięczamy Minkowskiemu. Einstein zwrócił uwagę na względność powszednich pojęć fizyki. Minkowski natomiast wskazał, jak przywrócić im bezwzględność przez powrót do ich czterowymiarowej kolebki i bardziej głębokie poszukiwania.

Szybkość światła. Teorja względności posiada pewną osobliwość, która ściągnęła szczególne zainteresowanie filozofów: jest nią bezwzględność szybkości światła. Naogół szybkość jest względna. Jeżeli mówię o szybkości 40 km na sekundę, muszę dodać: „względem ziemi“, „względem Arktura“ albo podać jakiś inny układ odniesienia. Nikt nic nie zrozumie z mego twierdzenia, dopóki ten układ nie jest podany lub domyślny. Ale rzecz ciekawa: gdy mówię o szybkości 299 796 km/sek, to uzupełnienie okazuje się zbyteczne. Względ-

przykład sekunda do metra), linje zdarzeń widzianych teraz stają się niemal poziome i łatwo zrozumieć, dlaczego wtedy stożki, spinające cztery wymiary mogły się wydawać płaszczyznami, które je oddzielają.

dem czego? Względem każdej gwiazdy, każdej cząsteczki materji we wszechświecie.

Niema się co silić na dopędzenie sygnału świetlnego: bez względu na Twoją szybkość będzie się on oddalał od Ciebie z szybkością 299 796 km/sek. Otóż, z jednego punktu widzenia, Natura oszukała nas przy tej sposobności dość niegodnie. Weźmy sobie raz jeszcze naszego ulubionego obserwatora, poruszającego się z szybkością 260 000 km/sek i poślijmy go w pogoń za sygnałem świetlnym. Sygnał ten biegnie dla nas tylko o 40 000 km/sek szybciej od obserwatora, ale ten nie to nam zamelduje. Wobec skrócenia jego sztab mierniczych kilometry jego są tylko półkilometrami; a wobec zwolnienia jego zegarów sekundy jego są podwójnemi sekundami. Pomiary jego wykażą zatem szybkość 160 000 km/sek (naprawdę: półkilometrów na podwójne sekundy). Następny błąd to synchronizacja zegarów, przy których pomocy notuje on szybkość. (Przypominacie sobie, że używa on innych linij teraźniejszości niż my). To podnosi szybkość do 300 000 km/sek. Z jego własnego punktu widzenia wlecze się on beznadziejnie za światłem. Nie zdaje sobie sprawy z tego, że mu depcze po piętach, gdyż jego przyrządy miernicze są zupełnie pomylone. Zauważcie, że nieuchwytność sygnału świetlnego jest zupełnie innego rodzaju niż nieuchwytność tęczy.

Ale jakkolwiek wyjaśnienie to może nas pogodzić z tem, co się nam na pierwszy rzut oka wydawało zupełną niemożliwością, to jednak nie trafia ono w najbardziej istotną w tem wszystkiem sprawę. Przypominacie sobie, że linja zdarzeń widzianych w danej chwili, czyli tor sygnału świetlnego, przedstawia *włókno* struktury wszechświata. Osobliwością szybkości 299 796 km/sek jest, że pokrywa się ona z włóknami wszechświata. Robak czterowymiarowy, który przedstawia ciało materjalne, musi biec poprzez włókna w stożek przyszłości, i musimy wprowadzić jakiś układ odniesienia, aby opisać jego bieg. Ale sygnał świetlny leży dokładnie wzdłuż włókna, i nie trzeba sztucznego rusztowania, aby ten fakt opisać.

Liczba 299 796 (kilometrów na sekundę) jest zatem, że tak powiem, sygnaturą owych włókien. Inne sygnatury odpowiadają różnym dziurom, wygryzionym przez robaki, które w sposób chaotyczny przecinają włókna. Mamy różne klucze odpowiadające różnym rusztowaniom czasowo-przestrzennym: ale sygnatura dla włókien jest ta sama we wszystkich kluczach. Nie jest to przypadek; ale nie widzę stąd żadnej głębokiej konsekwencji, wyjąwszy tę, że nasze klucze pomiarowe były planowane rozumnie, tak ażeby wydobyć na powierzchnię istotne, a nie przypadkowe cechy budowy świata.

Szybkość 299 796 km/sek, kóra odgrywa wyróżnioną rolę w każdym systemie pomiarów, nazywa się pospolicie szybkością światła. Ale jest ona czemś więcej: jest to szybkość, przy której masa materji staje się nieskończenie wielka, długość skraca się do zera, zegary są nieruchome. Oto dlaczego liczba ta ukazuje się w najróżniejszych zagadnieniach, niezależnie od tego, czy dotyczą one światła.

Z powodu tej bezwzględności szybkość jest czemś bardzo interesującem. Natomiast zainteresowanie, które jej okazali filozofowie, opierało się, zdaniem mojem, na nieporozumieniu. Gdy fizyk stwierdza jej bezwzględność, to ma na myśli, że przyporządkowano jej w każdym układzie pomiarowym tą samą liczbę: ale to jest prywatny układ pomiędzy fizykami — niezamierzony komplement dla jej wszechświatowego znaczenia *. Zwróćmy się od liczb mierzących, do rzeczy przez nie opisywanych. „Włókna" są niewątpliwie absolutną cechą drzewa, ale znajdują się w niem również kanaliki, wygryzione przez robaki (cząsteczki materjalne). Różnica polega na tem, że włókna są istotne i uniwersalne, a kanaliki robaków przypadkowe. Nieraz dochodziło do nieporozumień pomiędzy fizyką a filozofją na tle dyskusji o absolut i obawiam się, że wina była głównie po stronie fizyków.

* W teorji względności ogólnej (rozdział VI) korzysta się również z układów pomiarowych, w których szybkość światła nie posiada tej samej stałej wartości, ale odpowiada ona podawnemu włóknom absolutnej struktury świata.

W fizyce ma się przeważnie do czynienia z względnością i bezwzględnością użytych *wyrazów opisowych*. Ale gdy używamy wyrazu „absolutny“ w odniesieniu do *tego, co ma być opisywane*, znaczy on wtedy naogół „uniwersalny“ w przeciwieństwa do „przypadkowego“.

Innem źródłem nieporozumień jest istnienie górnej granicy dla szybkości. Nie wolno twierdzić, że żadna szybkość nie może przekraczać 299 796 km/sek. Wyobraźmy sobie naprzykład reflektor, wysyłający na odległość Neptuna wiązkę promieni równoległych. Jeżeli reflektor ten będzie się obracał raz na minutę, to koniec promienia na Neptunie będzie się poruszał po kole z szybkością o wiele większą, niż powyższa granica. Jest to przykład naszego nałogu tworzenia szybkości przy pomocy czysto umysłowych skojarzeń różnych stanów, które nie znajdują się w bezpośrednim związku przyczynowym. Teorja względności żąda czegoś bardziej wyspecjalizowanego, a mianowicie:

Ani *materja*, ani *energja*, ani też *nic, co może być użyte* jako sygnał, nie może się poruszać szybciej niż 299 796 km/sek, z zastrzeżeniem, że szybkość jest mierzona w jednem z rusztowań czasowo-przestrzennych, rozważanych w tym rozdziale *.

Szybkość światła wewnątrz materji może w pewnych warunkach (zjawisko dyspersji anormalnej) przekroczyć tę wartość. Ale tę wyższą szybkość osiąga światło dopiero potem, gdy przez kilka chwil przebiegało materję i zdołało wprawić cząsteczki we współbrzmiące drgania. Sygnał świetlny, niepoprzedzony gońcami, porusza się wolniej. Szybkość przewyższającą 299 796 km/sek, jest, że tak powiem, osiągnięta przez uprzednie przygotowania i umowy, a więc nie może mieć zastosowania jako sygnał.

Musimy zaakcentować to ograniczenie szybkości sygna-

* Zastrzeżenie tego rodzaju jest oczywiście konieczne. Często używamy dla pewnych celów szczególnych rusztowania, wirującego wraz z ziemią. Względem tego rusztowania gwiazdy zakreślają koła raz dziennie, a zatem osiągają ogromne szybkości.

łów. Wynika z niego, że możemy sygnalizować wyłącznie w absolutną przyszłość. Skutki, jakieby miała możliwość przesyłania wiadomości *stąd w tej chwili* do neutralnego klina, są zbyt dziwaczne, aby je tu rozważać. Wypadałoby wtedy osiągalny przez nasze sygnały obszar neutralny klina, ograniczyć w sposób sprzeczny z teorją względności; w przeciwnym razie, okazałoby się rzeczą możliwą porozumiewać się tak z partnerem, żeby ten odpowiadał nam dziś na listy, które mu dopiero jutro poślemy! Ograniczenie szybkości sygnałów jest ochroną przed wywróceniem przeszłości i przyszłości do góry nogami, o które posądzają Einsteina często a niesłusznie.

W tem umownem sformułowaniu ograniczenie szybkości sygnalizacji do 299 796 km/sek może się wydawać nieco kapryśnym dekretem Natury. Odczuwamy go niemal jako wyzwanie do wykrycia czegoś, co się porusza szybciej. Ale gdy to samo sformułujemy w postaci bezwzględnej, że sygnalizacja jest możliwa tylko wzdłuż szlaku relacyj czasowych, a nie wzdłuż szlaku relacyj przestrzennych, ograniczenie to wydaje się rozsądne. Naruszenie tego ograniczenia nie jest właściwą sprawą odkrycia czegoś, co przebywa o 1 km na sekundę więcej, ale sprawą przekreślenia różnicy pomiędzy czasem a przestrzenią. A różnicę tę — wszyscy jesteśmy o tem przekonani — należy utrzymać w każdej rozsądnej teorji.

Zastosowania praktyczne. W tych wykładach zajmuję się raczej ideami nowych teoryj, niż ich praktycznem znaczeniem dla postępu nauki. Ale to, że się ograniczamy do pojęć podstawowych ma tę odwrotną stronę, że może wywołać wrażenie, iż nowa fizyka buja w niebiosach. Nie jest to bynajmniej prawdą: teorję względności stosuje się bardzo rzeczowo do zagadnień praktycznych. Muszę się tu ograniczyć do całkiem elementarnych zagadnień, które zupełnie nie uwydatniają potęgi nowej teorji w zakresie badania naukowego. Zadowolnijcie się dwoma przykładami.

1. Często wypowiadano myśl, że gwiazdy są opóźniane przez ciśnienie wsteczne własnego ich promieniowania. Uzasadnienie jest następujące: gdy gwiazda porusza się naprzód, promieniowanie zgęszcza się przed nią, a rozrzedza się poza nią. Promieniowanie wywiera ciśnienie, a ciśnienie to winno zatem być większe na powierzchnię przednią, niż na tylną. Pojawia się wobec tego siła opóźniająca gwiazdę i dążąca do jej unieruchomienia. Efekt ten mógłby odegrać wielką rolę w badaniu ruchów gwiazd. Wynikałoby z niego, że naogół gwiazdy stare poruszałyby się wolniej, niż młode. Otóż okazuje się, że ta konkluzja jest sprzeczna z doświadczeniem.

Tłumaczy to teorja względności, według której „unieruchamianie" niema sensu. Zmniejszenie się szybkości w jednym układzie jest powiększeniem się jej w innym. Niema bezwzględnej szybkości, ani bezwzględnego spoczynku dla gwiazdy. Należy zatem uznać tę myśl za błędną.

2. Cząstki β, emitowane przez ciała promieniotwórcze, są to elektrony, poruszające się z szybkością nie o wiele mniejszą, niż szybkość światła. Doświadczenia wykazują, że masa takiego elektronu szybkobieżnego jest o wiele większa niż masa elektronu spoczywającego. Teorja względności przepowiada ten przyrost masy i podaje wzór na zależność masy od szybkości. Przyrost pochodzi wyłącznie stąd, że masa jest wielkością względną, zależną od definicji wielkości względnych długości i czasu.

Spójrzmy na cząstkę β z jej własnego punktu widzenia. Jest to pospolity elektron, niczem się nie różniący od innych. Ale przecież porusza się on z niezmiernie wielką szybkością? „Nie", powiada elektron, „to *wasz* punkt widzenia. Ze zdumieniem obserwuję niezwykłą szybkość 160 000 km/sek, z którą mkniecie obok mnie. Ciekaw jestem, co za uczucie przeżywacie przy takiej szybkości? Zresztą nie moja to rzecz". A więc cząsteczka β wyobraża sobie, że wygodnie spoczywa, nie troszczy się o to, co się z nami dzieje i zachowuje zwykłą masę, promień i ładunek. Posiada ona normalną masę elektronu, $9 . 10^{-28}$ gramów. Ale masa i promień

to wielkości względne i w tym przypadku rusztowanie, do którego są one odniesione, to oczywiście rusztowanie przystosowane do elektronu, pogrążonego w samokontemplacji, a zatem rusztowanie, w którem elektron spoczywa. Natomiast gdy *my* mówimy o masie, odnosimy ją do układu, w którym *my* spoczywamy. Przy pomocy geometrji czterowymiarowej potrafimy wyprowadzić wzory na zmianę wartości masy przy przejściu do innego układu; zmiana ta jest następstwem zmiany wartości długości i czasu. Znajdujemy, w rzeczy samej, że masa powiększa się w tym samym stosunku, w którym się długość zmniejsza (współczynnik Lorentza-FitzGeralda). Zaobserwowany przyrost masy pochodzi od zmiany pomiarów przy przejściu od własnego rusztowania elektronu do rusztowania naszego.

Wszystkie elektrony są jednakowe ze swego punktu widzenia. Pozorne różnice pochodzą stąd, że układamy je w naszem rusztowaniu, które jest bez znaczenia dla ich budowy. Nasze obliczenie ich masy prowadzi do wartości większej niż ich rachunek, a różnica ta rośnie wraz z różnicą pomiędzy układami, to jest wraz z wzajemną szybkością względną.

Podajemy te wyniki nie poto, aby udowodnić *prawdziwość* teorji, ale aby wykazać jej *pożytek*. Oba mogły być otrzymane z klasycznej teorji elektromagnetyzmu Maxwella, połączonej (w drugiem zagadnieniu) z pewnemi rozsądnemi hipotezami, dotyczącemi warunków na powierzchni elektronu. Lecz by ocenić przewagę nowej teorji, musimy rozważyć nie to co *mogło być*, lecz to *co było* wyprowadzone z teorji klasycznej. Historycznie sprawa przedstawia się tak, że konkluzje klasycznej teorji w pierwszem zagadnieniu były fałszywe: przeoczono doniosły czynnik kompensujący. Natomiast konkluzje w drugiem zagadnieniu (po kilku fałszywych próbach) okazały się całkiem poprawne liczbowo. Ale ponieważ wynik ten otrzymano z elektromagnetycznych równań elektronu, więc przypuszczano, że jest on związany z faktem, iż elektron jest strukturą elektryczną. A zgodność z doświadczeniem zdawała się potwierdzać hipotezę, że elektron

jest czystą elektrycznością i niczem więcej. Natomiast nasz powyższy sposób potraktowania zagadnienia nie korzysta zupełnie z żadnych elektrycznych własności elektronu, skoro odkryliśmy, że zjawisko to ma źródło wyłącznie we względności masy. A zatem, jakkolwiek jest bardzo wiele innych ważkich powodów do przypuszczenia, że elektron składa się wyłącznie z elektryczności ujemnej, przyrost masy z szybkością nie świadczy ani za tem przypuszczeniem, ani za przeciwnem.

W niniejszym rozdziale idea wielości rusztowań przestrzennych została rozszerzona na wielość rusztowań czasowo - przestrzennych. Metoda rozmieszczenia w przestrzeni, zwana rusztowaniem przestrzennem, jest tylko częścią obszerniejszej metody rozmieszczenia zdarzeń w czasie i przestrzeni. Natura nie daje żadnych wskazówek, któreby pozwoliły oddać pierwszeństwo jednemu z tych układów przed innemi. Specjalne rusztowanie, ze względu na które znajdujemy się w spoczynku, posiada w stosunku do nas pewną symetrję, której nie wykazują inne rusztowania. Oto dlaczego pozwoliliśmy się unieść rozpowszechnionemu przypuszczeniu, że jest to jedyne rozsądne i właściwe rusztowanie. Ale to egotyczne stanowisko powinno być zarzucone i wszystkie rusztowania należy traktować jednakowo. Przez łączne rozważanie przestrzeni i czasu udało się nam zrozumieć, jak powstała owa wielość rusztowań. Odpowiadają one różnym kierunkom przekrojów czasoprzestrzeni — czterowymiarowego świata zdarzeń; przekroje te są „chwilami uniwersalnemi". Jednoczesność (pojęcie „teraz") okazała się względna. Zaprzeczenie bezwzględnej jednoczesności jest ściśle powiązane z zaprzeczeniem bezwzględnej szybkości. Gdybyśmy mogli stwierdzić absolutną szybkość, to umielibyśmy stwierdzić, że pewne zjawiska w przyszłości albo w przeszłości zdarzają się „tu", ale nie „teraz". Gdybyśmy mogli stwierdzić absolutną równoczesność, to wiedzielibyśmy, że pewne zjawiska zdarzają się „teraz", ale nie „tu". Usunęliśmy te sztuczne przekroje i zamajaczyła w oddali absolutna struktura czasoprzestrzeni ze swemi włóknami, które się krzyżują i rozbie-

gają, pnąc się wzdłuż klepsydr. Dzięki tej strukturze dostrzegamy bezwzględną różnicę pomiędzy czasowem i przestrzennem oddzieleniem zjawisk — różnicę, która usprawiedliwia i wyjaśnia instyktowne nasze wyczucie zasadniczej różnicy pomiędzy czasem a przestrzenią. Wiele doniosłych zastosowań nowych pojęć do praktycznych zagadnień fizyki ma zbyt specjalny charakter, aby je można było rozważyć w niniejszej książce. Jednem z prostszych jest określenie zmian własności fizycznych na skutek szybkiego ruchu. Skoro ruch może być równie dobrze traktowany jako nasz ruch względem ciała, czy ruch ciała względem nas, nie może on wpływać na absolutne zachowanie się ciała. Pozorne zmiany długości, masy, pola elektrycznego i magnetycznego, okresów drgań i t. d. przedstawiają poprostu zmiany wyniku pomiarów, powstające przy przejściu od układu, w którym objekt spoczywa, do rusztowania, w którem to zachodzi dla obserwatora. Łatwo wyprowadzić wzory na wielkość tych zmian, skoro się stwierdzi geometryczny związek rusztowań.

Rozdział IV

BIEG ZJAWISK WE WSZECHŚWIECIE

Tasowanie. Współczesny pogląd na świat fizyki nie w całości składa się z pojęć, powstałych w ciągu ostatnich lat dwudziestupięciu. Musimy się teraz zająć zespołem idej, pochodzących jeszcze z ubiegłego stulecia i niezmienionych co do swej istoty od czasów Boltzmanna. Myśli te są obecnie bardzo aktualne i znajdują się w stanie żywego rozwoju. Dla nas są tu ważne, ponieważ wiążą się z głębszem ujęciem zagadnienia czasu. Pozatem odgrywają one tak podstawową rolę w fizyce teoretycznej, że musielibyśmy się niemi zająć prędzej czy później przy każdym głębszym przeglądzie fizyki.

Jeżeli weźmiecie talję kart, taką jak jej dostarcza fabryka, i będziecie ją tasowali przez kilka minut, to znikną wszystkie ślady poprzedniego systematycznego uporządkowania. Nie powróci ono nigdy, choćbyście tasowali nie wiem jak długo. Stało się coś, co się nie może odstać, — wprowadzono przypadkowość na miejsce uporządkowania.

Analogje, nawet niedoskonałe, mogą być bardzo pożyteczne; dlatego też prześliznąłem się nad następującemi dwoma zarzutami, które raczej mierzą w nasze porównanie, niż w zastosowanie, które mamy na widoku. Niebardzo to było prawdą, że tasowanie nie może się odstać. *Ty* możesz uporządkować karty tak, jak były na początku, jeżeli tego pragniesz. Lecz przy rozważaniu tasowania, które zachodzi w świecie fizycznym, nie przeszkadza nam żaden deus ex machina w rodzaju Twojej osoby. Nie podejmuję się po-

wiedzieć, w jakim stopniu konkluzje, do których dojdziemy, obowiązują w stosunku do ludzkiego umysłu. Wobec tego wyłączam Ciebie — przynajmniej wyłączam te władze umysłowe, z których korzystasz przy układaniu kart. Natomiast pozwalam Ci tasować, bo potrafisz to robić bez udziału świadomości.

Powtóre, niezupełnie to prawda, że porządek pierwotny nigdy nie wróci. Istnieje pewien cień prawdopodobieństwa, że kiedyś talja przetasowana dokładnie, okaże się ułożona w pierwotnym porządku. Pochodzi to stąd, że liczba kart w talji jest stosunkowo niewielka. Natomiast w zastosowaniach fizycznych liczba elementów jest tak wielka, że można pominąć możliwość takiego przypadku.

Sformułujemy następującą tezę:

Każdy nieodwracalny przebieg zdarzeń wprowadza element przypadkowości, podobnie jak to czyni tasowanie.

Tasowanie jest jedynem zjawiskiem, którego Natura nie może odwołać. Gdy jajko spadnie i stłucze się, nie można go złożyć zpowrotem. Stało się coś, czego nie można cofnąć. Sam spadek możnaby odwrócić. Gdyby jajko było spadło na doskonale sprężystą matę, to energja kinetyczna, którą posiadało w chwili jej dotknięcia, wystarczałaby całkowicie, aby zmusić je do odskoczenia zpowrotem na wysokość, z której spadło. Lecz maty sprężystej nie było, i wobec tego w chwili upadku zdarzyło się zjawisko nieodwracalne — wkroczył *element przypadku.*

Ale dlaczego mielibyśmy przypuścić, że tasowanie jest *jedynym* przebiegiem, którego Natura nie może odwołać?

> Palec Losu pisze; a gdy napisał,
> Idzie wciąż naprzód. Ni cnota twa, ni głowa,
> Nie skłoni go, by kreślił choć pół słowa.

Czy Palec Losu zatrzymuje się, jeżeli niema tasowania? Fizyka odpowiada bez wahania: tak! Aby tę sprawę rozstrzygnąć, musimy zbadać te czynności Natury, przy których się nie może pojawić element przypadkowości. Dzielą się one na dwie grupy. Są to przedewszystkiem te prawa Na-

tury, które rządzą zachowaniem się pojedyńczego indywiduum. Rzecz jasna, że w tych przypadkach nie może być tasowania: nie można wyjąć króla pik z talji i tasować go. Powtóre możemy badać przebiegi naturalne w zbiorowiskach, w których przetasowanie odbyło się tak gruntownie, że niema już miejsca na dalszy wzrost przypadkowości. Jeżeli nasza teza jest prawdziwa, to wszystko, co się w tych warunkach dzieje, może zostać odwrócone. Pierwszy przypadek zbadamy natychmiast, drugi zaś musimy odsunąć do strony 72.

Każda zmiana ciała, które wolno traktować jako pojedyńcze indywiduum, może zostać cofnięta. Prawa Natury pozwalają zasadniczo równie łatwo na jakieś przebiegi, jak na ich odwracanie. Ziemia w swym ruchu po orbicie ulega prawom grawitacji. Pozwalają one na faktyczny ruch Ziemi, ale pozwalają również na ruch w dokładnie przeciwnym kierunku. W tem samem polu sił Ziemia mogłaby powrócić po swych własnych śladach; zależy to wyłącznie od tego, jak ją wprawiono w ruch w chwili początkowej. Można nam zarzucić, że niesłusznie zaniedbujemy fakt wprawienia w ruch, traktując go jako nieistotny moment zagadnienia. Mogłoby ono stanowić równie doniosły składnik spoistego schematu Natury, jak prawa rządzące dalszym ruchem. W rzeczy samej, astronomowie posiadają teorje, które tłumaczą, dlaczego wszystkie osiem planet wyruszyły w tym samym kierunku w swą drogę dokoła Słońca. Ale jest to zagadnienie ośmiu planet, a nie jednego indywiduum — zagadnienie talji, a nie pojedyńczej karty. Dopóki traktujemy ruch Ziemi jako izolowany problem, nikomu nie przyjdzie na myśl wprowadzać do praw Natury klauzuli, zastrzegającej, że Ziemia musi się poruszać w tym kierunku, a nie w przeciwnym.

Podobna odwracalność zachodzi w polach elektromagnetycznych. Możemy podać inną ilustrację z dziedziny fizyki atomu. Prawa kwantowe pozwalają na emisję pewnych rodzajów i natężeń światła z atomu. Te same prawa pozwalają również na absorpcję tychże samych rodzajów i natężeń,

to jest na cofnięcie emisji. Przepraszam za ubóstwo tych przykładów, ale nie zapominajmy, że liczne własności ciał, naprzykład temperatura, są związane właśnie z tem, że ciała są zbudowane z oddzielnych atomów. Wobec tego, praw rządzących temperaturą nie można uważać za prawa, które się odnoszą do pojedyńczego indywiduum.

Wspólną cechę praw, rządzących indywiduami, można sformułować jaśniej przy pomocy pojęcia czasu. Pewien szereg stanów, biegnących od przeszłości ku przyszłości, to *przebieg*. Te same stany, następujące po sobie w czasie w porządku odwrotnym względem poprzedniego, tworzą nowy przebieg, który jest *odwróceniem poprzedniego*. Odwrócenie przebiegu powstaje zatem przez zmianę przyszłości na przeszłość. Jeżeli zatem prawa Natury są obojętne na kierunek, w którym się przebieg odbywa, to muszą być również obojętne na kierunek biegu czasu od przyszłości do przeszłości. Jest to ich wspólna cecha, która się natychmiast ujawnia, jeżeli je sformułować matematycznie, tak jak to się zwykle dzieje. Nie większa tu zachodzi różnica pomiędzy przeszłością a przyszłością, niż pomiędzy prawem a lewem. W symbolice algebraicznej lewo to $-x$, a prawo to $+x$; przeszłość to $-t$, przyszłość to $+t$. Zatem zamiana na $+t$ na $-t$ nie zmienia żadnych praw Natury, rządzących zachowaniem się pojedyńczych indywiduów — *„praw pierwotnych"*, jak je będziemy nazywali. Istnieje tylko jedno prawo Natury — drugie prawo termodynamiki — które uznaje pomiędzy przeszłością a przyszłością różnicę głębszą, niż ta, która zachodzi pomiędzy plusem a minusem. Stoi ono na uboczu od innych. Ale prawo to nie stosuje się zupełnie do zachowania się pojedyńczego indywiduum; to też stwierdzimy później, że jego przedmiotem jest element przypadkowości w zbiorowiskach.

Cokolwiek mówiłyby prawa pierwotne, w doświadczeniu powszedniem odczuwamy że pomiędzy przeszłością a przyszłością zachodzi różnica innego zgoła rodzaju niż pomiędzy prawem, a lewem. H. G. Wells w The Plattner Story opowiada o człowieku, który się zabłąkał w czwarty wymiar i wró-

cił z zamienionem „prawem“ i „lewem“. Ale łatwo spostrzec, że to nie ta zmiana jest przedmiotem powieści: jest to jedynie pomocniczy szczegół, służący do nadania pozorów prawdopodobieństwa tej przygodzie. Sama przez się zmiana ta jest tak banalna, że nawet Wells nie mógł z niej wykrzesać nic interesującego. Ale gdyby człowiek ten wrócił z przestawioną przeszłością i przyszłością, to sytuacja byłaby znacznie ciekawsza. Wells w Wehikule Czasu i Lewis Carroll w Sylwji i Brunonie dają nam przedsmak niedorzeczności, któreby się zdarzały, gdyby czas biegł zpowrotem. Obraz świata w zwierciedle pozostaje sensowny. Lecz „czas odbity w zwierciedle“ jest nasycony niedorzecznością, która dramat świata zmienia w najbezsensowniejszą farsę.

Otóż, prawa pierwotne fizyki, każde oddzielnie, stwierdzają, że jest im całkowicie obojętne, w którą stronę czas płynie; zupełnie tak samo, jak jest im obojętne, czy świat jest oglądany zprawa, czy zlewa. Jest to prawdą dla praw klasycznych, relatywistycznych, a nawet dla praw kwantowych. Nie jest to cecha przypadkowa: odwracalność jest zrośnięta z całym schematem pojęciowym, do którego prawa te należą. Kwestja, czy świat jest sensowny czy nie, wykracza poza zakres tych praw. Z tą sprawą możemy się zwrócić tylko do drugiego prawa termodynamiki. Jest to prawo o pierwszorzędnej doniosłości. Otwiera ono wiedzy nową dziedzinę: badanie organizacji. I właśnie w związku z organizacją świata pojawia się po raz pierwszy rozróżnienie pomiędzy przebiegiem, a jego odwróceniem, pojawia się kierunek przepływu czasu.

Strzałka czasu. Czas płynie; jest to jedna z jego najistotniejszych cech. Ale wydaje się, że tę jego cechę fizyk niekiedy zaniedbuje. W świecie czterowymiarowym, rozważanym w poprzednim rozdziale, przeszłe i przyszłe zdarzenia są przed nami rozpostarte jak na mapie. Zdarzenia są tam umieszczone wprawdzie z zachowaniem właściwych stosunków wzajemnych czasowych i przestrzennych. Ale niema

tam żadnej wskazówki, że zdarzenia „zachodzą", nie powstaje sprawa przebiegów i ich odwracania. Oglądamy na mapie drogę od przeszłości do przeszłości albo w kierunku odwrotnym; lecz niema żadnego sygnału, któryby wskazywał że jest na niej możliwy tylko ruch jednostronny. Musimy coś dołączyć do wyobrażeń geometrycznych świata Minkowskiego, zanim stanie się on zupełnym obrazem świata takiego, jakim go znamy. Możemy odwołać się do świadomości, aby to wszystko ożywić, aby zamienić *istnienie* na *„stawanie się"*, *bycie* na *„dzianie się"*. Ale zauważmy przedewszystkiem, że obraz nasz w tej postaci zupełnie współmiernie reprezentuje te prawa Natury, które, jak widzieliśmy, są obojętne na kierunek czasu. Zarzucano wielokrotnie teorji względności, że jej świat czterowymiarowy ignoruje kierunkowy charakter czasu. Zarzut ten nie jest sprawiedliwy: pod tym względem teorja względności nie jest lepsza ani gorsza niż jej poprzedniczki. Fizyk starej daty używał bez skrupułów układu praw, nie uwzględniających kierunku czasu: to też oburza go, że nowy obraz świata demaskuje fakt ten tak jaskrawo.

Na czterowymiarowej mapie można znaleźć kierunek czasu bez pomocy żadnego mistycznego odwołania się do świadomości, lecz przez badanie wyłącznie organizacji. Narysujmy strzałkę zpoczątku dowolnie. Jeżeli w miarę posuwania się w kierunku strzałki będziemy znajdowali coraz więcej elementu przypadkowości w stanie świata, to strzałka wskazuje w kierunku przyszłości, jeżeli element przypadkowości się zmniejsza — to wskazuje w kierunku przeszłości. Jest to jedyna różnica pomiędzy przyszłością, a przeszłością znana w fizyce. Wynika to natychmiast z naszej podstawowej tezy, że wprowadzenie elementu przypadkowości jest jedyną rzeczą, która się nie może odstać.

Będę używał wyrazów „strzałka czasu", aby wyrazić tę cechę jednokierunkowości czasu, dla której nie istnieje odpowiednik w przestrzeni. Jest to własność szczególnie interesująca filozoficznie. Musimy zanotować następujące spostrzeżenia: strzałka czasu

(1) jest żywo odczuwana przez świadomość,

(2) jest nam narzucona przez rozsądek, który powiada, że odwrócenie strzałki czasu uczyniłoby świat zewnętrzny niedorzecznością,

(3) nie pojawia się nigdzie w fizyce, prócz badań nad organizacją zbiorowiska. W tych przypadkach strzałka wskazuje kierunek, w którym stale rośnie element przypadkowości.

Rozważmy teraz szczegółowo, w jaki sposób przypadek wprowadza do świata rzeczy nieodwołalne. Gdy kamień spada, nabywa energji kinetycznej, która właśnie starczy na to, aby go podnieść zpowrotem na pierwotną wysokość. Przez zastosowanie odpowiednich urządzeń można zmusić energję kinetyczną, aby to zadanie wykonała; gdyby kamień przywiązać do struny, mógłby on naprzemian spadać i wznosić się, jak wahadło. Lecz jeżeli kamień uderzy w przeszkodę, to jego energja kinetyczna zamieni się na cieplną. Ilość energji pozostanie ta sama, ale nawet gdybyśmy mogli zebrać ją razem i przepuścić przez maszynę parową, nie moglibyśmy już przy jej pomocy podnieść kamienia zpowrotem. Co się stało z energją, że nie pozwala się więcej w tym przypadku wyzyskiwać?

Z punktu widzenia mikroskopowego spadający kamień jest olbrzymią mnogością cząsteczek, poruszających się wdół z szybkościami równemi i równoległemi — ruch zorganizowany, jak marsz pułku. Musimy zwrócić uwagę na dwie rzeczy — na *energję* i na *organizację energji*. Aby wrócić na pierwotną wysokość, kamień musi zachować jedną i drugą.

Jeżeli kamień upadnie na dostatecznie sprężystą powierzchnię, to ruch może zostać odwrócony bez zniszczenia organizacji. Każda cząstka odwraca szybkość i cały oddział wraca w ordynku do punktu wyjścia.

Przy uderzeniu cząsteczki ulegają więcej albo mniej przypadkowym zderzeniom i odskakują we wszystkich kierunkach. Niema już wtedy zmowy wśród cząsteczek, by się poruszać w tym samym kierunku: straciły one swą organizację. W dalszym ciągu ustawicznie się zderzają i zmienia-

ją ciągle kierunek swego ruchu, ale nie znajdują już wspólnego celu. Nie można wprowadzić organizacji przez ciągłe tasowanie. W ten sposób, jakkolwiek energja jest ciągle ilościowo wystarczająca, (pomijamy nieuniknione straty, wyobrażając sobie, że zostały one uzupełnione), nie może ona już podnieść kamienia zpowrotem. Aby go wrócić do pierwotnego stanu musimy dostarczyć energji zewnętrznej, która posiada potrzebny do tego zasób organizacji.

Tu ukazuje się okoliczność, która na nieszczęście nie ma odpowiednika w tasowaniu talji kart. Nikt (oprócz magika, oczywiście) nie potrafi wrzucić dwóch do połowy przetasowanych świeżych talij do kapelusza i wyciągnąć je zpowrotem tak, by jedna znajdowała się w pierwotnym uporządkowanym układzie, a druga była całkiem przetasowana. W przeciwieństwie do tego, możemy (i czynimy to) umieścić w maszynie parowej energję częściowo zdezorganizowaną i wyciągnąć ją zpowrotem częściowo jako całkowicie zorganizowaną energję ruchu ciał masywnych, a częściowo jako energję cieplną w stanie jeszcze większej dezorganizacji. Organizację energji można przenosić z jednej jej części na inną, podobnie dezorganizację elementu przypadkowego. Dezorganizacja nie jest na zawsze związana z tym specjalnym zapasem energji, który pierwszy uległ dezorganizacji, ale może być przekazana gdziekolwiek. Nie możemy tu rozważać sprawy, dlaczego miałaby zachodzić różnica pomiędzy tasowaniem energji, a tasowaniem przedmiotów materjalnych. Ale stosowanie tej analogji wymaga pewnych ostrożności, właśnie z powodu tej różnicy. Co do energji cieplnej, to stopień jej organizacji mierzy temperatura. Im niższa temperatura, tem większa dezorganizacja.

Zbiegi okoliczności. Istnieją wprawdzie takie rzeczy, jak przypadkowe zbiegi okoliczności. Przypadek może nas oszukać i sprowadzić okoliczności o charakterze zgoła nieprzypadkowym. W szczególności mogłoby się zdarzyć, że przypadek spowoduje powstanie organizacji; tymczasem przy-

jęliśmy organizację za przeciwieństwo przypadku. Nie zagraża to jednakże poważnie naszym wnioskom; *przed zachwianiem się chronią je liczby*. Wyjaśnimy, jak to zdanie należy rozumieć.

Przypuśćmy, żeśmy podzielili przy pomocy przegrody naczynie na dwie części, z których jedna jest pusta, a druga zawiera powietrze. Usuńcie teraz przegrodę. Przez pierwszą chwilę cząsteczki powietrza znajdują się w jednej połowie naczynia; po upływie ułamka sekundy rozproszą się po całem naczyniu i tak pozostaną nazawsze. Cząsteczki nie wrócą do dawnej połowy naczynia, nie można odwrócić rozproszenia się — chyba że się wprowadzi tu coś, co stanie się kozłem ofiarnym tej dezorganizacji i uniesie z sobą element przypadkowości gdzieindziej. Zdarzenie to może służyć jako kryterjum do rozróżnienia przeszłości i przyszłości. Jeżeli obserwujesz najpierw cząsteczki rozproszone po całem naczyniu i jeżeli Ci się wydaje, że po chwili znalazły się wszystkie w jednej jego połowie — to świadomość Twoja cofa się w czasie i radziłbym Ci zwrócić się lepiej do lekarza.

W rzeczywistości cząsteczka wędruje po całem naczyniu, nie oddając pierwszeństwa żadnej jego części przed drugą. Przeciętnie biorąc, spędza ona połowę czasu w jednym przedziale, drugą połowę w drugim. Istnieje znikoma możliwość, że w pewnej chwili wszystkie cząsteczki przypadkiem odwiedzą tę samą połowę naczynia. Łatwo wyrachujecie, że jeżeli n jest liczbą cząsteczek (zgruba jeden kwadryljon), to prawdopodobieństwo tego zdarzenia będzie $(\frac{1}{2})^n$. Wyjaśnimy, dlaczego pomijamy szansę tych rozmiarów: gdybym pozwolił błądzić mym palcom bezmyślnie po klawjaturze maszyny do pisania, *mogłoby* się zdarzyć, że wypadnie zdanie sensowne. Gdyby cała armja małp bębniła na maszynach do pisania, mogłyby one napisać wszystkie księgi British Museum. Prawdopodobieństwo tego zdarzenia jest napewno większe, niż prawdopodobieństwo, że wszystkie cząsteczki znajdą się w tej samej połowie naczynia.

Gdy liczby są wielkie, prawdopodobieństwo jest najlepszą gwarancją pewności. Na szczęście przy badaniu maso-

wem cząsteczek energji i promieniowania mamy do czynienia z tak zawrotną liczbą indywiduów, że osiągamy pewność, która nieczęstym jest udziałem tych, którzy próbują szczęścia przy zielonym stoliku.

W pewnym sensie szanse na to, by cząsteczki wróciły do jednej połowy naczynia, są zbyt niedorzecznie małe, aby o nich myśleć. Jednak w nauce myśli się o nich sporo, ponieważ dają miarę tej nieodwołalnej szkody, którą spowodowaliśmy, usuwając nierozważnie przegrodę. Gdybyśmy bowiem chcieli wypełnić gazem całe naczynie, to nie byłoby rzeczą konieczną zniszczenie organizacji. Jak wspominaliśmy, można przesłać ją gdzieś, gdzie się może przydać *. Gdy uwolniliśmy gaz w naszym przykładzie i pozwoliliśmy mu rozszerzać się, naprzykład od lewej strony ku prawej, to nie było jeszcze powiększenia elementu przypadkowości. Skoro gaz poruszał się we wspomnianym kierunku, to szybkości skierowane zprawa nalewo musiały przeważać, to znaczy ruch był częściowo zorganizowany. Organizację położenia zastąpiła organizacja ruchu. Ale po chwili cząsteczki zaczęły uderzać o przeciwległą ścianę naczynia i element przypadkowości zaczął wzrastać. Lecz przed swojem zniszczeniem organizacja szybkości cząsteczek zlewa naprawo była liczbowo dokładnie równoważna straconej organizacji w przestrzeni. Rozumiemy przez to, że szanse tego, by przypadkiem powstała organizacja szybkości zlewa naprawo są takie same, jak szanse przypadkowej segregacji cząstek w jednej połowie naczynia. Gdyby odwrotność tych szans zapisać w zwykłej notacji dziesiętnej, to otrzymalibyśmy liczbę, którąby kilkakrotnie wypełniła wszystkie książki na świecie. Szansa ta nie wchodzi wogóle w grę, jako możliwość praktyczna; ważne jest dla nas tylko to, że jest zupełnie określona. Fakt ten podnosi termin „organizacja“ od mętnego opisowego określenia do jednej z mierzalnych wielkości ścisłej wiedzy. Spotykamy wiele rodzajów organizacji. Jednostajny marsz pułku nie jest jedyną postacią zorganizowanego ruchu; zorganizowane po-

* Gdyby gaz zmusić przy rozprężaniu do poruszania tłoka, to organizacja przeszłaby na ruch tłoka.

czynania chóru operowego mają naturalny odpowiednik w falach dźwiękowych. Można zastosować wspólną miarę do wszystkich postaci organizacji. Wszelka strata na organizacji może być odpowiednio mierzona szansami przeciwko jej przypadkowemu odzyskaniu. Szansa ta jest niedorzeczna jako możliwość, ale jest ścisła jako miara.

Praktyczna miara elementu przypadkowości, który może wzrosnąć we wszechświecie, ale nie może zmaleć, nazywa się *entropją*. Mierzenie przypadkowości przez entropję jak się dowodzi w fizyce, jest tem samem, co mierzenie jej przez prawdopodobieństwo, tylko że niewygodne olbrzymie liczby przy pomocy prostego wzoru są przekształcone na dogodniejszą do rachunku skalę.

Entropja stale rośnie. Moglibyśmy przez izolację części świata i przez postulowanie warunków raczej wyidealizowanych, zatrzymać jej wzrost, ale nie możemy go zamienić na zmniejszanie się. Byłoby to czemś więcej, niż pogwałceniem zwykłego prawa Natury: byłoby to nieprawdopodobnym zbiegiem okoliczności. Prawo wzrostu entropji — drugie prawo termodynamiki — zajmuje, jak sądzę, naczelne miejsce pomiędzy prawami Natury. Jeżeli ktoś Ci wytknie, że Twoja ulubiona teorja wszechświata jest sprzeczna z równaniami Maxwella, tem gorzej dla równań Maxwella. Jeżeli okaże się, że przeczy jej doświadczenie — ach, ci eksperymentatorzy czasem okropnie knocą. Ale jeżeli Twoja teorja przeczy drugiemu prawu termodynamiki, to niema dla Ciebie nadziei: nie pozostaje Ci nic, prócz ostatecznego upokorzenia. To wyniesienie drugiego prawa nie jest nierozsądne. Istnieją inne prawa, w które mamy wiele powodów wierzyć; jeżeli jakaś hipoteza je gwałci, to odczuwamy ją jako bardzo nieprawdopodobną. Ale nieprawdopodobieństwo to jest mętne i nie paraliżuje nas falangą cyfr; tymczasem szanse przeciwko pogwałceniu drugiego prawa (to jest przeciwko zmniejszeniu elementu przypadkowości) mogą być wyrażone w zastraszających cyfrach.

Pragnąłbym bardzo, abyście sobie uświadomili zdumiewający zasięg pojęcia entropji w badaniu naukowem. Dzię-

ki temu, że entropja stale rośnie, udało się znaleźć praktyczne metody jej pomiaru. Łańcuch dedukcyj z tego prostego prawa jest nieomal nieskończony. Okazało się ono równie pożyteczne w najgłębszych zagadnieniach fizyki teoretycznej, jak w praktycznych zastosowaniach inżyniera. Osobliwością tego prawa jest, że jego konkluzje są niezależne od rodzaju zachodzących procesów mikroskopowych. Nie troszczy się ono zupełnie o charakter indywiduum; interesuje go ono jedynie, jako składnik tłumu. Oto dlaczego metoda ta daje się stosować w tych dziedzinach badania, gdzie nasza ignorancja ledwie zaczyna się rozwiewać; stosujemy ją bez wahania do zagadnień teorji kwantów, chociaż mechanizm indywidualnych procesów kwantowych jest nieznany i w chwili obecnej zupełnie tajemniczy.

Prawa pierwotne i wtórne. Nazwałem prawa, rządzące zachowaniem się indywiduów „prawami pierwotnemi", zaznaczając w ten sposób pośrednio, że drugie prawo termodynamiki, jakolwiek jest również uznanem prawem Natury, w pewnym sensie stanowi prawo wtórne. To rozróżnienie można teraz sformułować dokładnie. Pewne rzeczy nigdy się nie zdarzają w świecie fizycznym, ponieważ są *niemożliwe*; inne się nie zdarzają, ponieważ są *zbyt nieprawdopodobne*. Prawa, dotyczące pierwszego przypadku — to prawa pierwotne; prawa, dotyczące drugiego — to prawa wtórne. Było przekonaniem wszystkich prawie fizyków *, że istnieje zupełny schemat praw pierwotnych, rządzących losami każdej cząsteczki, czy składnika świata, i to z żelaznym determinizmem. Ten schemat pierwotnych praw ma wystarczać całkowicie, ponieważ ustalając historję każdego składnika świata, ustala również historję całego świata.

Lecz pomimo swej zupełności prawa pierwotne nie dają odpowiedzi na wszystkie rozsądne pytania, dotyczące Natury, które moglibyśmy postawić. Czy jakiś wszechświat może

* Ostatnio, jednakże, również inni fizycy poza mną zaczęli to kwestjonować.

się rozwijać wstecz, to jest w kierunku przeciwnym względem naszego? Prawa pierwotne, obojętne na kierunek czasu, odpowiadają: „Tak, to nie jest niemożliwe". Prawo wtórne odpowiada: „Nie, to jest zbyt nieprawdopodobne". Odpowiedzi te nie kłócą się ze sobą nawzajem; lecz pierwsza, chociaż prawdziwa, raczej chybia celu. Jest to typowe dla wielu pospolitszych spraw: Czy woda będzie wrzała, gdy postawię *ten* garnek wody, na *ten* ogień? Prawo pierwotne może odpowiedzieć w sposób określony, jeżeli mu się to umożliwi. Lecz nie zapominajmy, że „ten" w przekładzie na język matematyki oznacza wyszczególnienie położeń, ruchów i t. d. kilku kwadryljonów cząsteczek i elementów energji. Zatem w praktyce pytanie, na które odpowiadamy, nie pokrywa się dokładnie z tem, które zostało zadane: Jeżeli postawię *jakiś* garnek przypominający ten oto pod wielu względami, na *pewnym* ogniu, to czy woda będzie wrzała? Prawa pierwotne odpowiadają: „Może wrzeć; może zmarznąć; może się z nią stać cokolwiek chcecie. Dane nie wystarczają do wyłączenia którejkolwiek z tych ewentualności jako niemożliwej". Prawo wtórne odpowiada poprostu: „Będzie wrzała, ponieważ inna ewentualność jest zbyt nieprawdopodobna". Prawo wtórne nie kłóci się z pierwotnem, nie możemy też uważać go za uzupełnienie schematu praw, już zamkniętego w sobie. Wynika ono z innego (bardziej praktycznego) ujęcia celów naszych zainteresowań sekretami Natury.

Pytanie, czy drugie prawo termodynamiki i inne prawa statystyczne są konsekwencjami matematycznemi praw pierwotnych, przedstawiającemi ich wyniki w bardziej użytkowej postaci, jest niezmiernie trudne do rozstrzygnięcia. Ale sądzę, że ogólnem zdaniem istnieje pomiędzy niemi przepaść, przez którą trudno przerzucić most. Na dnie wszystkich spraw, rozstrzyganych przy pomocy prawa wtórnego, istnieje złudna koncepcja „prawdopodobieństwa a priori stanów świata", która zakłada zupełnie inny stosunek do wiedzy, niż ten, który jest podstawą budowy schematu praw pierwotnych.

Równowaga termodynamiczna. W miarę upływu czasu coraz więcej pojawia się elementu przypadkowości w budowie świata. Mniej jest przypadku w świecie fizycznym dziś, niż go będzie jutro. Rzecz ciekawa, że w tej tak bardzo praktycznej gałęzi fizyki, opracowanej przedewszystkiem z powodu jej doniosłości dla inżynierów, nie możemy niemal ominąć języka teleologicznego. Przyznajemy, że świat zawiera i przypadek, i zamiar, lub w każdym razie przypadek i zaprzeczenie przypadku. Zaprzeczenie to jest zaakcentowane przez nasz sposób pomiaru entropji. Przypisujemy organizacji, czyli elementowi nieprzypadkowemu, miarę, że tak powiem, proporcjonalną do stopnia niewiary naszej w przypadkowe jej pochodzenie. „Przypadkowe skupienie atomów" — ten postrach teologów — odgrywa w fizyce ortodoksyjnej bardzo nieszkodliwą rolę. Fizykowi jest ono znane jako *bardzo ceniona rzadkość*. Własności takiego skupienia są bardzo charakterystyczne i niepodobne do pospolitych własności, spotykanych w świecie fizycznym. Naukowa nazwa dla przypadkowego skupienia atomów brzmi: „równowaga termodynamiczna".

Równowaga termodynamiczna — to właśnie ten drugi zapowiedziany wyżej przypadek, w którym już nie może nastąpić dalszy przyrost elementu przypadkowości, a to dlatego, że przetasowanie już jest tak gruntowne, jak to jest tylko możliwe. Aby ją wytworzyć, musimy izolować pewien obszar wszechświata, urządzając się tak, żeby energja do niego nie napływała, ani też nie upływała z niego, lub też w każdym razie musimy skompensować wszelkie efekty, które mogłoby zachodzić na ograniczeniu tego obszaru. Warunki te są coprawda idealne, ale można je odtworzyć z wystarczającem przybliżeniem, tak że to wyidealizowane zagadnienie posiada jednak wartość praktyczną. Obszar w głębi gwiazdy jest niemal doskonałym przykładem równowagi termodynamicznej. W takich warunkach izolacji energja będzie ulegała przetasowywaniu w miarę tego, jak ją materja przerzuca do eteru i zpowrotem; po krótkim czasie przetasowanie będzie zupełne.

Możliwość zupełnego przetasowania jest bardzo doniosła. Jeżeli po przetasowaniu przedrzeć każdą kartę na połowy, to gruntowniejsze tasowanie staje się możliwe. Jeżeli się będzie darło karty w dalszym ciągu, to za każdym razem umożliwi się elementowi przypadkowości dalszy wzrost. Gdyby zatem podzielność tasowanych elementów byłaby nieograniczona, to i tasowanie nie miałoby końca. Tymczasem doświadczenie wykazuje, że stan równowagi zostaje szybko osiągnięty, a zatem że energja nie jest nieskończenie podzielna, lub w każdym razie że w naturalnych procesach tasowania nie ulega ona nieskończonemu dzieleniu. Oto biorąc chronologicznie pierwszy wynik, który pociągnął za sobą teorję kwantów. Wrócimy do tej sprawy w jednym z późniejszych rozdziałów.

W obszarze, w którym panuje równowaga termodynamiczne, tracimy strzałkę czasu. Przypominacie sobie, że strzałka ta jest zwrócona w kierunku wzrostu elementu przypadkowości. Gdy element ten osiągnął granicę i ustalił się ostatecznie, strzałka nie wie już, w którą ma stronę wskazywać. Nie można mówić, że taki obszar jest pozbawiony czasu; atomy wibrują podawnemu jak małe zegarki i można przy ich pomocy mierzyć szybkości i trwania. Czas wciąż jeszcze tam istnieje i zachowuje zwykłe swe własności, ale stracił swą strzałkę: rozciąga się jak przestrzeń, ale już nie „płynie".

Sprawa ta doprowadzi do doniosłego pytania: Czy element przypadkowości (mierzony przez wyżej omówione prawdopodobieństwo) jest jedyną cechą świata fizycznego, która pozwala czas opatrzyć strzałką? Jak dotychczas, wywnioskowaliśmy, że nie można znaleźć takiej strzałki w zachowaniu się izolowanych indywiduów, ale istnieje przecie rozległy teren do poszukiwań we własnościach zbiorowiska, poza własnością, reprezentowaną przez entropję. Dla ilustracji (może niezupełnie tak fantastycznej, jak się to może wydawać): czy zbiorowisko nie mogłoby się stawać coraz *pięk-*

kniejsze (według jakichś kanonów estetycznych) w miarę upływu czasu? *.

Na to pytanie odpowiada inne prawo Natury:

Nic w statystyce zbiorowiska nie może wyróżnić jednego z obu kierunków czasu, jeżeli tego nie czyni entropja.

Sądzę, że jakkolwiek prawo to zostało odkryte dopiero w ciągu ostatnich kilku lat, niema poważnych wątpliwości, że jest ono prawdziwe. Przyjęto je jako podstawowe prawo we wszystkich współczesnych badaniach atomu i promieniowania, i okazało się ono jednem z najpotężniejszych narzędzi postępu w tej dziedzinie. Jest to oczywiście jedno z praw wtórnych. Nie wydaje się, aby je można było wyprowadzić z drugiego prawa termodynamiki, i prawdopodobnie należy je traktować jako dodatkowe prawo wtórne **.

Dochodzimy do wniosku, że jakkolwiek inne wielkości statystyczne mogłyby być użyte do wyznaczenia strzałki, to jednak mogę one wtedy tylko się *nadać*, gdy się *nadaje* entropja; zawodzą one, kiedy ona zawodzi. Nie można ich wobec tego uważać za niezależne kryterja. O ile idzie o fizykę, to strzałka czasu jest cechą jedynie entropji.

Czy czas i przestrzeń są nieskończone? Przypuszczam, że każdy się kiedyś trapił pytaniem, czy przestrzeń ma kres. A jeżeli tak, to co jest poza tym kresem? Z drugiej strony nie

* W kalejdoskopie tasowanie kończy się dość szybko i wszystkie obserwowane wzory są równoważne, jeżeli idzie o element przypadkowości; różnią się jednak znacznie swem pięknem.

** Prawo to zostało tak przekształcone w powyższem sformułowaniu, że muszę wyjaśnić zaawansowanemu czytelnikowi, iż mam na myśli „zasadę odwracalności procesów cząsteczkowych". Zasada ta stwierdza, że do każdego rodzaju przebiegu (choćby najdokładniej sprecyzowanego) istnieje proces odwrotny, a w stanie równowagi termodynamicznej procesy prosty i odwrotny zachodzą jednakowo często. Zatem stosunki statystyczne przebiegów nie ulegają zmianie po odwróceniu kierunku czasu, to jest po przestawieniu procesów prostych i odwrotnych. Nie może istnieć wobec tego kryterjum statystyczne na kierunek czasu wtedy, gdy zachodzi równowaga termodynamiczna, to jest gdy entropja jest stała i przestaje wskazywać strzałkę czasu.

można sobie wyobrazić, że przestrzeń niema kresu, lecz rozciąga się bez przerwy. Tak oto wyobraźnia miota się pomiędzy dwiema stronami tego dylematu. Przed powstaniem teorji względności ortodoksyjna opnja orzekała, że przestrzeń jest nieskończona. Ale nikt nie może sobie wyobrazić nieskończonej przestrzeni; musieliśmy się więc godzić z obecnością niewyobrażalnej koncepcji w świecie fizycznym — koncepcji nieprzyjemnej, ale nie nielogicznej. Tymczasem teorja Einsteina daje wyjście z tego dylematu: Czy świat jest nieskończony, czy też posiada granicę? Ani jedno, ani drugie: świat jest skończony, ale nie posiada granicy. „Skończony ale nieograniczony" — oto zwykła formułka.

Przestrzeni nieskończonej nikt sobie wyobrazić nie może; przestrzeń skończoną, a nie nieograniczoną wyobrazić sobie trudno, ale nie jest to niemożliwe. Nie liczę na to, że mi się uda wytłumaczyć to wam odrazu, ale możemy spróbować. Wyobraźcie sobie najprzód koło; a raczej nie koło, lecz linję, która tworzy jego obwód. Jest to linja skończona, ale bez granicy. Teraz wyobraźcie sobie kulę — powierzchnię kuli — jest to obszar skończony, ale nieograniczony. Powierzchnia Ziemi nigdzie niema granicy: zawsze jest jakiś kraj poza miejscem, do któregoście doszli; tem nie mniej zasób miejsca na Ziemi jest skończony. Posuńmy się o jeden wymiar dalej: koło, kula — następny krok? Teraz dopiero nadchodzi prawdziwa trudność. Skoncentrujcie uwagę na „powierzchni" tej „hipersfery" i wyobraźcie sobie, że nie ma ona wnętrza ani otoczenia: że powłoka istnieje bez wnętrza i otoczenia. Oto przestrzeń skończona, a nieograniczona.

Nic z tego; nie sądzę, żebyście uchwycili to wyobrażenie. Coś wam się nie udało na samym końcu. Prawdziwą trudnością nie było dodanie jeszcze jednego wymiaru; przeciwnie, polegała ona właśnie na tem końcowem ujęciu jednego wymiaru. Mogę powiedzieć, co wam przeszkadza. Korzystacie z wyobrażenia przestrzeni, które powstało zapewne przed wielu miljonami lat i usadowiło się dość mocno w myśli ludzkiej. Lecz świat fizyki nie pozwala krępować siebie tem pierwotnem wyobrażeniem umysłu naszych małpich przod-

ków. Przestrzeń nie musi być podobna do tej prymitywnej koncepcji. Przestrzeń jest... a więc dobrze, przestrzeń jest tem, co wskaże nam eksperyment. Otóż, te cechy przestrzeni, które odkrywamy dzięki eksperymentowi to rozciągłości, długości, odległości i t. d. W ten sposób przestrzeń okazuje się siatką odległości. Odległości są ogniwami, których wewnętrzna istota jest niepoznawalna. Nie zaprzeczamy tej niepoznawalności, gdy stosujemy do nich liczby — 2 metry, 5 kilometrów i t. d. — jako rodzaj znaków rozróżniających. Opierając się tylko na naszej wewnętrznej świadomości nie możemy przepowiedzieć praw, według których znaki te są rozdzielone pomiędzy poszczególne człony siatki, podobnie jak nie możemy przepowiedzieć, jak będą poprzydzielane różne znaki dla sił elektromagnetycznych. I jedno i drugie należy do decyzji eksperymentu.

Zakładamy zatem, że jeżeli będziemy wędrowali bardzo długą drogą poprzez wszechświat do punktu A w jednym kierunku i bardzo długą drogą do punktu B w kierunku przeciwnym, to pomiędzy A i B będzie istniało połączenie, któremu odpowiada bardzo mała liczba, jako jego znak. Innemi słowy punkty, które osiągamy podróżując bardzo daleko w przeciwnych kierunkach, okażą się w wyniku doświadczenia bardzo blisko siebie. Czemu nie? Przecie zachodzi to, gdy podróżujemy na wschód i na zachód po Ziemi. Coprawda nasze tradycyjne, nieugięte wyobrażenie przestrzeni, nie chce się na to zgodzić. Ale przecie istniała niegdyś tradycyjna koncepcja, która nie chciała uznać możliwości opłynięcia Ziemi dookoła. Gdyśmy próbowali zbliżyć się do koncepcji przestrzeni sferycznej, najtrudniejszem okazało się zburzenie wnętrza hipersfery i pozostawienie tylko trójwymiarowej powierzchni. Nie wydaje mi się to tak trudne, gdy sobie wyobrazimy przestrzeń jako siatkę odległości. Siatka na powierzchni przedstawia niezależny układ członów, ktore można rozważać bez odniesienia się do jakichś członów zewnętrznych. Możemy zburzyć rusztowanie pomocnicze, które nam pomogło zbliżyć się do wyobra-

żenia tego rodzaju siatki odległości; nie narazimy przez to samej koncepcji na ruinę.

Musimy sobie uprzytomnić, że schemat rozkładu niepoznawalnych relacyj, łączących punkty pomiędzy sobą, nie musi być w zgodzie z jakimś poprzednio ustalonym planem. Niema zatem przeszkód do przyjęcia schematu, narzuconego nam przez eksperyment.

Nie wiemy dotąd, jaki jest promień przestrzeni sferycznej. Musi on być oczywiście niezmiernie wielki w porównaniu ze zwykłemi rozmiarami. Na podstawie dość niepewnych rozważań oszacowano go na kilkakrotną odległość do najdalszej znanej mgławicy. Ale nieograniczoność niema nic wspólnego z rozmiarami. Przestrzeń jest nieograniczona nie dzięki swym olbrzymim rozmiarom, ale dzięki swej postaci, dzięki temu, że przechodzi ona sama w siebie. *To co istnieje* jest skorupką, płynącą w nieskończoność tego, *co nie istnieje*. Powiadamy za Hamletem: „Mógłbym być zamknięty w skorupce orzecha i mieć się za władcę nieskończonej przestrzeni".

Lecz zmora nieskończoności trwa w dziedzinie czasu. Świat jest zamknięty jak kula w swych wymiarach przestrzennych, ale otwarty w wymiarze czasowym. Istnieje zakręt, dzięki któremu wschód staje się zachodem, ale niema zakrętu, dzięki któremu „przed" staje się ostatecznie „po".

Mam wątpliwości, czy jestem teraz zupełnie logiczny, ale trudności związane z nieskończoną przyszłością nie wydają mi się poważne. Trudności z rokiem pańskim ∞ nie będziemy mieli, dopóki on nie nastąpi; z drugiej strony, jeżeli mamy dożyć do tego roku, to trzebaby prawdopodobnie trudność tę zlikwidować przedtem. Nie należy również zapominać, że zgodnie z drugiem prawem termodynamiki cały wszechświat osiągnie stan równowagi termodynamicznej w niebardzo dalekiej przyszłości. Zaginie wtedy strzałka czasu i wraz z nią ulotni się cała koncepcja rozwoju w kierunku przyszłości.

Natomiast trudność nieskończonej przeszłości jest przerażająca. Nie można pojąć tego, że jesteśmy następstwem

nieskończenie długiego przygotowania; z drugiej strony nie mniej jest niepojęte, że istniała chwila, przed którą nie było żadnej innej.

Ten dylemat początku czasu byłby jeszcze dokuczliwszy, gdyby go nie odsuwała inna znowu przytłaczająca trudność, która znajduje się pomiędzy nami a nieskończoną przeszłością. Badaliśmy bieg wszechświata; jeżeli nasze poglądy są słuszne, to gdzieś pomiędzy początkiem czasu a chwilą obecną musimy umieścić moment nakręcenia mechanizmu wszechświata.

Wędrując wstecz w przeszłość, znajdujemy świat z coraz to większym zasobem organizacji. Gdyby nas nie miała zatrzymać żadna barjera, musielibyśmy osiągnąć moment, w którym energja wszechświata była całkowicie zorganizowana i pozbawiona zupełnie elementu przypadkowości. Nie można iść dalej wstecz przy obecnym układzie praw Natury. Nie sądzę, by wyrażenie „całkowicie zorganizowana" mogło nasuwać wątpliwości. Organizacja, o której tu mówimy, daje się ściśle określić, i istnieje granica jej doskonałości. Niema nieskończonego szeregu stanów o coraz to większej organizacji; nie sądzę też, aby istniała granica organizacji, do której się można zbliżać tylko coraz wolniej i wolniej. Nie wydaje się bowiem, że zupełna organizacja jest bardziej zabezpieczona od strat, niż organizacja niezupełna.

Niema wątpliwości, że ustalony od połowy ubiegłego stulecia schemat fizyki postulował pewną chwilę, gdy wszechświat został stworzony i odrazu obdarzony wysoką organizacją; albo też chwilę, w której już istniejące twory zostały tą organizacją obdarzone, trwoniąc ją począwszy od tej chwili. Pozatem organizacja ta jest z natury rzeczy antytezą przypadku, a zatem nie mogła nastąpić przypadkowo.

Oto argument, który wysuwano przez długi czas przeciwko zbyt agresywnemu materjalizmowi. Podawano go jako naukowy dowód interwencji Stwórcy w chwili niebardzo odległej od obecnej. Nie zamierzam bronić podobnie pośpiesznych konkluzyj. Zarówno przyrodnicy, jak teologowie

uważają zapewne za nieco zbyt prymitywną tę naiwną doktrynę teologiczną, którą w odpowiedniem przebraniu można znaleźć w każdym podręczniku termodynamiki: Bóg stworzył świat przed paru miljonami lat i od tej chwili pozostawił go przypadkowi. Zdanie to należy uważać raczej za hipotezę roboczą termodynamiki, niż za wyznanie wiary. Jest to jeden z wniosków tego rodzaju, od którego niema logicznej ucieczki; lecz ma on tę słabą stronę, że jest absolutnie niewiarygodny. Jako przyrodnik nie wierzę poprostu, aby obecny porządek rzeczy miał się zacząć od jakiegoś wybuchu; natomiast, biorąc sprawę nienaukowo, równie niechętnie jestem usposobiony do zastosowanej w tem rozumowaniu nieciągłości istoty boskiej. Lecz nie potrafię wskazać żadnego wyjścia z tej matni.

Wracamy znów do drugiego końca czasu. Istnieje pewna szkoła, dla której myśl o starzeniu się świata jest odpychająca. Pociągają ją zato różne teorje odmłodzenia, godłem jej jest Feniks. Gwiazdy starzeją się i umierają. Czy dwie martwe gwiazdy nie mogą się spotkać i zmienić się dzięki energji zderzenia we wspaniałą parę, z której narodzi się nowe słońce — z planetami i życiem? Teorja ta, bardzo popularna w ubiegłem stuleciu, nie posiada już poważnych zwolenników pomiędzy astronomami. Istnieją dowody na to, że obecne gwiazdy są w każdym razie owocem procesu ewolucji, który przepłynął przez pierwotną materję i zmusił ją do stworzenia skupień. Skupienia te nie powstały na skutek przypadkowych zderzeń, niepowiązanych ze sobą czasowo. Ale kompleks Feniksa działa nieustannie. Wierzymy obecnie, że materja ulega stopniowemu unicestwieniu, a energja jej zamienia się na promieniowanie. Czy nie istnieje może proces, dzięki któremu promieniowanie zbiera się w przestrzeni, rozwija się w elektrony i protony i buduje gwiazdy na nowo? Jest to czysta spekulacja i nic nie można powiedzieć ani na jej korzyść ani na niekorzyść. Ale chciałbym sobie pozwolić na łagodną krytykę poglądu, któryby *pragnął*, aby koncepcja ta była prawdziwa. Wyłączenie mniejszych ekstrawagancyj Natury przy pomocy

tych teoryj nie może powstrzymać nieubłaganego odkręcania się świata przez utratę organizacji i powiększenie elementu przypadkowości. Ktokolwiek pragnie wszechświata, trwającego w wiecznej aktywności, musi przeprowadzić kampanję przeciwko drugiemu prawu termodynamiki. Możliwość ponownego powstania materji z promieniowania nie rozstrzyga zresztą jeszcze sprawy i możemy oczekiwać dość obojętnie dalszych wniosków w tej sprawie.

W chwili obecnej nie widzę żadnej drogi, na której mógłby się udać jakiś atak na drugie prawo termodynamiki. Wyznaję, że osobiście niebardzo pragnę, aby udało się odwrócić definitywne zestarzenie się wszechświata. Nie jestem czcicielem Feniksa. Jest to sprawa, w której nauka nie zabiera głosu i cokolwiek się o niej powie, jest przesądem. Lecz skoro przesąd o niekończącym się nigdy łańcuchu odrodzeń dochodzi tak często do głosu, chciałbym raz dać wyraz przesądowi przeciwnemu. Byłbym bardziej zadowolony, gdyby wszechświat wypełnił jakiś wielki plan ewolucji i, dokonawszy, czego miał dokonać, pogrążył się zpowrotem w chaotyczną niezmienność, niż gdyby zbanalizował się przez ciągłe powtórzenia. Jestem ewolucjonistą, a nie multyplikacjonistą. Powtarzanie ciągle tego samego wydaje się zajęciem raczej głupiem.

Rozdział V

ROZWÓJ WSZECHŚWIATA

Związek pomiędzy entropją a rozwojem. Gdyby ktoś zapewniał, że staje się z każdym dniem coraz lepszy, fizyka mogłaby mu odpowiedzieć niegrzecznie:

„Nie dostrzegam tego. Widzę na czterowymiarowej mapie wszechświata, że rozciągasz się jako robak w czasoprzestrzeni. Ocena przymiotów charakteru nie jest moją sprawą, lecz jestem gotowa przyznać, że jedna z twych stron jest lepsza od drugiej. Lecz to, czy *stajesz* się lepszy, czy gorszy, zależy tylko od tego, którą stroną do góry ustawić czterowymiarową mapę świata, na której się i ty znajdujesz. Wiem, że w twej świadomości istnieje jakieś wyobrażenie zmiany czy rozwoju. Gdyby odpowiadało ono jakiejś rzeczywistości, mogłabym się opatrzyć strzałką, któraby wskazywała: „tu strona górna". Tymczasem, pomimo starannych poszukiwań, nie znajduję nawet śladu takiej strzałki w całym świecie fizyki. Żywię zatem poważne podejrzenie, że nie istnieje ona poprostu w świecie rzeczywistym".

Tak mogłaby odpowiedzieć fizyka, gdyby opierała się jedynie na prawach pierwotnych. Prawa wtórne podsuwają jej odpowiedź nieco inną, jakkolwiek wciąż jeszcze mało uprzejmą:

„Zbadałam całą sprawę raz jeszcze, wystudjowałam wielkość, zwaną entropją, i przyszłam do wniosku, że istnieje w świecie fizycznym strzałka, która służy być może do wskazania, w jaki sposób należy świat ustawić, by go obserwować we właściwy sposób. Przy takiem ustawieniu widzę,

że stajesz się istotnie lepszy. Lub też, jeżeli się wyrażać dokładniej: twoja dobra strona znajduje się w tej części świata, w której entropja jest większa, a zła — w przeciwnej. Ale nie widzę zupełnie, dlaczego to ustawienie jest właściwsze, niż ustawienie twego przyjaciela, którego dobra i zła strona są położone odwrotnie".

Powstaje tu przed nami zagadnienie połączenia świata symbolicznego fizyki ze światem doświadczenia powszedniego. Jak to wyjaśniliśmy we Wstępie, sprawa ta pojawia się po zakończeniu rozważań ściśle fizykalnych. Mamy w tej chwili przed sobą zagadnienie powiązania entropji, która nam daje strzałkę czasu, z pojęciem „rozwoju" czy „stawania się", które jest odpowiednikiem strzałki czasu w zakresie doświadczenia powszedniego. Wydaje się nam, żeśmy w poprzednim rozdziale wyjaśnili wyczerpująco, że pierwsze jest jedynym naukowym odpowiednikiem drugiego.

Powstaje tu jednak podwójna trudność przy traktowaniu entropji jako symbolicznego równoważnika upływu czasu, dobrze znanego naszej świadomości. Po pierwsze, wydaje się, że symbol ten posiada niewłaściwą istotę: jest to zawiła konstrukcja matematyczna, podczas gdy należałoby się spodziewać, że tak podstawowa koncepcja jak „rozwój" powinna należeć do pierwotnych, niedefinjowanych wyrazów systemu — do abecadła fizyki. Powtóre, wydaje się, że ten symbol nie jest dokładnie tem, co nam było potrzebne. Chodzi nam o ujęcie jakiejś treści, o uchwycenie pewnej dynamicznej cechy świata zewnętrznego, która nie może być chyba oddana przez symbol zwykłego typu, uzyskany przez pomiar. Do stwierdzenia „dorzeczności" świata nie wystarcza, że po jednej jego stronie jest więcej przypadku, niż po drugiej. Musimy przypisać mu cechę, odpowiadającą prawdziwemu znaczeniu „rozwoju", nie możemy się zadowolić sztucznym, symbolicznym surogatem.

Powiązanie zmian entropji z „rozwojem" przedstawia trudności niepodobne zgoła do tych, które spotykamy w innych zagadnieniach paralelizmu pomiędzy światem naukowym a światem doświadczenia powszedniego. Zwykle spo-

tykany stosunek można zilustrować przez pospolite postrzeżenie barwy i jego równoważnik naukowy w postaci długości fali elektromagnetycznej. Nie pojawia się tu wogóle sprawa podobieństwa pomiędzy zewnętrzną przyczyną fizyczną, a powstającem doznaniem psychicznem. Żądamy tu od symbolicznego odpowiednika barwy wyłącznie tego, by przysługiwała mu możliwość spowodowania procesu w nerwie (również symbolicznym). Fizjolog może śledzić proces podrażnienia nerwu aż do mózgu. Ale ostatecznie trafiamy na lukę, której usunięcia nikt się nie podejmuje. Symbolicznie możemy śledzić wpływy świata fizycznego aż do bram duszy.

Ale skojarzenie „rozwoju" ze zmianą entropji nie może być zrozumiane w ten sam sposób. Nie wystarcza nam oczywiście wyobrażenie, że zmiana elementu przypadkowości w świecie działa na zakończenie nerwu, pozostawiając duszy, w wyniku tej podniety, stworzenie wrażenia, że została obrócona korba kinematografu. Musimy uważać uczucie „rozwoju" (przynajmniej pod pewnemi względami) za właściwe ujęcie psychiczne tych procesów fizycznych, które je wywołują. W przeciwnym razie musielibyśmy uznać, że zupełnie fałszywie ujęliśmy sens świata zewnętrznego, opisując go w terminach ewolucji i postępu, zamiast rozciągłości statycznej. Nie ulega wątpliwości, że zawsze istnieje pewne miejsce, w którem tracimy z oczu twory fizyczne, zanim się nam ukażą w nowej szacie ponad horyzontem naszej duszy; i to zarówno wtedy, gdy idzie o świadomość „rozwoju", jak wtedy gdy idzie o bardziej typowe czucia zmysłowe: światło, dźwięk, zapach i t. d. Lecz jeżeli istnieje jakieś przeżycie, w którem owa tajemnica poznania psychicznego może być traktowana raczej jako *wgląd*, niż jako stworzenie *wyobrażenia*, to jest niem „rozwój". W tym bowiem przypadku nie wkracza złożony mechanizm przebiegów nerwowych. To co świadomość wyczytuje, gdy odczuwa przepływające chwile, leży tuż przed jej bramą. Tymczasem, nawet gdyby wolno było uważać nasze żywe odczucie barwy jako wgląd, nie mógłby to być wgląd w fale elektro-

magnetyczne, bo te kończą się na siatkówce, daleko od świadomości.

Obawiam się, że przeciętny czytelnik będzie zniecierpliwiony tą zawikłaną dyskusją, dotyczącą dynamicznego charakteru świata zewnętrznego. „Poco to zawracanie głowy? Czemu nie założyć poprostu, że ‚rozwój' jest rodzajem jednokierunkowej osnowy, uwikłanej w sposób podstawowy w budowę świata? Umysł nasz poznaje tę osnowę (jak poznaje inne cechy świata fizycznego) i postrzega ją, jako mijanie czasu — całkiem poprawna zresztą ocena jej właściwej istoty. Jednokierunkowa ta osnowa powoduje, że element przypadkowości rośnie stale w kierunku włókna, i w ten sposób zapewnia fizykowi wygodne kryterjum doświadczalne do wyznaczania kierunku włókna. Ale w zasadzie *samo* włókno jest bezpośrednim odpowiednikiem fizycznym „rozwoju", a nie ta jego szczególna własność. Być może trudnoby było znaleźć ścisły dowód tej hipotezy. Ale ostatecznie naogół musimy się zadowalać hipotezami, które się opierają wyłącznie na wiarygodności".

Istotnie, jest to mniej więcej ten pogląd, którego zamierzam bronić. Ale „przeciętny czytelnik" nie zauważył być może tego, że zanim fizyk taką hipotezę przyjmie, musi zdać sobie sprawę z granic metody naukowej i roli podstawowych praw doświadczalnych. Inna to rzecz wprowadzić rozsądną hipotezę w celu wyjaśnienia obserwowanych zjawisk, a inna znowu wprowadzić ją w celu nadania światu zewnętrznemu pewnego sensu celowego, choćby ten sens był nie wiem jak mocno podkreślany przez naszą świadomość. Od strony badania naukowego poznajemy wyłącznie postępującą stale zmianę elementu przypadkowości od tego końca świata, w którym przypadkowość jest mniejsza, do końca, w którym jest większa. To spostrzeżenie, samo przez się, nie daje żadnych podstaw do podejrzewania jakiegoś dynamicznego sensu świata. Bronimy tu stanowiska, które się sprowadza do przyznania, że świadomość wyzierając przez prywatne wyjście, przez bezpośredni wgląd może poznać pewną cechę świata, której nie ujawniają pomiary fizyczne.

We wszelkich usiłowaniach przerzucenia mostu pomiędzy dziedzinami doświadczenia, odpowiadającemi duchowej i fizycznej stronie naszej istoty natykamy się na zagadnienie czasu. Już wspominałem, że ma on dwa wejścia do naszej świadomości — jedno przez organa zmysłowe, które wiążą go z innemi tworami świata fizycznego, a drugie bezpośrednio — jakby przez prywatne wejście do duszy. Fizyk, którego metody badania polegają na wysubtelnieniu naszych zmysłów zapomocą dodatkowych przyrządów precyzyjnych, nie spogląda oczywiście łaskawem okiem na to prywatne wejście, przez które mogłvby się również przestać najróżniejsze fantastyczne przesądy. Lecz czy zgodzi się on na całkowite zlekceważenie tej wiedzy o czasie, która nas przez te drzwi doszła i czy zadowoli się czasem, wyłuskanym z wrażeń zmysłowych i pozbawionym wszelkich cech dynamicznych?

Niektórzy odpowiedzą bezwątpienia twierdząco. Tym chciałbym powiedzieć: udowodnijcie swą dobrą wiarę przez odwrócenie jakości dynamicznych czasu — możecie wszak to zrobić, skoro nie są one w Naturze ważne. Spróbujcie, poprostu dla odmiany, dać nam obraz świata, który biegnie od stanów o większej przypadkowości do stanów o mniejszej przypadkowości, tak żeby każdy krok był zwycięstwem szansy ujemnej nad dodatnią. Jeżeli jesteś biologiem, pokaż, jak od człowieka i mirjadów innych złożonych form, Natura z biegiem wieków doszła do wzniosłej prostoty struktury ameby. Jeżeli jesteś astronomem, pokaż, jak fale światła śpieszą z głębin przestrzeni i zgęszczają się w gwiazdy, jak skomplikowany układ słoneczny roztapia się zpowrotem w płaszczyznę mgławicy. Czy to jest natchniona perspektywa, którą pragniesz zastąpić pierwszy rozdział Genesis? Jeżeli naprawdę wierzysz, że przeciwewolucyjna teorja jest równie prawdziwa i sensowna jak ewolucyjna, to wielki czas, by zaprotestować przeciwko powszechnemu szerzeniu owej jednostronnej wersji.

Charakter dynamiczny świata zewnętrznego. Gdyby nie nasze przekonanie o dynamicznym charakterze czasu, pochodzące z innego źródła, moglibyśmy zająć stanowisko, że „rozwój" jest czysto subjektywnym przeżyciem, że w świecie zewnętrznym niema żadnego „rozwoju", że świat rozciąga się biernie w kierunku czasu, jak to przedstawił Minkowski. Według tego poglądu świadomość moja stwarza własne uporządkowanie dla wrażeń zmysłowych, przeżytych w różnych punktach tego obszaru świata zewnętrznego, który zajmuje robak czterowymiarowy, w jakiś tajemniczy sposób utożsamiany ze Mną. Przez zogniskowanie wrażeń otrzymanych w jakimś szczególnym punkcie świata, uzyskuje złudzenie, że odpowiednie zdarzenia zewnętrzne „zachodzą". Przypuszczam, że to wystarczyłoby do opisu obserwowanych zjawisk. Lecz zarzuty, które możnaby postawić takiemu stanowisku, sprowadzają się do tego, że pozbawia ono świat wszelkiego wewnętrznego charakteru dynamicznego.

Jest rzeczą bardzo pożyteczną zorjentować się, w jakim stopniu większość naszych elementarnych rozumowań zakłada milcząco istnienie tej cechy dynamicznej, czy tego zdążania. Wykorzenienie jej sparaliżowałoby niemal naszą zdolność wnioskowania. Przy tasowaniu kart wydaje się aksjomatem, że karty muszą się znajdować w większym nieporządku w chwili *późniejszej*. Czy możecie sobie wyobrazić taką Naturę, w której zdanie to nie jest jawnie prawdziwe? Lecz cóż tu rozumiemy przez „później"? O ile idzie o aksjomatyczny charakter tego wniosku (a nie o jego potwierdzenie doświadczalne) nie możemy pojmować wyrazu „później" według wskazań bezpośredniej świadomości. Oczywistość tego wniosku nie jest związana z żadnemi rozważaniami o zachowaniu się świadomości. Czy zatem rozumiemy wyraz „później" zgodnie z fizycznem kryterjum strzałki czasu, t. j. ze zwiększaniem się elementu przypadkowości? Ale wtedy otrzymalibyśmy tautologję: karty są właśnie wtedy w większym nieporządku, kiedy jest więcej elementu przypadkowości. Nie mieliśmy na myśli tautologji; nieuprzedzeni przy-

jęliśmy jako podstawę do naszych rozważań pewne wyraźne dążenie od przeszłości do przyszłości w czasoprzestrzeni, w której się odbywa tasowanie.

Cała trudność tkwi w tem, że chociaż zmiana określona jako sortowanie jest dokładnem przeciwstawieniem zmiany zwanej tasowaniem, to nie możemy sobie wyobrazić, aby powód sortowania był dokładnie przeciwny powodowi tasowania. Wobec tego, zmiana kierunku czasu, która z tasowania czyni sortowanie, nie dokonywa odpowiedniej zmiany w ich przyczynach. Tasowanie może posiadać powody nieorganiczne, ale sortowanie jest przywilejem umysłu albo instynktu. Nie możemy uwierzyć, że jedyną rzeczą, która nas odróżnia od przyrody nieorganicznej, jest pewna orjentacja w stosunku do kierunku czasu. Tasowanie odnosi się do sortowania (o ile chodzi o zmianę konfiguracji), jak plus do minusa. Ale gdybyśmy powiedzieli, że przyczyna tasowania odnosi się do przyczyny sortowania w ten sposób, to sprowadzałoby się to do tego, że działanie umysłu i działanie materji są w stosunku plusa do minusa — oczywisty nonsens. Wobec tego, jeżeli oglądamy świat w kierunku od przyszłości do przeszłości, tak że tasowanie i sortowanie ulegają przestawieniu, to przyczyny ich nie przystosowują się do tego przestawienia i racjonalne powiązanie jest zniszczone. Aby rzecz naprawić, musimy przypuścić, że przez tę zmianę kierunku coś jeszcze się odwróciło, naprzykład owo dążenie w osnowie świata, o której była mowa wyżej. Zamiast „rozwoju“ będziemy mieli „odrozwój“. Jeżeli sobie życzymy, możemy teraz zabrać się do wytłumaczenia, dlaczego *tasowanie się odstaje* (nie dlaczego *staje się odtasowanie!*). Jeżeli chcemy dalej rozwijać ten pogląd, musimy rozstrząsać nie przyczyny, ale jakieś „odprzyczyny“. Lecz dość tych słownikowych łamańców: idzie oczywiście o to, że „rozwój“ zapewnia światu osnowę, której usunięcie grozi niedorzecznością.

Objektywność rozwoju. Naogół opisujemy świat powszedni jako subjektywny, a świat naukowy jako objektywny. Wróćmy do poprzedniego przykładu odpowiedniości barwy ze świata powszedniego i długości fali elektromagnetycznej w świecie naukowym. W tym przypadku nie wahamy się określić fale jako objektywne, a barwy jako subjektywne. Fala jest realnością, a w każdym razie czemś, co się najlepiej nadaje do opisu rzeczywistości. Barwa to tylko jakaś przędza duszy. Piękne kolory, przepływające przez naszą świadomość, dzięki podnietom fal elektromagnetycznych, nie mają żadnego znaczenia dla objektywnej rzeczywistości. Dla daltonisty kolory są inne i jakkolwiek normalne osoby rozróżniają barwy w jednakowy sposób, nie możemy stwierdzić, czy ich czucie czerwonego, niebieskiego i t. d. jest takie samo jak nasze. Co więcej: stwierdzamy że dłuższe i krótsze fale elektromagnetyczne, z któremi nie są związane efekty wzrokowe, są równie rzeczywiste jak fale barwne. W tym przypadku odpowiedniości, i w innych element objektywny znajduje się w świecie naukowym, a subjektywny w powszednim.

Ale w odpowiedniości pomiędzy gradjentem entropji i „rozwojem“ subjektywny i objektywny element, jak się wydaje, zostały przestawione. „Rozwój“ jest niewątpliwie rzeczywisty — czy też najbliższy tego, co możemy powiedzieć o rzeczywistości. Jesteśmy przekonani, że światu zewnętrznemu należy przypisać charakter dynamiczny. Godzę się na wszelkie obrazy w świecie naukowym, ale pomimo to nie widzę, jakby istota „rozwoju“ mogła okazać się bardzo różna od tego, czem nam się wydaje. Z drugiej strony mamy entropję, która jest jawnie bardziej subjektywnej natury, niż większość zwykłych cech fizycznych. Entropja jest oszacowaniem uporządkownia i organizacji; jest ona subjektywna w tym sensie, w jakim jest nią naprzykład konstelacja Orjona. To, co jest porządkowane, jest objektywne, a więc naprzykład gwiazdy, składające się na konstelację. Lecz sposób uporządkowania pochodzi od obserwującego umysłu. Jeżeli barwa jest przędzą duszy, to również entropja jest

przędzą duszy statystyka. Posiada ona mniej więcej taki stopień objektywności jak jakaś średnia statystyczna.

Fizyk powie naogół, że materja tego zwykłego stołu jest *naprawdę* krzywizną przestrzeni; że jego barwa to *naprawdę* długość fali elektromagnetycznej. Ale nie sądzę, by mógł powiedzieć, że dobrze znany upływ czasu to *naprawdę* gradjent entropji. Cytuję teraz sformułowania dość swobodne, lecz pomimo to ujawniają one zasadniczą różnicę w naszem stanowisku względem tej ostatniej odpowiedniości. Skorośmy się przekonali, że te dwie rzeczy są z sobą powiązane, musimy przyjść do wniosku, że istnieje coś jeszcze nieuchwyconego przez pojęcie entropji — jakaś mistyczna interpretacja, jeżeli wolicie — coś nieujawnionego przez definicję, która to pojęcie wprowadziła do fizyki. Krótko mówiąc, pragniemy się przekonać, że gradjent entropji jest *rzeczywiście* upływem czasu, a nie naodwrót.

Zanim pójdę dalej, chciałbym zauważyć, że to wyjątkowe przestawienie subjektywności i objektywności, które tu oczywiście występują odpowiednio nie w tych światach co zwykle, daje wiele do myślenia. Może nas ono przygotować do poglądu na świat, wyłożonego w dalszych rozdziałach, który jest bardziej objektywny niż pogląd rezprezentowany przez naukę.

Im dokładniej rozważamy związek entropji z „rozwojem", tem większe się piętrzą trudności. Nie byłoby ich, gdyby entropja była jednym z podstawowych wyrazów niedefinjowanych systemu, albo też, gdybyśmy upływ czasu postrzegali bezpośrednio zmysłami. Ale to połączenie, które spotykamy w rzeczywistości, odznacza się jedyną w swym rodzaju trudnością.

Wyobraźmy sobie, że chcielibyśmy zidentyfikować „rozwój" z gradjentem potencjału elektrycznego zamiast ze zmianą entropji. Badamy potencjał zapomocą wskazań woltomierza. Wskazania liczbowe reprezentują coś w układzie świata, ale nie tworzymy sobie o tem czemś żadnego obrazu. W badaniach naukowych korzystamy wyłącznie z wartości liczbowych, t. j. ze znaku liczbowego, związanego jakoś

z tłem, które znajduje się poza wszelkiem poznaniem. Byłoby bardzo interesujące, gdyby się udało związać ten tajemniczy potencjał z jedną z naszych powszednich koncepcyj. Oczywiście, gdybyśmy potrafili utożsamić zmiany potencjału z powszednim upływem czasu, byłby to wielki krok w kierunku uchwycenia jego natury. Lecz wracając od przypuszczenia do rzeczywistości, wypada naprawdę utożsamić gradjent potencjału z siłą. Otóż, mamy wprawdzie powszednie wyobrażenie siły: czucie napięcia mięśniowego. Ale nie daje nam to żadnego wyobrażenia o wewnętrznej naturze gradjentu potencjału. Czucie to jest zwykłą przędzą duszy, wywołaną przez impulsy nerwowe, które przebyły długą drogę od siedliska siły do naszej świadomości. To samo zachodzi dla wszystkich tworów fizycznych, które oddziaływują na duszę poprzez organa zmysłowe. Wstawiony mechanizm nerwowy przeszkadza jakiemuś ściślejszemu zbliżeniu wyobrażenia z przyczyną fizyczną, nawet gdybyśmy byli skłonni wierzyć naszemu postrzeganiu wtedy, gdy działa ono bezpośrednio.

Lub też przypuśćmy, że chcielibyśmy zidentyfikować siłę z gradjentem entropji. Oznaczałoby to tylko, że gradjent jest pewną podnietą dla nerwu, który naskutek tego przekazuje pewien impuls do mózgu, a z tego impulsu dusza przędzie swe własne, specyficzne wrażenie siły. Nikt nie odczuje intucyjnego oporu w obliczu hipotezy, że mięśniowe czucie siły jest skojarzone ze zmianą organizacji cząsteczek mięśnia.

Kłopot nasz polega na tem, że mamy skojarzyć rzeczy, z których każdą mniej więcej rozumiemy. I właśnie tak, jak je rozumiemy, są one zasadniczo różne. Byłoby niedorzeczne twierdzić, że nie znamy organizacji świata zewnętrznego w ten sposób, jak nie znamy wewnętrznej natury potencjału. Byłoby też niedorzeczne twierdzić, że nie mamy rozsądnego wyobrażenia „rozwoju“ w świecie zewnętrznym. Ta cecha dynamiczna, ten sens, dzięki któremu rozwój od przeszłości do przyszłości jest rozsądny, a rozwój od przyszłości do przeszłości ma charakter groteskowy, ta cecha

ma coś więcej do powiedzenia, niż proste wyłączenie procesu nerwowego. Jest ona tak wrośnięta w naszą świadomość, że upływ czasu staje się jej warunkiem. Możemy bezpośrednio wejrzeć w „rozwój", i to wejrzenie odrzuca całą wiedzę symboliczną, którą umieszcza na niższej płaszczyźnie. Podobnie jak umiem uchwycić pojęcie istnienia, bo sam istnieję, tak umiem uchwycić pojęcie rozwoju, bo sam się rozwijam. To najwewnętrzniejsze Ja wszystkiego istnieje i staje się.

Jest rzeczą widoczną, że symbolizowanie tej podstawowej intuicji za pośrednictwem układu mikroskopowych składników świata, jest niewspółmierne. Ale na co ta trudność właściwie wskazuje? Jak dotąd jest to zupełnie niejasne. Nie jest ona jednak bez znaczenia dla pewnych zmian poważnej opinji naukowej, które możemy zauważyć w związku z zagadnieniem praw pierwotnych i wtórnych. Żelazny determinizm praw pierwotnych jest wciąż, jak sądzę, szeroko uznawany, ale już nie bez wahania. Wydaje się obecnie jasne, że dotąd nie uchwyciliśmy ani jednego prawa pierwotnego — że wszystkie prawa, uważane niegdyś za pierwotne, są w istocie rzeczy statystyczne. Można bezwątpienia odpowiedzieć, że właśnie tego należało się spodziewać; że musimy się przygotować na długie poszukiwania, zanim dotrzemy do ostatecznych podstaw, i że nie wolno się nam rozczarowywać, jeżeli pod nowemi odkryciami ukazują się nieoczekiwane głębie. Na to mógłby znów ktoś odpowiedzieć, żeśmy tu przyłapali Naturę na nieco brzydkim fortelu, obliczonym na to, aby nam przeszkodzić w odkryciu praw pierwotnych, na fortelu podobnym do tego, który udaremnił nasze próby odkrycia szybkości względem eteru*. Co do mnie, sądzę, że Natura jest w gruncie rzeczy uczciwa i że ucieka się do tej pozornej gry w chowanego tylko wtedy, gdy szukamy czegoś, co nie istnieje. Trudno teraz znaleźć jakieś usprawiedliwienie, poza domniemaną koniecznością myślową, dla owego głęboko zakorzenionego przekonania o ostatecznej możliwości determi-

* por. str. 26.

stycznego ujęcia świata. Myśl nauczyła się w ciągu ostatnich kilku lat obywać bez bardzo wielu „konieczności".

Nie byłoby niespodzianką, gdyby naskutek rekonstrukcji schematu fizyki, do której nas teraz zmusza teorja kwantów, zamiast praw pierwotnych stały się podstawą prawa wtórne. W tym zrekonstruowanym świecie nic nie byłoby niemożliwe, jakkolwiek istniałoby wiele rzeczy nieprawdopodobnych. Skutek jest ostatecznie ten sam, ale mechanizm, który musimy w tym celu obmyślić, jest zupełnie innego rodzaju. Później będziemy jeszcze nieraz zahaczali o to zagadnienie, więc się niem tu dłużej zajmować nie będę. Entropja, wielkość wprowadzona w związku z drugiem prawem, zajmie teraz samodzielne, zaszczytne stanowisko, zamiast, jak to było w poprzednim, zarzuconym schemacie, opisywać tylko ugrupowanie wielkości. I na tem nowem stanowisku będzie mogła łatwiej być przyjęta, jako symbol dynamicznego charakteru świata. Nie mogę wypowiedzieć swej myśli dokładniej, ponieważ omawiam przypuszczalną zmianę stanowiska, której jeszcze nikt nie potrafił przeprowadzić.

Nasze dwojakie poznanie czasu. Separacja pomiędzy czasem a strzałką czasu jest inną uderzającą osobliwością. Istota z innego świata, którąby chciała zbadać związek czasowy dwóch zjawisk w naszym świecie, musiałaby odczytać dwa różne wskazania. Musiałaby odczytać zegar, aby stwierdzić, *o ile* drugie zjawisko zdarzyło się później niż pierwsze. Następnie musiałaby odczytać wskazania jakiegoś przyrządu mierzącego dezorganizację energji (np. termometru), aby wykryć, *które* zjawisko jest późniejsze *. Po-

* Aby badanie to wykonać ściśle z innego świata nie musi istota ta przyjmować, że cyfry na tarczy zegara biegną koniecznie we właściwym kierunku, ani też że świadomość jej znajduje się w jakimś stosunku do upływu czasu w naszym świecie. Posiada ona zatem dwa wskazania na tarczy, odpowiadające dwum tym zjawiskom, nie wiedząc przytem czy różnicę należy opatrzyć znakiem plus czy minus. Termometru będzie ona używała do badania dwóch ciał w zetknięciu, gorącego i zimnego, odczy-

dział pracy jest tembardziej uderzający, jeżeli sobie przypomnimy, że nasze najlepsze zegary to te, w których wszystkie procesy, jak wprowadzające dezorganizację energji tarcie, są usunięte tak starannie, jak to jest możliwe. Im doskonalszy jest przyrząd jako miernik czasu, tem dokładniej ukrywa on strzałkę czasu.

Wyjaśnienie tego paradoksu tkwi, jak się zdaje, w fakcie, na który wskazywaliśmy w rozdziale III: że czas przenika do naszej świadomości na dwóch drogach. Wyobraźmy sobie umysł jako redakcję dziennika, otrzymującą za pośrednictwem nerwów (drutów telegraficznych) urwane wiadomości z całego świata zewnętrznego. Z wiadomości tych powstaje kronika przy znacznym, jak się obawiam, udziale dziennikarskiej fantazji. Podobnie jak inne wielkości fizyczne, wchodzi czas tą samą drogą, jako pewna szczególna, mierzalna relacja pomiędzy zjawiskami świata zewnętrznego; ale wchodzi on bez swej strzałki. Niezależnie od tego redaktor przeżywa czas w swej świadomości, jako relację czasową wzdłuż jego własnego szlaku poprzez świat. To przeżycie jest już bezpośrednie, nie jest ono wiadomością zzewnątrz; lecz redaktor zdaje sobie sprawę z tego, że czas, który przeżywa, jest równoważny czasowi opisanemu w tych wiadomościach. Otóż, świadomość stwierdza, że ten prywatny czas posiada strzałkę i wobec tego podsuwa myśl poszukiwania tej strzałki i w wiadomościach zzewnątrz. I rzecz uderzająca: znaleźliśmy ostatecznie strzałkę czasu pomiędzy wiadomościami zzewnątrz, ale nie we wskazaniach zegarów, lecz we wskazaniach termometrów i podobnych przyrządów, które zazwyczaj nie mają pretensji do mierzenia czasu.

Świadomość, poza stwierdzaniem strzałki czasu, mierzy również zgruba jego upływ. Chociaż posiada ona poprawne wyobrażenia o mierzeniu czasu, ale wykonywa to po partacku. Świadomość nasza w jakiś sposób utrzymuje

tując różnicę we wskazaniach termometru przy zetknięciu z jednem i drugiem ciałem. Różnicę te obliczy dwukrotnie, w chwilach krańcowych badanego zjawiska; mniejszej różnicy będzie odpowiadała chwila końcowa.

ścisły kontakt z światem zewnętrznym i musimy przypuścić, że jej sposób notowania przebiegu czasu polega na odczytywaniu jakiegoś zegara w jakimś zakątku mózgu, zegara chodzącego prawdopodobnie dość kiepsko. Kiedyś wyobrażałem sobie ten nasz naturalny zegar, jako coś analogicznego do zegarów fizycznych, przeznaczonych do porządnego mierzenia czasu. Teraz jednak jestem skłonny przypuszczać, że właściwsza będzie analogja z zegarem entropjowym, to jest z przyrządem przeznaczonym zasadniczo do mierzenia stopnia dezorganizacji energji i mierzącym czas bardzo tylko zgruba.

Typowy zegar entropjowy możnaby zbudować w następujący sposób. Obwód elektryczny jest utworzony z dwóch różnych metali; dwa miejsca, w których są one spojone, znajdują się odpowiednio w ciele gorącem i zimnem, przyczem ciała te się stykają. Obwód ten zawiera galwanometr, który stanowi tarczę zegara entropjowego. Prąd termoelektryczny w obwodzie jest proporcjonalny do różnicy temperatur obu ciał. Gdy tasowanie energji pomiędzy temi ciałami postępuje naprzód, różnica temperatur maleje i wskazanie galwanometru ciągle się obniża. Zegar ten poinformowałby nieomylnie obserwatora z innego świata, które z dwóch danych wydarzeń jest późniejsze. Widzieliśmy, że żaden zwykły zegar tego nie potrafi. Co się tyczy jego kwalifikacji do mierzenia czasu, możemy powiedzieć tylko tyle, że ruch strzałki galwanometru znajduje się w pewnym związku z szybkością upływu czasu. Właśnie tyle tylko możnaby pewnie powiedzieć również o kwalifikacjach świadomości do mierzenia czasu.

Dlatego wydaje mi się, że świadomość nasza, ze swoim akcentem na strzałce czasu i swemi mętnemi wyobrażeniami o jego pomiarze, kieruje się zegarami entropjowemi, umieszczonemi w jakimś zakątku mózgu. W ten sposób unikamy nienaturalnego założenia, że zwracamy się do dwóch różnych komórek mózgu, gdy tworzymy odpowiednio nasze wyobrażenia o *trwaniu* i *rozwoju*. Gradjent entropji byłby zatem pod obu względami bezpośrednim odpowiednikiem

czasu świadomości. Natomiast trwanie, mierzone za pośrednictwem zegarów fizycznych (interwał czasowy), ma z czasem świadomości związek tylko odległy.

Spróbujmy uporządkować nasze wiadomości o czasie, streszczając wyniki, do których doszliśmy. Po pierwsze, *czas fizyczny* to układ przekrojów świata czterowymiarowego (chwile powszechne). Są one sztuczne, względne i bynajmniej nie odpowiadają niczemu, wskazanemu nam przez czas świadomości. Powtóre, poznajemy w teorji względności coś zwanego *relacją czasową*, całkowicie różnego od relacji przestrzennej. Jednem z następstw tego rozróżnienia jest to, że dusza, związana z ciałem materjalnem, może przeżywać jedynie relacje czasowe. W ten sposób, jeżeli nawet niema ściślejszego związku, istnieje conajmniej odpowiedniość wzajemnie jednoznaczna pomiędzy szeregiem faz umysłu a szeregiem zjawisk, znajdujących się w relacji czasowej. Skoro umysł interpretuje swój własny szereg jako *czas świadomości*, to możemy w każdym razie powiedzieć, że relacja czasowa w fizyce posiada jakiś związek z czasem świadomości, obcy relacjom przestrzennym. Wątpię, czy związek ten posiada jakiś ściślejszy charakter. Nie sądzę, by szereg stanów umysłu był poznaniem fizycznej relacji czasowej, ponieważ w fizyce relacja czasowa jest pozbawiona strzałki. Wydaje mi się natomiast, że jest to poznawanie fizycznego gradjentu entropji, ponieważ ten strzałkę tę posiada. Relacja czasowa i gradjent entropji, ściśle zdefinjowane w fizyce, są zupełnie różne i naogół niezwiązane liczbowo. Lecz oczywiście, inne rzeczy mogą mierzyć upływ czasu, i niema powodu, dla którego wytwarzanie elementu przypadkowości w jakiejś specjalnej dziedzinie mózgu nie miałoby przebiegać mniej więcej jednostajnie. W tym przypadku nie byłoby zbyt wielkiej rozbieżności pomiędzy upływem czasu świadomości i długością odpowiedniej relacji czasowej w świecie fizycznym.

Odwrót nauki od analizy mikroskopowej. Ze stanowiska filozofji fizyki pojęcie entropji należy zakwalifikować jako do-

niosły wkład XIX stulecia do dorobku myśli naukowej. Zapoczątkowało ono odwrót od poglądu, że wszystko, co jest ważne dla fizyki, można odkryć na drodze mikroskopowego rozdrobnienia ciała, i doprowadziło do innego możliwego stanowiska, w którem ognisko zainteresowania przesuwa się z tworów, osiąganych przez zwykłą analizę (atomy, potencjały elektryczne i t. d.) na cechy, posiadane przez układ jako całość. Cechy te nie mogą być podzielone i porozmieszczane kawałeczkami tu i tam. Artysta pragnie stworzyć jakąś treść, której nie może ująć przy pomocy szczegółów mikroskopowych i wobec tego ucieka się do techniki impresjonistycznej. Rzecz osobliwa, że fizyk odczuł tę samą konieczność: ale jego schemat impresjonistyczny jest równie ścisły i nawet bardziej praktyczny w zastosowaniach, niż schemat mikroskopowy.

Gdy badamy spadający kamień, odkrywamy w nim mirjady oddzielnych cząsteczek. Energja kamienia jest podzielona pomiędzy cząsteczki tak, że suma energij cząsteczek daje energję kamienia. Natomiast nie możemy w ten sposób porozdzielać organizacji albo elementu przypadkowości. Twierdzenie, że określony ułamek organizacji jest ulokowany w danej cząsteczce, jest bezsensowne.

Istnieje pewien ideał badania: zajrzeć pokolei do każdego, najdrobniejszego obszaru świata, zbadać, co zawiera i złożyć na tej drodze kompletny inwentarz. Ale w ten sposób pominęlibyśmy te własności świata, które nie są ulokowane w drobnych obszarach. Wydaje się nam często, że skoro zbadaliśmy *jeden*, to wiemy wszystko o *dwu*, ponieważ „dwa“ to „jeden i jeden“. Zapominamy o tem, że trzeba jeszcze przeprowadzić badanie „i“. Fizyka praw wtórnych to właśnie badanie „i“, to badanie organizacji.

Dzięki przenikliwości pionierów ubiegłego stulecia fizyka uświadomiła sobie, że pomija coś praktycznie ważnego, gdy trzyma się inwentarzowej metody fizyki praw pierwotnych. Uznano entropję, chociaż jej nie znaleziono w żadnym z owych obszarów cząstkowych. Odkryto ją i wyniesiono wysoko, ponieważ była potrzebna do praktycznych zastosowań

fizyki, a nie do zaspokojenia jakiegoś głodu filozoficznego. Lecz ponadto uratowała ona naukę od fatalnego zacieśnienia. Gdybyśmy się trzymali wyłącznie metody inwentarzowej, nie umielibyśmy przedstawić „rozwoju“ w świecie fizycznym. I nauka po bezowocnych poszukiwaniach stwierdziłaby, być może, że „rozwój“ jest jakąś bezpodstawną iluzją umysłu — jak piękno, życie, dusza i inne rzeczy, których nie można zainwentarzować.

Sądzę, że można byłoby mieć wątpliwości, czy intruz ten jest pojęciem ściśle naukowem. Entropja nie miała tego samego charakteru, co inne wielkości fizyczne, uznane w nauce, i to rozszerzenie — jak niebawem zobaczymy — obrało kierunek bardzo niebezpieczny. Skoro raz uznaliśmy cechy uporządkowania za przedmiot fizyki, to trudno już przeprowadzić granicę dla podobnych pojęć. Lecz entropja zapewniła sobie mocne stanowisko w fizyce, zanim jeszcze się okazało, że jest ona miarą elementu przypadkowości w uporządkowaniu. Inżynierowie mieli ją w wielkiem poszanowaniu. Ich poręka była najlepszem świadectwem moralności dla entropji: przyjmowano bowiem ogólnie w owych czasach, że Stworzenie było dziełem inżyniera (a nie matematyka, jak to teraz jest w modzie).

Gdybyśmy mieli rozbić na dwie grupy następujące pojęcia:

odległość, masa, siła elektryczna, entropja, piękno, melodja,

to sądziłbym, że wszystko przemawia za tem, aby umieścić entropję obok piękna i melodji, a nie z trzema pierwszemi. Znajdujemy entropję tylko wtedy, gdy badamy wszystkie części w połączeniu. Podobnie tylko przy oglądaniu czy słuchaniu całości rozpoznajemy piękno albo melodję. Wszystkie te trzy pojęcia są związane z uporządkowaniem. Ważki to fakt, że jedno z nich może figurować w fizyce jako pospolita wielkość. Może się ona utrzymać pomiędzy tubylcami świata fizycznego tylko dlatego, że mówi ich językiem, to znaczy językiem arytmetyki. Posiada miarę, która się wyraża liczbą, i dlatego też zadomowiła się w fizyce. Piękno i melodja nie posiadają tego arytmetycznego hasła i dlatego nie mogą się

tam przedostać. Wyciągamy stąd naukę, że fizyka nie wyszukuje tworów pewnego specjalnego rodzaju, lecz tworów o charakterze metrycznym. Zobaczymy w jednym z dalszych rozdziałów, że fizyka akceptuje właściwie tylko tę ich stronę metryczną i nią się wyłącznie zajmuje. Niby nie pomogło pięknu, gdyby się naprzykład zaopatrzyło w kilka cech metrycznych (wyrażających dajmy na to idealne proporcje symetrji) w nadziei, że się dzięki temu przedostanie w podwoje nauki i rozpocznie tam kampanję estetyczną. Okazałoby się, że te cechy metryczne przyjętoby z honorami, lecz ich sens estetyczny pozostałby za drzwiami. Podobnie zaakceptowano właściwie tylko cechy metryczne entropji. Jeżeli posiada ona — jak to leciutko podejrzewamy — jakiś głębszy sens, dotyczący tego, co się pojawia w naszej świadomości jako *cel* (przeciwstawiony *losowi*) — to sens ten pozostał za drzwiami. Nie wiedzie się jej pod tym względem gorzej niż masie, odległości i podobnym pojęciom, które z pewnością posiadają jakiś sens poza przyporządkowanemi im liczbami. Jeżeli tak, to sens ten znika po wcieleniu ich do schematu naukowego — do świata widm.

Może będziecie skłonni uważać, że gubimy się w subtelnościach, podkreślając, że entropja jest wyłączona z inwentarza mikroskopowej zawartości świata. Jeżeli wszystkie osobniki są przed wami, to widzicie automatycznie również ich połączenia, uporządkowanie i organizację. Jeżeli macie gwiazdy, to macie konstelację. Słusznie, lecz jeżeli macie gwiazdy, to nie bierzecie konstelacyj na serjo. Stało się oficjalnym poglądem nauki, połączonym ściśle z jej materjalistycznem nastawieniem, że konstelacyj nie należy brać na serjo; dopiero konstelacja entropji stworzyła izolowany wyjątek. Gdy rozkładamy obraz na wielką liczbę cząstek farby, zatracamy jego sens estetyczny. Cząstki farby wędrują do inwentarza naukowego, i nauka utrzymuje, że zachowało się tam *wszystko, co naprawdę było w obrazie*. Lecz zachowanie czegoś *w ten sposób* wychodzi na to samo, co zagubienie. Istotą obrazu, jako czegoś różnego od farby, jest uporządkowanie. Czy uporządkowanie zachowało się, czy zaginęło?

Pospolita odpowiedź wydaje się niedostateczna. O ile uporządkowanie oznacza obraz, to zaginęło; ale nauka nie zajmuje się obrazami, lecz barwą. O ile uporządkowanie dotyczy organizacji, to się zachowało; nauka bardzo się interesuje organizacją. Dlaczego mielibyśmy (mówimy teraz jako filozofowie, a nie jako uczeni) rozróżniać dwa te oblicza uporządkowania? Rozróżnienie to pochodzi stąd, że fizykowi nic po obrazie — nie może z niego wyciągnąć dla siebie korzyści. Podobnie malarzowi znowu nic po entropji, bo nie pomaga mu ona do wytworzenia sobie światopoglądu.

Nie próbuję nikogo przekonać, że w świecie zewnętrznym istnieje jakiś objektywny twór: obraz, jako coś różnego od składających go cząstek. Wątpię zresztą, czy zdanie to ma jakiś sens. Pozatem, gdyby nawet tak było, to obraz bynajmniej dzięki temu nie zyskałby szczególnie w mych oczach. Chciałem powiedzieć tylko tyle: Istnieje pewna strona naszej osobowości, która zmusza nas do interesowania się pięknem i innemi strukturami estetycznemi w Naturze i w dziełach człowieka. Znajdujemy zatem w naszem otoczeniu więcej, niż to, co nam wykazuje jego naukowy inwentarz. Przemożne uczucie woła, że to co znajdujemy jest ważne i nieodzowne dla naszego całego istnienia. Lecz czy jest racjonalne? Jakże rozum może traktować taki stosunek inaczej, niż jako przewrotne wykoszlawienie czegoś, co jest przecie ostatecznie tylko zbiorowiskiem atomów, fal eteru i różnych innych rzeczy, bytujących niezależnie? Jeżeli fizyk, jako adwokat rozumu, zajmie takie stanowisko, szepnij mu na ucho jedno słówko: entropja.

Niedostateczność praw pierwotnych. Jestem pewny, że wielu z moich kolegów fizyków ma na rolę entropji pogląd wręcz przeciwny do mojego, to jest nie uznaje, że entropja jest czemś obcem schematowi mikroskopowemu, ale zarazem istotnem dla świata fizycznego. Uważają oni raczej, że jest ona ekonomicznym wybiegiem, pożytecznym wprawdzie, ale nie niezastąpionym. Każde zagadnienie praktyczne, rozwią-

zywane zazwyczaj zapomocą entropji, możnaby potraktować (wprawdzie z większym mozołem) drogą badania ruchu każdej indywidualnej cząsteczki materji czy energji na mocy praw pierwotnych, nie odwołując się ani pośrednio ani bezpośrednio do entropji. Doskonale, spróbujmy. Oto macie zagadnienie —

(W tem miejscu prelegent rzucił na stół kawałek kredy, który potoczył się i pękł na dwoje).

Macie dane chwilowe położenia i szybkości * każdej cząsteczki, lub jeżeli wolicie każdego protonu i elektronu tego kawałka kredy i odpowiednie wielkości dla stołu i otaczającego powietrza, o ile wam są potrzebne. Dostaniecie również szczegóły chwilowego stanu każdego elementu energji. Mikroskopowe prawa ruchu (prawa pierwotne) pozwalają wam śledzić stan układu od chwili do chwili. Możecie wykryć, jak atomy, poruszające się bezładnie w kawałkach kredy, stopniowo wchodzą w sprzysiężenie, tak że kawałki kredy zaczynają się poruszać jako całość. Jak następnie podskakują i toczą się po stole; jak potem się schodzą i łączą. Następnie cały, teraz już jeden kawał kredy, podnosi się wdzięcznie do góry, opisuje parabolę i zatrzymuje się w moich palcach. Godzę się na to, że możecie zrobić to wszystko bez entropji lub czegokolwiek, co wykracza poza fizykę mikroskopową. Rozwiązaliście zagadnienie. Lecz czy zrozumieliście sens swego rozwiązania? Czy jest to zupełnie nieistotne, że wszystko to coście opisali na podstawie rachunków jest *„odstaniem się"*? Nie trzeba zmieniać ani słowa z waszego opisu, lecz należy go uzupełnić czemś, co odróżniłoby figiel magika od pospolitego, codziennego zdarzenia.

Fizyk mógłby tu odpowiedzieć, że uzupełnienie to odnosi się do *sensu*, który go przecie nic nie obchodzi. Jego rzeczą jest, żeby rachunki zgadzały się z obserwacjami. Nie może mi on powiedzieć, czy zjawisko ma sens *„stawania się"*

* Szybkości odnoszą się do jakiegoś rusztowania przestrzennego. Podajcie rusztowanie, które wam odpowiada, a otrzymacie szybkość względem tego rusztowania. (Zrzuca to na was odpowiedzialność za wszelkie poznaczenie tego rusztowania — lewo, prawo, przeszłość, przyszłość i t. d.)

czy *„odstawania"*, lecz jeżeli w zagadnieniu znajduje się zegar, to może podać jego wskazania w każdem stadjum zjawiska. Można wiele powiedzieć na korzyść wyrugowania całej sprawy „sensu" z fizyki: jest to zdrowa reakcja na splatanie z naszemi rachunkami jakichś mistycznych koncepcyj, o których (oficjalnie) nic nie wiemy. Zazdroszczę trochę czystemu fizykowi jego niewzruszonej pozycji. Lecz jeżeli wyruguje on całkowicie „sens" ze swych zamierzeń, to *ktoś* inny przecie musi się zająć badaniem, czy świat fizyczny atomów, eteru i elektronów ma wogóle jakiś „sens". Na nieszczęście w niniejszych wykładach mam właśnie powiedzieć, jak powinien laik traktować świat naukowy, gdy się on ściera z innemi poglądami na nasze otoczenie. Część moich słuchaczów zapewne niema wogóle żadnego zainteresowania dla świata, wynalezionego jako czysta konstrukcja rachunkowa. Czy mam im powiedzieć, że świat naukowy nie ma pretensji do żadnego wpływu na ich rozważania, gdy wyrasta przed nimi odwieczne zagadnienie: pocóż to wszystko? Jestem przekonany, że moi koledzy fizycy spodziewają się po mnie w związku z tą sprawą pewnej obrony świata naukowego. Jestem gotów to zrobić, ale pod warunkiem, że przedtem ustalimy, od której strony należy na świat ten patrzeć. Nie mogę wyczytać żadnego sensu w świecie fizycznym, gdy go przedemną trzymają do góry nogami, jak się to działo przed chwilą. Oto dlaczego interesuję się entropją, która nietylko pozwala skrócić rachunki, ale również wyznaczyć tę orjentację, której inaczej określić nie można.

Jak już powtarzałem niejednokrotnie, świat naukowy to świat widm, wypełniony cieniami świata bezpośredniego doświadczenia. Lecz w jakim stopniu cienie te odpowiadają dokładnie swym pierwowzorom? Przecie nie spodziewamy się odbicia wszystkiego, co jest w naszym umyśle, wzruszeniach, pamięci? Naogół spodziewamy się po tych widmach odbicia wrażeń, które możemy prześledzić aż do naszych organów zmysłowych. Lecz czas wchodzi do świadomości dwoma wejściami i tworzy w ten sposób bezpośrednie połączenie pomiędzy wewnętrznem a zewnętrznem. Świat ze-

wnętrzny jest odwzorowany tylko częściowo przez świat naukowy fizyki pierwotnej (z której strzałka czasu jest wyłączona), lecz odwzorowanie to staje się zupełnie z chwilą, gdy rozszerzymy schemat tak, ażeby objął entropję. Tak więc ważkiemu posunięciu fizyki XIX stulecia zawdzięczamy, że świat naukowy nie jest ograniczony do rozciągłości statycznej, dokoła której umysł może snuć marzenia o aktywności i ewolucji. Świat fizyki praw wtórnych odzwierciedla tę cechę dynamiczną, bez której świat powszedni straciłby wszelki sens.

Przy porządkowaniu mętnych danych naszego doświadczenia przyjmowano naogół, że celem tej pracy jest wyszukanie wszystkiego, co naprawdę istnieje. Istnieje jeszcze jedno badanie niemniej ściśle związane z istotą naszego doświadczenia — wyszukanie wszystko, co naprawdę podlega „rozwojowi".

Rozdział VI

GRAWITACJA: JEJ PRAWO

> Mówisz czasami o ciężkości, jako o czemś istotnem dla materji, tkwiącem w niej niejako. Proszę, nie przypisuj mi tego wyobrażenia; albowiem nie znam przyczyny grawitacji i rozważenie tej sprawy wymagałoby wiele czasu...
>
> Grawitację musi powodować jakiś czynnik, działający stale zgodnie z jakiemiś prawami. Lecz czy czynnik ten jest materjalny, czy też niematerjalny — to pozostawiłem do rozstrzygnięcia swoim czytelnikom.
>
> *NEWTON, Listy do Bentleya.*

Człowiek w windzie. W roku mniej więcej 1915 Einstein rozwinął dalej swą teorję, uogólniając ją na ruchy niejednostajne. Najłatwiej podejść do tej sprawy przez rozważenie sytuacji człowieka w windzie.

Wyobraźcie sobie, że pokój ten znajduje się w windzie. Lina się urwała i spadamy wdół z coraz rosnącą szybkością; ruch nasz jest spadkiem swobodnym.

Skracajmy sobie czas przez wykonywanie doświadczeń fizycznych. Winda — to nasza pracownia i postanawiamy zacząć badania od samego początku. Będziemy próbowali odkryć wszystkie prawa Natury — to znaczy tej Natury, którą obserwuje człowiek w windzie. W znacznej mierze będzie to powtórzenie dziejów odkryć naukowych, dokonanych w pracowniach na „gruncie stałym". Lecz spostrzeżemy doniosłą różnicę.

Wykonywam znane doświadczenie, wypuszczam jabłko z ręki. Jabłko to nie może spadać „bardziej", niż to już wła-

śnie czyni. Przypominacie sobie bowiem, że nasza winda i zawarte w niej rzeczy spadają swobodnie. Zatem jabłko pozostanie zrównoważone w mojem ręku. Istnieje pewne wydarzenie w historji nauki, które się nie powtórzy dla człowieka w windzie: Newton i jego jabłko. Załamuje się wspaniała koncepcja, że czynnik, który prowadzi gwiazdy w ich biegu, jest identyczny z tym, które powoduje spadek jabłka w naszem powszedniem doświadczeniu; poprostu dlatego, że w powszedniem doświadczeniu człowieka z windy jabłka nie spadają.

Sądzę, że posiadamy w chwili obecnej dość dowodów, aby stwierdzić, że pod wszystkiemi innemi względami prawa naukowe w windzie będą się zgadzały z prawami, ustalonemi w bardziej powszednich warunkach. Poza tym jedynym wyjątkiem, ludzie w windzie wyprowadzą wszystkie prawa Natury, które nam są znane, i to w tej samej co my postaci. Nie będzie tylko w ich schemacie tej siły, która wywołuje spadek jabłka.

Przypisuję naszym obserwatorom w windzie zwykłe stanowisko egocentryczne: „naturalny obraz świata to właśnie ten, który *ja* obserwuję". Nie wydaje im się bynajmniej dziwne, że spędzają swe życie, spadając w windzie. Przeciwnie, uważają za rzecz bardziej dziwaczną tkwić na powierzchni ziemi. Wobec tego, jakkolwiek być może wyliczyli sobie, że dla istot, podtrzymywanych w tak dziwny sposób, jabłka będą posiadały niepokojący zwyczaj spadania, nie będą brali bardziej serjo naszych doświadczeń nad zwyczajami jabłek, niż my bierzemy ich doświadczenia.

Czy mamy traktować doświadczenia ich na serjo? Lub inaczej: jaka doniosłość przysługuje wzajemnie schematom praw Natury, opracowanym przez obserwatorów w spadającej windzie i obserwatorów na stałym lądzie? Czy jeden jest prawdziwszy niż drugi? Czy jeden przewyższa drugi? Rzecz jasna, że różnice faktyczne pochodzą stąd, że schematy te odnoszą się do różnych rusztowań czasoprzestrzennych. W naszem rusztowaniu spoczywa twardy grunt; w ich rusztowaniu spoczywa ich winda. Mieliśmy poprzednio przy-

kłady obserwatorów, którzy korzystali z różnych rusztowań, ale rusztowania miały wzajemnie *szybkość stałą*. Natomiast szybkość windy stale rośnie — winda jest przyśpieszona. Czy wolno nam rozciągać na przyśpieszone rusztowania tę naszą zasadę, że Natura jest obojętna na rusztowania czasowo-przestrzenne, że żadne rusztowanie nie jest ważniejsze od innego? Sądzę, że tak. Jedyna wątpliwość, która powstaje, to czy nie należałoby uważać rusztowania człowieka w windzie za wyższe od naszego, zamiast przyjmować, że są jednakowe.

Gdy stoimy na ziemi, cząstki gruntu podtrzymują nas, bombardując nasze podeszwy z siłą, równoważną jakimś 75 kilogramom. Gdyby nie to, zapadlibyśmy się przez podłogę. *Jesteśmy zatem stale i mocno bombardowani.* Otóż, trudno to uważać za idealne warunki do miarodajnej obserwacji naszego naturalnego otoczenia. Nie byłoby bynajmniej zadziwiające, gdyby nasze zmysły na skutek takiego traktowania dały nam wykoszlawiony obraz świata. Ciała nasze należy uważać za przyrządy naukowe, stosowane do obserwacji świata. Nie pozwolimy chętnie nikomu tłuc młotkiem w nasz galwanometr, skoro go używamy do obserwacji. Podobnie lepiej jest unikać tłuczenia czyjegoś ciała, jeżeli ma ono odegrać rolę kanału, przez który spływają wiadomości naukowe. Pozbywamy się tego tłuczenia, gdy nas nic nie podtrzymuje.

Skoczmy zatem w przepaść, ażeby podczas skoku móc obserwować Naturę bez przeszkód. Lub też, jeżeli ten sposób przekonania się, że ciała nie spadają *, wydaje się wam dziwaczny, wejdźmy znowu do owej pędzącej windy. Tu niczego nie trzeba podtrzymywać. Nasze ciało, nasze galwanometry i wszystkie przyrządy miernicze są uwolnione od bombardowania i wskazania ich możemy przyjąć z całem zaufaniem. Rusztowanie szasowo-przestrzenne spadającej windy, to rusztowanie naturalne dla jej mieszkańców, któ-

* O ile potrafię przewidzieć (oczywiście bez sprawdzenia doświadczalnego), człowiek, któryby skoczył w przepaść, szybko straciłby wszelkie poczucie spadania. Obserwowałby jedynie, że wszystkie otaczające przedmioty mkną obok niego wgórę, z coraz rosnącą szybkością.

rych nic nie podtrzymuje. Prawa Natury, stwierdzone w tych tak korzystnych okolicznościach, nie powinny w żadnym razie być traktowane gorzej, niż prawa ustalone w innych rusztowaniach.

Dokonywam innego eksperymentu. Tym razem biorę dwa jabłka i opuszczam je na dwóch przeciwnych końcach windy. Cóż się stanie? Nic wielkiego zpoczątku: jabłka pozostaną zrównoważone tam, gdzie je opuściliśmy. Lecz spróbujmy na chwilę wyjść z windy i stamtąd obserwować ten eksperyment. Oba jabłka są przyciągane do środka ziemi przez siłę ciężkości. W miarę zbliżania się do środka ziemi tory ich będą się zbiegać, aż się nie spotkają w środku. A teraz wróćmy do windy. W pierwszem przybliżeniu jabłka pozostaną w równowadze ponad jej podłogą. Lecz stopniowo zauważamy, że zbliżają się one do siebie i spotykają się w chwili, gdy (według obserwatora zewnętrznego) winda przechodzi przez środek ziemi. Zatem, jakkolwiek jabłka (w windzie) nie mają tendencji do spadania, ciągle jeszcze ich zachowanie się jest otoczone jakąś tajemnicą. I Newton tej windy może jednak odkryć, że czynnik, który kieruje biegiem gwiazd, należy utożsamić z tym, który płata figle z jabłkami w bliższem otoczeniu.

O cóż tu właściwie idzie? Grawitacja posiada cechy względne i bezwzględne. Ta jej cecha, która się nam najbardziej rzuca w oczy, jest właśnie względna — odnosi się do rusztowania przestrzennego, które nie jest niczem wyróżnione prócz tego, że jest tem, którego pospolicie używamy. Cecha ta znika zupełnie w rusztowaniu człowieka z windy i musimy ją pominąć we wszelkiej próbie stworzenia absolutnej teorji grawitacji. Z drugiej strony przy każdem rusztowaniu pozostaje coś bezwzględnego i z tej właśnie absolutnej cechy musimy wywnioskować właściwy obraz. Okazuje się, jak to niebawem wyjaśnimy, że ta absolutna cecha może być opisana jako krzywizna czasoprzestrzeni.

Nowy obraz grawitacji. Newtonowski obraz grawitacji — to *ciągnienie,* działające na ciało, którego ruch jest zakłócony. Chciałbym wyjaśnić, dlaczego obraz ten musimy zarzucić. Wróćmy znowu do sławnego wypadku z Newtonem i jabłonią. Klasyczne ujęcie grawitacji jest oparte na sprawozdaniu Newtona z tego, co się zdarzyło. Wartoby jednak posłuchać również tego, co ma jabłko do powiedzenia. Jabłko, ze zwykłym egocentryzmem obserwatora, sądziło, że znajduje się w spoczynku. Spoglądając wdół, widziało że wszystkie ciała na ziemi, włączając Newtona, biegną mu wgórę na spotkanie z coraz to większą szybkością. Czy wynajdzie ono jakiś tajemniczy czynnik albo ciągnienie, ażeby wytłumaczyć zachowanie się tych ciał? Nic podobnego; zauważy poprostu, że przyczyna tego przyśpieszenia jest oczywista: cząsteczki gruntu bombardują stopy Newtona. Bombardowanie to jest bezwzględne — niema tu mowy o układach odniesienia. Przy pomocy dostatecznie potężnego urządzenia powiększającego możnaby obserwować te cząsteczki przy pracy i liczyć ich uderzenia. Zgodnie z własnemi Newtona prawami ruchu, muszą mu te uderzenia nadać przyśpieszenie, i to właśnie przyśpieszenie obserwowało jabłko. Newton musiał postulować jakąś tajemniczą, niewidzialną siłę, która ciągnęła jabłko wdół. Jabłko natomiast potrafi wskazać oczywistą przyczynę, która pędzi Newtona do góry.

Przewaga jabłka w tej kwestji jest tak przytłaczająca, że poczuwam się do obowiązku zmienić nieco sytuację tak, aby dać również Newtonowi jakąś szansę. Sądzę bowiem, że jabłko zbytnio wyzyskuje przypadkowe korzyści. Umieszczę Newtona zatem w środku ziemi, gdzie ciężkość znika, tak że może tam pozostawać w poczynku bez podtrzymywania — to jest bez bombardowania. Spogląda wgórę, widzi jabłka spadające na powierzchni ziemi, i jak poprzednio przypisuje to tajemniczemu ciągnieniu, które nazywa grawitacją. Jabłko znowu spogląda wdół i widzi, że się Newton do niego zbliża. Ale tym razem nie może już przypisać przyśpieszenia Newtona żadnemu widocznemu tłuczeniu. Musi również

wynaleźć jakieś tajemnicze ciągnienie, działające na Newtona.

Mamy tu dwa rusztowania, dwa układy odniesienia. W jednym z nich Newton spoczywa, a jabłko jest przyśpieszone. W drugiem jabłko spoczywa, a Newton znajduje się w ruchu przyśpieszonym. W żadnym z tych przypadków niema widocznej przyczyny przyśpieszenia, w żadnym ciało nie jest poddane zewnętrznemu bombardowaniu. Wzajemność jest idealna i niema żadnego powodu, by oddać pierwszeństwo jednemu rusztowaniu przed drugiem. Musimy zatem tak sobie wyobrazić ten czynnik zakłócający, aby nie uprzywilejował on żadnego rusztowania. Skoro jesteśmy w takiem bezstronnem usposobieniu, to pojęcie ciągnienia nie będzie nam odpowiadało; jeżeli je bowiem zastosujemy do jabłka, będzie to uprzywilejowaniem rusztowania Newtona, a jeżeli przyłożymy do Newtona, to znów oddamy pierwszeństwo jabłku *. Istotna, czyli bezwzględna część grawitacji nie może być siłą, działającą na ciało, gdyż zupełnie nie potrafimy się zdecydować, do którego z obu ciał należy ją przyłożyć. Musimy sobie te sprawy wyobrazić inaczej.

Starożytni wierzyli, że Ziemia jest płaska. Małą cząstkę, którą zbadali, można było przedstawić na płaskiej mapie bez poważnego odkształcenia. Przypuszczenie, że nowoodkryte kraje będą również mogły być umieszczone na tej mapie, było naturalne. Dobrze znanym przykładem takiej mapy, jest

* Możnaby tu postawić następujący zarzut: Rozważane tu zjawiska są oczywiście związane z istnieniem masywnego ciała (ziemi); ciągnienie Newtona jest rozłożone symetrycznie dokoła tego ciała, podczas gdy ciągnienie jabłka jest rozłożone niesymetrycznie (znika ono bowiem tam, gdzie się jabłko znajduje, zato jest bardzo silne po przeciwległej stronie ziemi). Wobec tego należy oczywiście oddać pierwszeństwo rusztowaniu Newtona. Musielibyśmy bardzo się zagłębić w teorję, aby zrozumieć dlaczego nie przypisujemy tej symetrji pierwszorzędnej wagi. Ograniczymy się do stwierdzenia, że kryterjum symetrji nie wystarcza, by wybrać jednoznacznie rusztowanie i przeprowadzić ostrą granicę pomiędzy dopuszczalnemi i niedopuszczalnemi układami. Ostatecznie możemy stwierdzać, że pewne rusztowania są bardziej symetryczne niż inne, ale nie będziemy tej symetrji akcentowali aż tak, ażeby symetryczne nazywać „prawdziwemi", a niesymetryczne „fałszywemi".

rzut Merkatora; przypominacie sobie zapewne, że na tej mapie rozmiary Grenlandji są zupełnie niedorzecznie przesadzone. (Zato w innych rzutach bardzo są wykrzywione kierunki). Tymczasem ci, którzy byli zwolennikami teorji Ziemi płaskiej, musieli przyjąć, że mapa daje rzeczywistą wielkość Grenlandji — że odległości zmierzone na mapie to odległości prawdziwe. Jakżeby tedy wytłumaczyli doniesienia podróżników, że odległości wydają się mniejsze, niż są w „istocie"? Przypuszczam, że wymyśliliby teorję, że istnieje w Grenlandji demon, który dopomaga podróżnikom. Oczywiście, żaden uczony nie użyłby takiego ordynarnego wyrazu. Wymyśliłby jakiś grecko-łaciński tasiemiec dla oznaczenia tajemniczego czynnika, który tak skracał podróże. Ale byłoby to tylko zamydlanie oczu. Przypuśćmy teraz, że mieszkańcy Grenlandji stworzyli swą własną geografję. Znajdują oni, że najważniejsza część powierzchni Ziemi (t.j. Grenlandja) może być odwzorowana na płaską mapę bez poważnego zniekształcenia. Lecz gdy umieścić na tejże mapie odległe kraje, jak Grecję, to rozmiary ich muszą zostać przesadzone. Lub też, jakby to z pewnością przedstawili, istnieje w Grecji demon, który powoduje, że przebieg podróży w tamtym kraju wydaje się różny od tego, który można przewidzieć na podstawie płaskiej mapy. Demona tego nigdy niema tam, gdzie się sami znajdujemy; zawsze nawiedza on kogo innego. Dziś rozumiemy, że prawdziwe wyjaśnienie polega na tem, że Ziemia jest zakrzywiona i że pozorna działalność demonów pochodzi stąd, że usiłujemy wtłoczyć zakrzywioną powierzchnię na płaską mapę i w ten sposób zniekształcamy prostotę rzeczy.

Teorja świata czterowymiarowego przechodziła takie same koleje, jak teorja Ziemi. Obserwator, spoczywający w środku Ziemi, przedstawia bieg zdarzeń w rusztowaniu czasowo-przestrzennem, zbudowanem na pospolitych zasadach konwencjonalnych; otrzymuje wtedy tak zwany świat *płaski*. Udaje mu się w tem rusztowaniu ulokować zjawiska, zachodzące w jego najbliższem sąsiedztwie, bez wypaczenia ich naturalnej prostoty. Przedmioty znajdujące się w spo-

czynku pozostają w spoczynku i w jego rusztowaniu; przedmioty w ruchu jednostajnym pozostają w ruchu jednostajnym, chyba że działa na nie jakaś widoczna przyczyna zakłócająca, jak naprzykład bombardowanie; światło porusza się po linjach prostych. Obserwator rozszerza swe płaskie rusztowanie na całą powierzchnię Ziemi i styka się wtedy ze zjawiskiem spadających jabłek. Nowe to zjawisko trzeba wytłumaczyć przez wprowadzenie jakiegoś nieuchwytnego czynnika czy demona, zwanego *grawitacją;* skłania on jabłka do odchyleń od właściwych jednostajnych ruchów. Lecz moglibyśmy zacząć również od rusztowania, związanego z spadającem jabłkiem, albo od rusztowania człowieka w windzie. W rusztowaniu windy ciała, spoczywające w pewnej chwili, pozostają w dalszym ciągu w spoczynku; ciała, które zaczęły od ruchu jednostajnego, trwają w ruchu jednostajnym. Ale, jak widzieliśmy, prostota ta znika już dla dwóch ciał, umieszczonych w przeciwległych rogach windy. A gdy wyjrzymy dalej jeszcze, naprzykład aż do środka Ziemi, będziemy musieli postulować działalność jakiegoś demona, który pędzi wgórę (względem windy oczywiście!) wszystkie ciała swobodne, znajdujące się po przeciwnej stronie środka Ziemi. Gdy zmienia się obserwator — a więc gdy zamiast jednego płaskiego rusztowania czasowo-przestrzennego bierzemy inne — zmienia się również teren działalności demona. Nigdy niema go tam, gdzie się znajduje nasz obserwator, zawsze jest gdzieindziej. Czy widzicie już rozwiązanie? Demon ten jest poprostu komplikacją, która powstaje, gdy usiłujecie wcisnąć zakrzywiony świat w ramy płaskiego rusztowania. Odwzorowując świat zapomocą płaskiego rusztowania czasowo-przestrzennego, wypaczamy go tak, że zjawiska tracą swą pierwotną prostotę. Przyjmijcie krzywiznę przestrzeni, a zniknie tajemniczy czynnik. Einstein przepędził demona.

Nie wyobrażajcie sobie, że ta wstępna zmiana ujęcia zbliża nas znacznie do *wytłumaczenia* grawitacji. Nie szukamy jednak wytłumaczenia, lecz szukamy obrazu. A przyznacie chyba, że ten obraz, obraz krzywizny świata, chociaż

taki trudny, jest bardziej namacalny niż jakieś nieuchwytne ciągnienie, które przemyka się z jednego ciała na drugie, zależnie do obranego punktu widzenia.

Nowe prawo grawitacji. Znaleźliśmy nowy obraz grawitacji, trzeba nam teraz nowego prawa. Prawo Newtona dawało nam bowiem wielkość ciągnienia, a teraz już ciągnienia nie uznajemy. Skoro zjawisko ciążenia obrazujemy obecnie zapomocą krzywizny, zatem nowe prawo musi coś wypowiadać o krzywiźnie. Powinno to być oczywiście prawo normujące i ograniczające dopuszczalną krzywiznę czasoprzestrzeni.

Bardzo mało jest rzeczy, które można wypowiedzieć o krzywiźnie — jeżeli się ograniczyć do twierdzeń zupełnie ogólnych. To też, gdy Einstein poszukiwał jakiegoś ograniczenia na krzywiznę, trafił niemal automatycznie na rzecz właściwą. Chcę powiedzieć, że istniało właściwie tylko jedno ograniczenie, czy prawo krzywizny, które wydawało się rozsądne, i prawo to zostało potwierdzone przez obserwacje.

Niektórzy z was są zapewne przekonani, że nigdy im się nie uda wyobrazić sobie krzywizny przestrzeni, a cóż dopiero czasoprzestrzeni. Innym się może wydaje, że skoro się oswoili z wygiętemi powierzchniami dwuwymiarowemi, to nie jest niemożliwe wyobrażenie sobie czegoś podobnego w trzech, a nawet w czterech wymiarach. Wydaje mi się, że ci pierwsi zajmują chyba rozsądniejsze stanowisko, bo w każdym razie nie narażają się na zmylenie przez jakieś zastarzałe intuicje. Mówiłem wprawdzie o „obrazie", ale obraz ten należy raczej opisać analitycznie, niż przedstawić sobie poglądowo. Nasze pospolite wyobrażenie krzywizny wytworzyło się przy badaniu powierzchni krzywych, to jest tworów dwuwymiarowych zanurzonych w przestrzeni trójwymiarowej. Krzywizna absolutna powierzchni w punkcie danym mierzy się jedną liczbą, zwaną promieniem krzywizny sferycznej. Lecz czasoprzestrzeń to twór czterowymiarowy zanurzony — jakże to wyrazić? — w przestrzeni o tylu wymiarach, żeby mógł się swobodnie skręcać na wszystkie możliwe strony. Otóż, przestrzeń czterowymiarowa potrafi

się wykręcać w zadziwiający pomysłowy sposób i pomysłowość ta znajduje całkowitą swobodę do popisu dopiero w przestrzeni dziesięciowymiarowej. Co więcej: trzeba aż dwudziestu różnych liczb w każdym punkcie, aby opisać sposób i rozmiar zakrzywienia. Liczby te nazywają się *spółczynnikami krzywizny*. Dziesięć z nich wyróżniają się szczególnie.

Prawo grawitacji Einsteina stwierdza, że dziesięć głównych spółczynników krzywizny równa się zeru w przestrzeni pustej.

Gdyby nie było krzywizny wogóle, to jest gdyby *wszystkie* spółczynniki krzywizny były zerami, nie byłoby grawitacji. Ciała poruszałyby się jednostajnie po linjach prostych. Gdyby krzywizna nie była niczem ograniczona, to jest gdyby *wszystkie* spółczynniki mogły przybierać zupełnie dowolne wartości, to grawitacja działałaby również dowolnie, nie ulegając żadnemu prawu. Tymczasem ciała jakoś się muszą poruszać. Einstein obiera zatem warunek, który odpowiada czemuś pośredniemu: dziesięć spółczynników przyrównywa do zera, a pozostałym dziesięciu pozwala przybierać wartości dowolne. Daje to świat z grawitacją, ograniczoną pewnem prawem. Spółczynniki dzielą się w tak naturalny sposób na dwie grupy po dziesięć w każdej, że niema żadnych trudności z wyborem tych, które mają być równe zeru.

Może zdziwić niewtajemniczonych, że ścisłe prawo Natury pozostawia pewne spółczynniki nieoznaczonemi. Lecz musimy pozostawić pewne rzeczy nieokreślonemi, by je określić dopiero wtedy, gdy ustalimy szczegóły zagadnienia, do którego prawo ma być zastosowane. Prawo ogólne obejmuje nieskończenie wiele przypadków szczególnych. Niezależnie od tego z jakim przypadkiem mamy do czynienia, dziesięć głównych spółczynników krzywizny równa się zeru w tych miejscach przestrzeni, które są pozbawione masy, i to bez względu na to, czy istnieje jedno, czy więcej ciał, wywołujących ciążenie. Pozostałych dziesięć spółczynników może się zmieniać, zależnie od rozważanego przypadku. Widać

stąd, że pomimo odkrycia prawa grawitacji Einsteina i pomimo uzyskania sformułowania matematycznego, zastosowanie tego prawa do najprostszego nawet zagadnienia praktycznego jest jeszcze sprawą bardzo odległą. W każdym razie setki uczonych sprawdzało starannie to prawo pod względem matematycznym i możemy być przekonani, że nie zawiera ono błędu. Po dokonaniu tej pracy przychodzi kolej na sprawdzenie, czy zgadza się ono z obserwacjami. Okazało się, że zgadza się ono z prawem Newtona w bardzo znacznem przybliżeniu, tak że wszystkie potwierdzenia doświadczalne prawa Newtona świadczą również za prawem Einsteina. Ale istnieją trzy rozstrzygające zjawiska astronomiczne, w których różnica przewidywań obu teoryj jest tak znaczna, że może być zaobserwowana doświadczalnie. W tych zjawiskach doświadczenie przemawia na korzyść prawa Einsteina, a przeciwko prawu Newtona *.

Jest rzeczą bardzo istotną dla naszej wiary w teorję, żeby przewidywania jej zgadzały się z doświadczeniem, i żeby istniały rozsądne wyjaśnienia ewentualnych rozbieżności. To też jest niezmiernie ważne, że prawo Einsteina wyszło zwycięsko z tych subtelnych prób astronomicznych, których nie wytrzymało prawo Newtona. Lecz pomimo to głównym powodem zarzucenia prawa Newtona nie jest brak doskonałej zgodności z doświadczeniem w tych próbach. Ważnejsze jest to, że pozostawia ono bez odpowiedzi pewne pytania, dotyczące Natury. Pytania te są związane z współczesnym ideałem badania fizycznego, ideałem całkowicie obcym jeszcze Newtonowi. Spróbujemy wyjaśnić tę sprawę. Obserwacje astronomiczne wykazują, że w pewnych granicach dokładności oba prawa są jednakowo prawdziwe. Potwierdzając (w przybliżeniu) prawo Newtona, wypowiadamy coś o obrazie świata w pewnym szczególnem rusztowaniu czasoprzestrzennem. Niema żadnego powodu, by przywiązywać

* Jedno z tych zjawisk — przesunięcie prążków widmowych w kierunku czerwonego końca widma słońca i gwiazd, w porównaniu z odpowiedniem widmem ciał ziemskich — potwierdza raczej *teorję* Einsteina, niż jego *prawo*.

jakąś specjalną wagę do tego właśnie rusztowania. Tymczasem potwierdzając (w przybliżeniu) prawo Einsteina, wypowiadamy coś o absolutnych własnościach świata, prawdziwych we wszelkich rusztowaniach. Dla tych, którzy pragną uchylić zasłonę pozorów, twierdzenie Einsteina jest stanowczo cenniejsze niż Newtona. Wyławia ono z obserwacyj nie jakąś ciekawostkę matematyczną, lecz wynik o niewątpliwym sensie fizycznym. Prawo Einsteina dało lepsze przybliżenie do obserwacji. Wynik ten umacnia nas w przekonaniu, że dążenie do praw absolutnych jest najlepszą drogą do zrozumienia względnych pozorów. Lecz nawet gdyby sukces tej teorji nie był tak jawny, nie zarzucilibyśmy tego dążenia.

Wierzę mocno, że Newton sam radowałby się teraz, że „ocean niezbadanej prawdy" po 200 latach cofnął się znowu, odsłaniając nowe połacie lądu. Nie mogę sobie wyobrazić, by mógł zganić, że nie stosujemy wciąż jeszcze ślepo jego wzoru, lekceważąc wiedzę, nagromadzoną od owego czasu. Ulegamy naciskowi konieczności, z którą nie wypadło Newtonowi stanąć oko w oko.

Nie zamierzam tu opisywać tych trzech prób, o których wspominałem. Są one bowiem dobrze znane i można je znaleźć w każdym z licznych wykładów teorji względności. Chciałbym jednak wspomnieć o działaniu grawitacji na światło, występującem w jednej z tych prób. Fale świetlne, mijając ciało o wielkiej masie, jak naprzykład Słońce, uginają się o niewielki kąt. Jest to jeszcze jedna wskazówka, że Newtonowskie ujęcie grawitacji jako ciągnienia jest nieodpowiednie. Nie można fal odchylić przez ciągnienie i rzecz jasna, że musimy znaleźć inne ujęcie czynnika, który powoduje ich odchylenie.

Prawa ruchu. Muszę was teraz poprosić, byście wrócili umysłem do czasów, gdyście się poraz pierwszy zapoznawali z mechaniką; do czasów gdy nauczyciel starannie przepędzał wszystkie naturalne przebłyski prawdy w waszych umysłach. Uczono was wtedy pierwszego prawa ruchu:

„Każde ciało trwa w stanie spoczynku lub ruchu jednostajnego po linji prostej, o ile nie działa na nie żadna siła zewnętrzna".

Najprawdopodobniej przed poznaniem tego prawa wierzyliście, że ruch to coś takiego, co się samo przez się wyczerpuje. Rower zatrzymuje się samorzutnie, jeżeli nie zastosujecie siły, aby go utrzymać w ruchu. Nauczyciel wskazał wam dokładnie te opory ruchu, które powstrzymują rower. Pewnie wam również wspomniał o kamieniu, ślizgającym się po lodzie, aby wykazać, że gdy te opory słabną, to ruch trwa dłużej. Lecz nawet na lodzie ciała napotykają opory ruchu. Czemuż wasz nauczyciel nie postawił kropki nad i, nie usunął całkowicie oporów ruchu? Mógł tego z łatwością dopiąć, rzucając kamień w próżnię. Otóż, na nieszczęście w tym przypadku nie otrzymałby ruchu jednostajnego i prostolinjowego: kamień zakreśliłby parabolę. Gdybyś próbował wysunąć to zjawisko jako argument przeciwko pierwszemu prawu, usłyszałbyś w odpowiedzi, że niewidzialna siła, siła grawitacji, zmusza kamień do zmiany stanu swego ruchu jednostajnego. Lecz skąd wiemy, że siła ta wogóle istnieje? Jakto? gdyby nie istniała, to kamień poruszałby się jednostajnie po prostej!

Nauczyciel zachowuje się nieuczciwie. Postanowił sobie przedtem, że musi otrzymać swój ruch jednostajny prostolinjowy; gdy mu wskazujemy ciała, które nie słuchają jego prawa, pośpiesznie wymyśla nową siłę, na którą zwala to odchylenie. Możemy poprawić jego sformułowanie pierwszego prawa ruchu: Oto co miał właściwie na myśli:

„Każde ciało trwa w stanie spoczynku lub ruchu jednostajnego po linji prostej, z wyjątkiem przypadków, gdy się dzieje inaczej".

Tarcie i reakcja — to widzialne i absolutne przeszkody, które mogą zmienić ruch ciała. Nie mogę przeciwko nim oponować. Bombardowanie cząsteczek może stwierdzić każdy, kto należycie zgłębi zjawisko, niezależnie od tego, z jakiego to czyni układu odniesienia. Lecz gdy nic nie wskazuje wyraźnie na ten rodzaj zakłócenia, poszukiwanie oporów

ruchu staje się zupełnie nieoznaczone. Niema żadnego objektywnego powodu do dzielenia ruchu na dwie części, z których jedną się przypisuje biernej tendencji ciał (to jest bezwładności) a drugą — jakiemuś zakłócającemu polu sił. Myśl, że ciało ma ochotę poruszać się prosto, lecz jakiś tajemniczy czynnik wykrzywia jego tor, jest wprawdzie obrazowa, ale nienaukowa. Tworzymy dwie różne własności z jednej, a potem pytamy ze zdziwieniem, dlaczego są one stale proporcjonalne — dlaczego siła grawitacji, działająca na dowolne ciało jest proporcjonalna do jego masy. Podział ten nie daje się utrzymać, gdy traktujemy wszystkie układy odniesienia na tej samej stopie. Pocisk, opisujący parabolę w stosunku do obserwatora na powierzchni ziemi, opisuje linję prostą w stosunku do człowieka w windzie. Niełatwo będzie naszemu nauczycielowi przekonać człowieka w windzie, dla którego jabłko jest nieruchome, że *naprawdę* z własnej inicjatywy pomknęłoby do góry, gdyby nie jakieś niewidzialne ciągnienie, które dokładnie równoważy tę tendencję *.

Prawo grawitacji Einsteina nie uznaje tego podziału. Istnieją na powierzchni krzywej pewne krzywe, które można opisać bez pomocy żadnego rusztowania, czy układu spółrzędnych. Są to geodezyjne, czyli najkrótsze drogi od jednego punktu do drugiego. Geodezyjne naszej zakrzywionej czasoprzestrzeni stanowią właśnie naturalne tory, po których biegną swobodne cząsteczki.

Obserwujemy naprzykład planetę, która biegnie dokoła Słońca po orbicie eliptycznej. Po chwili zastanowienia dojdziemy do wniosku, że po dołączeniu czwartego wymiaru, t. j. czasu, stałe posuwanie się w kierunku wymiaru czasowego, wyciągnie tę elipsę w linję śrubową. Dlaczego planeta obiera drogę spiralną zamiast prostej? Ponieważ biegnie po najkrótszej drodze, a w zniekształconej geometrji zakrzywionego obszaru, który otacza Słońce, droga spiralna jest krótsza, niż każda inna pomiędzy temi dwoma punktami.

* Czytelnik sam zechce sprawdzić, że tę właśnie doktrynę musiałby nasz nauczyciel głosić, gdyby się wybrał nawracać ludzi w windzie.

Dostrzegacie, jaka zachodzi różnica pomiędzy obu stanowiskami. Według schematu Newtonowskiego planeta pragnie się poruszać po prostej, lecz na to jej nie pozwala przyciąganie Słońca. Einstein powiada natomiast, że planeta pragnie poruszać się po linji najkrótszej i *urzeczywistnia to pragnienie.*

Oto zasadnicza myśl. Muszę tylko dla ścisłości dodać pewną poprawkę, nieco trywialną. Planeta obiera drogę nie najkrótszą, lecz *najdłuższą.*

Przypominacie sobie zapewne, że punkty, leżące na szlaku jakiegoś ciała materjalnego (poruszającego się zatem z szybkością mniejszą niż światło) znajdują się względem siebie odpowiednio w absolutnej przeszłości albo w absolutnej przyszłości. Natomiast nie są one absolutnie „w różnych miejscach". Dlatego też długość takiego szlaku czterowymiarowego złożona jest z relacyj czasowych i musi być mierzona w jednostkach czasu. To też jest to w rzeczywistości liczba sekund zarejestrowana przez zegar unoszony przez ciała, biegnące wzdłuż danego szlaku *. Długość ta może się różnić od wskazania innego zegara, który drogę pomiędzy temi samemi punktami krańcowemi przebył wzdłuż innego szlaku. Na str. 36 rozważaliśmy dwóch osobników, których szlaki miały te same punkty krańcowe. Jeden z nich pozostał na Ziemi, w domu, podczas gdy drugi z bardzo wielką szybkością wędrował do odległych okolic wszechświata i zpowrotem. Pierwszy zarejestrował upływ 70 lat, podczas gdy drugi przeżył tylko rok. Zwróćcie uwagę na to, że ten z naszych osobników, który wraz z Ziemią poruszał się ruchem niezakłóconym, przeżył czas dłuższy. Natomiast człowiek, którego szlak został gwałtownie zakrzywiony, gdy dotarł końca podróży i rozpoczął powrót, żył tylko

* Narzuca się tu następujący zarzut: Nie można zmusić zegara do wędrówki wzdłuż dowolnego krzywego toru bez pomocy sił przyłożonych (a więc bombardowania cząstkami). Ale ta trudność przypomina dokładnie tę, którą spotykamy przy mierzeniu długości krzywej prostolinjową sztabą. Można ją też w ten sam sposób pokonać. Zwykła teorja „prostowania krzywych" stosuje się równie dobrze do tych szlaków czasowych, jak do krzywych o charakterze przestrzeunym.

rok. Niema granicy dla tego skrócenia: w miarę tego, jak szybkość podróżnika zbliża się do szybkości światła, zarejestrowany czas podróży zmierza do zera. Nie istnieje jednoznaczna droga najkrótsza; natomiast istnieje jedyna droga najdłuższa. Gdyby Ziemia, zamiast biec po swej rzeczywistej orbicie, zrobiła gwałtowny wypad z szybkością światła, to mogłaby przebiec od 1 stycznia 1933 roku do 1 stycznia 1934 w czasie zerowym. To znaczy, że obserwator czy zegar, poruszający się wraz z nią, zarejestrowałby czas tego wypadu jako zero sekund, jakkolwiek podług rachuby astronoma państwowego upłynąłby rok. Ziemia nie robi tego wypadu, gdyż zgodnie z ustawą Związku Zawodowego Materji każdą pracę wykonywa w jaknajdłuższym czasie.

W myśl tego schematu przy obliczaniu orbit astronomicznych i podobnych zagadnieniach wkraczają dwa prawa. Musimy najprzód wyliczyć zakrzywioną postać czasoprzestrzeni przez zastosowanie prawa grawitacji Einsteina, to znaczy przez przyrównanie głównych dziesięciu spółczynników krzywizny do zera. Następnie obliczamy, jak się porusza planeta przez ten zakrzywiony obszar, stosując prawo ruchu Einsteina, to jest prawo najdłuższego toru. Jak dotąd postępowanie to jest podobne do rachunków, który wykonywamy, gdy stosujemy prawo grawitacji Newtona, a potem jego prawa ruchu. Lecz istnieje pewna doniosła różnica, cechująca teorję Einsteina. *Prawo ruchu Einsteina może być wyprowadzone z jego prawa grawitacji.* Jakkolwiek podzieliliśmy dla wygody przepowiednię toru planety na dwie części, jednak opiera się ona na jednem tylko prawie.

Chciałbym wam w bardzo ogólnikowy sposób pokazać, w jaki sposób prawo, rządzące krzywizną pustej przestrzeni, może wyznaczyć tory cząsteczek bez żadnych warunków dodatkowych. Na fig. 5 przedstawiono dwie „cząsteczki" w świecie czterowymiarowym — *ciebie* i *mnie*. Żaden z nas nie jest przestrzenią próżną, a więc krzywizna, wchodząca w skład naszych istot, nie jest niczem skrępowana. W gruncie rzeczy ta odmienność naszej krzywizny jest jedyną cechą, która nas odróżnia od pustej przestrzeni. Jesteśmy, że

tak powiem, dwiema fałdami świata czterowymiarowego, powstałemi w tych miejscach, gdzie się on pomarszczył. Czysty matematyk nazwałby nas w swym bezceremonjalnym języku poprostu „osobliwościami“. Dwie te niepróżne fałdy są połączone przestrzenią pustą, pozbawioną tego rodzaju zakrzywienia, które jest scharakteryzowane przez nieznikanie dziesięciu głównych współczynników. Otóż, wiemy z codziennego doświadczenia, że jeżeli utwo-

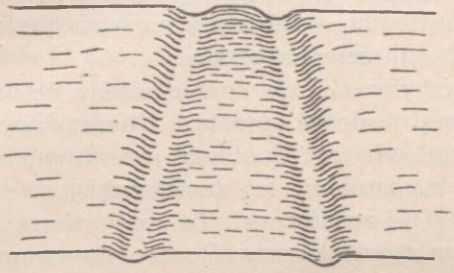


Fig. 5.

rzymy miejscowe fałdy na materjale odzienia, to pozostałe części wykażą pewien upór i nie będą się układały tak gładko, jakbyśmy sobie tego życzyli. Dzięki temu łatwo sobie wyobrazicie, że dwóch fałd, tak jak na fig. 5, nie można naogół połączyć doliną, wolną od tej zakazanej krzywizny. Tak właśnie sprawa się przedstawia w przypadku doskonale prostych fałd. Dwie idealnie proste, samotne fałdy nie dadzą się połączyć przestrzenią pustą i dlatego nie mogą istnieć w czasoprzestrzeni pustej poza niemi. W zwykłym języku powiemy, że nie mogą istnieć dwa nieruchome punkty same na świecie. Lecz jeżeli fałdy te nieco się ku sobie pochylą, to przestrzeń pomiędzy niemi może leżeć równo i czynić zadość prawu krzywizny. Jeżeli pochylą się ku sobie zbyt mocno, to znów pojawi się zakazane pomarszczenie. Prawo grawitacji to kapryśny krawiec, który nie znosi zmarszczek (z wyjątkiem pewnego przepisanego typu) na zasadniczej powierzchni odzieży. Szwy muszą zatem biec tak, aby nie powodować zmarszczek. I Ty i ja mu-

simy się do tego zastosować i dlatego nasze tory zakrzywiają się ku sobie. Ktoś zzewnątrz powie, że widzi ilustracje prawa, że dwa masywne ciała przyciągają się wzajemnie.

W ten sposób dochodzimy do innej, jakkolwiek równoważnej koncepcji, tłumaczącej spiralną drogę Ziemi przez świat czterowymiarowy. Tor Ziemi i tor Słońca, a zatem dwie fałdy, muszą się ułożyć tak, aby krzywizna w pustej części świata nie przyjmowała zakazanych wartości. Słońce, jako fałda wyraźniejsza, mniej ustępuje i wybiera szlak prostszy. Ale Ziemia — mała fałdka na pochyłości Słońca — musi się wić, jak ścieżka górska.

Przypuśćmy, że Ziemia sprzeciwiłaby się naszemu krawcowi i obrałaby drogę prostą. Utworzyłoby to okropną zmarszczkę na odzieży. Ponieważ prawo pustej przestrzeni nie pozwala na istnienie tej zmarszczki, *coś* się musi pojawić na szlaku tej zmarszczki. To „coś" nie musi być materją w węższym sensie wyrazu. Rzeczy, które mogą zajmować przestrzeń, tak żeby nie wykazywała ona tej pustki, o której mowa w prawie Einsteina, to *masa* (lub równoważna jej *energja*), *pęd* oraz *naprężenie* (ciśnienie albo ciągnienie). W tym przypadku zmarszczka odpowiadałaby naprężeniu. Sądzę, że brzmi to dość rozsądnie. Ziemia pozostawiona samej sobie biegnie wzdłuż właściwej sobie zakrzywionej orbity. Lecz gdyby wstawić jakieś napięcie albo ciśnienie pomiędzy Słońce a Ziemię, to mogłaby ona zmienić bieg. W rzeczy samej, gdybyśmy zaobserwowali, że jedna z planet zaczyna się poruszać po torze prostym, to zarówno zwolennicy Newtona jak i Einsteina wywnioskowaliby, że istnieje jakieś naprężenie, które powoduje takie zachowanie się. Prawda, że tu związek przyczynowy został jakgdyby odwrócony do góry nogami. Według naszej teorji naprężenie jakgdyby powstaje na skutek tego, że planeta obiera niewłaściwy tor, podczas gdy zwykle przypuszczamy, że planeta obierze niewłaściwy tor, gdy działa na nią jakieś naprężenie. Lecz jest to zupełnie nieszkodliwe zamieszanie, dość pospolite w fizyce praw pierwotnych. Odróżnienie przyczyny od skutku opiera się jedynie na strzałce czasu i może być osiągnięte tylko

przez odwołanie się do entropji. Nie powinniśmy zwracać zbytniej uwagi na związki przyczynowe podsuwane przez prawa pierwotne: nigdy nie mamy pewności, czy nie pokazują one nam świata do góry nogami.

Jesteśmy tu wprawdzie dopiero na samym początku teorji ogólnej Einsteina, ale nie możemy wchodzić w szczegóły tego bardzo fachowego przedmiotu. Resztę rozdziału poświęcę wyświetleniu spraw bardziej elementarnych.

Rozumowania niniejszego rozdziału wiążą się z względnością przyśpieszenia. Spadające jabłko posiadało przyśpieszenie 981 cm/sek^2 na sekundę względem zwykłego obserwatora, natomiast przyśpieszenie zero względem człowieka w windzie. Przypisujemy jabłku to lub inne przyśpieszenie, zależnie od przypadkowo zastosowanego rusztowania; żadne jednak z tych przyśpieszeń nie może zostać wyróżnione i ochrzone jako „prawdziwe", czy absolutne. To właśnie rozumowanie doprowadziło nas do zarzucenia koncepcji Newtona, koncepcji, która wyróżniała przyśpieszenie 981 cm/sek^2 na sekundę jako przyśpieszenie prawdziwe, i wprowadzała czynnik zakłócający, o mocy przystosowanej do tego właśnie przyśpieszenia.

Bardzo będzie pouczające rozważenie następującego zarzutu, wysuniętego po raz pierwszy, jeżeli się nie mylę, przez Lenarda. Przypuśćmy, że pociąg mija stację z szybkością 60 km na godzinę. Ponieważ szybkość jest względna, jest obojętne, czy powiemy, że pociąg mija stację, czy że stacja mija pociąg z powyższą szybkością. Przypuśćmy teraz, że pociąg ten utracił całą swą szybkość w ciągu kilku sekund, jak to się czasem zdarza w katastrofach kolejowych. Nastąpiła zatem zmiana szybkości czyli przyśpieszenie — wyrazem tym jest objęte również opóźnienie. Jeżeli przyśpieszenie jest istotnie względne, zjawisko to można opisać bądź jako przyśpieszenie pociągu (względem stacji), bądź też jako przyśpieszenie stacji (względem pociągu). Dlaczego zatem zostają okaleczeni ludzie w pociągu, a nie na stacji?

Podobny zarzut wysunął jeden z moich słuchaczów.

„Znajduje Pan zapewne, że podróż z Cambridge do Edynburga jest bardzo męcząca. Otóż, mogę zrozumieć to zmęczenie, jeżeli Pan jedzie do Edynburga. Ale dlaczego miałby się Pan zmęczyć, kiedy Edynburg przybywa do Pana?“ Odpowiedź jest następująca: zmęczenie pochodzi stąd, że człowiek jest zamknięty w jakiemś pudle, które go trzęsie przez jakie dziewięć godzin; przytem jest zupełnie obojętne, czy to ja poruszam, się w kierunku Edynburga, czy Edynburg w kierunku mnie. Ruch nie męczy nikogo. Ziemia jest takim pojazdem, na którym biegniemy dokoła słońca z szybkością 30 km na sekundę, słońce unosi nas z szybkością 20 km na sekundę przez układ galaktyczny; układ galaktyczny unosi nas z szybkością 420 km na sekundę przez mgławice spiralne; mgławice spiralne... Gdyby ruch był sam przez się męczący, powinniśmy już być zmęczeni śmiertelnie.

Podobnie zmiana ruchu, to jest przyśpieszenie, nie wyrządza nikomu krzywdy, nawet jeżeli (zgodnie ze stanowiskiem newtonowskiem) przyśpieszenie to jest absolutne. Nie odczuwamy bynajmniej zmiany ruchu Ziemi, kiedy porusza się ona po swym zakrzywionym torze dokoła Słońca. Odczuwamy wprawdzie coś, kiedy pociąg bierze jakiś zakręt; ale to co odczuwamy, to nie zmiana ruchu, ani też nic niezmiennie z nią związanego. Jest to coś, przypadkowo związanego z zakrzywionym torem pociągu, lecz nie z zakrzywionym torem Ziemi. Łatwo wyśledzić przyczynę obrażeń w wypadku kolejowym. Coś uderzyło pociąg; to znaczy: pociąg został zbombardowany przez rój cząsteczek i bombardowanie to rozeszło się wzdłuż całego pociągu. Przyczyna jest oczywista — gruba, materjalna, absolutna — stwierdzona przez każdego, bez względu na jego układ odniesienia, przyczyna dotykająca pociąg, a nie stację. Poza obrażeniami pasażerów przyczyna ta spowodowała również względne przyśpieszenie pociągu i stacji — skutek, które dobrze możnaby osiągnąć przez zbombardowanie stacji cząsteczkami, jakkolwiek w naszym przykładzie stało się inaczej.

Krytyczny czytelnik będzie prawdopodobnie wysuwał

dalsze zarzuty. „Czy nie jest paradoksalne, że bombardowanie pociągu cząsteczkami może wywołać przyśpieszenie stacji — ale przecie nietylko stacji: całej Ziemi i nawet reszty wszechświata? Mogę się zgodzić, że przyśpieszenie względne to stosunek o dwóch stronach; w pierwszej chwili może się wydawać, że mamy swobodny wybór między temi stronami. Ale w tym przypadku przyczyna przyśpieszenia (bombardowanie cząsteczkami) jasno wskazuje właściwą stronę. Bawisz się w paradoksy, gdy podkreślasz w dalszym ciągu swobodę wyboru".

Jeżeli istotnie jakaś niedorzeczność jest związana z ujęciem tego stosunku od fałszywej strony, to przeszła ona w każdym razie do naszego potocznego języka i myślenia. Właściwie Twoje stanowisko jest bardziej rewolucyjne, niż wszystko, co dotąd Einstein odważył się powiedzieć. Wróćmy do zagadnienia spadającego kamienia. Istnieje względne przyśpieszenie 981 cm/sek^2 na sekundę — przyśpieszenie kamienia względem nas albo też przyśpieszenie nasze względem kamienia. Którą z dwóch stron tego stosunku uważać za właściwą? Czy tę, która wskazuje bombardowanie cząsteczkami? Pięknie; kamień nie jest bombardowany, spada swobodnie w próżni. Zato my jesteśmy bombardowani przez cząsteczki ziemi, na której stoimy. Zatem właśnie my posiadamy przyśpieszenie, podczas gdy kamień posiada przyśpieszenie zero, jak przypuszczał człowiek w windzie. Z waszego stanowiska wypada, że rusztowanie człowieka z windy jest jedynem właściwem, tymczasem ja odważyłem się tylko na twierdzenie, że jest ono równouprawnione z naszym pospolitym układem odniesienia.

Z waszego stanowiska należałoby przyjąć zeznania pijaka, że „kamień podniósł się i uderzył go", a odrzucić sprawozdanie policjanta jako „zabawę w paradoksy". Naprawdę sprawa przedstawiała się jak następuje: Bruk ścigał pijaka przez przestrzeń z coraz rosnącą szybkością, popychając go jednocześnie przed sobą, tak że zachowywali to samo położenie względne. W pewnej chwili oś ciała człowieka zachwiała się tak nieszczęśliwie, że stracił panowanie

nad swą szybkością i nie mógł jej odpowiednio przystosować. Wynik był taki, że go bruk dopędził i zetknął się z jego głową. Proszę mnie nie rozumieć źle: nie jest to moje stanowisko, ale raczej rozwinięcie waszego. Pozwoliłem sobie przypisywać wam to stanowisko, bo jest ono następstwem bardzo rozpowszechnionego oporu przeciwko teorji względności. Stanowisko Einsteina jest takie: sprawozdanie pijaka jest uprawnione, a bardziej pospolite ujęcie sprawy przez policjanta, jest równie uprawnione. I jak sprawiedliwy sędzia pragnie ich z sobą pogodzić.

Geometrja czasu. Prawo grawitacji Einsteina rządzi wielkością geometryczną — *krzywizną*, w przeciwieństwie do prawa Newtona, które dotyczy wielkości mechanicznej — *siły*. Musimy się nieco cofnąć, by zrozumieć źródło tej geometryzacji świata przez teorję względności.

Nauka o własnościach przestrzeni nosi nazwę geometrji. Dotychczas geometrja nie zajmowała się czasem. Lecz teraz czas i przestrzeń zostały tak ściśle zespolone, że musiała powstać jedna nauka — nieco rozszerzona geometrja — która obejmuje i jedno i drugie. Przestrzeń trójwymiarowa jest tylko przekrojem świata czterowymiarowego; przytem przekroje w różnych kierunkach odpowiadają przestrzeniom różnych obserwatorów. Trudnoby się upierać przytem, że przekrój w jednym kierunku jest właściwym przedmiotem geometrji, a badanie przekrojów o kierunku nieco zmienionym należy do zupełnie innej nauki. Wobec tego geometrję świata czterowymiarowego — czasoprzestrzeni budujemy obecnie tak, że obejmuje ona zarówno czas jak przestrzeń. Przyjrzyjmy się geometrji czasu.

Przypominacie sobie, że jakkolwiek przestrzeń i czas są splecione z sobą, to jednak istnieje absolutna różnica pomiędzy przestrzenną a czasową relacją dwóch zjawisk. Trzy zdarzenia utworzą trójkąt przestrzenny, jeżeli jego trzy boki odpowiadają relacjom przestrzennym — inaczej, jeżeli trzy zjawiska zaszły wzajemnie bezwzględnie w różnych

miejscach *. Trzy zjawiska utworzą natomiast trójkąt czasowy, jeżeli jego trzy boki odpowiadają relacjom czasowym — jeżeli każda para z tych zjawisk zdarzyła się bezwzględnie w różnych chwilach. (Możliwe są również trójkąty mieszane z dwoma bokami czasowemi, a jednym przestrzennym, lub naodwrót). Trójkąt przestrzenny posiada znaną własność, wyrażoną twierdzeniem, że suma każdych dwóch boków jest większa od trzeciego. Dla trójkątów czasowych istnieje twierdzenie analogiczne, ale o odmiennym sensie: suma pewnych dwóch boków (nie *każdych!*) jest mniejsza od trzeciego. Nie potrafimy takiego trójkąta narysować, ale tem nie mniej jest to faktem.

Upewnijmy się najprzód, żeśmy zrozumieli dokładnie sens twierdzenia geometrycznego. Weźmy przedewszystkiem trójkąt przestrzenny. Twierdzenie odnosi się do długości boków, dobrze więc będzie przypomnieć sobie tu moją imaginacyjną dyskusję z dwoma studentami o pomiarze długości (str. 23). Na szczęście w tym przypadku niema dwuznaczności: trójkąt trzech zdarzeń wyznacza płaski przekrój czasoprzestrzeni, i tylko dla tego przekroju (a więc dla odpowiedniego rusztowania) trójkąt jest czysto przestrzenny. Twierdzenie nasze wyraża zatem, że:

„Jeżeli zmierzyć sztabą mierniczą odległość od *A* do *B* i później od *B* do *C*, to suma obu odczytań będzie większa, niż odczytanie uzyskane przez pomiar sztabą odcinka *AC*".

Dla trójkąta czasowego pomiary musimy wykonywać przy pomocy przyrządu do mierzenia czasu, zatem wtedy nasze twierdzenie będzie brzmiało jak następuje:

„Jeżeli zmierzyć przy pomocy zegara odstęp czasowy od *A* do *B*, a potem od *B* do *C*, to suma obu odczytań będzie mniejsza, niż odczytanie uzyskane przez pomiar zegarem od *A* do *C*".

Aby dokonać pomiaru odstępu czasowego od zdarzenia *A* do zdarzenia *B*, musimy z zegarem wykonać pewną operację, analogiczną do zorjentowania sztaby mierniczej

* Byłby to *chwilowy* trójkąt przestrzenny; trwający trójkąt jest czemś w rodzaju równoległościanu czterowymiarowego.

wzdłuż odcinka *AB*. Na czem polega ta operacja? W każdym z rozważanych dwóch przypadków idzie nam o to, aby sprowadzić *A* i *B* w bezpośrednie sąsiedztwo sztaby albo zegara. W przypadku zegara oznacza to, że po doświadczeniu zdarzenia *A* musi on pobiec z odpowiednią szybkością, aby zdążyć do miejsca *B* właśnie w chwili, gdy *B* zachodzi. W ten sposób szybkość zegara staje się ściśle określona. Zanotujmy jeszcze jedną różnicę. Po zmierzeniu odległości pomiędzy A i B, możecie obrócić sztabę i zmierzyć odległość od *B* do *A*, otrzymując ten sam wynik. Lecz nie możecie obrócić zegara, to jest zmusić go do cofania się w czasie. Jest to bardzo ważne, ponieważ pozwala nam rozstrzygnąć, *które* dwa boki trójkąta dają sumę mniejszą od trzeciego. Jeżeli wybierzecie przypadkiem niewłaściwą parę boków, to sformułowanie twierdzenia, odnoszące się do czasu, będzie dotyczyło pomiaru niemożliwego, a zatem będzie pozbawione sensu.

Przypominacie sobie podróżnika, który wybrał się na odległą gwiazdę i wrócił niedorzecznie młody (str. 37). Był on właśnie zegarem, który mierzył dwa boki trójkąta czasowego. Zmierzył czas krótszy niż domator, który był zegarem, mierzącym trzeci bok. Czyż mam tłumaczyć, dlaczego nazywam go zegarem? Wszyscy jesteśmy zegarami, na których znaczą swe ślady mijające lata. Porównanie to było poprostu ilustracją geometrycznego twierdzenia o trójkątach czasowych (które zkolei jest przypadkiem szczególnym twierdzenia o najdłuższym szlaku). Wynik ten zresztą można wytłumaczyć na prostej drodze mechanicznej. Wszystkie cząsteczki ciała podróżnika zyskują na masie, zgodnie z prawem, potwierdzonem przez doświadczenie, któreśmy omówili już poprzednio. Rozleniwia je to i podróżnik żyje wolniej według ziemskiej rachuby czasu. Ale fakt, że wynik ten jest rozsądny i usprawiedliwiony, nie umniejsza jego prawdziwości jako twierdzenia geometrycznego.

Nasze uogólnienie geometrji, zmierzające do objęcia zarówno przestrzeni jak czasu, nie sprowadza się poprostu do dołączenia dodatkowego wymiaru do geometrji euklideso-

wej. Pochodzi to stąd, że twierdzenia o czasie, chociaż są analogiczne do przestrzennych, nie pokrywają się całkowicie z temi, które odkrył Euklides. Na szczęście, różnica pomiędzy geometrją czasu a przestrzeni nie jest zbyt głęboka: matematyk prześlizguje się nad nią z łatwością dzięki dyskretnemu zastosowaniu symbolu $\sqrt{-1}$. Nazywamy tę uogólnioną geometrję podawnemu euklidesową (rozszerzając znaczenie tej nazwy). Jeżeli jednak chcemy zwrócić uwagę na tę różnicę, to używamy terminu geometrji hiperbolicznej. Nazwę nieeuklidesowej zachowujemy dla geometrji, która różni się od euklidesowej w sposób bardziej zasadniczy: różni się krzywizną czasoprzestrzeni, przy której pomocy wyjaśniamy obecnie grawitację. Zaczęliśmy od przestrzeni euklidesowej i zmodyfikowaliśmy ją w sposób stosunkowo prosty przez dodanie jednego wymiaru czasowego. Ale to jeszcze nie pozwoliło wyjaśnić zjawiska grawitacji; gdziekolwiek takie zjawisko obserwujemy, tam geometrja euklidesowa nie jest ścisła. Prawdziwą geometrją jest wtedy geometrja nieeuklidesowa, odpowiadająca w ten sposób obszarowi zakrzywionemu, jak euklidesowa odpowiada płaskiemu.

Geometrja a mechanika. Na szczególną uwagę zasługuje to, że twierdzenie o trójkątach czasowych jest twierdzeniem o zachowaniu się zegarów, ożywionych różnemi szybkościami. Uważaliśmy dotąd, że zachowanie się zegarów jest przedmiotem mechaniki. Okazało się jednak, że nie można ograniczać geometrji do samej przestrzeni i musieliśmy ją nieco rozszerzyć. Przy rozszerzaniu okazała się ona tak zachłanna, że porwała całą połać mechaniki. Tak jej to widać zasmakowało, że kęs za kęsem połknęła całość mechaniki, a nawet próbowała dziobnąć elekromagnetyzm. Majaczy przed nami teraz ideał, odległy lecz niesłychanie kuszący, ideał połączenia całej naszej wiedzy o świecie fizycznym w jedną naukę, którą się uda, być może, sformułować w terminach pojęć geometrycznych lub podobnych. Cała

nasza wiedza pochodzi z pomiarów, dokonywanych przy pomocy różnych przyrządów. Przyrządy, stosowane w różnych dziedzinach, nie różnią się zbytnio od siebie. Niema wobec tego powodu do wiary, że przegrody, stworzone pomiędzy różnemi naukami we wczesnym okresie rozwoju myśli ludzkiej, są naprawdę niewzruszone.

Lecz mechanika pozostaje mechaniką, jakkolwiek się stała częścią geometrji. Przegroda pomiędzy geometrją a mechaniką znikła, rozpłynęły się one obie we wspólnej swej naturze. Pozorną supremację zawdzięcza geometrja tylko temu, że posiada bogatszy i plastyczniejszy słownik. Ponieważ po stopieniu obu nauk nie potrzebujemy podwójnego słownika, więc bierzemy nasze wyrazy naogół z geometrji. Obok geometryzacji mechaniki nastąpiła jednak również mechanizacja geometrji. Zacytowane wyżej twierdzenie o trójkącie przestrzennym pociągało za sobą konsekwencje o charakterze wyraźnie materjalnym, dotyczące zachowania się sztab. Nie otrzymałby ich nikt, któryby traktował to twierdzenie jako czysto geometryczne.

Musimy sobie wyperswadować, że przestrzeń naukowa ma coś wspólnego z *pustką*. Jak to poprzednio wyjaśnialiśmy, posiada ona całkowicie różne od niej znaczenie, związane z pojęciami objętości, odległości i t. d., z wielkościami, które przedstawiają wyniki pomiarów fizycznych, zupełnie tak, jak siła jest wynikiem pomiaru fizycznego. Wobec tego twierdzenie raczej symplicystyczne, że teorja Einsteina sprowadza siły grawitacyjne do własności przestrzeni, nie powinno wywołać żadnego podejrzenia. Fizyk nigdy nie rozumie przestrzeni jako pustki. Jeżeli gdzieś jest próżnia, to znajduje się tam w każdym razie eter. Ci, którzy z pewnych powodów nie lubią tego wyrazu, rozsypują sobie symbole matematyczne swobodnie w próżni, lecz przypuszczam, że zakładają jakieś charakterystyczne tło dla tych symbolów. Nie przypuszczam, by ktokolwiek pragnął zbudować z niczego nawet tak względną i złudną rzecz, jaką jest siła.

Rozdział VII

GRAWITACJA: JEJ WYJAŚNIENIE

Prawo krzywizny. Teorja Einsteina nie podawała wyjaśnienia grawitacji. Gdy nam mówiła, że pole grawitacyjne odpowiada krzywiźnie czasoprzestrzeni, dawała nam tylko obraz. Obraz pozwala nam wejrzeć w rzeczy o tyle, by przewidzieć różne sprawdzalne konsekwencje. Pozostaje jednakże inna dalsza sprawa: dlaczego wogóle zachodzi stan rzeczy opisany w tym obrazie? Tę sprawę miałem na myśli, gdy mówiłem o „wyjaśnieniu" grawitacji w głębszym sensie.

Na pierwszy rzut oka wydaje się, że nowy nasz obraz niewiele pozostawia do wyjaśnienia. Wskazuje nam falisty, pagórkowaty świat, podczas gdy świat bez grawitacji byłby płaski i jednostajny. A przecie płaska łąka jest rzeczą bardziej osobliwą niż pagórkowata i świat bez grawitacji trudniej byłoby wytłumaczyć niż świat z grawitacją. Trudno wymagać od nas wyjaśnienia zjawiska, które tylko wtedyby nie zaszło, gdyby mu przy budowaniu świata specjalnie zapobiegano. Gdyby zatem krzywizna była całkiem dowolna, na tem kończyłoby się wyjaśnienie. Ale istnieje pewne *prawo* krzywizny — prawo grawitacji Einsteina — i natem prawie należy skupić nasze dalsze badania. Wyjaśnienia wymaga nie kaprys, lecz regularność; naszą ciekawość zatem drażnią nie dowolne wartości dziesięciu pomocniczych spółczynników krzywizny, dzięki którym świat nie jest płaski, lecz właśnie znikanie dziesięciu głównych spółczynników.

Wszystkie wyjaśnienia grawitacji na tle prawa Newtona zmierzały do wytłumaczenia, dlaczego coś jest obecne na świecie, coś, co nazwałem (z pewnym brakiem respektu) demonem. Wyjaśnienie grawitacji na tle teorji Einsteina sprowadza się natomiast do wytłumaczenia, dlaczego coś (zwanego krzywizną główną) jest nieobecne na świecie.

W rozdziale poprzednim sformułowaliśmy prawo grawitacji w postaci twierdzenia, że dziesięć głównych spółczynników krzywizny znika w przestrzeni próżnej. Wyrazimy je teraz nieco inaczej:

*Promień krzywizny sferycznej * każdego trójwymiarowego przekroju świata, poprowadzonego w dowolnym punkcie i kierunku jest zawsze ten sam.*

Poza zmianą formy, jest również pewna zmiana treści w tem drugiem sformułowaniu. Odpowiada ono późniejszemu i, jak się wydaje, dokładniejszemu wzorowi, który Einstein podał w rok czy w dwa po swej pierwszej teorji. Modyfikacja ta została podyktowana przez odkrycie, że przestrzeń jest skończona lecz nieograniczona (str. 75). Drugie sformułowanie byłoby całkowicie równoważne pierwszemu, gdybyśmy zastąpili wyrazy „jest zawsze ten sam" przez „jest zawsze nieskończenie wielki". Jeżeli pominąć pewne bardzo naciągnięte oszacowania, nie znamy tej stałej długości promienia, o której mowa w tem drugiem ujęciu; w każdym jednak razie musi ona być większa, niż odległość do najdalszej mgławicy, zatem coś około 10^{20} kilometrów. Rozróżnienie pomiędzy taką długością a długością nieskończenie wielką jest w większości naszych rozważań i badań zbędne. W niniejszym rozdziale jednak jest konieczne.

* Krzywizna cylindryczna świata nie jest w żaden sposób związana z grawitacją, ani też z żadnem innem zjawiskiem, o ile nam wiadomo. Cokolwiek wykreślimy na walcu, może być rozwinięte na płaską mapę bez odkształcenia. Tymczasem krzywizna, którą wprowadziliśmy w poprzednim rozdziale miała na celu wyjaśnić odkształcenie, występujące na zwykłej mapie płaskiej. Nie można zakładać, że krzywizna świata jest taka jak walca: trzeba założyć, że jest taka jak kuli.

Spróbujmy teraz wyłuskać jądro, ukryte poza ciemną frazeologją naszego prawa. Przypuśćmy, że zamawiamy do teleskopu wklęsłe zwierciadło. Jeżeli chcemy otrzymać to, co nam jest potrzebne, musimy podać dwie wielkości: 1^0 aperturę i 2^0 promień krzywizny. Obie te wielkości należą do zwierciadła, obie są potrzebne do opisu rodzaju zwierciadła, jakiego sobie życzymy, ale każda w inny sposób. Możemy zamówić zwierciadło, którego promień krzywizny wynosi 30 metrów, a jednak otrzymać je pocztą jako paczkę. W pewnym sensie owa długość 30 metrów podróżuje wraz z zwierciadłem, ale władze pocztowe nie mogą tego zauważyć. W szczególności długość 30 metrów należy do powierzchni zwierciadła, do kontynuum dwuwymiarowego. Czasoprzestrzeń jest kontynuum czterowymiarowem; możecie sobie zatem wyobrazić na podstawie tej analogji, że można skojarzyć z kawałkiem czasoprzestrzeni różne liczby, które nie mają nic wspólnego z rozmiarami tego kawałka, a jednak tworzą istotną część jego opisu. Dzięki dwum dodatkowym wymiarom można z czasoprzestrzenią skojarzyć znacznie więcej długości niż z powierzchnią zwierciadła. W szczególności istnieje nietylko ogólny promień krzywizny sferycznej, lecz promień dla każdego kierunku, który można obrać w czasoprzestrzeni. Dla skrócenia będę go nazywał „promieniem skierowanym“ świata. Przypuśćmy teraz, że zamawiacie sobie kawałek czasoprzestrzeni ze skierowanym promieniem 500 tryljonów kilometrów w jednym a 800 tryljonów kilometrów w drugim kierunku. Na to Natura odpowiada: „Niestety, tego artykułu nie posiadamy. Mamy wielki wybór pod innemi względami, ale jeżeli idzie o skierowane promienie, to wszystkie nasze wyroby mają jeden i ten sam promień normalny x tryljonów kilometrów“. Nie mogę wam jednak powiedzieć, co należy podstawić zamiast x, bo to wciąż jeszcze pozostaje tajemnicą firmy.

Otóż, istotą prawa grawitacji jest właśnie okoliczność, że skierowany promień świata, który mógłby przecie łatwo zmieniać się od punktu do punktu i od kierunku do kierunku, posiada określoną wartość normalną. Z tego faktu

umiemy wyprowadzić przy pomocy ścisłej dedukcji matematycznej ruchy planet i przepowiedzieć, naprzykład, zaćmienia w ciągu najbliższego tysiąca lat. Jak bowiem już wyjaśniliśmy, prawo grawitacji zawiera również prawo ruchu. Prawo Newtona jest jego przybliżoną przeróbką, przystosowaną do rachunków praktycznych. Jeżeli wyjść z tego prawa, to dalszy ciąg teorji jest zupełnie jasny; ale co się kryje pod tem prawem? Skąd ta nieoczekiwana normalizacja promienia? Oto w co się teraz zamierzamy zagłębić.

Względność długości. Długość obsolutna nie istnieje; możemy wyrazić długość jedynie przez długość czegoś innego *. Wobec tego, gdy mowimy o długości promienia skierowanego, mamy na myśli jego długość w porównaniu z normalnym metrem. Ponadto porównanie to wymaga ułożenia obu tych długości wzdłuż siebie. Porównanie na odległość jest równie nie do pomyślenia, jak działanie na odległość; nawet bardziej, gdyż porównanie jest mniej mętnem pojęciem niż działanie. Musimy wobec tego albo układać metr wzorcowy wzdłuż mierzonej długości, albo obmyślić jakąś metodę, o której jesteśmy przekonani, że da ten sam wynik, co odkładanie sztaby mierniczej.

Lecz czy sztaba miernicza zachowuje swą długość przy przenoszeniu do różnych punktów czasoprzestrzeni? Oczywiście: dopóki jest wzorcem długości, nie może być niczem innem jak metrem. Lecz czy *rzeczywiście* pozostaje ona tym metrem, którym była przedtem? Nie wiem, co przez to pytanie rozumiecie; nie istnieje nic, do czego moglibyście odnieść odchylenie sztaby wzorcowej, nic coby przez porównanie pozwoliło nam wyobrazić sobie charakter takiego odchylenia. Jednak sztaba wzorcowa została wybrana z wielkiem staraniem; materjał, z którego została wykona-

* Ta względność w stosunku do jednostki miary jest oczywiście czemś uzupełniającem i niezależnem od względności w stosunku do ruchu obserwatora, o której była mowa w rozdz. II.

na, musiał spełniać pewne warunki — być nieczuły w miarę możliwości na wpływy przypadkowe, jak temperatura, ciśnienie, wpływy atmosferyczne. Zmierzano do tego, by jego rozciągłość zależała jedynie od najbardziej istotnych cech jego otoczenia współczesnego i przeszłego *. Nie możemy powiedzieć, że obrano go tak, by absolutna długość sztaby była niezmienna, bo nie znamy takiej rzeczy jak długość absolutna. Lecz powiemy, że obrano go tak, by wpływy przypadkowe nie wywoływały zmiany jego długości względnej. Lecz względem czego? *Względem pewnej długości nierozłącznie związanej z obszarem, w którym się znajduje.* Nie mogę sobie wyobrazić żadnej innej odpowiedzi. Przykładem takiej długości nierozłącznie związanej z pewnym obszarem, jest właśnie promień skierowany.

Krótko mówiąc, gdy metr wzorcowy zajmie nowe położenie lub kierunek, to mierzy sam siebie względem skie-

* Jeżeli te przypadkowe wpływy nie są wyrugowane całkowicie drogą wyboru materjału i ostrożności przy użyciu sztaby, to należy zastosować odpowiednie poprawki. Lecz nie można wprowadzać poprawki na *istotne* cechy mierzonej przestrzeni. Poprawiamy wskazania woltomierza na temperaturę, lecz byłoby niedorzeczne poprawiać go na przyłożone napięcie. Różnica między wpływami przypadkowemi a istotnemi, pomiędzy temi, które należy wyrugować a temi, które pozostawić, zależy od intencyj pomiaru. Sztaba miernicza służy do badania przestrzeni, a istotną cechą przestrzeni jest „metryka". Byłoby rzeczą niedorzeczną poprawiać wskazania sztaby ze względu na wartości, któreby dawały, gdyby przestrzeń miała inną metrykę. Obszar świata, w którym badamy metrykę, może zawierać jakieś pole elektryczne; będziemy je traktowali jako wpływ przypadkowy, gdyż sztaba miernicza nie służy do badania pól elektrycznych. Nie chcę przez to powiedzieć, że z pewnego ogólniejszego stanowiska, pole elektryczne jest mniej istotne dla danego obszaru niż jego właściwa metryka. Trudno wogóle powiedzieć, w jakim stopniu wolno byłoby mówić o „tym samym obszarze", gdyby jakieś jego cechy były inne niż w rzeczywistości. Ale sprawa ta nas tu nie obchodzi, gdyż istnieją rozległe obszary świata, pozbawione, praktycznie biorąc, wszelkich cech prócz metryki, i właśnie do nich prawo grawitacji stosuje się w teorji i praktyce. Pomimo to wydawało mi się pożądane zatrzymać się nad tem rozróżnieniem pomiędzy cechami istotnemi a przypadkowemi. Istnieją bowiem poglądy, że skoro niezawsze jest możliwe uniknięcie poprawek na wpływy przypadkowe, to wolno zastosować dowolny system poprawek. Takie postępowanie w jedynej swej konsekwencji ukryłoby wszystko, co pomiary nam mogą powiedzieć o cechach istotnych.

rowanego promienia światła w tym obszarze i kierunku i zajmuje pewną rozciągłość, która znajduje się w określonym stosunku do skierowanego promienia. Nie widzę żadnej innej alternatywy. Wyobraźmy sobie sztabę nieco zakłopotaną w nowem otoczeniu, zastanawiającą się nad tem jakie ma przybrać rozmiary, wiele tego obcego terytorjum ma zająć jej ograniczenie. Chciałaby pewnie zachować się tak, jak poprzednio. Wspomnienia kawałka przestrzeni, który wypełniała przedtem, nic jej pomóc nie mogą, gdyż nie istnieje tu nic w rodzaju znaków przydrożnych. Jedyna rzecz, którą może poznać, to skierowana długość, należąca do obszaru, w którym się znajduje. Wobec tego staje się tym samym ułamkiem skierowanego promienia, którym była poprzednio.

Jeżeli metr wzorcowy jest stale tym samym ułamkiem skierowanego promienia, to skierowany promień zawiera zawsze tę samą liczbę metrów. Wobec tego skierowany promień będzie posiadał tę samą długość dla wszystkich położeń i kierunków. Stąd prawo grawitacji.

Gdyśmy się dziwili, znajdując jako prawo Natury, że skierowany promień krzywizny jest jednakowy dla wszystkich położeń i kierunków, nie zdawaliśmy sobie jeszcze sprawy, że nasza jednostka długości przystosowała się do tego promienia, jako jego stały ułamek. Cała sprawa okazuje się błędnem kołem. Prawo grawitacji — to ukartowana afera.

Wyjaśnienie to nie wprowadza żadnej nowej hipotezy. Gdy powiadamy, że jakiś wzorcowy układ materjalny zajmuje zawsze stały ułamek skierowanego promienia obszaru, w którym się znajduje, to powtarzamy poprostu prawo grawitacji Einsteina — formułując je w postaci odwróconej. Pozostawiając narazie na uboczu, czy takie zachowanie się sztaby jest dostatecznie uzasadnione, wnosimy z prawa grawitacji, że odpowiada ono rzeczywistości. Aby ocenić jednak całą siłę tego wyjaśnienia, musimy jednak uprzytomnić sobie względność rozciągłości. Rozciągłość, której nie zrelatywizowaliśmy do czegoś w otoczeniu, niema żad-

nego sensu. Spróbuj wyobrazić siebie pośród nicości i powiedzieć wtedy, jakie są Twe rozmiary. Jeżeli rozciągłość sztaby wzorcowej jest oznaczona, może to być tylko oznaczoność jej stosunku do pewnej innej rozciągłości. Lecz teraz mówimy o rozciągłości sztaby, umieszczonej w przestrzeni pustej, tak że wszelkie podstawy porównawcze znikły, prócz rozciągłości należącej do metryki przestrzeni i z nią związanej. Okazuje się, że rozciągłość taka musi w rezultacie naszych pomiarów okazać się wszędzie stała (jednorodna i izotropowa), albowiem stosunek jej do tego cośmy obrali za jednostkę długości, musi być stały.

Podeszliśmy do zagadnienia ze stanowiska, że rzeczywisty świat, z jego dziesięcioma znikającemi spółczynnikami krzywizny (czy z izotropową skierowaną krzywizną) jest wyspecjalizowany w pewien sposób, domagający się wyjaśnienia. Porównywaliśmy go zatem w duchu ze światem, wykoncypowanym przez czystego matematyka, ze światem o krzywiźnie całkowicie dowolnej. Lecz okazuje się, że świat o całkowicie dowolnej krzywiźnie jest czystą niemożliwością. Jeżeli nie skierowany promień, to w takim razie jakaś inna długość związana z metryką, musi być izotropowa i jednorodna. Przy stosowaniu metod matematyki czystej przeoczyliśmy, że wyobrażaliśmy sobie świat, badany zzewnątrz obcemi wzorcami, podczas gdy w rzeczywistości mamy świat badany od wewnątrz wzorcami, które się do niego przystosowują.

Wyjaśnienie prawa grawitacji związane jest wobec tego z faktem, że mamy do czynienia ze światem badanym od wewnątrz. Z tego ogólniejszego stanowiska rozważania poprzedzające można rozszerzyć tak, aby ogarnęły nietylko badania przy pomocy sztab mierniczych, lecz również przy pomocy narzędzi optycznych, które praktycznie zastępują sztaby miernicze. Jeżeli sobie uprzytomnimy, że narzędzia badawcze nie posiadają rozciągłości same dla siebie, lecz tylko w odniesieniu do świata, i że wobec tego badanie świata jest w gruncie rzeczy porównywaniem go z samym sobą, to przeciwnie — może się wydawać dziwne, że takie samo-

porównanie wykazuje wogóle jakiekolwiek niejednorodności. W istocie, można udowodnić, że metryka dwu albo trójwymiarowego świata, obserwowana od wewnątrz, musi być jednostajna. Natomiast przy czterech i więcej wymiarach staje się możliwa niejednorodność; lecz jest ona ograniczona przez prawa, które narzucają jej pewien stopień jednorodności.

Sądzę, że sprawa ta wiąże się ściśle z nieco odosobnionemi poglądami Whiteheada na względność. Whitehead nie uznaje teorji Einsteina, ponieważ nie chce się zgodzić na niejednorodność czasoprzestrzeni, założoną przez tę teorję. „Wnoszę", powiada Whitehead, „że doświadczenie nasze posiada jako podstawę pewną jednostajność, którą samo również wykazuje, i że w przypadku Natury podstawa ta ujawnia się jako jednostajność relacyj czasowo-przestrzennych. Wniosek ten jest zabójczy dla przypadkowej niejednorodności owych relacyj, która jest istotna dla późniejszej teorji Einsteina" *. Lecz przekonaliśmy się, że teorja Einsteina stwierdza tę przypadkową niejednorodność tylko dla jednego zbioru dziesięciu spółczynników, a natomiast całkowitą jednostajność dla pozostałych dziesięciu. Wobec tego nie pozbawia nas ona tej bazy jednostajności, która się Whiteheadowi z innych powodów narzucała. Co więcej, jednostajność ta nie jest następstwem prawa dowolnie narzuconego światu, jest ona nieoddzielna od koncepcji świata badanego od wewnątrz. Sądzę, że jest to właśnie ten warunek, którego się domagał Whitehead. Gdyby świat czasoprzestrzeni posiadał dwa albo trzy wymiary, to Whitehead miałby słuszność całkowicie; lecz wtedy nie miałby czego krytykować, bo nie mogłaby wogóle powstać teorja względności. Ponieważ jednak czasoprzestrzeń jest czterowymiarowa, musimy przyjść do wniosku, że Whitehead odkrył doniosłą prawdę, którą fałszywie zastosował.

Istnieje pewien ciekawy wniosek z twierdzenia, że rozciągłość każdego przedmiotu w dowolnym kierunku świata czterowymiarowego jest wyznaczona przez porównanie

* A. N. Whitehead, The Principle of Relativity, Przedmowa.

z promieniem krzywizny, odpowiadającym danemu kierunkowi. Dopóki dany kierunek świata czterowymiarowego ma charakter przestrzenny, nie pojawiają się trudności. Lecz gdy przechodzimy do kierunków o charakterze czasowym (to znaczy znajdujących się wewnątrz stożka absolutnej przyszłości lub przeszłości), okazuje się, że promień krzywizny staje się wielkością urojoną. Przy uwzględnieniu ostrzegawczego symbolu $\sqrt{-1}$ ciała nie mają żadnej podstawy porównawczej do ustalenia swego czasu trwania. Nie istnieje wzorzec trwania. Elektron decyduje się na to, jakie ma przybrać rozmiary, przez ustalenie swego stosunku do promienia świata, odpowiadającego jego kierunkowi przestrzennemu. Nie może natomiast zdecydować, jak ma długo istnieć, gdyż nie istnieje rzeczywisty promień świata w jego kierunku czasowym. *Oto dlaczego nie istnieje on nieograniczenie.* Nie mam zamiaru uważać tego za ścisły dowód nieśmiertelności elektronu — zakładaliśmy tu przecie milcząco, że oprócz metryki żaden inny czynnik nie wpływa na jego rozmiary. Lecz wskazuje on, że elektron zachowuje się w ten właśnie prosty sposób, jakiego można było się spodziewać *.

Przepowiednie oparte na prawie grawitacji. Przypuszczam, że na pierwszy rzut oka wydaje się trochę dziwne, że prawo, które ma rządzić ruchami gwiazd i planet, zabawia się w rzeczywistości zachowaniem się sztab mierniczych. Aby to zrozumieć, musimy sobie uprzytomnić, że we wszelkiej przepowiedni z prawa grawitacji, zachowanie się przyrządów mierniczych odgrywa rolę rozstrzygającą. Typowa taka przepowiednia brzmi, że w pewnej chwili 384 400 000 sztab metrowych ułoży się na drodze pomiędzy Ziemią

* Z drugiej jednak strony kwant (por. rozdział IX) jest związany z pewną określoną okresowością, tak że powinno istnieć naturalne jego porównanie z rozciągłością czasową. Ktokolwiek się zagłębia w równania matematyczne nowej teorji kwantów, znajduje obfite dowody walki z ciągle się pojawiającym symbolem $\sqrt{-1}$.

a Księżycem. Moglibyśmy wprawdzie sformułować to w sposób bardziej okólny, ale idzie nam naprawdę właśnie o to. Nie jest tu ważne, że przy sprawdzaniu tej przepowiedni nie będziemy wykonywali dosłownie całej operacji, lecz damy wiarę dowodom pośrednim. Przepowiednia ta została wypowiedziana przez teorję w dobrej wierze, bez podstępnego planu skorzystania z naszego niedbalstwa przy jej sprawdzaniu.

Oskarżyliśmy prawo grawitacji o to, że jest ukartowaną aferą. Zapytacie wobec tego, jakże po takiej kompromitacji może ono jeszcze mieć pretensje do przepowiadania zaćmień i innych przyszłych zjawisk.

Pewien sławny filozof powiedział:

„Ruch ciał niebieskich nie pochodzi od żadnego ciągnienia tam i zpowrotem przez siły mechaniczne, jest to ruch swobodny. Wędrują one, według powiedzenia starożytnych, jak bogowie błogosławieni *

Brzmi to wyjątkowo głupio, nawet jak na filozofa. Ale sądzę, że w pewnym sensie jest to prawdziwe.

Sformułowaliśmy dotąd na trzy sposoby to, co się dzieje z Ziemią, gdy odbywa swą eliptyczną drogę dokoła Słońca:

(1) Usiłuje ona poruszać się po linji prostej, lecz przeszkadza jej brutalne ciągnienie pochodzące od Słońca.

(2) Obiera ona najdłuższą drogę poprzez zakrzywioną czasoprzestrzeń w otoczeniu Słońca.

(3) Przystosowuje swój ruch do tego, by zapobiec tworzeniu się niedozwolonej krzywizny w pustej przestrzeni dokoła.

Możemy dodać teraz czwarte ujęcie.

(4) Ziemia porusza się tak, jak jej się żywnie podoba.

Krok od trzeciego ujęcia do czwartego nie jest wielki, skoro się przekonaliśmy, że obraz matematyczny próżnej przestrzeni, wykazującej „niedozwoloną“ krzywiznę, jest czystą niemożliwością w świecie badanym od wewnątrz. W rzeczy samej, jeżeli niedozwolona krzywizna jest zupeł-

* Hegel, Werke (1842), Bd. 7, Abt. I, str. 97.

ną niemożliwością, to Ziemia nie będzie zmuszona uciekać się do żadnych ostrożności, aby jej uniknąć i może robić, co się jej podoba. A przecież niewystępowanie tej niemożliwej krzywizny jest właśnie prawem (grawitacji), które pozwala nam obliczyć tor i ruch Ziemi!

Kluczem do tego paradoksu jest to, że nasze umysły, nasze konwencje i zainteresowania znacznie większą odgrywają rolę w opisie zachowania się przedmiotów świata fizycznego, niż się nam wydaje. Dzięki temu przedmiot, który zachowuje się w sposób bardzo szczególny i uderzający, gdy go obserwujemy poprzez nasz układ konwencyj, może nie wykazywać nic godnego uwagi w swem zachowaniu, gdy go badamy zgodnie z innym układem konwencyj. Wyjaśni się to nam, jeśli rozważymy pewną ilustrację praktyczną, broniąc jednocześnie ujęcia (4).

Odpowiecie mi może, że Ziemia musi zdążyć na swoje miejsce w najbliższem zaćmieniu czerwcowem (1927) i że wobec tego nie może iść, gdzie się jej podoba. Pomimo to, podejmuję się obrony swego stanowiska. Obstaję przy tem, że Ziemia idzie tam, gdzie się jej podoba; tylko że to *my* musimy wykryć, dokąd jej się podobało powędrować. Zagadnienie nasze nie polega tu na tem, by odkryć, co się stało z Ziemią w niepoznawalnym absolucie, ukrytym poza zjawiskami, lecz by ją ulokować w naszym konwencjonalnym schemacie czasu i przestrzeni. Musimy dokonać pomiarów jej położenia, naprzykład zmierzyć jej odległość od słońca. Na fig. 6 SS_1 przedstawia tę fałdę świata, którą odczuwamy jako Słońce. Fałdę ziemi (EE_1, EE_2) narysowałem w dwóch egzemplarzach, ponieważ nie jest jeszcze zdecydowane, jaki szlak Ziemia obierze. Jeżeli obierze EE^0, to ułożymy nasze sztaby miernicze wdół pagórka i poprzez doliny od S_1 do E_1, obliczymy ich liczbę i podamy ją jako odległość Ziemi i Słońca. Przypominacie sobie, że sztaby miernicze przystosowują swą długość proporcjonalnie do promienia krzywizny świata. Krzywizna wzdłuż S_1E_1 jest spora, a promień krzywizny wobec tego niewielki. Zatem i sztaby będą małe i więcej się ich ułoży na S_1E_1, niżby na to wska-

zywał rysunek. Jeżeli Ziemia natomiast postanowi iść do E_2, to krzywizna będzie łagodniejsza, promień krzywizny, a z nim długość sztaby będzie większa. Liczba sztab na odcinku S_1E_2 nie będzie taka wielka, jakby to wynikało z rysunku, nie wzrośnie ona bynajmniej w stosunku S_1E_2 do S_1E_1. Nie zdziwilibyśmy się, gdyby liczba ta okazała się jednakowa w obu przypadkach. Jeżeli tak, to badacz znaj-

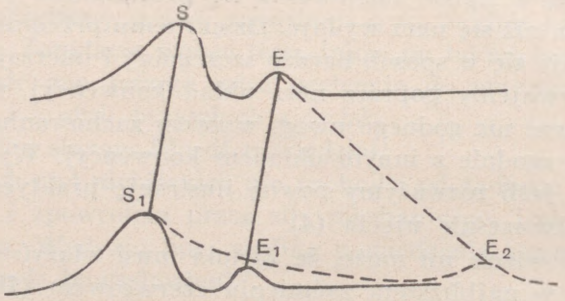


Fig. 6.

dzie tę samą odległość Ziemi od Słońca, bez względu na to, czy obierze ona szlak EE_1 czy EE_2. I wydawca Almanachu Morskiego, który opublikował tę samą odległość o kilka lat wcześniej, będzie utrzymywał, że poprawnie przepowiedział ruch Ziemi.

Widzicie zatem, że Ziemia może sobie swobodnie wagarować, a jednak nasze pomiary ciągle będą ją meldowały w miejscu przepisanem przez Almanach Morski. Przepowiednie tego autorytetu nie zwracają żadnej uwagi na kaprysy bogom podobnej Ziemi. Oparte są na tem, co się stanie, gdy będziemy *mierzyli* obraną przez nią drogę. Użyjemy do tego prętów, które przystosowują się do krzywizny świata. Matematyczne sformułowanie tego faktu stanowi właśnie prawo grawitacji, na którego podstawie przepowiadaliśmy ruch Ziemi.

Możecie tu zarzucić, że w praktyce astronomowie nie układają sztab końcami poprzez przestrzenie międzyplanetarne, gdy chcą wyznaczyć położenie planet. W rzeczywi-

słości odbywa się to za pośrednictwem promieni świetlnych. Lecz światło, szukając dla siebie „prostej" drogi, postępuje zasadniczo tak samo, jak sztaby miernicze, gdy szukają swej własnej rozciągłości. Metryka czy krzywizna jest słupem sygnałowym dla światła, tak jak jest podstawą porównawczą dla sztaby. Istotnie, ruch światła jest w ten sposób zależny od krzywizny, że nie może zdradzić rzekomego prawa krzywizny. Tak więc, gdziekolwiek zabrną Słońce, Ziemia i Księżyc, światło ich nie wyda. Jeżeli prawo krzywizny przepowiada zaćmienie, to światło obierze taką drogę, aby nastąpiło zaćmienie. Prawo grawitacji nie jest surowym władcą, który rządzi ciałami niebieskiemi; jest raczej czułym przyjacielem, który ukrywa wszystkie ich wybryki.

Nie próbujcie jednak sprawdzać, na podstawie figury 6, że w S_1E_1 (linja wyciągnięta) i S_1E_2 (linja kropkowana) mieści się ta sama liczba sztab mierniczych. Opuściliśmy w tym rysunku jeszcze dwa wymiary czasoprzestrzeni, a pozatem istnieją jeszcze dodatkowe wymiary, w których należy sobie wyobrazić zginanie czasoprzestrzeni. Jeszcze jedno utrudnienie stanowi, że długość sztaby normuje nie krzywizna cylindryczna, a sferyczna. Sprawdzenie bezpośrednie naszego twierdzenia byłoby zadaniem bardzo pouczającem, jakkolwiek również bardzo mozolnem. Lecz i bez tego wiemy zgóry, że zmierzona odległość Ziemi od Słońca musi być ta sama dla każdego toru. Prawo grawitacji które się wyraża matematycznie zapomocą wzoru $G_{\mu\nu} = \lambda\, g_{\mu\nu}$, oznacza dokładnie, że długość jednostki miary jest wszędzie stałym ułamkiem skierowanego promienia świata w danym punkcie. Zatem, skoro astronom przy przepowiadaniu przyszłych położeń Ziemi nie zakłada nic innego o jej zachowaniu się prócz tego, co zawiera prawo $G_{\mu\nu} = \lambda g_{\mu\nu}$, więc i my znajdziemy to samo położenie Ziemi, jeżeli przyjmiemy tylko, że praktyczna jednostka miary, stosowana do wymierzania, jest stałym ułamkiem skierowanego promienia. Nie zachodzi wogóle potrzeba wyboru jednego z torów EE_1 czy EE_2, i wybór taki niby nie zmienił w przebiegu zjawisk obserwowanych.

Będę miał w innem miejscu sposobność podkreślić, że cała nasza wiedza fizyczna jest oparta na pomiarach i że świat fizyczny jest zbudowany — że się tak wyrazimy — z zespołów pomiarów, spoczywających na jakiemś widmowem tle, które się już znajduje poza zakresem fizyki. Oto dlaczego przekroczyłem granice tego, co nazywamy rzeczywistością fizyczną, gdy przyjąłem istnienie świata, niezależnego od pomiarów, które na nim dokonywamy. Nie wypieram się poglądu, że jakieś błądzenie Ziemi, z samej swej natury niemierzalne, nie może mieć pretensyj do istnienia fizycznego. Nikt nie wie, co właściwie takie błądzenie ma oznaczać. Powiedziałem przedtem, że Ziemia może wędrować, gdzie się jej spodoba, ale nie dałem jej tego „gdzie" do wyboru; nasze pojęcie miejsca jest bowiem oparte na pomiarach, a w tamtem stadjum pomiary zostały wyłączone. Lecz nie sądzę, bym był nielogiczny. Utrzymywałem, że w żaden sposób Ziemia nie może opuścić szlaku, narzuconego jej przez prawo grawitacji. Aby to wykazać, musiałem przypuścić, że Ziemia usiłowała to uczynić i zakradła się bliżej Słońca; udowodniłem, że nasze pomiary spiskują tak, aby ulokować ją z całym spokojem zpowrotem na właściwej orbicie. Ostatecznie muszę stwierdzić, że Ziemia nigdy nie opuszczała swej orbity *; lecz nie biorę sobie tego do serca, ponieważ tymczasem udowodniłem swe twierdzenie. Szlak, którym Ziemia biec musi poprzez czas i przestrzeń, nie jest dla niej faktycznem ograniczeniem swobody ruchów. Jest on następstwem schematu formalnego, w którego ramach spisujemy sprawozdanie z zachowania się Ziemi.

Przestrzeń niepróżna. Prawo stałości promienia skierowanego nie stosuje się do przestrzeni, która nie jest całkowicie

* Nie możemy orbity rozumieć inaczej, jak orbitę w czasie i przestrzeni, to jest jako coś ustalonego przez pomiary. Lecz nie wolno mi uważać tej drugiej alternatywej orbity za bezsensowną (t. zn. sprzeczną z możliwością pomiarów), dopóki jej nie wypróbowałem.

próżna. Zresztą niema też powodów do przewidywania, że pozostanie ono zachowane. Gdy twierdzimy, że jakiś obszar nie jest próżny, to przypisujemy mu inne cechy prócz metryki, sztaba miernicza może wtedy obrać sobie inne długości poza krzywizną, na które będzie się mogła nastawiać. Wracając do wcześniejszego (zresztą dostatecznie przybliżonego) naszego prawa, możemy powiedzieć, że dziesięć głównych spółczynników krzywizny są zerami w przestrzeni próżnej, lecz mają wartości różne od zera w przestrzeni niepróżnej. Jest wobec naturalne uważać te spółczynniki za *miarę wypełnienia przestrzeni*.

Jeden z tych spółczynników odpowiada masie (lub energji) i w większości przypadków spotykanych praktycznie przewyższa pozostałe pod względem doniosłości. Stare określenie masy jako „ilości materji" łączy masę z jakiemś wypełnieniem przestrzeni. Trzy dalsze spółczynniki stanowią pęd — wielkość skierowaną o trzech niezależnych składowych. Pozostałe sześć spółczynników krzywizny głównej stanowią układ wielkości, charakteryzujących naprężenie. Masa, pęd i naprężenie wyrażają zatem „niepróżność" w tym zakresie, w jakim może ona oddziaływać na zwykłe przyrządy miernicze, przy których pomocy badamy przestrzeń — zegary, skale, promienie świetlne i t. d. Należy jednak dodać, że wielkości dają nam tylko pobieżny opis, a nie szczegółową charakterystykę wypełnienia obszaru, gdyż mamy inne przyrządy do badania — magnesy, elektroskopy — które nam mogą dostarczyć dalszych szczegółów. Powiada się zazwyczaj, że gdy używamy tych ostatnich przyrządów, to badamy już nie przestrzeń, lecz *pole* w tej przestrzeni. Te rozróżnienie jest zapewne sztuczne i nie da się chyba utrzymać na stałe. Wydaje się raczej, że wyniki badania świata przy pomocy sztaby mierniczej i kompasu magnetycznego powinny być również splecione razem, w jakiś jednolity schemat, zupełnie podobnie, jak splotliśmy wyniki badania sztabą i zegarem. Zrobiono już pewne kroki w kierunku tego połączenia. Istnieje jednakże istotny powód, by traktować te badania przynajmniej czę-

ściowo oddzielnie: jeden z tych sposobów badania wyznacza symetryczne, a drugi skośnie symetryczne własności struktury świata, stanowiące podkład naszych badań *.

Wielu pisarzy, szczególnie filozoficznych, podnosiło zarzut, że zasadnicze rekwizyty Einsteina, zegar i sztaba miernicza, są tak zgruba ciosane. Lecz blok wiedzy ludzkiej o świecie, uporządkowany przez teorję Einsteina, nie pojawił się w naszych umysłach za sprawą objawienia niebieskiego. Jest on wynikiem badania, w którem zegar i sztaba miernicza odgrywały kierowniczą rolę. Mogą się one wydawać bardzo grube tym, którzy się oswoili z pojęciem atomu i elektronu, to też właśnie w rozdziałach poświęconych teorji Einsteina omawialiśmy wyłącznie wiedzę grubą. W miarę rozwoju teorji względności okazało się pożądane zastąpienie zegara i sztaby przez poruszającą się cząsteczkę i promień świetlny, jako pierwotne narzędzia badawcze. Są to twory o prostszej budowie. Lecz i one są jeszcze grube w porównaniu z zjawiskami atomowemi. Promień świetlny nie nadaje się naprzykład do pomiarów tak subtelnych, że należy przy nich uwzględnić dyfrakcję światła. Nie można oddzielić naszej wiedzy o świecie zewnętrznym od natury przyrządów, przy których pomocy wiedzę tę uzyskaliśmy. Nie można uważać, że prawo grawitacji zachodzi niezależnie od postępowania doświadczalnego, które pozwoliło je odkryć.

Pojęcie rusztowania czasoprzestrzennego, pojęcie świata niepróżnego, opisanego przez energję, pęd i t. d., jest związane z badaniem przy pomocy narzędzi grubych. Gdy pojęcia te tracą oparcie o badanie tego rodzaju, rozpływają się w bezsensie. W szczególności nie można sobie wyobrazić, by wnętrze atomu było badane w ten gruby sposób. Nie można wstawić zegara ani sztaby do wnętrza atomu. Żaden akcent nie będzie zbyt mocny, gdy idzie o podkreślenie, że pojęcia odległości, odstępu czasowego, masy, energji, pędu i t. d. nie posiadają przy opisie atomu tego samego znaczenia, co w grubem doświadczeniu. Przy użyciu ich

* por. str. 236.

w dziedzinie fizyki atomowej musimy dla nich znaleźć znaczenia własne — musimy stwierdzić, na czem polega postępowanie przy ich wyobrażalnym pomiarze. Zakłada się niekiedy, że obok sił elektrycznych istnieje drobne przyciąganie grawitacyjne pomiędzy jądrem atomowem a towarzyszącemi elektronami, przyciąganie czyniące zadość tym samym prawom co przyciąganie pomiędzy Słońcem a planetą. Założenie to wydaje mi się fantastyczne; lecz dyskusja nad niem jest rzeczą niemożliwą, dopóki niema wskazań, jak należy mierzyć obszary wewnątrz atomu. A dopóki niema pomiarów, elektrony wędrują sobie, jak im się podoba, „jak bogowie błogosławieni".

Dotarliśmy teraz do sprawy o wielkiem znaczeniu naukowem i filozoficznem. Dziesięć głównych spółczynników krzywizny nie są dla nas niczem obcem. Znane są one w rozprawach naukowych pod innemi nazwami (naprężenie, pęd, energja). Można tę sytuację porównać ze sławnym punktem zwrotnym w rozwoju teorji elektryczności i magnetyzmu. Rozwój ten doprowadził w pewnej chwili do rozważania fal siły elektrycznej i magnetycznej, wędrujących poprzez eter. Olśniła Maxwella myśl, że fale te nie są niczem obcem, lecz że nam były znane pod nazwą światła z doświadczenia codziennego. Metoda identyfikacji jest i tu i tam ta sama. Obliczono, że fale elektromagnetyczne będą posiadały właśnie te własności, które dostrzeżono u światła. Tu podobnie obliczyliśmy, że dziesięć spółczynników krzywizny posiadają właśnie te własności, które przysługują energji, pędowi i naprężeniu. Mówimy tu wyłącznie o własnościach fizycznych. Nie żądamy od żadnej teorji fizycznej wyjaśnienia, dlaczego w naszej duszy wiąże się ze światłem pewien szczególny obraz, ani też dlaczego pojęcie substancji powstało w naszym umyśle w związku z temi okolicami świata, które zawierają masę.

Prowadzi to w obrazie zjawisk do znacznego uproszczenia, gdyż możemy związek przyczynowy zastąpić przez tożsamość. Podług teorji Newtona żadne wyjaśnienie grawitacji nie mogło być zadowalające, dopóki nie było w sta-

nie opisać mechanizmu, dzięki któremu kawałek materji ujarzmia otaczający ośrodek i każe mu przenosić wpływy grawitacyjne, promieniujące z materji. W teorji obecnej nic podobnego nie jest potrzebne. Nie pytamy, w jaki sposób masa ujarzmia przestrzeń i wywołuje krzywiznę, postulowaną przez naszą teorję. Byłoby to równie zbędne, jak pytanie w jaki sposób światło ujarzmia ośrodek elektromagnetyczny, zmuszając go do drgania. Światło *jest* właśnie drganiem; masa *jest* krzywizną. Masa nie warunkuje żadnego skutku; tembardziej nie można żadnych skutków przypisać materji. Pojęcie materji, które wiążemy z temi miejscami wyjątkowego zakrzywienia, jest jakby pomnikiem, wzniesionym przez umysł, aby zaznaczyć miejsce walki. Czy przychodzi wam przy zwiedzaniu pola walki na myśl zapytać, w jaki sposób upamiętniający ją pomnik mógł spowodować taką rzeź?

Bilansem filozoficznym tej identyfikacji zajmiemy się w późniejszych rozdziałach. Lecz zanim rozstanę się z zagadnieniem grawitacji, chciałbym jeszcze powiedzieć cośniecoś o sensie krzywizny przestrzeni i o geometrji nieeuklidesowej.

Geometrja nieeuklidesowa. Skłaniałem was do wyobrażania sobie czasoprzestrzeni jako zakrzywionej, lecz uważałem pilnie, by mówić o nim jako o obrazie, a nie jako o hipotezie. Jest to rodzaj graficznego przedstawienia sprawy, uławiający nam zrozumienie i przewidywanie. Sens tego obrazu możemy wyrazić w oględniejszy sposób, mówiąc że geometrja czasoprzestrzeni jest nieeuklidesowa. Terminów „przestrzeń zakrzywiona" i „przestrzeń nieeuklidesowa" używa się w praktyce zamiennie. Tem nie mniej podsuwają one różne punkty widzenia. Gdy próbowaliśmy wyobrazić sobie przestrzeń skończoną, a nieograniczoną (str. 75). trudność polegała na uwolnieniu się od wnętrza hipersfery i tego, co ją otacza zzewnątrz. Podobne przejście spotykamy przy przejściu od przestrzeni zakrzywionej do nieeukli-

desowej — trzeba skreślić wszelkie odniesienie do zewnętrznego (i wyobrażalnego) rusztowania i ograniczyć się do związków, które istnieją *wewnątrz* samej przestrzeni.

Na pytanie, jaka jest odległość od Londynu do Glasgow, istnieją dwie możliwe odpowiedzi. Jeden mierniczy może podać odległość mierzoną poprzez powierzchnię oceanu; drugi może zmierzyć krótszą odległość wzdłuż tunelu podziemnego. Drugi mierniczy korzysta przy swym pomiarze z pewnego wymiaru przestrzeni, który pierwszy zignorował. Lecz jeżeli dwaj ludzie nie zgadzają się co do odległości, to nie zgadzają się również co do geometrji: geometrja jest bowiem nauką o odległościach. Pominięcie jednego wymiaru, czy jego nieznajomość, prowadzi nas do innej geometrji. Dla drugiego mierniczego odległości ulegają prawom trójwymiarowej geometrji euklidesowej. Dla pierwszego natomiast spełniają one prawa dwuwymiarowej geometrji nieeuklidesowej. Jeżeli zatem skupicie uwagę na powierzchni Ziemi tak mocno, że zapomnicie, że posiada ona wnętrze i otoczenie, to powiecie, że jest to rozciągłość dwuwymiarowa z geometrją nieeuklidesową. Lecz jeżeli sobie przypomnicie, że istnieje dokoła niej przestrzeń trójwymiarowa, która pozwala przejść od punktu do punktu na krótszej drodze, to możecie powrócić do Euklidesa. Możecie wtedy uwolnić się od geometrji euklidesowej przez wyjaśnienie, że to, co przedtem braliście za odległości, nie stanowi odległości właściwych. Jest to najprostsza droga do wytłumaczenia, w jaki sposób może powstać geometrja nieeuklidesowa — mianowicie przez zagubienie jednego wymiaru — ale nie wolno stąd wnosić, że geometrja nieeuklidesowa staje się możliwa wyłącznie w ten sposób.

W naszym przesiąkniętym grawitacją świecie czterowymiarowym odległości spełniają geometrję nieeuklidesową. Czy to dlatego, że skupiliśmy uwagę wyłącznie na tych czterech wymiarach i przeoczyliśmy „drogę naprzełaj“ przez obszary leżące poza tym światem? Zapomocą wprowadzenia sześciu dodatkowych wymiarów możemy wrócić do geometrji euklidesowej. Jeżeli to zrobimy, to nasze zwykłe odle-

głości od punktu do punktu w naszym świecie, okażą się odległościami „fałszywemi"; odległości prawdziwe będą prowadziły przez jakiś ósmy albo dziewiąty wymiar. Wyginanie naszego świata w jakimś nadświecie dziesięciowymiarowym, tak aby umożliwić te „drogi naprzełaj", pomaga, jak sądzę, wyobrazić sobie własności nieeuklidesowej geometrji naszego świata. W każdym razie obraz ten poddaje pożyteczny słownik do opisu tych własności. Lecz do uznania wymiarów dodatkowych za fakty będziemy skłonni tylko wtedy, gdy będziemy uważali, że geometrję nieeuklidesową należy za wszelką cenę „wytłumaczyć".

Mamy więc dwie alternatywy — zakrzywiona rozciągłość w przestrzeni euklidesowej o dziesięciu wymiarach lub nieuklidesowa geometrja bez wymiarów dodatkowych: która z nich jest prawdziwa? Nie kusiłbym się o bezpośrednią odpowiedź, ponieważ obawiam się zbłądzić w mgłach metafizycznych. Lecz chciałbym powiedzieć odrazu, że nie biorę tych dziesięciu wymiarów na serjo, podczas gdy nieeuklidesową geometrję naszego świata biorę na serjo i nie uważam, że jest to coś, co należy „wytłumaczyć". Pogląd, że aksjomaty Euklidesa mogą być uznane na podstawie samej intuicji, jest obecnie powszechnie zarzucony. Nie możemy rozstrzygać intuicyjnie praw przestrzeni, tak jak nie możemy rozstrzygać praw dziedziczności. Jeżeli wyrugujemy intuicję, musi rozstrzygać eksperyment — prawdziwy bezstronny eksperyment, nieskrępowany żadnemi uprzedzeniami co do jego wyniku. Nie powinniśmy rewidować eksperymetrów ex post dlatego, że prowadzą one do wniosku, iż przestrzeń lekko odbiega od euklidesowości. Jest zupełną prawdą, że możnaby znaleźć wyjście: wprowadzenie wymiarów dodatkowych pozwoli oprzeć nieeuklidesową geometrję świata na geometrji euklidesowej dziesięciowymiarowej. Zresztą, gdyby świat okazał się euklidesowy, to możnaby, jak sądzę, oprzeć jego geometrję na nieeuklidesowej geometrji dziesięciowymiarowej. Lecz nikt nie wziąłby tego pomysłu na serjo, i podobnie nie można podać żadnego powodu, by brać na serjo pomysł poprzedni.

Nie sądzę, by te sześć wymiarów dodatkowych miały jakichś dzielnych obrońców. Lecz często spotykamy inne próby narzucenia światu pomimo wszystko geometrji euklidesowej. Bez żadnego zażenowania robią niektórzy następującą propozycję: skoro mierzone odległości nie spełniają geometrji euklidesowej, to należy wprowadzić na nie poprawki — pitrasić je — tak długo, aż się do niej nagną. Pogląd blisko spokrewniony utrzymuje, że przestrzeń nie jest ani euklidesowa ani nieeuklidesowa: jest to sprawa konwencji i mamy swobodę wyboru takiej geometrji, jaką się nam podoba *. Naturalnie, jeżeli uważamy, że wolno nam do naszych pomiarów stosować zupełnie dowolne poprawki, to możemy dopiąć tego, że będą one ulegały dowolnemu prawu: lecz to jest fakt chyba trywialny. Że dopuszczalna jest dowolna geometrja, można było twierdzić tylko przy założeniu, że długości nie są ustalone — że fizyk nie ma (lub też nie powinien mieć) nic określonego na myśli, gdy mówi o długości. Obawiam się, że mi trudno będzie wytłumaczyć, o co mi idzie, jeżeli ktoś wychodzi z założenia, że słowa moje wogóle nic nie znaczą. Lecz jeżeli ktoś jest innego zdania, to będę usiłował zwalczyć jego wątpliwości. Fizyk przywykł do przypisywania długości wielkiej liczbie ważnych figur. Aby uprzytomnić sobie sens tych długości, należy się przyjrzeć, skąd one pochodzą. Okazuje się wtedy, że otrzymujemy je przez porównanie z wzorcem o określonej budowie materjalnej. (Przerywamy sobie, aby zauważyć, że rozciągłość wzorcowej konfiguracji materjalnej może być słusznie uważana za jeden z najwcześniejszych objektów fizycznego badania naszego otoczenia). Długości te to brama, przez którą wchodzi wiedza o otaczają-

* Świeżą ilustrację tego stanowiska daje Bertranda Russella *Analysis of Matter* (str. 78) — książka, z którą tylko rzadko rozmijam się w poglądach. „Podczas gdy Eddington uważa za konieczne przyjęcie Einsteinowskiej przestrzeni zmiennej, Whitehead uważa za konieczne jej zarzucenie. Co do mnie, nie widzę, dlaczego nie mielibyśmy się zgodzić z każdem z tych dwóch stanowisk. Sprawa ta wydaje mi się sprawą wygody przy interpretacji wzorów". Pogląd Russella poleca również C. D. Broad. Por. również odnośnik na str. 133.

cym nas świecie. Czy będą one odgrywały wybitną rolę w ostatecznym obrazie budowy świata, to się okaże w miarę rozwoju badania; nie przesądzamy tego faktu. Stan faktyczny jest taki, że długości przestrzenne albo czasowe brane w oderwaniu są względne i tylko jakichś ich połączeń możnaby się spodziewać, nawet w najskromniejszej roli, w ostatecznej budowie świata. Tymczasem pierwszy krok przez tę bramę prowadzi nas do geometrji, spełnionej przez te długości — geometrji bardzo zbliżonej do euklidesowej, ale faktycznie nieeuklidesowej; przytem specjalnego rodzaju, jak widzieliśmy, bo znikało w niej dziesięć głównych spółczynnikow krzywizny. Okazaliśmy w rozdziale niniejszym, że ograniczenie to nie jest dowolne, że jest ono konieczną własnością długości, wyrażonych w odniesieniu do rozciągłości pewnego wzorca materjalnego; tymczasem byłoby ono zastanawiające, gdyby zdarzyło się przy innej definicji długości. Czy warto się zatrzymywać, aby stwierdzić, że gdybyśmy co innego rozumieli przez długość, to znaleźlibyśmy inną geometrję? Oczywiście! gdybyśmy co innego rozumieli przez siłę elektryczną, to znaleźlibyśmy równania różne od równań Maxwella. Nietylko z powodów doświadczalnych, ale również z teoretycznych dochodzimy do tej, a nie do innej geometrji, a to dzięki temu, że nasze długości oznaczają to, a nie co innego.

Zbyt długo już odkładałem rozprawę z krytyką matematyka, który znajduje się pod wrażeniem, że geometrja jest przedmiotem, należącym wyłącznie do niego. Każda gałęź wiedzy doświadczalnej dąży do zaopatrzenia się w specjalny aparat badania matematycznego. Czysty matematyk, przywołany najprzód jako sługa, pragnie teraz zostać panem. Splot zdań matematycznych staje się dla niego głównym przedmiotem i nie pyta o pozwolenie Natury, gdy pragnie zmienić, albo uogólnić pierwotne założenia. W ten sposób może dojść do geometrji, nie oglądając się na rzeczywiste pomiary przestrzeni; do teorji potencjału, która lekceważy prawdziwe zachowanie się potencjałów grawitacyjnych i elektrycznych; do hydrodynamiki cieczy doskonałych,

które zachowują się inaczej, niż jakakolwiek ciecz materjalna. Lecz, jak się zdaje, tylko w geometrji zapomniał, że istniał kiedyś przedmiot fizyczny o tej samej nazwie i nawet się oburza na stosowanie tej nazwy do czegoś innego, niż jego plecionka matematyki abstrakcyjnej. Nie sądzę, by można było kwestjonować, że geometrja, i to zarówno etymologicznie jak historycznie, jest nauką o mierzeniu otaczającej nas przestrzeni. I przy całej obecnej przewadze nadbudowy matematycznej nad podstawą doświadczalną, geometrja jest właściwie nauką doświadczalną. Uznano to całkowicie w „zreformowanem“ nauczaniu geometrji w szkołach: uczy się chłopców sprawdzania pewnych twierdzeń geometrycznych przez pomiary. Nikt nie poddaje w wątpliwość wartości nieskrępowanego rozwoju geometrji, jako nauki ściśle matematycznej. Lecz w rozważaniach o istocie świata fizyki możemy jej dotknąć tylko o tyle, o ile jest związana z wielkościami, pochodzącemi z obserwacji i pomiaru.

Rozdział VIII

STANOWISKO CZŁOWIEKA WE WSZECHŚWIECIE

Świat gwiazdowy. Około tysiąca miljonów gwiazd ukazują największe teleskopy, a każde wzmożenie ich siły optycznej powiększa jeszcze tę liczbę; wydaje się rzeczą niemożliwą ustalić jej granicę. A jednak można dostrzec pewne znamiona wyczerpywania się gwiazd, a w każdym razie jest pewne, że ta repartycja, którą obserwujemy wpobliżu nas, nie rozciąga się jednostajnie poprzez nieskończoną przestrzeń. Zpoczątku powiększenie siły optycznej teleskopu o jedną wielkość gwiazdową potraja liczbę widzianych gwiazd. Lecz stosunek ten stale maleje, tak że na granicy, osiąganej przez olbrzymie teleskopy, rozszerzenie zasięgu o jedną wielkość powiększa liczbę widzianych gwiazd tylko o 1,8, a w dalszym ciągu stosunek ten szybko się zmniejsza. Tak się wszystko dzieje, jakgdybyśmy się zbliżali do pewnej granicy, przy której zwiększenie siły teleskopu już nie o wiele powiększa liczbę widzianych gwiazd.

Próbowano obliczyć całkowitą liczbą gwiazd drogą ryzykownej ekstrapolacji tych rachunków. Podaje się czasem liczby, znajdujące się w granicacch od 3 000 do 30 000 miljonów. Lecz z uznaniem takich rachunków wiąże się tego rodzaju trudność, że okolica wszechświata, której badaniem głównie się zajmujemy, jest miejscową kondensacją czy chmurą gwiazdową, tworzącą część znacznie większego układu. W pewnych kierunkach sklepienia niebieskiego teleskopy nasze przenikają wprawdzie do granic układu, lecz w innych kierunkach nie możemy go zgłębić. Droga Mleczna,

która w ciemną noc tworzy święcący pas wokół nieba, wskazuje właśnie kierunek, w którym gwiazdy rozciągają się za gwiazdami, dopóki wzrok sięga. Ta wielka spłaszczona masa nazywa się układem galaktycznym. Tworzy ona tarczę, której grubość jest nieznaczna w porównaniu z jej średnicą. Rozbija się ten układ częściowo na kondensacje podrzędne, które mają najprawdopodobniej kształt spiralny, jak mgławice spiralne, które obserwujemy w wielkich ilościach na sklepieniu niebieskiem. Środek układu galaktycznego leże gdzieś w kierunku gwiazdozbioru Łucznika. Jest on ukryty nietylko przez wielką odległość, lecz również w pewnym stopniu przez pasma przesłaniającej materji (materji ciemnej), która przyćmiewa światła leżących za nią gwiazd.

Musimy rozróżnić naszą lokalną chmurę gwiazdową i wielki układ galaktyczny, który ją zawiera. Głównie (jakkolwiek nie wyłącznie) obliczenia nasze odnoszą się do tej miejscowej chmury gwiazdowej i ją to właśnie nasze teleskopy zaczynają wyczerpywać. I ona ma kształt spłaszczony — spłaszczony w tej samej prawie płaszczyźnie co układ galaktyczny. Jeżeli układ galaktyczny można porównać do dysku, to chmurę miejscową można porównać do placka, którego grubość stanowi około jednej trzeciej jego szerokości. Rozmiary jego są takie, że światło zużywa przynajmniej 2 000 lat, by go przebyć wpoprzek. Oszacowanie to jest dość grube, ponieważ odnosi się do rozmytej kondensacji, która prawdopodobnie nie jest ostro oddzielona od innych kondensacyj przyległych. Rozciągłość całej spirali jest rzędu 100 000 lat świetlnych. Niema zapewne wątpliwości, że spłaszczony kształt układu zawdzięczać należy szybkiemu obrotowi, na który wskazują również inne bezpośrednie dowody. Lecz sam fakt, że niemal wszystkie ciała niebieskie zostały obdarzone szybkim obrotem, pozostaje jedną z niewyjaśnionych tajemnic ewolucji.

Pośród tej olbrzymiej ludności Słońce jest skromną jednostką. Jest to bardzo pospolita gwiazda średniej wielkości. Znamy gwiazdy, których jasność przewyższa słoneczną przynajmniej 10 000 razy. Znamy również takie, których jasność

stanowi tylko $^1/_{10000}$ jasności Słońca. Lecz gwiazdy słabsze od Słońca są znacznie liczniejsze. Pod względem masy, temperatury powierzchni, rozmiarów, Słońce należy do bardzo pospolitego gatunku gwiazd; szybkość jego jest bliska przeciętnej; nie wykazuje ono żadnego z tych uderzających zjawisk, jak naprzykład zmienność, które tak przyciągają uwagę astronoma. W społeczności gwiazd Słońce jest poważnym obywatelem stanu średniego. Przypadkiem okazało się ono blisko środka chmury miejscowej, lecz przywilej ten został umniejszony tem, że sama chmura miejscowa jest położona bardzo ekscentrycznie względem układu galaktycznego, niemal na jego krańcach. Nie możemy mieć pretensji do tego, że znajdujemy się w samym pępku wszechświata.

Kontemplacja Drogi Mlecznej wykazuje błahość naszego małego świata: ale czeka nas prócz tego jeszcze długie pasmo upokorzeń. Układ galaktyczny jest jednym z miljona, a może większej jeszcze liczby mgławic spiralnych. Niema już teraz chyba żadnych wątpliwości, że, zgodnie z dawnemi podejrzeniami, mgławice spiralne są „wszechświatami-wyspami“ oddzielonemi od naszego. I one są wielkiemi układami gwiazd — albo też układami, kształtującemi się w gwiazdy — zbudowanemi według tego samego wzoru w kształcie dysku. Niektóre z nich widzimy „na kant“ i możemy oszacować dzięki temu płaskość dysku; inne znowu są do nas zwrócone szeroką stroną i ujawniają układ kondensacyj w postaci podwójnej spirali. Na wielu z nich można dostrzec efekt ciemnej materji, która włamuje się w regularność ich kształtu i przesłania światło gwiazd. W nielicznych bliskich spiralach można obserwować indywidualnie najjaśniejsze gwiazdy; widzimy tam gwiazdy zmienne i „*Nowy*“, jak w naszym własnym układzie. Z pozornej wielkości gwiazd, których charakter można ustalić, (naprzykład zmiennych Cefeid) okazuje się rzeczą możliwą ocenić odległość do nich. Najbliższa mgławica spiralna jest odległa o 850 000 lat świetlnych.

Ze skąpych danych, które się dotąd udało zebrać, wydaje się wynikać, że nasza własna mgławica, czy układ ga-

laktyczny, jest wyjątkowo wielki. Niektórzy domyślają się nawet, że, jeśli mgławice spiralne są „wyspami", to układ galaktyczny jest „kontynentem". Lecz dopóki niema mocniejszych dowodów, nie wolno nam chyba mieć pretensyj do pierwszeństwa. W każdym razie te inne wszechświaty są zbiorowiskami rzędu 100 miljonów gwiazd.

Narzuca się w dalszym ciągu pytanie: Jak daleko rozciągają się te zbiorowiska? Już nie gwiazdy tym razem, ale wszechświaty ciągną się jedne za drugiemi, dopóki wzrok sięga. Czy to zbiorowisko się gdzieś kończy? Być może, że wyobraźnia musi się zdobyć na jeszcze jeden wysiłek, rozważając nad-układy, które znajdują się do mgławic spiralnych w tym stosunku, a jakim mgławice te do gwiazd. Lecz istnieje słaba wskazówka na to, że tym razem osiągnęliśmy być może szczyt tej hierarchji i że układ spiral jest rzeczywiście całością świata. Jak już o tem mówiliśmy, według współczesnych poglądów przestrzeń jest skończona, — skończona, jakkolwiek nieograniczona. W takiej przestrzeni, po przebyciu znacznej części swej drogi „dokoła świata", światło zwalnia swe drgania, skąd wynika, że wszystkie prążki widmowe przesuwają się w kierunku czerwieni. Przesunięcie takie interpretujemy zazwyczaj jako wskazówkę, że ciało świecące oddala się w kierunku widzenia. Otóż, jest rzeczą uderzającą, że znaczna większość zbadanych mgławic wykazuje znaczne szybkości w kierunku od nas, przekraczające często 1000 km na sekundę. Istnieją od tej zasady tylko dwa poważniejsze wyjątki, a dotyczą one największych spiral, zapewne bliższych do nas, niż większość pozostałych. Trudnoby przy pomocy pospolitych argumentów wytłumaczyć, dlaczego te inne wszechświaty uciekają od nas tak szybko i jednomyślnie. Dlaczego miałyby one stronić od nas, jak od zarazy? Lecz zjawisko to możnaby zrozumieć, gdyby założyć, że to, co obserwowaliśmy, jest właściwie zwolnieniem drgań światła tych ciał, zachodzącem po przebyciu znacznej części drogi światła dokoła świata. Podług tej teorji promień świata jest mniej więcej dwadzieścia razy większy, niż przeciętna odległość do obserwowanych mgławic, a więc

wynosi około 100 miljonów lat świetlnych. To zapewnia dość miejsca tylko dla kilku miljonów spiral, poza niemi nie istnieje nic. Nie można właściwie mówić o przestrzeni „poza niemi"; w przestrzeni sferycznej „poza" czemś prowadzi od pierwszej strony zpowrotem do Ziemi *.

Skala czasu. Korytarz czasu rozciąga się wtył w przeszłość. Nie mamy pojęcia o tem, jak się wszystko zaczęło. Lecz wyobrażamy sobie, że w pewnem stadjum próżnia była wypełniona materją rozrzedzoną w stopniu znaczniejszym niż najrzadsza mgławica. Skąpo rozsiane atomy poruszają się tu i tam w bezkształtnym nieładzie.

Patrz, tron oto
Chaosu; jego ciemny proporzec powiewa
Szeroko poprzez pełną zniszczenia głębinę.

Powoli ujawnia się działanie grawitacji. Pojawiają się ośrodki kondensacji i przyciągają inną materję. Pierwsze skupienia — to układy gwiazd, jak naprzykład nasz układ galaktyczny; kondensacje wtórne oddzielają chmury czy gromady gwiazdowe. Te znowu dzielą się dalej, tworząc gwiazdy.

Nie we wszystkich okolicach wszechświata ewolucja ta doszła do tego samego szczebla. Obserwujemy bowiem mgławice i zbiorowiska na różnych stopniach rozwoju. Pewne gwiazdy są jeszcze bardzo rozrzedzone, inne, skupione jak Słońce, posiadają gęstość większą niż woda; inne znowu są tak zaawansowane, że skurczyły się do gęstości zupełnie fantastycznej. Lecz nie można już teraz wątpić, że powstanie różnych gwiazd stanowi ten sam proces ewolucji, który

* Hubble proponuje znacznie większy promień przestrzeni (10^{11} lat świetlnych). Lecz podstawa jego obliczeń, jakkolwiek związana z mgławicami spiralnemi, jest inna niż podana przez nas i mojem zdaniem nie do przyjęcia. Opiera się ona na starszej teorji zamkniętej przestrzeni, zaproponowanej przez Einsteina, i uważanej obecnie powszechnie za przebrzmiałą. Teorja powyższa (pochodząca od W. de Sittera), jest naturalnie bardzo spekulatywna, ale daje jedyną wskazówkę do zorjentowania się w wymiarach przestrzeni.

nawiedził i nawiedza w dalszym ciągu pierwotną repartycję materji. Dawniej spekulowano swobodnie, że narodziny gwiazdy są zjawiskiem indywidualnem, jak narodziny zwierzęcia. Od czasu do czasu dwie dawno wygasłe gwiazdy mogły się zderzyć i zamienić się na parę, dzięki energji zderzenia. Następuje potem kondensacja i ponowne życie w postaci świecącego ciała. Trudno byłoby zaprzeczyć, że się coś podobnego nigdy nie może zdarzyć i że Słońce nasze nie odrodzi się jeszcze po raz drugi i trzeci. Ale z różnych związków, wyśledzonych pomiędzy gwiazdami, wynika, że obecny stan świata gwiazd stanowi *pierwsze wcielenie*. Odkryto grupy gwiazd, które poruszają się przez sklepienie niebieskie i posiadają wspólny ruch własny. Muszą one mieć wspólne pochodzenie i nie mogły powstać dzięki przypadkowym zderzeniom. Oto jeszcze inna zarzucona spekulacja: „gwiazdy świecące stanowią wyjątek, i na każdą widzialną gwiazdę przypadają tysiące niewidzialnych". Przeciwko niej przemawia to, że można oszacować całkowitą masę przestrzeni międzygwiazdowej na podstawie jej wpływów grawitacyjnych na przeciętny pęd gwiazd. Okazało się, że gwiazdy świecące dają w sumie masę bliską całkowitej masy możliwej, tak że na gwiazdy ciemne pozostaje tylko bardzo ograniczona rezerwa.

Biologowie i geologowie szacują wiek Ziemi na jakieś tysiąc miljonów lat. Dowody fizyczne, oparte na szybkości przemian promieniotwórczych, prowadzą nieuchronnie do konkluzji, że starsze (archaiczne) skały kory ziemskiej zostały złożone 1200 miljonów lat wstecz. Słońce płonie jeszcze dłużej, żywiąc się (jak przypuszczamy obecnie) własną materją, która stopniowo rozpływa się w promieniowanie. Zgodnie z tą teoretyczną skalą czasu, która jest najmocniej poparta przez dowody astronomiczne, początek Słońca jako świecącej gwiazdy należy odnieść do epoki przed pięcioma biljonami (5.10^{12}) lat. Teorja, z której te dane wynikają, nie zasługuje na całkowite zaufanie; tem niemniej wydaje się rozsądnym wniosek, że wiek Słońca nie przekracza tej granicy. Natomiast przyszłość nie jest tak

ograniczona i można uważać, że Słońce będzie trwało jako ciągle słabnąca gwiazda przez 50, albo i 500 biljonów lat. Teorja energji wewnątrzatomowej przedłużyła życie gwiazdy z miljonów na biljony lat i możemy rozważać procesy odmłodzenia, które mogą przedłużyć istnienie świata gwiazdowego z biljonów na tryljony lat. Lecz jeżeli nie zdołamy obejść drugiego prawa termodynamiki — to znaczy, jeżeli nie znajdziemy jakiegoś sposobu, by skłonić czas do płynięcia wstecz — to ostateczna ruina będzie się zbliżała nieuchronnie i świat przejdzie w stan jednostajnej niezmienności.

Czy ta rozrzutność materji, przestrzeni i czasu znajduje swoje spełnienie w człowieku?

Wielość światów. Zestawię tu teraz współczesne świadectwa astronomiczne, dotyczące zamieszkalności innych światów. Stanowisko, że rozwiązanie tego zagadnienia jest jednym z najważniejszych celów astronomji, niebardzo odpowiada astronomowi. Wszystko, co mógłby na ten temat powiedzieć, nosi charakter przypadkowych wskazówek, na które natrafił przy sposobności innych badań, o celach bardziej pospolitych i praktycznych. Tem nie mniej trudno się obronić pokusie igrania z myślą, że gdzieś we wszechświecie mogą znajdować się inne istoty, niekoniecznie zresztą anioły, które człowiek może uważać za równe sobie, a może od siebie wyższe.

Wyobrażanie sobie możliwych form życia w warunkach różnych od naszych — to rzecz jałowa. Jeżeli dobrze zrozumiałem poglądy paleontologów, ssaki stanowią trzecią dynastję ziemską — trzecią próbę, którą Natura podjęła, by rozwinąć formy życia dostatecznie giętkie, aby się przystosować do zmiennych warunków i opanować Ziemię. Możliwość życia, typ naczelnego organizmu, zależy w wielkim stopniu od drobnych szczegółów w ustalonych warunkach otoczenia. Trzeba ominąć różne rozgałęzienia krytyczne, zanim się stworzy życie na poziomie świadomości. Wszystkie

te sprawy są bardzo odległe od kierunku badań astronoma. Aby uniknąć nieskończonego szeregu różnych przypuszczeń, założę, że wymagane warunki są zbliżone do ziemskich, i że w tych warunkach życie pojawia się automatycznie.

Zbadajmy najprzód planety układu słonecznego; z nich tylko Wenus i Mars wchodzą w rachubę. O ile wiemy, Wenus nadawałaby się dobrze od form życia, zbliżonych do naszych. Jest ona mniej więcej tej samej wielkości co Ziemia, wprawdzie bliższa Słońca, ale najprawdopodobniej nie cieplejsza, wreszcie posiada atmosferę o wystarczającej gęstości. Zupełnie nieoczekiwanie zawiodły badania spektroskopowe i nie dały żadnych znaków istnienia tlenu w górnych strefach jej atmosfery. Nasuwa to wątpliwości, czy wolny tlen istnieje na tej planecie, lecz w chwili obecnej jeszcze się wahamy przed taką konkluzją. Gdybyśmy się przenieśli na Wenus, moglibyśmy pewnie żyć dalej bez wielkich zmian — jeżeli nie liczyć tego, że co do mnie, musiałbym sobie poszukać innego zajęcia, bo Wenus nie jest odpowiednią siedzibą dla astronomów; jest cała otoczona chmurami, czy mgłą. Z tych samych powodów nie potrafimy wykryć na jej powierzchni żadnych stałych znaków i ciągle jeszcze pozostaje nierozstrzygnięte, z jaką szybkością Wenus wiruje i jaki jest kierunek obrotu. Wspominamy tu o pewnej interesującej teorji, chociaż jej zapewne nie należy brać na serjo. Istnieje przypuszczenie, że wielkie wgłębienie, które zajmuje ocean Spokojny, jest blizną, pozostawioną przez Księżyc, gdy się oderwał od Ziemi. Rzecz jasna, że wgłębienie to odgrywa poważną rolę w odciąganiu nadmiaru wód; gdyby je zpowrotem wypełnić, to wszystkie niemal kontynenty zostałyby zatopione. Zatem istnienie suchego lądu jest dla Ziemi pośrednio związane z istnieniem Księżyca. Otóż, skoro Wenus nie posiada księżyca, a pozatem wydaje się podobna do Ziemi pod innemi względami, więc możnaby zaryzykować wniosek, że jest ona światem-oceanem — światem, gdzie ryby stanowią najwyższe istoty. Pomysł ten w każdym razie uprzytamnia nam, że losy życia organicznego mogą zależeć od przypadków na pierwszy rzut oka błahych.

Słońce jest pospolitą gwiazdą, Ziemia jest pospolitą planetą, ale Księżyc nie jest pospolitym satelitą. Żaden inny znany satelita nie jest tak wielki w stosunku do swej planety. Księżyc posiada $^1/_{80}$ masy Ziemi: stosunek ten może się wydać mały, ale jest on nienormalnie wielki w porównaniu z innymi satelitami. Najwyższy z pozostałych stosunków wynosi $^1/_{4000}$: jest to stosunek masy Tytana, największego satelity w układzie Saturna. W dziejach Ziemi musiały zajść bardzo osobliwe zdarzenia, skoro doprowadziły one do oderwania się tak niepospolicie wielkiej części jej masy. Sir George Darwin zaproponował najprawdopodobniejsze po dziś dzień wyjaśnienie, że zdarzyła się rezonacja w okresie drgań pomiędzy przypływami słonecznemi, a naturalnemi drganiami swobodnemi globu ziemskiego. Odkształcenie przypływowe ziemi przybrało naskutek tego takie rozmiary, że zakończyło się kataklizmem, który oderwał wielką bryłę materji, tworzącej obecnie Księżyc. Na innych planetach nie zdarzyła się ta niebezpieczna zgodność okresów, i satelici ich oddzielili się na bardziej normalnej drodze. Jeżeli spotkam kiedykolwiek istotę z innego świata, będę się może czuł pod wielu względami upokorzony, ale spodziewam się, że będę się mógł przed nią pysznić naszym Księżycem.

Mars jest jedyną planetą, której powierzchnia stała może być widziana i badana. Zachęca to do bardziej szczegółowego rozważania możliwości życia na jego powierzchni. Mniejsze jego rozmiary prowadzą do znacznej różnicy warunków, ale dwa żywioły, powietrze i woda, są na nim obecne, choć w skąpych ilościach. Atmosfera marsyjska jest rzadsza niż nasza, ale zapewne wystarczająca; udowodniono, że zawiera ona tlen. Niema na nim oceanu; znaki na powierzchni odpowiadają nie morzu i lądowi, lecz czerwonej pustyni i gruntowi ciemniejszemu, który jest, być może, wilgotny i żyzny. Jaskrawą cechą Marsa jest biały czepiec, który pokrywa biegun i stanowi oczywiście warstwę śniegu. Jest ona z pewnością cieniutka, skoro topnieje latem całkowicie. Fotografje Marsa wykazują od czasu do czasu niewątpliwe chmury, które czasowo przesłaniają obszerne

powierzchnie; lecz piękna pogoda jest bardziej pospolita. Powietrze jest lekko mgliste, jeżeli nie zawiera chmur. W. H. Wright wykazał to w sposób bardzo przekonywujący przez porównanie fotografij, dokonanych przy pomocy światła o różnych długościach fali. Światło krótkofalowe jest silnie rozpraszane przez mgłę, a właśnie odpowiednie fotografje są nadzwyczajnie rozmyte. Znacznie ostrzej widocznie są szczegóły powierzchni przy zastosowaniu światła żółtego wizualnego (teleskopy wizualne przystosowuje się zazwyczaj do fotografji przez użycie żółtego ekranu). Promienie wizualne, zpowodu swej większej długości fali, przenikają mgłę łatwiej *. Jeszcze wyraźniejsze szczegóły daje fotografja długiemi promieniami podczerwonemi.

Ostatnio poświęcono wiele uwagi wyznaczeniu temperatury na powierzchni Marsa. Temperatura zmienia się oczywiście znacznie z zapadnięciem nocy i ze zmianą szerokości; ale przeciętnie jest wyraźnie chłodno. Nawet na równiku po zachodzie Słońca temperatura spada poniżej zera. Gdybyśmy przyjęli obecne warunki jako ostateczne, moglibyśmy mieć pewne wątpliwości, czy życie mogłoby wytrwać w tych warunkach.

W jednym z essayów Huxleya znajduje się następujące miejsce: „Dopóki życie ludzkie nie stanie się dłuższe i obowiązki powszednie mniej uciążliwe, ludzie rozsądni nie będą się zajmowali historją naturalną Marsa czy Jowisza". Dziś wydaje się, że historja naturalna Marsa niezupełnie wykracza poza granicę poważnej nauki. W każdym razie powierzchnia Marsa wykazuje takie zmiany, postępujące z porami roku, jakie mógłby obserwować ktoś zzewnątrz na zalesionej ziemi. Te sezonowe zmiany wyglądu rzucają się mocno w oczy uważnemu obserwatorowi. Gdy wiosna (oczywiście marsyjska) postępuje, ciemne powierzchnie, które przedtem były nieliczne i słabe, rozciągają się i odcinają się

* Zapewne było szczęśliwą okolicznością, że pionierzy fotografji marsyjskiej nie posiadali odpowiednich teleskopów fotograficznych i musieli przystosować do fotografji teleskopy wizualne, korzystając wobec z tego z wizualnego (żółtego) światła. Jak się okazało, było ono istotne dla dobrych rezultatów.

coraz mocniej. Te same obszary ciemnieją rok rocznie o tej samej mniej więcej porze według kalendarza marsyjskiego. Być może, że można podać nieorganiczne wyjaśnienie tego zjawiska: deszcze wiosenne zraszają powierzchnię i zmieniają w ten sposob jej barwę. Lecz jest zapewne rzeczą nieprawdopodobną, by spadało dość deszczu, aby wywołać bezpośrednio taką zmianę. Łatwiej uwierzyć, że obserwujemy coroczne przebudzenie się roślinności, tak dobrze nam znane na naszej planecie.

Istnienie tlenu w atmosferze marsyjskiej stanowi jeszcze jeden argument na korzyść istnienia życia roślinnego. Tlen łączy się chętnie z licznemi pierwiastkami i skały kory ziemskiej łakną tlenu. Z biegiem czasu usunęłyby go one całkowicie z powietrza, gdyby go roślinność nie wyciągała zpowrotem z gruntu i nie uwalniała. Skoro tlen w atmosferze ziemskiej utrzymuje się w ten sposób, byłoby rozsądnem przypuszczenie, że życie roślinne odgrywa tę samą rolę na Marsie. W połączeniu z sezonowemi zmianami wyglądu przemawia to dość mocno na korzyść istnienia roślinności.

Lecz czy możemy wyłączyć życie zwierzęce, skoro wypada uznać życie roślinne? Jestem teraz już u końca danych astronomicznych i nie mogę wziąć na siebie żadnej odpowiedzialności za wnioski, które moglibyście wyciągnąć. Prawda, że nieżyjący już profesor Percival Lowell przekonywał, że pewne mniej lub więcej proste znaki na Marsie przedstawiają sztuczny system nawodnienia i wskazują na rozwiniętą cywilizację. Lecz, jak sądzę, teorja ta nie uzyskała mocnego poparcia. Sprawiedliwość wymaga, by przyznać, że praca autora tego pomysłu i praca jego obserwatorjum wzbogaciła niesłychanie naszą wiedzę o Marsie. Lecz niewielu podpisałoby się pod bardziej barwnemi miejscami jego wniosków *. Wreszcie podkreślimy jedną okoliczność. Wszystkie pozory przemiawiają zatem, że Mars jest planetą,

* Mars jest widoczny w korzystnych warunkach tylko w małych szerokościach i na znacznej wysokości. Astronomowie, którzy nie mają tych sposobności do obserwacji, wstrzymują się od wypowiedzenia zdecydowanego zdania we wielu spornych sprawach, które w tej dziedzinie powstały.

która ma swą młodość daleko poza sobą. Prócz tego jest w każdym razie nieprawdopodobne, by dwie planety, różniące się tak znacznie jak Mars i Ziemia, jednocześnie przebywały kulminacyjny punkt swego rozwoju biologicznego.

Powstanie układów planetarnych. Gdyby nam planety układu słonecznego miały sprawić zawód (pod względem warunków życia organicznego), to pozostaje jeszcze parę tysięcy miljonów gwiazd, które przywykliśmy uważać za słońca, władające towarzyszącemi układami planet. Odmawianie im życia, znajdującego się na tym samym poziomie rozwoju co nasze, wydaje się niemal bluźnierczą zarozumiałością. W rzeczy samej nie należy się śpieszyć z przypuszczeniem, że nigdzie indziej we wszechświecie Natura nie powtórzyła już tego dziwnego eksperymentu, który wykonała na Ziemi. Lecz istnieją względy, które nas powstrzymują od zbyt szczodrego zaludniania wszechświata.

Badanie przy pomocy teleskopu wykazuje zdumiewającą ilość gwiazd, które składają się z dwóch ciał bardzo bliskich siebie, jakkolwiek nieuzbrojonemu oku przedstawiają się one jako punkty. Gdy zawodzi teleskop, często spektroskop odkrywa dwie gwiazdy, krążące wzajemnie dokoła siebie. Przynajmniej jedna gwiazda na trzy jest podwójna, jest parą świecących samodzielnie globów, z których każdy posiada rozmiary porównywalne ze Słońcem, Pojedyńcze, królujące słońce nie jest wobec tego jedynym możliwym produktem ewolucji. Niemniej często rozwój przyjmuje inny obrót i prowadzi do dwóch ściśle połączonych słońc. Prawdopodobnie wolno wyłączyć możliwość planet w gwiazdach podwójnych. Nietylko bowiem powstają trudności z przypisaniem im trwałych orbit w tem bardziej skomplikowanem polu grawitacyjnem, lecz nie widać żadnego powodu do tworzenia się planet. Gwiazda w inny sposób uczyniła zadość tendencji do rozpadnięcia się: podzieliła się na dwie prawie równe części, zamiast wyrzucić szereg małych odłamków.

Najprostszym powodem rozpadu jest zbyt szybki ruch wirowy. Glob gazowy wiruje coraz szybciej w miarę kurczenia się, aż przyjdzie chwila, w której już nie może trwać jako całość i sytuacja musi znaleźć jakieś rozwiązanie. Zgodnie z hipotezą mgławicową Laplace'a słońce znalazło wyjście w kolejnem odrzucaniu pierścieni materji, które potem utworzyły planety. Lecz gdyby nie ten jedyny znany nam przykład układu planetarnego, tysiące gwiazd podwójnych na sklepieniu niebieskiem mogłyby nas raczej doprowadzić do wniosku, że pospolitem następstwem nadmiernego wirowania jest rozbicie gwiazdy na dwie równorzędne części.

Możnaby jednak utrzymywać, że wyłonienie układu planetarnego z jednej, a pęknięcie gwiazdy z drugiej strony są dwoma możliwemi rozwiązaniami zagadnienia, powstającego w związku z nadmiernym ruchem wirowym; gwiazda obierałaby jedną drogę lub drugą, zależnie od okoliczności. Znamy mirjady gwiazd podwójnych, a tylko jeden układ planetarny; w każdym razie odkrycie innych układów planetarnych, jeżeli istnieją, przechodzi nasze siły. Możemy odwołać się jedynie do wyników teoretycznych badania wirujących mas gazowych, które przedstawia wiele komplikacyj i nie wyrzekło jeszcze zapewne ostatniego słowa. Lecz prace Sir J. H. Jeansa prowadzą do wniosku, że rozpad na skutek ruchu wirowego prowadzi zawsze do gwiazdy podwójnej, a nigdy do układu planet. Układ słoneczny nie jest typowym produktem rozwoju gwiazdy; nie jest on nawet jedną z pospolitych odmian rozwojowych: jest to poprostu kaprys.

Eliminacja różnych alternatyw prowadzi do wniosku, że konfiguracja w rodzaju układu słonecznego może powstać tylko wtedy, gdyby przy pewnym stopniu kondensacji zaszedł wypadek niezwykły. Według Jeansa wypadkiem tym było znaczne zbliżenie innej gwiazdy, błądzącej przez przestrzeń. Gwiazda ta przeszła zapewne na niewielkiej odległości poza orbitą Neptuna, i to z niezbyt wielką szybkością; wyminęła ona powoli Słońce lub została przez nie wymi-

nięta. Na skutek odkształceń przypływowych wywołała ona na Słońcu wielkie wyskoki i wyrwała pasma materji, które się zgęściły następnie w planety. Zaszło to przeszło tysiąc miljonów lat temu. Intruz dawno już sobie poszedł i zmieszał się z innemi gwiazdami; lecz pozostawił po sobie ślad w postaci układu planetarnego, zawierającego glob zamieszkały przez człowieka.

Nawet w długiem życiu gwiazdy podobne spotkania są zapewne niezmiernie rzadkie. Porównano gęstość rozkładu gwiazd w przestrzeni z dwudziestoma piłkami tenisowemi unoszącemi się w całem wnętrzu ziemi. Zdarzenie, które spowodowało narodziny układu słonecznego, można wobec tego porównać z przypadkowem zbliżeniem dwóch takich piłek na odległość kilku metrów. Dane są zbyt mętne, aby pozwolić na jakieś określone oszacowanie szans takiego zdarzenia, ale sądzę, że nawet jedna gwiazda na sto miljonów nie doświadczyła go w takim stanie i w takich warunkach, aby mógł powstać w wyniku układ planetarny.

Ten wniosek o rzadkości układów planetarnych jest zapewne wątpliwy, ale w każdym razie jest pożyteczną korektą zbyt rozpowszechnionego przekonania, że każda gwiazda może być kolebką życia. Znamy dobrze rozrzutność Natury. Wiele żołędzi rozsypuje ona, zanim z jednego z nich wyrośnie dąb? Czyż ma być oszczędniejsza, gdy idzie o gwiazdy? Gdyby naprawdę nie miała innego wyższego celu, niż stworzenie siedziby dla swego największego eksperymentu — człowieka — to właśnie odpowiadałoby całkowicie jej metodom: rozsypanie miljona gwiazd, gdy jedna mogłaby spełnić jej zamierzenia.

Liczba możliwych siedzib, tak mocno w ten sposób ograniczona już na samym początku, może być bezwątpienia przesiana ponownie dzięki innym warunkom. W tem naszem polowaniu na siedziby, będziemy zmuszeni odrzucić wiele napozór zupełnie dogodnych mieszkań zpowodu drobiazgów. Następnie, powstanie form organicznych może zależeć od zupełnie błahych okoliczności, a inne znów wa-

runki mogą rozstrzygnąć, czy życie pozostanie w jakiejś niższej postaci, czy też wzniesie się na taki poziom jak nasze. Tem nie mniej przyjmuję, że po tem karczowaniu pozostanie kilka ziem-rywalek, rozproszonych tu i owdzie we wszechświecie.

Dalsze ograniczenia powstają, jeżeli zatrzymamy się na życiu współczesnem z naszem. Czas życia człowieka na Ziemi jest znikomy w porównaniu z wiekiem Ziemi lub Słońca. Nie istnieje żaden oczywisty powód fizyczny, dla którego człowiek, skoro już raz powstał, nie miałby zaludniać Ziemi jeszcze przez jakie dziesięć biljonów lat; zgoda, lecz czy możecie sobie coś podobnego wyobrazić? Jeżeli przyjmiemy, że okres wysoko ukształtowanego życia jest drobnym ułamkiem nieorganicznej historji gwiazdy, ziemie-rywalki okażą się naogół światami, w których życie świadome już zamarło lub nie powstało jeszcze. Nie sądzę, by wszystkie plany Stworzenia były skupione na jedynej naszej planecie; na daleką metę nie możemy uważać siebie za jedyną rasę, która była lub będzie obdarzona tajemnicą świadomości. Lecz jestem skłonny przypuszczać, że *w chwili obecnej* nasza rasa jest najwyższa, i że żadna z niezliczonych gwiazd w ich olbrzymich zbiorowiskach nie spogląda na rzeczy podobne do tych, które się odbywają pod promieniami Słońca.

Rozdział IX

TEORJA KWANTÓW

Źródło trudności. Gdy się dziś kilku zapaleńców spotyka, aby porozmawiać o fizyce teoretycznej, dyskusja wcześniej czy później schodzi na te same zawsze tory. Zostawiacie ich przy rozmowie o swych zagadnieniach specjalnych lub o najnowszych odkryciach; wróćcie po upływie godziny — i wszystkie szanse są za tem, że znajdziecie ich już przy chronicznym temacie — będą rozprawiali o swej rozpaczliwej ignorancji. Nie jest to poza, nie jest to nawet skromność naukowa, gdyż postawa ta często wyraża się jako naiwne zdziwienie, że Natura mogła ukryć swą zasadniczą tajemnicę przed tak potężnemi jak nasze umysłami. Poprostu na pewnym zakręcie drogi postępu ukazała się nam nasza ignorancja, przerażająca i nieuchronna. Coś jest zasadniczo złego w naszych obecnych podstawowych pojęciach fizycznych i nie wiemy, jak to naprawić.

Przyczyną wszystkich tych kłopotów jest pewien drobiazg zwany *h*, który się wścibia ustawicznie do całego szeregu eksperymentów. W pewnym sensie wiemy, czem jest *h*, ponieważ istnieje cała masa sposobów, aby je zmierzyć. *h* równa się

0,00000000000000000000000000000655 erg-sekund.

Podsunie to wam słusznie, że *h* jest czemś bardzo małem. Lecz najbardziej interesująca informacja tkwi w mianie: erg jest jednostką energji, a sekunda jednostką czasu. Do-

wiadujemy się zatem, że h ma wymiar energji pomnożonej przez czas.

Otóż, w życiu praktycznem nie często zdarza się nam mnożyć energję przez czas, jakkolwiek często ją przez czas *dzielimy*. Naprzykład, automobilista dzieli przez czas energję wytworzoną przez jego motor i otrzymuje w ten sposób dzielność w koniach mechanicznych. Naodwrót, elektrownia mnoży liczbę koni mechanicznych przez liczbę godzin zużycia i na tej podstawie wystawia rachunek. Lecz ponowne mnożenie przez czas mogłoby się wydawać dość dziwnem działaniem.

Ale zdziwienie ustępuje, gdy działanie to rozważamy w absolutnym świecie czterowymiarowym. Wielkości tego rodzaju co energja, wielkości, które sobie wyobrażamy jako związane z pewnym określonym momentem czasowym, należą zasadniczo do przestrzeni trójwymiarowej; należy je pomnożyć przez pewne trwanie, by im nadać pewną „grubość", zanim je będziemy mogli umieścić w świecie czterowymiarowym. Weźmy pod uwagę jakąś część przestrzeni, powiedzmy Wielką Brytanję; *„zasób ludności"* w tym kraju opiszemy przy pomocy liczby 40 miljonów ludzi. Lecz gdy weźmiemy do uwagę pewną część czasoprzestrzeni, naprzykład Wielką Brytanję pomiędzy rokiem 1915 a 1925, to musimy opisać *„zasób jej ludności"* przez liczbę 400 miljonów *ludzi-lat*. Aby opisać „zasób ludności" świata z punktu widzenia czasoprzestrzeni, musimy uciec się do jednostki, która jest ograniczona nietylko w przestrzeni, lecz również w czasie. Podobnie, jeżeli pewna zawartość przestrzeni jest opisana przez pewną liczbę ergów, to odpowiadająca jej zawartość obszaru czasoprzestrzennego będzie opisana przez pewną liczbę erg-sekund.

Tę wielkość świata czterowymiarowego, odpowiednik czy wynik właściwego przystosowania energji ze świata trojwymiarowego, nazywamy technicznie *działaniem*. Nazwa ta nie wydaje się szczególnie udatną, ale trzeba się z nią pogodzić. Erg-sekunda czyli działanie należy do świata Min-

kowskiego, wspólnego wszystkim obserwatorom, a więc absolutnego. Jest to jedna z niewielu absolutnych wielkości, odkrytych w fizyce przedrelatywistycznej. Wyjąwszy działanie i entropję (należącą zresztą do zupełnie innego gatunku pojęć fizycznych), wszystkie doniosłe wielkości fizyki przedrelatywistycznej odnosiły się do przekrojów trójwymiarowych czasoprzestrzeni, różnych dla różnych obserwatorów.

Badacze mechaniki teoretycznej robili obfity użytek z działania, jeszcze na długo zanim teorja względności odkryła, że może ono dzięki swej bezwzględności odegrać ważną rolę w schemacie Natury, jeszcze na długo zanim ten szczególny ułamek działania h zaczął się ukazywać w eksperymentach. Sir William Hamilton przyczynił się szczególnie do ściągnięcia uwagi na pojęcie działania, i od tej pory na jego podstawie rozwijano obszerne badania teoretyczne dynamiki. Wystarczy, że zacytuję klasyczną książkę o Mechanice Analitycznej waszego własnego (Edynburskiego) profesora *, w której pełno tego działania. Nietrudno było ocenić podstawową wagę i doniosłość samej zasady; ale trzeba przyznać, że dla laika zainteresowanie dla bardziej zawiłych badań nie było zrozumiałe, — była to dla niego pomysłowa metoda, by rzeczy łatwe czynić trudnemi. Ostatecznie instynkt, który prowadził do tych badań doczekał się wspaniałej rehabilitacji. Aby podążyć za postępami mechaniki kwantowej od roku mniej więcej 1917, trzeba się zagłębić dość gruntownie w teorje dynamiczne Hamiltona. Jest rzeczą godną uwagi, że podobnie jak Einstein znalazł już przygotowany przez matematyków rachunek tensorów, niezbędny do rozwinięcia jego wielkiej teorji grawitacji, podobnie fizycy kwantowi znaleźli już gotową obszerną teorję działania dynamicznego, bez której nie mogliby osiągnąć swego sukcesu.

Lecz ani absolutna doniosłość działania w świecie czterowymiarowym, ani jego wcześniejsze znaczenie w mechanice Hamiltonowskiej, nie przygotowały nas do odkrycia,

* Profesor E. T. Whittaker.

że pewien szczególny ułamek działania może posiadać wyjątkową doniosłość. A jednak ułamek o normalnej wielkości $6{,}55.10^{-27}$ erg-sekund ciągle powraca w doświadczeniach. Na nic się nie zda twierdzić, że powinniśmy sobie wyobrażać działanie atomistycznie, a ułamek ten uważać za atom działania. Nie możemy tego uczynić, pomimo wszelkich wysiłków w tym kierunku w ciągu ostatnich lat dziesięciu. Nasz obecny obraz świata fizycznego ukazuje działanie w postaci zupełnie niezgodnej z tym rodzajem struktury atomistycznej, będziemy zatem zmuszeni do zmiany tego obrazu. Nie sposób uniknąć gruntownej przebudowy pojęć podstawowych, na których oparty jest nasz schemat fizyki; trzeba tylko wykryć, jaka zmiana jest potrzebna. Od roku 1925 wprowadzono nowe idee, które, jak się zdaje, czynią tę matnię mniej beznadziejną i dają przedsmak rewolucji, która musi nadejść. Lecz nie dały one ogólnego rozwiązania trudności. Te nowe idee będą przedmiotem następnego rozdziału. Wydaje się nam tu najwłaściwszem ograniczenie się do stanowiska z roku 1925, wyjąwszy samo zakończenie rozdziału, które przygotowuje przejście do nowszych spraw.

Atom działania. Przypomnijmy sobie, że działanie ma dwa składniki, energję i czas, i spróbujmy wobec tego poszukać w Naturze określonej porcji energji, z którą jest skojarzony określony okres czasu. Na tej drodze moglibyśmy bez sztucznego krojenia oddzielić pewien szczególny ułamek od reszty działania, wypełniającego wszechświat. Naprzykład energja budowy elektronu jest wielkością określoną i znaną; jest to nagromadzenie energji, występujące w sposób naturalny we wszystkich okolicach wszechświata. Lecz nie znamy żadnego specjalnego okresu czasu, powiązanego z tym ułamkiem energji, i wobec tego nie możemy na tej drodze trafić do żadnego specjalnego ułamka działania. Musimy zwrócić się do takiej postaci energji, która jest związana z określonym i mierzalnym okresem czasu, naprzykład

z partją fal świetlnych; niosą one z sobą określoną jednostkę czasu, okres ich drgań. Żółte światło sodu składa się z drgań eteru o częstości 510 biljonów na sekundę. Na pierwszy rzut oka wydaje się, żeśmy zabrnęli w trudność przeciwną: mamy coprawda nasz określony okres czasu, ale jak pokroić na naturalne jednostki energję płomienia sodu? Musielibyśmy, oczywiście, wydzielić światło, pochodzące od pojedyńczego atomu, lecz nie rozbija się ono na jednostki, chyba że atom emituje światło w sposób nieciągły.

Otóż okazuje się, że atomy właśnie wysyłają światło w sposób nieciągły. Atom wysyła długą partję fal i zatrzymuje się. Trzeba go wzbudzić jakąś podnietą, aby emitował ponownie. Nie dostrzegamy tych przerw w zwykłym promieniu świetlnym, gdyż w tej produkcji biorą udział mirjady atomów.

Okazuje się, że porcja energji, wytryskująca z atomu sodu w ciągu jednej z tych nieciągłych emisyj, wynosi $3{,}4.10^{-12}$ erg. Energja ta, jak widzieliśmy, jest powiązana z okresem $1{,}9.10^{-15}$ sekund. Mamy zatem dwa składniki niezbędne do uzyskania naturalnego ułamka działania. Mnożymy je i otrzymujemy $6{,}55.10^{-27}$ erg-sekund. Jest to wielkość h.

To uderzające prawo Natury, które wyróżnia stałą h, polega na tem, że otrzymujemy w ten sposób zawsze tę samą wielkość, bez względu na to, jakie weźmiemy źródło światła — wodór, wapń czy inny atom. Energja będzie coraz inną liczbą ergów, okres — coraz inną liczbą sekund, lecz iloczyn będzie zawsze tą samą liczbą erg-sekund. To samo stosuje się do promieni rentgenowskich, do promieni gamma i innych postaci promieniowania. Stosuje się to zarówno do światła wysyłanego, jak pochłanianego przez atom, przyczem pochłanianie jest również nieciągłe. Widoczne jest, że h jest rodzajem atomu, czemś co zachowuje się w procesach promieniowania jak spójna jednostka. Nie jest to atom materji, lecz atom — lub jak zwykle go nazywamy — *kwant* mniej uchwytnego tworu, działania. Istnieje

92 różnych rodzajów atomów materjalnych, ale tylko jeden kwant działania — *ten sam* bez względu na to, z jakim jest skojarzony rodzajem materji. Powiadam *ten sam* bez żadnych zastrzeżeń. Moglibyście przypuszczać, że powinna istnieć jakaś jakościowa różnica pomiędzy kwantem światła czerwonego a kwantem światła niebieskiego, jakkolwiek oba zawierają tę samą liczbę erg-sekund. Lecz ta pozorna różnica jest względna, odnosi się do rusztowania czasoprzestrzennego i nie dotyczy własności cząstki działania. Gdy się zbliżamy do źródła światła z bardzo wielką szybkością, zmieniamy zgodnie z zasadą Dopplera światło czerwone na niebieskie; energja fal zmienia się również przy odniesieniu do innego układu spółrzędnych. Płomień sodu i płomień wodoru wysyłają te same cząstki działania, tylko że cząstki te różnią się nieco w orjentacji względem linij teraźniejszości, które poprowadziliśmy przez świat czterowymiarowy. Skoro zmienimy nasz ruch tak, aby zmienić kierunek linij teraźniejszości, możemy ujrzeć cząstki pochodzące od sodu w tej samej orjentacji, w której poprzednio widzieliśmy cząstki pochodzące od wodoru i stwierdzić, że są one rzeczywiście jednakowe.

Zauważyliśmy w rozdziale IV, że przetasowanie energji może się stać zupełne, tak że zostanie osiągnięty stan, znany pod nazwą równowagi termodynamicznej. Dodaliśmy przytem, że jest to tylko wtedy możliwe, gdy tasowaniu ulegają jednostki niepodzielne. Gdyby wolno było drzeć karty na coraz to mniejsze kawałki, tasowanie nie miałoby żadnego kresu. Temi niepodzielnemi jednostkami przy tasowaniu energji są właśnie kwanty. Promieniowanie, absorbcja i rozpraszanie energji powodują przetasowywanie energji pomiędzy różnemi jej zbiornikami w materji i eterze, lecz przy każdym takim kroku może przejść tylko cały kwant. Właśnie ta całkowita oznaczoność równowagi termodynamicznej naprowadziła Maxa Plancka po raz pierwszy na ślad kwantu. Wielkość h obliczono po raz pierwszy za pośrednictwem analizy zaobserwowanego składu promieniowania w końcowym stanie rozwoju przypadkowości. Dalsze

postępy teorji w jej wieku młodzieńczym zawdzięczamy Einsteinowi w zakresie zasad ogólnych, a Bohrowi, jeżeli idzie o związek ze strukturą atomu.

Kwant wykazuje naturę dość paradoksalną: nie jest spójny, chociaż jest niepodzielny. Zbadaliśmy najpierw elektron: przypadek, w którym pewien zasób energji stanowi najwidoczniej jednostkę spójną; ale tu nie natrafiliśmy na *h*. Zwróciliśmy tedy naszą uwagę na przypadek, w którym energja najwidoczniej rozlewała się przez przestrzeń, mianowicie na fale świetlne i *h* pojawiło się natychmiast. Atom działania nie wykazuje zwartości w przestrzeni, posiada on jakąś jedność, która go łączy poprzez przestrzeń. Jakże ta jedność może się pojawić w naszym obrazie świata, który rozciąga się w czasie i przestrzeni?

Konflikt z falową teorją światła. W dalszem badaniu kwantów napotykamy wiele niespodzianek, ale żadna z nich nie jest zapewne bardziej zabójcza dla naszych uprzedzeń, niż owo skupianie się światła i innej energji promienistej w jednostki wielkości *h*, podczas gdy wszystkie koncepcje klasyczne wskazywały na coraz dalsze jej rozpraszanie. Weźmy pod uwagę fale świetlne, które stanowią wynik pojedyńczej emisji pojedyńczego atomu gwiazdy Syrjusza. Unoszą one pewien zasób energji, opatrzonej pewnym okresem, przyczem iloczyn obu jest równy *h*. Okres przenosi się z falami bez zmiany, ale energja rozchodzi się coraz to rosnącemi kręgami. W osiem lat i jeden miesiąc po emisji czoło fali ma dotrzeć do Ziemi. Na parę minut przed jego przybyciem przyszło komuś do głowy wyjść i podziwiać wspaniałość sklepienia niebieskiego, krótko mówiąc umieścić swe oko na drodze promieni. Gdy fale świetlne wyruszały, nie mogły mieć żadnego wyobrażenia o tem, na co właściwie natrafią. Conajwyżej wiedziały, że czeka je długa podróż przez nieskończoną przestrzeń, jak zresztą wielu ich towarzyszy. Energja ich, wydawałoby się, jest beznadziejnie rozproszona na powierzchni kuli o promieniu przenoszącym 80

biljonów kilometrów. A jednak, gdy światło ma zpowrotem wstąpić w materję, gdy ma spowodować owe zmiany chemiczne w siatkówce, które wywołują wrażenie światła, to musi się skupić w pojedyńczy kwant działania h. Wejść może albo dokładnie $6{,}55.10^{-27}$ erg-sekund — albo nic. Zupełnie tak samo, jak emitujący atom, nie dbając o żadne prawa fizyki klasycznej, postanowił, że wszystko co z niego wychodzi musi być równe h, podobnie atom odbiorca godzi się wyłącznie na przyjęcie czegoś równego h. Niewszystkie fale świetlne mijają nasze oko, bo jednakże przecie możemy widzieć Syrjusza. Jak się to dzieje? Czyżby pierwsze fale, które dotknęły oka, miały przesyłać wiadomość do fal, podążających za niemi: „Uwaga, napotkaliśmy oko. Zgromadźmy się tam!“

Próby zdania sprawy z tego zjawiska idą dwiema drogami. Jedną z nich nazwiemy „teorją puszek“, drugą „teorją loterji“. Nie próbuję przetłumaczyć ich na język naukowy; ograniczam się do takich uwag: Według pierwszej teorji atom posiada puszkę, do której zbiera każdą przybywającą grupę fal, jako drobny wkład; gdy zapas w puszce osiąga całkowity kwant, wtedy zostaje wpuszczony do atomu. Według drugiej teorji atom korzysta z drobnego ułamka kwantu, który mu fale ofiarują, aby sobie kupić bilet na loterję, w której wygrane stanowią całe kwanty. Niektóre z tych atomów wygrywają te całe kwanty i absorbują je potem; tym właśnie szczęśliwym atomom w naszej siatkówce zawdzięczamy, że możemy stwierdzić istnienie Syrjusza.

Teorja „puszek“ nie da się utrzymać. Według powiedzenia Jeansa, teorja kwantów zabrania nietylko ubić dwa zające jednym strzałem, ale również jednego zająca dwoma strzałami. Nie mogę wchodzić tu w szczegóły zarzutów przeciwko tej teorji, ale spróbuję zarysować dwie trudności. Jedna z nich jest związana z puszkami wypełnionemi do połowy. Łatwiej to zrozumiemy, jeżeli sobie zamiast atomu wyobrazimy cząsteczki, które również mogą absorbować tylko całkowite kwanty. Cząsteczka zaczyna zbieranie różnych gatunków światła, które może absorbować, lecz zanim zdąży

zebrać kwant jednego gatunku, może zostać wciągnięta w reakcję chemiczną. Tworzą się nowe związki, które już nie mogą absorbować starych gatunków światła — posiadają one zupełnie inne widma absorbcyjne. Musiałyby zatem na nowo rozpocząć zbieranie właściwych gatunków światła. Lecz co się stanie z tym bezużytecznym teraz materjałem, który dawniej zebrano? Jedno jest bądź co bądź pewne: że po zajściu zmiany chemicznej nie wyrzuca się go do eteru.

Drugiem zjawiskiem zaprzeczającem bezpośrednio „teorji puszek" jest zjawisko fotoelektryczne. Gdy naświetlamy folje metaliczne np. sodu, potasu, rubidu, wyrzucają one wolne elektrony. Oczywiście energji do tych eksplozyj dostarcza światło; ale zjawiskiem tem rządzi interesujące prawo. Przedewszystkiem, szybkość wyrzucanych elektronów nie wzrasta z natężeniem światła. Koncentracja światła wywołuje wybuchy liczniejsze, ale nie silniejsze. Powtóre, szybkość wzrasta, gdy używamy światła bardziej niebieskiego, t. zn. światła o krótszym okresie. Naprzykład, słabe światło, które nam przysyła Syrjusz, daje silniejsze wybuchy niż światło słoneczne, gdyż światło Syrjusza jest bardziej niebieskie. Odległość Syrjusza nie osłabia wybuchów, jakkolwiek zmniejsza ich liczbę.

Jest to typowe zjawisko kwantowe. Każdy elektron, wylatujący z metalu, porwał dokładnie jeden kwant światła padającego. Ponieważ prawo stałej h przyporządkowuje większej energji krótsze okresy drgania, więc światło niebieskie posiada większą energję. Doświadczenie wykazuje, że (po odjęciu pewnej stałej energji, stanowiącej próg, który trzeba przekroczyć, aby wyrwać elektron z folji), każdy elektron wylatuje z energją równą energji kwantu światła padającego.

Folję można przygotować w ciemności. Ale już po naświetleniu choćby słabem światłem elektrony zaczynają opuszczać metal, zanim jeszcze jakaś puszka mogła się wypełnić jakimś uczciwym sposobem. Nie może też być mowy o jakiemś wyzwalającem działaniu światła, które wyswobadza elektron, naładowany już niezbędną do swej podróży

energją. Rozmiary ładunku energji wyznacza rodzaj światła; światło wybiera samo energję, z jaką wyrzuci elektron i musi mu samo jej dostarczyć. Ale teorja klasyczna nie zaopatrzyła światła w magazyn, z którego mogłoby ją wydawać.

Trudno zazwyczaj tak obstawić jakiś pomysł zarzutami, aby na jego podstawie nie można było osiągnąć żadnych korzyści. Lecz, nawet, gdy wciąż jeszcze są możliwe jakieś wykręty od zarzutów, przychodzi moment, w którym dostrzegamy, że wykręty te są przeholowane. Jeżeli mamy wogóle jakiś instynkt, który nam pozwala poznać prawo Natury, gdy je dostrzeżemy, instynkt ten powiada nam, że wzajemne oddziaływanie promieniowania i materji za pośrednictwem pojedyńczych kwantów leży u samego korzenia struktury świata, a nie jest jakąś przypadkową konsekwencją budowy atomu. Zwracamy się wobec tego do „teorji loterji", która widzi w omawianem obecnie zjawisku punkt zaczepienia do zasadniczej rewizji koncepcyj klasycznych.

Przypuśćmy, że natężenie fal świetlnych jest właśnie takie, że według zwykłego rachunku ich energji, jedna miljonowa kwantu dostaje się wewnątrz zasięgu każdego atomu. Niespodzianka polega na tem, że zamiast tego, by każdy atom pochłonął jedną miljonową kwantu, okazuje się, że z każdego miljona atomów jeden pochłania cały kwant. Pochłanianie całych kwantów jest udowodnione przez opisane już doświadczenia elektryczne, skoro każdy z wylatujących elektronów zagarnął energję całego kwantu.

Wydaje się, że fale świetlne wnoszą w zasięg atomu nie jedną miljonową kwantu, lecz jakby jedną miljonową szansy zagarnięcia całego kwantu. Według obrazu i opisu teorji falowej coś, utożsamianego zazwyczaj z energją, jest rozłożone jednostajnie na powierzchni całego czoła fali. Wobec mocno ugruntowanych zjawisk, jak interferencja i dyfrakcja, wydaje się rzeczą niemożliwą zaprzeczyć tej jednostajności, ale musimy ją inaczej interpretować: jest to jednostajne prawdopodobieństwo energji. Jeżeli skorzystamy z nieco przestarzałej definicji energji, jako „zdolności do wykona-

nia pracy", to będziemy mogli powiedzieć, że fale przenoszą na całem swem czole jednostajnie rozłożone prawdopodobieństwo wykonania pracy. Teorja falowa w myśl tego badałaby właśnie rozchodzenie się prawdopodobieństwa.

Można różnie sobie wyobrażać, w jaki sposób odbywa się losowanie według teorji loterji. Niektórzy utrzymują, że szczęśliwe miejsca na powierzchni czoła fali są naznaczone jeszcze przed osiągnięciem atomu. Prócz rozchodzenia się fal jednostajnych wplata się tu według nich propagacja fotonu czy „promienia szczęścia". Wydaje się to niesharmonizowane z ogólnym kierunkiem współczesnej teorji kwantów; więc jakkolwiek większość powag popiera ten pogląd, rzekomo ostatecznie ugruntowany przez pewne eksperymenty, niebardzo wierzę w jego trwałość.

Teorja atomu. Wracamy teraz do dalszych faktów doświadczalnych dotyczących kwantów. Tajemnicza wielkość h pojawia się wewnątrz atomu, podobnie jak zewnątrz. Weźmy najprostszy z wszystkich atomów, atom wodoru. Składa się on z protonu i elektronu, to jest z jednostkowego ładunku elektryczności dodatniej i jednostkowego ładunku elektryczności ujemnej. Proton skupia całą niemal masę atomu i pozostaje jak skała w jego środku, podczas gdy minjaturowy elektron porusza się dokoła niego po orbicie kołowej albo eliptycznej, ulegając prawu przyciągania odwrotnie proporcjonalnego do kwadratu odległości. Układ ten żywo przypomina Słońce i planetę. Lecz podczas gdy orbita planety może mieć dowolną wielkość i mimośród, orbita elektronu jest ograniczona do określonego szeregu wielkości i kształtów. Nic w klasycznej teorji elektromagnetyzmu nie może narzucić takiego ograniczenia; a ograniczenie to jednak istnieje i odkryto prawo, które je reguluje. Powstaje ono stąd, że atom zachowuje się tak, że coś w jego wnętrzu jest równe h. Orbity pośrednie są wyłączone, ponieważ pociągnęłyby one za sobą części h, a h nie może być podzielone.

Lecz ograniczenie to jest pod jednym względem złagodzone. Gdy energja promienista opuszcza atom lub zostaje przezeń pochłonięta, iloczyn jej wielkości i okresu musi równać się dokładnie h. Lecz w zakresie urządzenia wewnętrznego atom nie ma żadnych objekcyj przeciwko $2h$, $3h$, $4h$ i t. d.; obstaje jedynie przy tem, by pozostały wyłączone ułamki. Oto dlaczego istnieją różne alternatywne orbity, odpowiadające różnym całkowitym wielokrotnościom h. Nazywamy te wielokrotności liczbami kwantowemi i mówimy o orbitach jednokwantowych, dwukwantowych i t. d. Nie będę tu ściśle określał tego, co właśnie ma być dokładną wielokrotnością h. Wspomnę tylko, że jest to coś, co w świecie czterowymiarowym natychmiast okazuje się działaniem, co może nie rzuca się tak w oczy, gdy to coś obserwujemy w zwykły sposób w przekrojach trójwymiarowych. Kilka cech atomu podlega niezależnie od siebie temu prawu i zgodnie z tem znajdujemy kilka liczb kwantowych — po jednej dla każdej cechy. Lecz dla uniknięcia technicznych komplikacyj ograniczę się do liczb kwantowych, odpowiadających jednej naczelnej własności atomu.

Zgodnie z tym obrazem atomu, nakreślonym przez Niels Bohra, jedyną możliwą zmianą stanu jest skok elektronu z jednej orbity kwantowej na drugą. Taki skok musi się zdarzyć, skoro tylko atom pochłania albo wysyła światło. Przypuśćmy zatem, że elektron, wędrujący na jednej z wysokich orbit, skoczył na orbitę o mniejszej energji. W atomie pojawi się wtedy pewna nadwyżka energji, która musi zostać wydalona. Odłamek energji jest już w ten sposób ustalony, pozostaje tylko ustalenie okresu drgań, który się pojawi, gdy odłamek ten zamieni się na fale eteru. Wydaje się niewiarygodne, by atom mógł chwycić eter i potrząsać nim w innym okresie, niż ten w którym sam wykonywa drgania. Pomimo to jest faktem doświadczalnym, że gdy atom promieniując wprawia eter w drgania, to okres obiegu elektronu zostaje zapomniany, a okres drgań eteru wyznaczony nie przez żaden mechanizm, lecz przez napozór sztuczną regułę stałej h. Wygląda to tak, jakgdyby atom

wyrzucał niedbale grudkę energji, która w chwili ześlizgiwania się kształtuje się w kwant działania, przyjmując okres niezbędny do tego, by w iloczynie z energją wypadło h. Jeżeli ten niemechaniczny proces emisji wydaje się sprzeczny z naszymi wyobrażeniami, to dokładnie przeciwny proces absorbcji jest jeszcze gorszy pod tym względem. Tu atom musi wyglądać za grudką energji, która dokładnie wystarczy, aby podnieść elektron na wyższą orbitę. Grudkę taką może wyłowić tylko z fal o pewnym specjalnym okresie — bynajmniej nie o okresie, rezonującym na strukturę atomu, lecz o okresie, który czyni z energji dokładnie jeden kwant.

Wzajemne dopasowanie energji skoku z jednej orbity na drugą i okresu światła, unoszącego tę energję, dopasowanie, zapewniające pojawienie się stałej h, jest być może najbardziej uderzającym dowodem dominacji kwantów. Warto wobec tego wyjaśnić, jak można zmierzyć energję skoku z jednej orbity na drugą. Można udzielić elektronowi pewnego znanego zasobu energji, przepuszczając go przez pole elektryczne ze znanym spadkiem potencjału. Jeżeli taki pocisk uderzy w atom, może on spowodować, że jeden z elektronów, krążących w atomie, skoczy na wyższą orbitę, ale oczywiście wtedy tylko, gdy wystarczy energji tego pocisku na taki właśnie skok. Jeżeli elektron ma zbyt małą energję, to nie może nic zdziałać i musi przejść bez naruszenia swej energji. Skierujmy strumień elektronów o jednakowej a znanej energji na środek grupy atomów. Jeżeli energja jest mniejsza niż ta, która odpowiada skokowi orbitalnemu, to strumień przejdzie bez innej interferencji jak zwykłe rozproszenie. Powiększajmy teraz stopniowo energję elektronów. W pewnej chwili zupełnie raptownie okaże się, że elektrony pozostawiają znaczną część swej energji poza sobą. Oznacza to, że została osiągnięta energja krytyczna i zostały wywołane skoki. W ten sposób możemy mierzyć energję krytyczną, która jest właśnie energją skoku — różnicą energji pomiędzy dwoma stanami atomu. Ta metoda pomiaru posiada tę zaletę, że nie im-

plikuje znajomości stałej h, tak że nie zachodzi obawa błędnego koła, gdy korzystamy z mierzonych energij, aby sprawdzić regułę kwantową stałej h *. Przy sposobności otrzymujemy nowy argument przeciwko teorji puszki. Okazuje się, że atom nie przyjmuje z podziękowaniem drobnych datków i że elektrony, które ofiarują mniej niż wynosi pełny równoważnik skoku nie są dopuszczone do żadnej wpłaty.

Związek praw klasycznych z kwantowemi. Przedstawienie sprawdzenia i owocnych zastosowań teorji kwantów doprowadziłoby do szczegółowego przeglądu większej części fizyki współczesnej — teorji ciepła właściwego, magnetyzmu, promieni rentgenowskich, promieniotwórczości i t. d. Musimy z tego zrezygnować i wrócić do ogólnego rozważania związku pomiędzy prawami klasycznemi i kwantowemi. Przez lat piętnaście conajmniej używaliśmy praw klasycznych i kwantowych współrzędnie, pomimo to, że nie dają się one pogodzić. W modelu atomu zakładało się, że elektrony przebiegają swe orbity według praw elektrodynamiki klasycznej; lecz z jednej orbity na drugą przeskakują one w sposób całkowicie niezgodny z temi prawami. Energje orbit atomu wodoru obliczamy według praw klasycznych; lecz jednym z celów tego rachunku jest skontrolowanie, że energja i okres kojarzą się w jednostkę działania h, co znowu jest sprzeczne z klasycznemi prawami promieniowania. Całe to postępowanie jest jaskrawo sprzeczne, lecz jawnie owocne.

W mojem obserwatorjum znajduje się teleskop, który zbiera światło gwiazdy na folji sodu w komórce fotoelektrycznej. Opieram się na teorji klasycznej, gdy prowadzę światło przez soczewki i zbieram je w komórce; lecz później przełączam na teorję kwantów, gdy mam zmusić światło do wyrzucania elektronów z folji sodowej, aby je zebrać w elek-

* Ponieważ prawo stałej h jest obecnie mocno ugruntowane, więc się go używa do obliczania energij różnych stanów atomu; sprawdzanie prawa kwantów za pośrednictwem tych ostatnich stanowiłoby błędne koło.

trometrze. Gdyby mi się zdarzyło przestawić obie teorje, teorja kwantów przekonałaby mnie, że światło nigdy się nie skupi w komórce, a teorja klasyczna wykazałaby, że nie jest ono zdolne do wyrzucenia elektronu, gdy się nawet dostanie do komórki. Nie mam właściwie żadnych powodów natury logicznej, aby nie stosować obu teoryj w tym porządku; tylko doświadczenie poucza mnie, że nie powinienem tego robić. Sir William Bragg nie przesadzał, gdy mówił, że używamy teorji klasycznej w poniedziałki, środy i piątki, a teorji kwantów we wtorki, czwartki i soboty. Być może powinno to nas usposobić bardziej pobłażliwie względem ludzi, którzy mają inną filozofję wszechświata na dni powszednie, a inną na niedziele.

W ubiegłem stuleciu — a sądzę, że również w bieżącem — było zapewne wielu ludzi, którzy przechowywali naukę i religję w oddzielnych nieprzenikliwych przedziałach. Jeden zakres wierzeń nadawał się do pracowni, drugi do kościoła i nie czyniono żadnych poważnych wysiłków, ażeby je sharmonizować. Stanowisko to można obronić. Dyskusja nad zgodnością obu kategoryj wierzeń zaprowadziłaby naukowca w dziedziny myśli, w których jest bardzo niedoświadczony, i wyniki, do którychby doszedł, mogłyby nie zasługiwać na mocne zaufanie. Lepiej przyznać, że jest nieco prawdy zarówno w nauce, jak w religji. Jeżeli muszą one stoczyć bój, to niech walka rozegra się gdzieindziej, a nie w wytężonym skupieniem umyśle uczonego. Jeżeliśmy kiedyś urągali takiemu stanowisku, to dotknęła nas zasłużona kara: od lat dziesięciu musimy dzielić naukę współczesną pomiędzy dwa przedziały — posiadamy jeden zespół wierzeń w przedziale klasycznym, a inny zespół w przedziale kwantowym. Na nieszczęście jednak przedziały te nie są nieprzenikliwe.

Musimy oczywiście wypatrywać jakiejś ostatecznej przebudowy naszych wyobrażeń o świecie fizycznym, które pozwolą ująć jednocześnie w harmonijnem połączeniu zarówno prawa klasyczne jak kwantowe. Wciąż jeszcze wierzą niektórzy, że uda się je pogodzić przez rozbudowanie wy-

obrażeń klasycznych. Lecz inni fizycy, należący do szkoły, którą można nazwać kopenhaską, wierzą, że przebudowę należy zacząć od innego końca, i że w zjawiskach kwantowych osiągamy bardziej bliskie zetknięcie z mechanizmem Natury, niż w gruboziarnistem doświadczeniu, które doprowadziło do praw klasycznych. Gdy szkoła klasyczna musiała uznać istnienie tych jednostajnych odłamków działania, zaczęła spekulować nad foremką, w której wykrawa Natura te odłamki. Przeciwnie, Szkoła kopenhaska widzi w zjawiskach kwantowych rozkruszenie złudnego przepychu przestrzeni, czasu i materji na ziarna działania. Nie sądzę, by stanowisko Szkoły kopenhaskiej ukształtowało się głównie pod wrażeniem olbrzymich trudności, związanych z konstrukcją zadowalających foremek do odlewania kwantów z materjału klasycznego. Wyrasta ono przedewszystkiem na tle badania punktów zetknięcia pomiędzy prawami kwantowemi a klasycznemi.

Prawa klasyczne przedstawiają granicę, do której zmierzają prawa kwantowe, gdy dochodzimy do stanów o bardzo wysokich liczbach kwantowych.

Jest to sławna zasada odpowiedniości, sformułowana przez Bohra. Zpoczątku była ona przypuszczeniem, opartem na raczej słabych wskazówkach doświadczalnych. Lecz w miarę wzrostu naszej wiedzy o prawach kwantowych okazało się, że gdy stosujemy je do stanów o bardzo wielkiej liczbie kwantowej, to zmierzają one do praw klasycznych i przepowiadają właśnie to, co przepowiadałyby prawa klasyczne.

Weźmy naprzykład atom wodoru z jego elektronem na orbicie kołowej, odpowiadającej bardzo wielkiej liczbie kwantowej, tak że jest ona bardzo oddalona od protonu. W poniedziałki, środy i piątki rządzi się ten atom prawami klasycznemi. Według tych praw powinien elektron stale wysyłać słabe promieniowanie, którego natężenie zależy od jego przyśpieszenia, a okres zgadza się z jego własnym okresem obrotu. Dzięki stopniowemu upływowi energji będzie się on zbliżał po linji spiralnej ku protonowi. We

wtorki, czwartki i soboty rządzą nim prawa kwantowe i przeskakuje on z jednej orbity na drugą. Istnieje prawo kwantowe, o którem dotąd nie wspominałem, że (wyłącznie dla orbit kołowych) skok musi się zakończyć na najbliższej niższej orbicie kołowej, tak że elektron przechodzi jeden za drugim szereg stopni, nie opuszczając żadnego. Inne prawo znowu reguluje przeciętny czas pomiędzy kolejnemi skokami, a zatem przeciętny odstęp pomiędzy dwiema emisjami światła. Małe grudki energji wyrzucane przy każdym skoku tworzą fale świetlne o okresie wyznaczonym przez prawo stałej *h*.

„Absurd! Nie można przecie na serjo twierdzić, że elektron robi różne rzeczy w różne dni tygodnia!“

Czyż mówiłem, że robi różne rzeczy? Używałem różnych słów do opisu tego, co robi. Zbiegam po schodach we wtorek, a ześlizguję się z poręczy w środę. Lecz jeżeli schody są zbudowane z nieskończenie wielu nieskończenie małych stopni, to niema żadnej istotnej różnicy pomiędzy memi sposobami posuwania się za każdym razem. Podobnie nie stanowi żadnej różnicy, czy elektron skacze z jednej orbity na najbliższą niższą, czy też ześlizguje się po spirali, gdy liczba stopni jest niezmiernie wielka. Szereg grudek energji wyrzuconych nazewnątrz stapia się w ciągły strumień. Gdybyście mieli przed sobą wzory matematyczne, znaleźlibyście że okres światła i jego natężenie wypadają jednakowo zarówno podług metody poniedziałkowej jak wtorkowej — *lecz tylko wtedy, gdy liczba kwantowa jest niezmiernie wielka.* Rozbieżność nie jest znaczna, gdy liczba kwantowa ma wartość umiarkowaną, lecz dla małych liczb kwantowych elektron musi się już zdecydować albo na poniedziałkowe (klasyczne) albo na wtorkowe (kwantowe) prawa. Okazuje się, że wybiera prawa wtorkowe.

Jeżeli ten przykład jest typowy, jak się to nam wydaje, to wskazuje jeden z kierunków, w których musi iść rekonstrukcja pojęć. Nie powinniśmy próbować budować teorji atomu na podstawie pojęć klasycznych, ponieważ prawa klasyczne stają się prawdziwe, a pojęcia w nich za-

warte stają się określone tylko wtedy, gdy przechodzimy do przypadku granicznego, gdy liczby kwantowe są bardzo wielkie. Musimy zacząć od nowych pojęć, przystosowanych zarówno do stanów o małym, jak o wielkim numerze. Z tych, najpierw niewyraźnie, a potem już jasno, w miarę wzrostu liczby, charakteryzującej stan, powinny się wyłaniać koncepcje klasyczne, a prawa klasyczne powinny się stawać coraz bardziej dokładnie prawdziwe. Nie mogę przewidzieć wyników tego przemodelowania, lecz prawdopodobnie będzie się musiało znaleźć miejsce dla koncepcji „stanów"; pojęcie stanu zastąpi więzy, wyrażone przez siły klasyczne. Dla stanów o niskich numerze potoczny słownik fizyczny jest niewłaściwy. W chwili obecnej nie możemy uniknąć jego użycia, a właśnie stąd pochodzi obecna sprzeczność naszych teoryj. Dla takich stanów nie istnieje ani czas, ani przestrzeń — przynajmniej nie widzę żadnych powodów, aby miały istnieć. Lecz należy przypuszczać, że gdy idzie o stany o wysokiej liczbie kwantowej, to w nowym schemacie znajdą się przybliżone odpowiedniki czasu i przestrzeni, gdy liczby kwantowe stanów są nieskończone. Jednocześnie oddziaływania opisane przez przejścia wzajemne stanów przejdą w klasyczne siły, wywierane poprzez czas i przestrzeń. Ostatecznie w granicy opis klasyczny staje się zupełnie użyteczną alternatywą. Otóż, w doświadczeniu praktycznem spotykamy naogół układy, w których więzy są stosunkowo luźne i odpowiadają bardzo wysokim liczbom kwantowym. Dzięki temu w naszem pierwszem zetknięciu się ze światem natrafiliśmy na prawa klasyczne i nasze współczesne pojęcia o świecie składają się z tych tworów, które przybierają określony kształt tylko dla wysokich liczb kwantowych. Lecz we wnętrzu atomu i cząsteczki, w zjawiskach promieniowania, i prawdopodobnie również w budowie bardzo zgęszczonych gwiazd, jaką jest naprzykład towarzysz Syrjusza, numery stanów nie są dostatecznie wysokie, aby pozwolić na takie ujęcie. Zjawiska te zmuszają nas do zagłębienia się w bardziej podstawowe koncepcje, z których wyobrażenia klasyczne (wystarczają-

ce dla innych typów zjawisk) powinny się wyłonić, jako przypadki graniczne.

Dla przykładu zapożyczę pewne pojęcie kwantowe z następnego rozdziału. Być może nie jest mu sądzone przeżyć szybki współczesny rozwój pomysłów, ale w każdym razie posłuży nam ono za ilustrację. W półklasycznym Bohrowskim modelu atomu wodorowego istnieje elektron, opisujący orbitę kołową albo eliptyczną. Jest to tylko model: prawdziwy atom nic podobnego nie zawiera. Prawdziwy atom zawiera coś, czego wyobrażenie nie istnieje w umyśle ludzkim, ale co zostało tem nie mniej opisane symbolicznie przez Schrödingera. To „coś' rozchodzi się w przestrzeni w pewien sposób, zupełnie niepodobny do ruchu elektronu po swojej orbicie. Wzbudzajmy teraz atom do coraz wyższych stanów kwantowych. W atomie Bohra elektron przeskakuje na orbity coraz wyższe i wyższe. W prawdziwym atomie Schrödingera „coś" kurczy się coraz bardziej, aż wreszcie zaczyna się zarysowywać orbita Bohrowska, a nawet pewne zgęszczenie, które ją obiega. Przejdźmy do jeszcze większych liczb kwantowych, a okaże się, że symbol Schrödingera przedstawia teraz zwarte ciało, poruszające się w tej samej orbicie i z tym samym okresem, co elektron w modelu Bohra i — co więcej — promieniujące zgodnie z klasycznemi prawami elektronu. Gdy wreszcie liczba kwantowa staje się nieskończenie wielka, gdy atom pęka, wylatuje z niego prawdziwy klasyczny elektron. Elektron, gdy opuszcza atom, wyłania się z mgły Schrödingera, jak duch z butelki w bajce arabskiej.

Rozdział X

NOWA TEORJA KWANTÓW

Konflikt pomiędzy teorją kwantów a klasyczną przyjmuje szczególnie ostrą postać przy zagadnieniu rozchodzenia się światła. Tutaj staje się on ostatecznie konfliktem pomiędzy teorją falową światła a korpuskularną.

W zaraniu teorji kwantów pytano często: jak wielki jest kwant światła? Jedną odpowiedź na to pytanie można uzyskać z obserwacji obrazu gwiazdy w stucalowym (2,5 m) teleskopie zwierciadlanym na Mount Wilson. Z postaci obrazu dyfrakcyjnego można wywnioskować, że emisja z każdego atomu musi wypełniać całe zwierciadło. Albowiem gdyby jeden atom oświetlał tylko jedną część, a drugi tylko inną część zwierciadła, powinnibyśmy uzyskać ten sam efekt, gdybyśmy oświetlili różne części zwierciadła światłem różnych gwiazd (nie ma przecie żadnego znaczenia to, że atomy pochodzą z tej samej gwiazdy). Okazuje się, że deseń dyfrakcyjny nie jest w obu przypadkach jednakowy. *Kwant powinien zatem mieć rozmiary wystarczające do pokrycia zwierciadła o średnicy 2,5 m.*

Lecz jeżeli to samo światło gwiazdowe bez żadnej sztucznej koncentracji padnie na folję potasu, to elektrony będą wylatywały z energją całkowitego kwantu. Nie idzie tu bynajmniej o działanie spustowe, naskutek którego uwalnia się energja zmagazynowana w atomie; albowiem zasób energji elektronu jest określony przez rodzaj światła, a nie przez rodzaj atomu. Cały kwant energji świetlnej wszedł

do atomu i wysadził elektron. *Kwant powinien być dostatecznie mały, aby móc wejść do atomu.*

Nie sądzę, by istniały jakiekolwiek wątpliwości, dotyczące ostatecznej przyczyny tej sprzeczności. Nie powinniśmy wyobrażać sobie indywidualnego kwantu na tle przestrzeni i czasu. Rozciągłość przestrzenna kwantu — to termin pozbawiony sensu. Stosowanie pojęć przestrzeni i czasu do pojedyńczego kwantu możnaby porównać z odczytywaniem pojedynczemu człowiekowi ustawy o działaniu w bandzie. Nie pojedyńczy to kwant wędrował 80 biljonów kilometrów od Syrjusza i znajdował się przez 8 lat w drodze. Gdy się zbierze dostateczna liczba kwantów, aby istniało quorum, to znajdą się pomiędzy ich własnościami *statystycznemi* takie, które odpowiadają 80 biljonom odległości od Syrjusza i ośmioletniej podróży światła.

Teorja falowa materji. Łatwo się zorjentować stosunkowo, co powinniśmy teraz zrobić. Ale znacznie trudniej zacząć tę pracę. Zanim przejdziemy do przeglądu prób, które przyniosły ostatnie dwa lata, opowiemy krótko o mniej drastycznej metodzie, zainicjowanej przez De Broglie'a. Narazie zatem decydujemy się uznać tajemnicę za tajemnicę. Zgodzimy się na to, że światło jest czemś, co posiada falową własność rozchodzenia się tak, aby wypełnić największy objektyw oraz wszystkie znane własności dyfrakcji i interferencji. Jednocześnie jest to coś, co posiada własność cząsteczek czy pocisków, własność koncentrowania całej swej energji na bardzo drobnym celu. Nie możemy takiego tworu nazwać falą, ani cząsteczką. Moglibyśmy spróbować dla kompromisu nazwy: „faleczka".

Niema nic nowego pod słońcem i ostatni zwrot cofa nas niemal do teorji światła Newtona — dziwnej mieszaniny teorji falowej i korpuskularnej. Jest może coś przyjemnego w tym „powrocie do Newtona". Lecz przypuszczenie, że naukowa reputacja Newtona została zrehabilitowana zwłaszcza przez teorję światła De Broglie'a, jest równie nie-

dorzeczne jak przypuszczenie, że została zachwiana przez teorję grawitacji Einsteina. Nie istniało żadne zjawisko znane Newtonowi, któregoby nie można było znakomicie wytłumaczyć przy pomocy teorji falowej. I usunięcie fałszywych dowodów teorji częściowo korpuskularnej, pod której wpływem znajdował się Newton, było równie doniosłym postępem, jak wykrycie prawdziwych (być może) dowodów, które nas dzisiaj skłaniają do teorji korpuskularnej. Kto sobie wyobraża, że wielkie imię naukowe Newtona chwieje się zpowodu współczesnych przewrotów, ten miesza wiedzę z jasnowidzeniem.

Lecz wróćmy do naszej „faleczki". Jeżeli to, co zwykle uważaliśmy za falę, posiada pewne cechy cząsteczki, czy to, co uważaliśmy zawsze za cząsteczkę, nie może posiadać pewnych cech fali? Dopiero w bieżącem stuleciu spróbowano doświadczeń, które nadawały się do ujawnienia korpuskularnego oblicza istoty światła; być może są możliwe doświadczenia, które ujawnią falowe oblicze istoty elektronu.

Zamiast wyjaśnienia tajemnicy zaczynamy zatem od jej rozszerzenia. Zamiast wytłumaczyć, w jaki sposób coś może posiadać jednocześnie sprzeczne własności fali i cząsteczki, próbujemy wykazać doświadczalnie, że dwie te własności są powszechnie połączone. Nie istnieją ani czyste fale ani czyste cząsteczki.

Dla teorji falowej jest charakterystyczne rozszerzanie się promienia świetlnego po przejściu przez wąski otwór — jest to znane zjawisko zwane dyfrakcją. Rozmiary tego zjawiska są proporcjonalne do długości fali świetlnej. De Broglie nauczył nas obliczać długości fal, związanych z elektronem — naturalnie, jeżeli takie fale istnieją. — Rozważał zatem elektron już nie jako czystą cząsteczkę, lecz jako „faleczkę". Wydaje się, że w pewnych okolicznościach rozmiary odpowiadającej dyfrakcji będą dostatecznie wielkie, aby umożliwić badanie doświadczalne. Istnieje już w chwili obecnej kilka wyników doświadczalnych, cytowanych na potwierdzenie tej przepowiedni. Nie potrafię powiedzieć, czy należy je uważać za ostateczne, ale w każdym razie

istnieją poważne dowody za tem, że w zjawiskach związanych z rozpraszaniem elektronów przez atom zachodzą rzeczy, niezgodne z założeniem, że elektrony są czysto cząsteczkowe. Zjawiska te, analogiczne do dyfrakcji i interferencji, przenoszą nas do przysięgłe tereny teorji falowej. Przed wielu laty zjawiska tego rodzaju całkowicie wyrugowały korpuskularne teorje światła; być może że w chwili obecnej odkrywamy zjawiska, które rugują wszystkie czysto korpuskularne teorje materji *.

Podobny pomysł leżał u podstawy „nowej mechaniki statystycznej", rozwiniętej przez Einsteina i Bose'go — w każdym razie tak sobie wyobrażam interpretację fizyczną ich niezmiernie abstrakcyjnych rozumowań matematycznych. Jak to się często zdarza, tak zasadnicza zmiana mechaniki klasycznej, doprowadziła do nieznacznych tylko poprawek, gdy ją zastosowano do zwykłych zagadnień praktycznych. Poważniejsze różnice można było wykryć tylko w materji znacznie gęstszej, niż wszystko, cośmy dotąd odkryli albo sobie wyobrażali. Dość się dziwnie złożyło, że właśnie w chwili, kiedyśmy sobie uprzytomnili, że bardzo gęsta materja może posiadać inne własności, niż te które przewiduje teorja klasyczna, znaleziono w rzeczy samej bardzo gęstą materję we wszechświecie. Dowody astronomiczne nie pozostawiają obecnie żadnej wątpliwości, że w gwiazdach, zwanych *białemi karłami* gęstość materji przewyższa wszystko, co nam jest znane z doświadczenia ziemskiego. Towarzysz Syrjusza posiada naprzykład gęstość około 60 kilogramów na centymetr sześcienny. Stan ten tłumaczymy sobie w ten sposób, że wysoka temperatura i odpowiednio do niej silny ruch cząsteczek materji rozbija (jonizuje) zewnętrzne układy elektronowe, dzięki czemu pozostałe odłamki mogą się skupić znacznie ściślej. W zwykłej temperaturze drobniutkiego jądra atomu strzegą wysunięte placówki wartowników-elektronów, które wzbraniają innym atomom bliskiego dostępu nawet w najwyższych

* Dowody tego są w chwili obecnej znacznie mocniejsze, niż w chwili wygłaszania niniejszych odczytów.

temperaturach. Lecz w temperaturach gwiazdowych wzburzenie jest tak wielkie, że elektrony opuszczają swe posterunki i rozbiegają się po całem otoczeniu. Pod dostatecznie wysokiem ciśnieniem staje się wtedy możliwe niezmiernie ciasne spakowanie materji. R. H. Fowler znalazł, że w białych karłach gęstość jest tak wysoka, że metody klasyczne zawodzą i należy stosować nową mechanikę statystyczną. W szczególności uwolnił nas od troski, którą żywiliśmy o ich los ostateczny: według praw klasycznych zmierzały one do nieznośnej sytuacji — gwiazda nie przestawała tracić ciepła, a z drugiej strony nie posiadała dostatecznej energji, aby się ochłodzić. *

Przejście do nowej teorji. W roku 1925 mechanizm panującej teorji zaciął się znowu i począł domagać się gwałtownie rekonstrukcji: model atomu Bohra załamał się definitywnie. Jest to dobrze znany obecnie model, który przedstawia atom jako coś w rodzaju układu słonecznego z centralnem jądrem dodatniem i pewną liczbą elektronów, krążących dokoła niego jak planety. Istotną jego cechą jest ograniczenie możliwych orbit przez prawa, podane na str. 177. Ponieważ każdy prążek w widmie atomu zostaje wysłany na skutek skoku elektronu z jednej określonej orbity na drugą, zatem klasyfikacja prążków widmowych musi biec równolegle do klasyfikacji orbit na podstawie ich numerów kwantowych w modelu. Gdy spektroskopiści rozpoczynali swą pracę rozwikłania różnych seryj prążków widmowych, udawało się im przyporządkować każdemu prążkowi określony skok — mogli przetłumaczyć każdy prążek na język modelu. Teraz jednak powstały kwestje subtelniejszych szczegółów, które się wyłamują zpod tej odpowiedzialności. Nie należy zbyt wiele wymagać od modelu i nikogoby nie zdziwiło, gdyby model zawiódł przy interpreta-

* Do ochłodzenia jest niezbędny pewien zasób energji, gdyż prowadzi ono materję do bardziej normalnej gęstości, co znowu pociąga za sobą znaczne powiększenie objętości gwiazdy. Przy tem rozprężeniu gwiazda musi wykonać pracę na pokonanie siły grawitacji.

cji drobniejszych zjawisk lub gdyby jego ścisłość okazała się niedoskonała. Lecz nowy kłopot był innego rodzaju: model przewidywał tylko dwa skoki tam, gdzie szło o reprezentację trzech jawnie stowarzyszonych prążków i tak dalej. Tak pomocny w interpretacji widma do pewnego punktu, nagle stawał się zupełnie zwodniczy. Spektroskopiści okazali się zmuszeni odwrócić się od niego i zakończyć swą klasyfikację prążków w sposób, który był zupełnie niezwiązany z modelem. Mówili wprawdzie po dawnemu o orbitach i skokach, ale nie było już doskonałej wzajemnie jednoznacznej odpowiedniości pomiędzy niemi a prążkami. *

Sprawa jawnie dojrzała do powstania nowej teorji. Sytuację, która wtedy panowała, możnaby streścić jak następuje:

(1) Ogólna reguła praktyczna polegała na użyciu praw klasycznych z dodatkowem omówieniem, że ilekroć pojawi się coś o naturze działania, należy to przyrównać do h, albo czasem do całkowitej wielokrotności h.

(2) Omówienie to prowadziło często teorję klasyczną do wewnętrznej sprzeczności. Naprzykład w atomie Bohra przyśpieszenie elektronu na jego orbicie ulegało prawom klasycznym, podczas gdy jego promieniowanie odbywało się według prawa stałej h. Tymczasem w klasycznej elektrodynamice przyśpieszenie i promieniowanie są powiązane nierozdzielnie.

(3) Była znana właściwa sfera praw klasycznych. Są one postacią bardziej ogólnych praw w przypadku granicznym, to jest gdy liczby kwantowe, wchodzące w grę, stają się bardzo wielkie. Koncepcje klasyczne, dotyczące tylko przypadku granicznego, nie powinny zatrzymywać postępu w badaniach całkowitego układu.

* Każda orbita czy stan atomu wymaga trzech (przy dalszych wysubtelnieniach czterech) liczb kwantowych do swego określenia. Pierwsze dwie liczby kwantowe model Bohra daje poprawnie, lecz trzecia — która powinna oddzielić różne prążki tworzące dublet albo multyplet — wypada fałszywie. Jest to znacznie gorzej, niż gdyby jej wogóle nie było.

(4) Obecny kompromis implikował uznanie podwójnej natury światła, cząsteczkowej i falowej. Tę samą myśl, wydaje się, uogólniono z powodzeniem na materję i potwierdzono doświadczalnie. Lecz powodzenie to właśnie czyni bardziej palącą sprawę jakiegoś mniej sprzecznego sposobu połączenia tych własności.

(5) Jakkolwiek powyższa reguła praktyczna okazała się naogół szczęśliwa w swych przepowiedniach, jednak okazało się, że prowadziła ona do rozkładu elektronów na orbitach, który okazywał się sprzeczny w pewnych istotnych szczegółach z danemi spektroskopowemi. Przebudowa stała się więc niezbędna nietylko zpowodu zarzutów natury logicznej, lecz również ze względu na palące wymaganie fizyki praktycznej.

Rozwój nowej teorji kwantów. Nowa teorja kwantów powstała na jesieni roku 1925 z ukazaniem się ważnej pracy Heisenberga. Piszę pierwszy szkic niniejszego odczytu dokładnie w dwanaście miesięcy po ukazaniu się tej rozprawy. Niedługi to czas na rozwój teorji; tem nie mniej przeszła już ona przez trzy różne fazy, związane z nazwiskami Borna i Jordana, Schrödingera, Diraca. Główną moją obawą w tej chwili jest, by interpretacja nie wkroczyła na nowe tory, zanim zdążę wygłosić ten odczyt.

Zgruba biorąc, powinnibyśmy uważać te trzy fazy za trzy różne teorje. Heisenberg utorował drogę wszystkim trzem, lecz wykazują one znaczne różnice w ideach. Pierwsza wkroczyła na nowe tory w sposób raczej rzeczowy; druga była wysoce transcendentalna, niemal mistyczna; trzecia napozór nawiązywała zpowrotem do wyobrażeń klasycznych, ale jest to prawdopodobnie wrażenie fałszywe. Możecie sobie pomyśleć, jaka anarchja zapanowała w tej gałęzi fizyki, gdy kolejno trzech pretendentów zdobywało tron w ciągu dwunastu miesięcy. Lecz nie możecie zdać sobie sprawy ze stałego postępu, który osiągnięto w tym czasie, jeżeli nie zapoznacie się z stroną matematyczną tych teoryj.

Jeżeli idzie o idee filozoficzne, to są one na przeciwległych biegunach; jeżeli idzie o treść matematyczną, to pokrywają się całkowicie. Na nieszczęście właśnie strony matematycznej nie wolno mi w tych wykładach dotykać.

Zamierzam jednakże popełnić przekroczenie i przedstawić waszej rozwadze jeden wzór matematyczny, chociaż nie będę taki nierozsądny, żeby przypuszczać, że go zrozumiecie. Wszystkie powagi zgadzają się, jak się zdaje, że źródłem, albo rzeczą bliską źródła wszystkiego w świecie fizycznym jest mistyczny wzór

$$pq - qp = \frac{ih}{2}$$

Jeszcze tego nie rozumiemy; gdyby było inaczej, nie uważalibyśmy, być może, tego wzoru za tak podstawowy. W każdym razie wyszkolony matematyk ma tę przewagę, że może się nim posługiwać i w ciągu ostatnich dwu lat stosowano wzór ten naprawdę z wielkiem powodzeniem. Prowadzi on nietylko do zjawisk, opisywanych przez stare prawa kwantowe przy pomocy reguły stałej h, lecz również do wielu bliskich zjawisk, które wymykały się starym sformułowaniom.

Po prawej stronie naszego wzoru oprócz stałej h (atomu działania) i czysto liczbowego czynnika $\frac{1}{2}$, występuje litera i (pierwiastek kwadratowy z -1), co może się narazie wydawać nieco mistyczne. Lecz jest to tylko dobrze znany wybieg: już od ubiegłego stulecia fizycy i inżynierowie dobrze wiedzą, że $\sqrt{-1}$ w ich wzorach jest pewnego rodzajem sygnałem, zapowiadającym fale lub drgania. Prawa strona nie zawiera zatem nic niepospolitego, zato lewa może bardzo speszyć. Nazywamy q i p odpowiednio spółrzędną i momentem, zapożyczając ten słownik ze świata czasu, przestrzeni i podobnych grubszych przeżyć. Lecz nazwy te nie rzucają należytego światła na ich istotę, ani też nie wyjaśniają, dlaczego qp jest tak niesforne, że się nie równa pq.

Oto właśnie najistotniejsza różnica pomiędzy temi trzema teorjami. Oczywiście q i p nie są poprostu liczbami,

gdyż wtedy $qp - pq$ byłoby zerem. Dla Schrödingera p jest *operatorem*. Jego „moment" nie jest wielkością, lecz tylko znakiem, nakazującym wykonanie pewnej czynności na wielkościach, które mają za nim następować. Dla Borna i Jordana p jest macierzą — to znaczy nie jedną wielkością, ani kilkoma, lecz nieskończoną mnogością wielkości, ułożonych systematycznie w tablicę. Dla Diraca p jest symbolem bez żadnej interpretacji liczbowej; nazywa on go *liczbą q*, co ma oznaczać, że nie jest on wogóle liczbą.

Odważamy się sądzić, że w ujęciu Diraca tkwi pewna idea, które może posiadać wielką doniosłość filozoficzną, niezależnie od tego, czy to szczególne jej zastosowanie będzie uwieńczone powodzeniem. Ideę tę można wyrazić w ten sposób, że wnikając coraz głębiej i głębiej w to, co znajduje się u podstawy zjawisk fizycznych, musimy być przygotowani na napotkanie tworów, które nie są mierzalne w żaden sposób przy pomocy liczb, podobnie zresztą, jak wiele rzeczy z naszego doświadczenia. Z drugiej strony ujęcie Diraca wskazuje, w jaki sposób ścisła wiedza, wiedza o zjawiskach podległych pomiarom, może być zbudowana na podstawie takich tworów.

Jedną z najważniejszych zmian, które przebyła fizyka pomiędzy dziewiętnastem stuleciem, a dniem dzisiejszym, jest zmiana naszego ideału wyjaśnienia naukowego. Fizyk drugiej połowy XIX stulecia chełpił się tem, że nie uważał rzeczy za wyjaśnioną, dopóki nie wykonał jej modelu. Przez model rozumiał coś zbudowanego z dźwigni, kół zębatych, sprężyn, czy innych rzeczy dobrze znanych inżynierom. Przypuszczano, że Natura przy budowie wszechświata posiadała do dyspozycji środki tego samego rodzaju, co jakiś mechanik; i gdy fizyk szukał wyjaśnień różnych zjawisk, ucho jego usiłowało schwytać turkot jakiegoś mechanizmu. Człowiek, któryby potrafił zbudować grawitację z kół zębatych, byłby bohaterem XIX stulecia.

Nie zwracamy się już dziś do inżyniera, by nam zbudował świat ze swego materjału; oczekujemy tego od matematyka. Bezwątpienia matematyk przebywa w wyższych

sferach niż inżynier, ale i jemu zapewne nie należałoby powierzać Stworzenia bez zastrzeżeń. W fizyce jesteśmy w świecie symbolów, i nie możemy tam chyba obyć się bez matematyka, który jest przecie zawodowym operatorem w tej dziedzinie. Lecz musi on stanąć na wysokości powierzonego mu, a odpowiedzialnego zadania, i nie poddawać się zbytnio własnej pasji do używania symbolów, posiadających interpretację arytmetyczną. Jeżeli pragniemy odkryć prawa rządzące Naturą, a nie te, które dyktuje nasz własny umysł, to powinniśmy się trzymać jaknajdalej od zaśniedziałego szablonu, do którego umysł nasz tak chętnie wtłacza wszystko, czegokolwiek doświadcza.

Sądzę, że metoda Diraca zapewnia to wyswobodzenie się w zasadzie. Zaczyna on od podstawowych symbolów, które się nie wyrażają liczbami czy układami liczb, a jego prawa podstawowe stanowią wyrażenia symboliczne, niepowiązane z operacjami arytmetycznemi. Ale fascynujące jest to, że w miarę rozwoju teorji wyłaniają się z tych symbolów prawdziwe liczby. Naprzykład jakkolwiek p i q oddzielnie nie posiadają interpretacji arytmetycznej, to kombinacja $pq - qp$ przedstawia wartość arytmetyczną podaną powyżej. Teorja sama nie jest liczbowa, ale dostarcza nam liczb i dlatego może być znakomicie podstawą do badania liczb mierzących, które się odbywa w naukach ścisłych. Liczby mierzące, całkowity nasz plon z fizycznych oględzin świata, nie mogą stanowić całego świata. Być może, nie stanowią nawet samodzielnej, niezależnej grupy. Oto, jak się wydaje, naturalna interpretacja metody Diraca, która poszukuje praw zasadniczych ścisłej nauki w rachunku niearytmetycznym.

Obawiam się jednak, że to daleka sprawa, zanim się coś podobnego wykluje z początków Diraca. Narazie zresztą Schrödinger rozwiał sporo z tajemniczości, która otaczała liczby p i q, podając mniej transcendentalną interpretację, dostateczną dla współczesnych zastosowań. Lecz jestem już przywiązany do myśli, że ostatnie słowo w tej sprawie nie zostało jeszcze wypowiedziane.

Teorja Schrödingera jest obecnie w pełni powodzenia, częściowo dzięki swej rzeczywistej wartości, a częściowo, jak się obawiam, dlatego, że z wszystkich trzech tylko ona jest dostatecznie prosta, by ją można było zrozumieć fałszywie. Nieco wbrew swym przekonaniom spróbuję dać gruby obraz tej teorji. Byłoby prawdopodobnie rozsądniej przybić na drzwiach nowej teorji kwantów tabliczkę z napisem: „Przebudowa — Obcym wstęp surowo wzbroniony“ i zapowiedzieć odźwiernemu szczególnie ostro, by nie wpuszczał ciekawskich filozofów. Jednakże zadowolnię się tylko zastrzeżeniem, że teorja Schrödingera wprawdzie zapewnia nam zdrowy i szybki postęp w wielu zagadnieniach matematycznych teorji atomu i jest niezastąpiona pod względem praktycznym, ale nie widzę najmniejszych widoków na to, by idee jej mogły długo przetrwać w ich obecnej postaci.

Szkic teorji Schrödingera. Wyobraźcie sobie jakiś sub-eter, którego powierzchnia jest pokryta zmarszczkami. Drgania tych zmarszczek są miljony razy szybsze niż drgania światła widzialnego — zbyt szybkie, aby mogły dostać się do kręgu naszego grubego doświadczenia. Pojedyńcze fale znajdują się już poza naszem poznaniem; udaje się nam zaobserwować jedynie efekt skombinowany — mianowicie, gdy dzięki superpozycji udaje się falom stworzyć zakłócenie na obszarze, który jest wprawdzie wielki w porównaniu ze zmarszczkami indywidualnemi, ale mały z naszego stanowiska. Taki obszar zakłócenia poznajemy jako cząsteczkę materjalną; może to być w szczególności elektron.

Nasz sub-eter jest ośrodkiem z dyspersją; to znaczy, że jego drobne fale nie wędrują z jednakową szybkością; podobnie jak fale wodne, posiadają one szybkość zależną od długości fali czyli od okresu. Fale o krótszym okresie drgań biegną szybciej. Co więcej: szybkość może ulec zmianie na skutek okoliczności lokalnych. Łatwo zrozumiemy, że jeżeli mamy sprowadzić wszystkie zjawiska do propagacji fal, to wpływ jakiegoś ciała na zjawiska w jego otoczeniu (pospo-

licie opisywany jako wytwarzanie pola sił) będzie się objawiał w zmianie sposobu rozchodzenia się fal dokoła niego.

Czeka nas teraz zadanie powiązania zjawisk w sub-eterze ze zjawiskami w płaszczyźnie naszego grubego doświadczenia. Powiedzieliśmy już, że mały burzliwy obszar dostrzegamy jako cząsteczkę; dodamy teraz do tego, że częstość fal (liczbę drgań na sekundę), stanowiących zakłócenie, poznajemy jako energję cząsteczki. Sprobujemy za chwilę wyjaśnić, w jaki sposób się to dzieje, że okres objawia się w tak dziwnie zamaskowany sposób. Lecz podkreślmy w każdym razie, że fakt, iż częstość w sub-eterze objawia się jako energja w doświadczeniu makroskopowem, daje u Schrödingera natychmiast ów stały związek pomiędzy okresem a energją, który nazywaliśmy prawem stałej h.

Naogół oscylacje w sub-eterze są zbyt szybkie, byśmy je mogli wykryć bezpośrednio. Częstotliwość ich komunikuje się z płaszczyzną pospolitego doświadczenia drogą oddziaływania na szybkość rozchodzenia się fal, ponieważ szybkość zależy od długości fali czyli częstości ν, jakeśmy to już powiedzieli. Jeżeli częstość oznaczymy przez ν, to równanie, wyrażające prawo rozchodzenia się fal, będzie zawierało wyraz, do którego będzie wchodziło ν. Prócz tego będzie ono zawierało inny wyraz, wyrażający zmiany wywołane w „polu sił“, a pochodzące od ciał obecnych w otoczeniu. Zmiany te można traktować jako rodzaj pozornego ν, skoro się w naszem grubem doświadczeniu objawiają w ten sam sposób. Jeżeli ν wywołuje te zjawiska, dzięki którym poznajemy je jako energję, to pozorne ν będzie wywoływało podobne zjawiska, odpowiadające pozornym gatunkom energji. Rzecz jasna, że będzie to tak zwana energja potencjalna, skoro pochodzi od wpływów, przypisywanych obecności otaczających przedmiotów.

Przyjmując, że dla naszych fal znamy zarówno ν rzeczywiste, jak pozorne, czyli potencjalne, będziemy mogli napisać równanie rozchodzenia się fal i przystąpić do rozwiązania dowolnego zagadnienia, dotyczącego tego zjawiska. W szczególności możemy wykryć, jak się poruszają burzli-

we obszary. Prowadzi to do interesującego wyniku, który pozwala na pierwszą kontrolę naszej teorji. Okazuje się, że burzliwe obszary, jeżeli są dostatecznie małe, poruszają się według tych samych praw, które rządzą ruchem cząsteczek w mechanice klasycznej. *Równania ruchu grupy fal o danej częstości potencjalnej są takie same, jak równania ruchu klasycznej cząsteczki o odpowiedniej energji klasycznej i potencjalnej.*

Należy zaznaczyć, że szybkość burzliwego obszaru czyli grupy fal nie jest taka sama, jak szybkość fali indywidualnej. Fakt ten jest dobrze znany w nauce o falach wodnych, jako różnica pomiędzy prędkością falową a grupową. Tę właśnie prędkość grupową obserwujemy jako ruch cząsteczki materjalnej.

Niewiele zyskalibyśmy, gdyby nasza teorja nie dawała nic więcej, niż rekonstrukcję wyników mechaniki klasycznej na nieco fantastycznej podstawie. Zasługi jej ujawniają się wtedy, gdy przechodzimy do zjawisk nieobjętych przez mechanikę klasyczną. Rozważaliśmy burzliwe obszary tak małe, że ich położenie było równie określone, jak położenie klasycznej cząsteczki; lecz moglibyśmy rozważać również obszary o większej rozciągłości. Nie można ostro odróżnić wielkiego obszaru od małego, będziemy zatem podawnemu kojarzyli z nim wyobrażenie cząsteczki. Lecz podczas gdy mała, skoncentrowana burza ustala dokładniej położenie cząsteczki, burza bardziej rozciągła pozostawia je bardzo nieokreślonem. Gdybyśmy próbowali interpretować szeroką grupę fal w języku mechaniki klasycznej, to musielibyśmy powiedzieć, że jest to cząsteczka, nie posiadająca określonego miejsca w przestrzeni, lecz luźno związana z pewnym większym obszarem.

Moglibyście pomyśleć, że rozległy obszar burzliwy powinien przedstawiać *rozproszoną* materję, w przeciwieństwie do skupionej cząsteczki. Nie jest to idea teorji Schrödingera. Nie idzie tu o jakieś rozpostarcie gęstości na pewien obszar, jest to nieoznaczenie położenia, lub ogólniej repartycja prawdopodobieństwa, że cząsteczka znajduje się wewnątrz

pewnego ograniczenia. Jeżeli zatem natrafimy na fale Schrödingera, wypełniające jednostajnie jakieś naczynie, to nie wolno tego interpretować tak, że naczynie jest wypełnione materją o jednostajnej gęstości; oznacza to, że zawiera ono jedną cząsteczkę, która z równem prawdopodobieństwem może się znajdować gdziekolwiek w tem naczyniu.

Pierwszym wielkim sukcesem tej teorji było ujęcie emisji światła z atomu wodoru — zagadnienie to przekraczało znacznie zasięg teorji klasycznej. Atom wodoru składa się z protonu i elektronu, które muszą zostać zastąpione przez swe odpowiedniki w sub-eterze. Nie interesuje nas, co robi proton, i wobec tego nie troszczymy się o przedstawienie go przez fale. Potrzebne nam jest tylko jego pole sił, to znaczy pozorne v, które wprowadza do równania falowego dla elektronu. Fale, rozchodzące się zgodnie z tem równaniem, stanowią Schrödingerowski odpowiednik elektronu. Każde rozwiązanie tego równania będzie odpowiadało pewnemu możliwemu stanowi atomu. Otóż, oczywiste względy fizyczne nie pozwalają takiej fali posiadać gdziekolwiek amplitudy nieskończonej. Rozważania matematyczne prowadzą do wniosku, że rozwiązania takie mogą istnieć tylko dla fal o pewnych określonych częstościach. Dzięki temu w atomie wodoru fale sub-eteru są zacieśnione do pewnego nieciągłego szeregu częstości. Przypomnijmy sobie, że częstość w sub-eterze oznacza energję w doświadczeniu grubszem, a będziemy mogli powiedzieć, że atom posiada wobec tego nieciągły szereg możliwych energij. Okazuje się, że ten szereg energij jest dokładnie ten sam, co wyznaczony przez Bohra z jego reguły kwantowej (str. 178). Stanowi to poważny postęp, jeżeli możemy określić te energje zapomocą teorji ruchu falowego, zamiast jakichś tajemniczych praw matematycznych. Następnie, w zastosowaniu do bardziej skomplikowanych atomów, teorja Schrödingera odnosi sukcesy tam, gdzie się model Bohra załamuje. Zawsze prowadzi do właściwej liczby energij czyli „orbit“, i pozwala wobec tego przypisać każdemu prążkowi jeden skok pomiędzy orbitami.

Okazuje się jednak rzeczą korzystną nie przechodzić od

częstości falowej do energji klasycznej już na tym stopniu, lecz badać nieco jeszcze dalej zjawiska w sub-eterze. Trudno mówić o tem, by elektron posiadał jednocześnie dwie energje, to jest znajdował się jednocześnie na dwóch orbitach Bohrowskich. Lecz nic nie stoi na przeszkodzie temu, by się fale o dwóch różnych częstościach znajdowały jednocześnie w sub-eterze. W ten sposób teorja falowa pozwala nam z łatwością odmalować sytuację, którą teorja klasyczna mogłaby opisać jedynie w terminach paradoksalnych. Przypuśćmy więc, że mamy dwa zespoły fal. Jeżeli różnica częstości nie jest bardzo wielka, to owe układy fal spowodują „dudnienia". Jeżeli dwie radjowe stacje nadawcze wysyłają fale o bliskich długościach, to słyszymy dźwięk lub pisk wynikający z dudnień tych fal. Oscylacje oddzielnych fal są zbyt szybkie, żeby oddziałać na ucho, ale łącząc się, dają dudnienia, dostatecznie powolne, aby były słyszalne. Podobnie indywidualne zespoły fal w sub-eterze składają się z drgań zbyt szybkich, żeby mogły oddziałać na nasze grube zmysły. Lecz dudnienia ich bywają czasem dostatecznie powolne, aby się znaleźć wewnątrz oktawy, objętej naszem okiem. Te właśnie dudnienia są źródłem światła, pochodzącego z atomu wodoru, a rachunki matematyczne wykazują, że posiadają one częstości równe dokładnie obserwowanym częstościom światła wodorowego. Nakładanie fal zasadniczych radjowych (heterodyna) wytwarza dźwięk; nakładanie fal w sub-eterze wywołuje światło. Teorja ta nietylko dodaje okresy różnych prążków widmowych, przepowiada ona również ich natężenia — zagadnienie dla starszej teorji kwantów całkowicie niedostępne. Należy jednak wystrzegać się utożsamiania samych dudnień z falami świetlnemi: dudnienia odbywają się w sub-eterze, podczas gdy fale świetlne biegną w eterze. Stwarzają one jedynie drgające źródło, które w jakiś dotąd niewyjaśniony sposób wysyła fale świetlne o okresie, zgodnym z jego własnym.

Lecz cóż to właściwie za twór, o którego drganiach myślimy, gdy mówimy o falach w sub-eterze? Oznaczamy go przez ψ i właściwie powinniśmy uważać za pierwotny, nieo-

kreślony wyraz teorji falowej. Lecz czy posiada on jakąś interpretację klasyczną? Wydaje się rzeczą możliwą interpretować go jako prawdopodobieństwo, a mianowicie prawdopodobieństwo tego, że cząsteczka, czy elektron znajduje się wewnątrz pewnego obszaru jest proporcjonalne do zasobu ψ w tym obszarze. Zatem, jeżeli ψ jest przeważnie skupione w małym burzliwym obszarze, to jest praktycznie pewne, że się elektron w tym obszarze znajduje. Możemy go wtedy dokładnie zlokalizować i ujmować go jaką klasyczną cząsteczkę. Lecz fale ψ atomu wodorowego rozciągają się na cały atom i nie można zlokalizować elektronu w sposób określony, chociaż pewne miejsca są bardziej niż inne prawdopodobne. *

Zasługuje na uwagę pewna niezmiernie doniosła konsekwencja tej teorji. Dostatecznie mały burzliwy obszar odpowiada bardzo dokładnie cząsteczce, poruszającej się zgodnie z klasycznemi prawami ruchu. Mogłoby się wobec tego wydawać, że jeżeli burzliwy obszar sprowadza się do punktu, to w granicy otrzymujemy cząsteczkę o ściśle określonem położeniu. Otóż, rzecz osobliwa: przez ciągłe zmniejszanie obszaru zaburzenia, nigdy nie osiągniemy całkowicie ideału cząsteczki klasycznej; zbliżamy się najpierw do niego, a potem oddalamy się ponownie. Widzieliśmy, że grupa fal porusza się jak cząsteczka (zlokalizowana gdzieś we wnątrz obszaru zaburzenia) o energji odpowiadającej częstości fal. Wobec tego, jeżeli grupa fal ma dokładnie imitować cząsteczkę, to należy nietylko sprowadzić obszar do

* Często się mówi, że prawdopodobieństwo jest proporcjonalne do ψ^2, a nie do ψ, jak to przyjmowaliśmy wyżej. Cała interpretacja jest bardzo ciemna, lecz wydaje się, że zależy to od tego, czy rozważamy prawdopodobieństwo a posteriori *(gdy już wiemy, co się zdarzyło)*, czy też prawdopodobieństwo dla celów przepowiedni. ψ^2 otrzymuje się przez wprowadzenie dwóch symetrycznych układów fal ψ, wędrujących w przeciwnych kierunkach czasu. Jedna z nich zapewne odpowiada prawdopodobnemu wnioskowaniu z tego, co jest znane (lub uważane), jako warunek w czasie późniejszym. Prawdopodobieństwo oznacza zawsze „prawdopodobieństwo w świetle pewnych danych informacyj", tak że prawdopodobieństwo nie może być przedstawiona przez tę samą funkcję w różnych zagadnieniach o różnych danych początkowych.

punktu, lecz jeszcze postarać się o to, by grupa zawierała fale jednej tylko częstości. Dwa te warunki nie dadzą się pogodzić. Przy jednej tylko częstości będziemy mieli dopiero nieskończony szereg fal, nieograniczonych w żaden sposób. Ograniczenie grupy można uzyskać przez interferencję fal różniących się nieznacznie swą długością, dzięki czemu wzmacniają się one wzajemnie w środku obszaru, a niszczą się na ograniczeniu. Zgruba biorąc, jeżeli grupa fal ma średnicę równą 1000 długościom fali, to musi istnieć serja długości, rozciągająca się na 0,1%, tak że 1000 najdłuższych fal i 1001 najkrótszych znajdują się w tym samym odcinku. Jeżeli weźmiemy bardziej skupiony obszar burzliwy, o średnicy równej 10 długościom fali, to serja wzrośnie do 10%; 10 najdłuższych fal i 11 najkrótszych muszą się rozciągać na tej samej odległości. Gdy usiłujemy sprecyzować położenie cząsteczki drogą zmniejszenia obszaru zaburzenia, czynimy jednocześnie energję coraz bardziej nieoznaczoną przez zróżniczkowanie częstości fal. Wobec tego cząsteczka nasza nie może nigdy posiadać jednocześnie całkowicie określonego położenia i całkowicie określonej energji; zawsze jedno lub drugie ulega rozmyciu w sposób, który zupełnie nie przystoi cząsteczce klasycznej. Na skutek tego w subtelnych eksperymentach nigdy się nie należy spodziewać, że cząsteczki będą się zachowywały dokładnie tak, jakeśmy to przypuszczali o cząsteczkach klasycznych. Wniosek ten wydaje się zgodny z współczesnemi doświadczeniami nad dyfrakcją elektronów; wspominalismy już o nich.

Zauważyliśmy już, że Schrödingerowski obraz atomu wodoru obdarza go pewną cechą, która byłaby w teorji Bohrowskiej niemożliwa: pozwala mu posiadać dwie różne energje naraz. Dla cząsteczki albo elektronu jest to nietylko dozwolone, ale nawet konieczne — w przeciwnym razie nie moglibyśmy określić granicy obszaru, w którym się on znajduje. Nie usiłujcie sobie wyobrazić stanu cząsteczki, obdarzonej jednocześnie różnemi energjami. Idzie tu wyłącznie o to, że załamał się nasz pospolity obraz elektronu, jako

cząsteczki z pojedyńczą energją. Musimy zanurzyć się w sub-eterze, jeżeli chcemy prześledzić dalszy bieg zdarzeń. Możemy coprawda zachować obraz cząsteczki, ale tylko jeżeli nie szukamy wysokiej dokładności. Jeżeli interesuje nas energja z dokładnością nie większą niż 1%, to serja energij, rozciągająca się na obszar 1% może być traktowana jako jedna, określona energja.

Roważaliśmy dotąd tylko fale, odpowiadające jednemu elektronowi. Przypuśćmy teraz, że mamy zagadnienie, do którego wchodzą dwa elektrony. Jak należy je przedstawić? „Ależ to bardzo proste! Wystarczy wziąć dwa obszary zamiast jednego". Obawiam się, że tak nie jest. Dwa burzliwe obszary oznaczałyby pojedyńczy elektron, o którym niewiadomo, w którym z dwóch obszarów przypada jego położenie. Dopóki istnieje najmniejsze choćby prawdopodobieństwo, że pierwszy elektron znajduje się w jakimś obszarze, to fale Schrödingera na terenie tego obszaru nie mogą przedstawiać prawdopodobieństwa, odpowiadającego drugiemu elektronowi. Każdy elektron wymaga całej trójwymiarowej przestrzeni dla swych fal; wobec tego Schrödinger wspaniałomyślnie obdarza każdy trzema wymiarami. Dla dwóch elektronów żąda sześciowymiarowego subeteru. Na tej podstawie stosuje owocnie swą metodę na poprzednich zasadach. Sądzę, żeście się spostrzegli, że Schrödinger obdarzył nas napozór zrozumiałym obrazem fizycznym, aby go nas ponownie pozbawić. Jego sub-eter nie istnieje w przestrzeni fizycznej; znajduje się on w „przestrzeni konfiguracyj", stworzonej przez matematyka do rozwiązywania jego zagadnień, i tworzonego za każdym razem z taką liczbą wymiarów, jaką dyktowało rozważane zagadnienie. Tylko przypadkiem najwcześniejsze zagadnienia, traktowane w przestrzeni konfiguracyj, posiadały ścisły związek z przestrzenią fizyczną i stwarzały złudzenie pewnej objektywnej realności fal. Mechanika falowa Schrödingera nie jest teorją fizyczną, lecz fortelem — i to bardzo sprytnym fortelem.

Fakt, że mechanika falowa ma niemal uniwersalny za-

kres stosowalności, dyskredytuje ją jako poważną teorję fizyczną. Czarującą ilustrację tego znajdujemy okolicznościowo w pracach Diraca. W pewnem zagadnieniu, które rozwiązuje on przy pomocy fal Schrödingera, częstość fal przedstawia liczbę układów pewnego określonego rodzaju. Równanie falowe, sformułowane i rozwiązane, prowadzi (zupełnie jak w zagadnieniu atomu wodorowego) do wniosku, że istnieją rozwiązania jedynie dla specjalnych wartości częstości. Stąd wniosek, że liczba układów rozważanego rodzaju musi posiadać wartość, należącą do pewnego nieciągłego szeregu. W zagadnieniu Diraca szereg ten okazuje się szeregiem liczb całkowitych. Wobec tego wnosimy, że liczba tych układów powinna być 1, 2, 3, 4,..., lecz nie może być naprzykład równa 2¾. Czy nie wystarczy, że teorja daje wynik, który tak znakomicie się zgadza z naszem doświadczeniem! Lecz bardzo wątpię, czy pozwolimy sobie wmówić, że prawdziwe wyjaśnienie tego, że liczymy w liczbach całkowitych, tkwi w układzie jakichś fal.

Zasada niepewności. Obawy moje, by przed wygłoszeniem niniejszych wykładów nie pojawiło się czwarte ujęcie teorji kwantów, okazały się płonne. Lecz w kilka miesięcy później teorja kwantów, stanowczo weszła w nową fazę. Znowu to Heisenberg latem 1927 roku pchnął ją w tym nowym kierunku, a Bohrowi zawdzięczamy dalsze wyjaśnienie konsekwencyj. Wynikiem tego ruchu jest pewna podstawowa i ogólna zasada, która, jak mi się wydaje, dorównywa pod względem znaczenia zasadzie względności. Będę ją tu nazywał „zasadą niepewności".

Esencję tej zasady można sformułować w słowach: *cząsteczka może posiadać położenie albo może posiadać szybkość, lecz nie może w żadnym ścisłym sensie posiadać jednocześnie i jedno i drugie.*

Jeżeli godzimy się na pewien pas niedokładności i na stwierdzanie tylko rzeczy wysoce prawdopodobnych, a nie prawdziwych, to staje się możliwe przypisanie cząsteczce zarówno położenia, jak szybkości. Lecz w miarę tego jak

dążymy do coraz dokładniejszego określenia położenia, dzieje się rzecz uderzająca: można osiągnąć tę większą dokładność, lecz równoważy ją wtedy większa nieścisłość w określaniu szybkości. Podobnie, jeżeli określenie szybkości staje się bardziej dokładne, to położenie okazuje się gorzej oznaczone.

Przypuśćmy naprzykład, że pragniemy znać położenie i szybkość elektronu w pewnej danej chwili. Teoretycznie jest możliwe ustalenie położenia z dokładnością do 0,001 milimetra a szybkości z prawdopodobnym błędem 1 kilometra na sekundę. Ale błąd 0,001 mm jest wielki w porównaniu z możliwościami niektórych naszych pomiarów przestrzennych; czyż nie dałoby się wyznaczyć to położenie z dokładnością do 0,001 mm? Oczywiście; lecz wtedy szybkość będziemy mogli określić jedynie z błędem 10 km na sekundę.

Warunki naszego badania Natury są tego rodzaju, że im więcej rzucamy światła na tajemnicę położenia, tem w głębszej pozostaje ciemności szybkość. Przypominają one stare małżeństwo w barometrze: gdy jedno wychodzi przez jedne drzwi, drugie ukrywa się za innemi. Gdy napotykamy na nieoczekiwane trudności przy poszukiwaniu odpowiedzi na jakieś interesujące nas pytanie, dwie mamy drogi do wyboru. Może się zdarzyć, że będzie rozsądne traktowanie tej przeszkody, jako podniety do dalszych wysiłków. Lecz istnieje jeszcze jedna możliwość — że szukaliśmy czegoś, co nie istnieje. Przypomnijcie sobie, jak to teorja względności wyjaśniła pozorne ukrycie naszej szybkości względem eteru.

Gdy to ukrycie okazuje się doskonale systematyczne, musimy wygnać odpowiedni twór ze świata fizycznego. Niema innego wyjścia; związek tego tworu z naszą świadomością urywa się całkowicie. Gdy nie możemy wskazać żadnego związku przyczynowego tego tworu z czemś, co podlega naszemu doświadczeniu, to twór ten staje się poprostu częścią nieznanego — niewydzielony z ogromnego jego obszaru. Od czasu do czasu dokonywa się odkryć fizycz-

nych; nowe twory, przybywające z nieznanego, wiążą się z naszem doświadczeniem i otrzymują właściwe nazwy. Lecz pocóż rozrzucać w jednolitej masie nieznanego stosy nieprzyklejonych etykietek? Czy w nadziei, że się może kiedyś przydadzą? Nie jest to dowodem daru proroczego, ani też nie jest szczególnie pożyteczne dla nauki. Z tego punktu widzenia stwierdzamy, że podawanie położenia i szybkości elektronu poza pewną ograniczoną liczbę miejsc dziesiętnych jest próbą opisu czegoś, co wogóle nie istnieje. Jakkolwiek — rzecz osobliwa — gdyby istniało tylko położenie, albo tylko szybkość, to podobny opis byłby dopuszczalny.

Od czasu, gdy teorja Einsteina odkryła doniosłość tego, by wielkości fizyczne, o których mówimy, naprawdę wchodziły w zakres naszego doświadczenia, mieliśmy się stale do pewnego stopnia na baczności przed wyrazami bezsensownemi. Tak naprzykład odległość jest określona przez pewne czynności miernicze, a nie przez jakieś niedorzeczne pojęcia, jak „zasób próżni“ pomiędzy dwoma punktami. Maleńkie odległości, o których mowa w fizyce atomowej, wywołały naturalnie pewne podejrzenia, gdyż niełatwo było powiedzieć, jak należy sobie wyobrazić w tym przypadku wykonanie tych czynności mierniczych. Nie chcę twierdzić, że sprawa ta została wyjaśniona; ale w każdym razie nie wydawało się możliwe wymiecenie tych wszystkich maleńkich odległości. W pewnych bowiem przypadkach, jak się przynajmniej wydawało, nie istniały żadne granice naturalne dla dokładności pomiaru położenia. Podobnie istnieją metody pomiaru pędu (szybkości) napozór o nieograniczonej dokładności. Otóż, uszło ogólnej uwadze, że dwa różne pomiary zachodzą na siebie w sposób systematyczny; wobec tego kombinacja położenia z pędem, uprawniona w wielkiej skali, staje się nieokreślona w małej skali. Zasada niepewności sformułowana naukowo brzmi: jeżeli q jest spółrzędną, a p odpowiadającym jej pędem, to konieczna niepewność w pomiarze q, pomnożona przez niepewność pomiaru p jest rzędu stałej kwantowej h.

Bez wielkiej trudności można dostrzec pewną ogólną przyczynę tego stanu rzeczy. Przypuśćmy, że idzie o poznanie pędu elektronu. Dopóki elektron nie wchodzi w zetknięcie z resztą wszechświata, nie możemy niczego się o nim dowiedzieć. Musimy próbować zbierania o nim informacyj w chwilach, gdy oddziaływuje na coś i dzięki temu wywołuje dostrzegalne efekty. Lecz każde takie oddziaływanie wciąga całkowity kwant. A przejście takiego kwantu zmienia w poważnym stopniu warunki w chwili naszej obserwacji i czyni uzyskaną informację nieaktualną już w chwili jej otrzymania.

Przypuśćmy, że (fikcyjnie) obserwujemy elektron przez potężny mikroskop w celu wyznaczenia jego położenia z wielką dokładnością. Aby elektron mógł być wogóle widziany, musi być oświetlony, by mógł rozproszyć światło, które ma wejść do oka. Najmniejsza jednostka, którą może rozproszyć — to kwant. Przy rozpraszaniu tego kwantu, otrzymuje on od światła pchnięcie, którego siły nie można przewidzieć: możemy tylko stwierdzić prawdopodobieństwo różnych pchnięć o różnych siłach. Tak więc warunkiem możliwości stwierdzenia położenia elektronu jest zakłócenie go w jakiś nieokreślony sposób, który nam później nie pozwoli stwierdzić, jaki był jego pęd. W każdym razie, będziemy mogli wyznaczyć pęd z niepewnością określoną przez owe pchnięcie, i jeżeli to prawdopodobne pchnięcie będzie małe, to i błąd będzie mały. Aby pchnięcie było małe musimy użyć kwantu o małej energji, to znaczy światła długofalowego. Lecz użycie światła długofalowego zmniejsza dokładność obserwacji mikroskopowej. Im większa jest długość fali, tem większe są obrazy dyfrakcyjne. A nie zapominajmy, że trzeba bardzo wielu kwantów, aby zarysować obraz dyfrakcyjny. Jeden rozproszony kwant może pobudzić tylko jeden atom w siatkówce naszego oka, w jakimś przypadkowym punkcie wewnątrz teoretycznego obrazu dyfrakcyjnego. Będzie zatem istniała w naszem określoniu położenia elektronu niepewność proporcjonalna do wielkości obrazu dyfrakcyjnego. Stoimy przed dylematem.

Możemy zaostrzyć określenie położenia elektronu przez użycie światła o krótszych falach, lecz w ten sposób elektron będzie otrzymywał mocniejsze pchnięcia i wskutek tego późniejsze określenie pędu będzie upośledzone.

Możemy uzyskać bardzo obrazową ilustrację tego samego dylematu, jeżeli sobie wyobrazimy, że próbujemy zobaczyć jeden z elektronów w atomie. Do takiej koronkowej pracy na nic się nie zda zwykłe światło; nic przy niem nie zobaczymy, jest ono zbyt grube, fala jego jest dłuższa niż cały atom. Musimy użyć oświetlenia bardzo subtelnego i wyćwiczyć nasze oczy w widzeniu światła krótkofalowego — w widzeniu promieni rentgenowskich. Warto przypomnieć, że promienie Rentgena działają zgubnie na atom i że wobec tego należy ich używać ostrożnie. Najmniejsza porcja, której można użyć — to jeden kwant. Zatem, jeżeliście gotowi, proszę obserwować, bo rzucam jeden kwant promieni Rentgena na atom. Mogę nie trafić elektronu za pierwszym razem; w tym przypadku go oczywiście nie zobaczycie. Spróbujcie raz jeszcze: tym razem mój kwant trafił elektron, patrzcie pilnie i zauważcie, gdzie się elektron znajduje. Niema go? Tam do licha! wyrzuciłem go pewnie z atomu.

Nie jest to trudność przypadkowa, jest to chytrze pomyślana konspiracja; konspiracja, której celem jest ukryć przed Tobą to, co nie istnieje: to jest umiejscowienie elektronu wewnątrz atomu. Jeżeli użyję fal długich, które nie uszkadzają atomu, to nie dostrzeżesz dość ostro elektronu, aby stwierdzić dokładnie jego położenie. Jeżeli będę skracał długość fali, to właśnie w chwili, gdy światło stanie się dostatecznie subtelne, kwant jego stanie się zbyt brutalny i wyrzuci elektron z atomu.

Podawano również inne przykłady tej wzajemnej niepewności i niema, jak się zdaje, wątpliwości, że jest ona całkowicie ogólna. Podsuwa to zatem myśl, że dlatego nie możemy wykryć skojarzenia dokładnego położenia z dokładnym pędem, *bo taka rzecz w Naturze nie istnieje*. Nie jest to sprawa nie do pojęcia. Schrödingerowski model czą-

steczki jako grupy fal daje dobrą ilustrację tego, jak się to mogłoby zdarzyć. Widzieliśmy (str. 201), że w miarę tego, jak położenie grupy fal staje się coraz bardziej określone, energja (częstość) staje się bardziej nieokreślona i naodwrót. Sądzę, że jest to najistotniejsza wartość teorji Schrödingera: rezygnuje ona z przypisania cząsteczce pewnej określoności, która nie odpowiada niczemu w Naturze. Lecz nie uważałbym zasady niepewności za wynik, który należy wyprowadzić z teorji Schrödingera; rzecz ma się przeciwnie. Zasada niepewności, podobnie jak zasada względności, stanowi właściwie porzucenie pewnego błędnego założenia, które nigdy nie było dostatecznie uprawnione. Wierzyliśmy w analogję eteru z materjalnym oceanem, i doprowadziło to nas do wyobrażeń, które się nie dały utrzymać. Podobnie nie dały się utrzymać wyobrażenia o cechach mikroskopowych elementów świata fizycznego, powstałe z wiary w analogję z wielkiemi cząsteczkami.

Nowa epistemologja. Zasada niepewności jest teorjopoznawcza. Przypomina nam ona ponownie, że świat fizyki jest światem obserwowanym od wewnątrz, że jest badany przy pomocy narzędzi, które stanowią jego część i podlegają jego prawom. Nie przypisujemy sobie wiedzy o tem, jakby się świat przedstawiał, gdyby go badano w jakiś nadnaturalny sposób, przy pomocy narzędzi, nie wchodzących w jego skład.

Istnieje dobrze znana filozofom doktryna, że Księżyc (czy cokolwiek innego) nie istnieje, gdy nikt nań nie patrzy. Nie będę roztrząsał tej sprawy, ponieważ nie mam najmniejszego wyobrażenia o tem, co oznacza wyraz istnienie użyty w tym kontekście. W każdym razie astronomja nie jest oparta na tym dziwacznym Księżycu. W świecie nauki (który ma przed sobą mniej mętne zadania, niż czyste istnienie) mamy Księżyc, który pojawił się na widowni wcześniej niż astronom; odbija on światło słoneczne, gdy nikt nań nie patrzy; posiada on masę, gdy nikt jej nie mie-

rzy; jest odległy od Ziemi o 384000 kilometrów, gdy nikt tej odległości nie bada; i zaćmi Słońce w roku 1999 nawet, jeżeli rasa ludzka zdąży się wreszcie do tego czasu wymordować. Księżyc — Księżyc naukowy — odgrywa rolę ciągłego ogniwa w świecie, pojmowanym jako łańcuch powiązany przyczynowo.

Cóż mamy uważać za *zupełny* opis tego świata naukowego? Nie powinniśmy wprowadzać szybkości względem eteru, która nic nie oznacza, gdyż nie posiada żadnego związku przyczynowego z naszem doświadczeniem. Z drugiej strony nie możemy ograniczyć opisu do bezpośrednich danych naszych własnych dorywczych obserwacyj. Opis ten nie powinien zawierać nic nieobserwowalnego, a jednocześnie bardzo wiele faktycznie nieobserwowanego. Postulujemy zatem wirtualnie całą armję obserwatorów i miernicych. W każdej chwili obserwują oni wszystko, co może być obserwowane i mierzą wszystko, co może być mierzone, stosując metody, których sami zapewne byśmy używali. Wszystko cokolwiek zmierzą, zostaje wcielone, jako część całkowitego opisu świata fizycznego. Wolno nam oczywiście wprowadzić opisy pochodne, terminy wyrażające kombinacje matematyczne pomiarów bezpośrednich, które mogą zapewnić większą przejrzystość naszemu opisowi — tak byśmy nie zatracili całości w powodzi szczegółów.

Dzięki zastosowaniu znanych praw fizycznych, wyrażających jednostajność Natury, możemy w znacznym stopniu zmniejszyć tę liczbę obserwatorów. Możemy pozwolić sobie na spuszczenie oka z Księżyca na godzinę czy dwie i wyprowadzić potem, gdzie się Księżyc w tym czasie znajdował. Lecz gdy stwierdzam, że Księżyc (który ostatnio widziałem przez godzinę na zachodzie) zachodzi w tej chwili, stwierdzam to nie w charakterze wniosku logicznego, ale jako prawdziwy fakt świata naukowego. Wciąż postuluję owego wyobrażalnego obserwatora; nie radzę się go, ale zatrzymuję go dla potwierdzenia wrazie potrzeby mych zdań. Podobnie, jeżeli powiadamy, że odległość od Syrjusza wynosi 80 biljonów km, nie jest to wyłącznie konwencjonalna

interpretacja zmierzonej paralaksy. Dla zdania tego zachowujemy takie same stanowisko w nauce, jakgdyby zostało otrzymane faktycznie na skutek odkładania końcami sztab mierniczych i liczenia, wiele ich trzeba było, by dotrzeć do Syrjusza. I słuchalibyśmy cierpliwie każdego, któryby bronił stanowiska, że wnioskowanie nasze nie odpowiada „faktom rzeczywistym", to jest tym, które zna armja mierniczych. Jeżeli zdarzy się nam otrzymać wniosek, którego sprawdzenia przez owych pilnych mierniczych nie można sobie wyobrazić, to niema kryterjów jego prawdziwości czy fałszywości i jest to wobec tego wniosek bezsensowny.

Ta teorja nauki była pierwotnie zamierzona dla badania mikroskopowego (w wielkiej skali) świata fizycznego, lecz zwykle przyjmowano, że można ją zarówno stosować do badań mikroskopowych. Uświadomiliśmy sobie nareszcie niemiły fakt, że nie stosuje się ona do elektronu, jakkolwiek stosuje się do Księżyca.

Nic Księżycowi nie szkodzi, gdy się na niego patrzy. Niema żadnych sprzeczności w przypuszczeniu, że znajdował się pod okiem kilka zmian obserwatorów w czasie, gdyśmy byli pogrążeni we śnie. Lecz z elektronem jest inaczej. W pewnych chwilach, mianowicie wtedy, gdy wchodzi w zetknięcie z kwantem, mógłby zostać odkryty przez któryś z naszych posterunków; lecz w chwilach pośrednich znika wirtualnie ze świata fizycznego, nie mogąc nań oddziaływać. Moglibyśmy uzbroić nasze posterunki w reflektory, aby mieć nad nim bardziej ciągłą kontrolę; lecz w tem sęk, że pod światłem reflektorów nie będzie się już zachowywał taksamo jak w ciemności. W koncepcji, że mikroskopowa budowa świata znajduje się pod nieprzerwaną kontrolą, tkwi zasadnicza sprzeczność, gdyż taka kontrola sama przez się uszkodziłaby całą maszynerję.

Spodziewam się, że się to wam z początku wyda trudnością wyłącznie djalektyczną. Lecz naprawdę jest z tem gorzej. Systematyczne udaremnianie naszych wysiłków, zmierzających do ułożenia naszej wiedzy mikroskopowej

w uporządkowany schemat, jest wyraźnym znakiem, by zmienić ten schemat.

Idzie o to, że nasz ideał kompletnego opisu świata był fałszywy. Nie było jeszcze czasu, by zająć się poważnie poszukiwaniem nowej teorji poznania, przystosowanej do tych warunków. Stało się wątpliwe, czy kiedykolwiek będzie można zbudować świat fizyczny wyłącznie z tego, co można poznać — naczelna zasada naszych teoryj makroskopowych. Gdyby to miało być możliwe, oznaczałoby to w każdym razie wielką zmianę obecnych podstaw. Wydaje się bardziej prawdopodobnie, że będziemy musieli się zgodzić na uznanie mieszaniny poznawalnego i niepoznawalnego. Oznacza to zaprzeczenie determinizmu, ponieważ dane, niezbędne do przepowiadania przyszłości, będą zawierały niepoznawalne elementy przeszłości. Sądzę, że to Heisenberg powiedział, że „nie powstaje wogóle kwestja, czy z dokładnej znajomości przeszłości możemy przepowiedzieć przyszłość; albowiem dokładna znajomość przeszłości jest rzeczą sprzeczną".

Świat zewnętrzny może oddziaływać na nas i przesyłać wiedzę o sobie do naszych umysłów wyłącznie za pośrednictwem procesów kwantowych. Oddziaływanie kwantowe może nam odkrywać pewne rzeczy o Naturze, ale stwarza zarazem nową niewiadomą w łonie Czasu. Za zwiększenie wiedzy płacimy zwiększeniem nieświadomości. Trudno czerpać z źródła Prawdy, jeżeli wiadro przecieka.

Rozdział XI

BUDOWA ŚWIATA

Mamy przed sobą skomplikowane zadanie. Zamierzamy zbudować świat — świat fizyczny, w którym cienie będą przedstawiały dramat, rozgrywający się w świecie doświadczenia. Jeszcześmy budowniczowie niezręczni; nie spodziewajcie się zatem, że przedstawienie pójdzie całkiem gładko i że będzie zdumiewało tem bogactwem szczegółów, którego mogłaby żądać surowa widownia. Lecz można mieć nadzieję, że metoda, którą pragniemy opisać, da nam przynajmniej grube zarysy świata. Wiele jeszcze z sztuki budowania świata musimy się nauczyć, zanim te zarysy będziemy umieli wypełnić.

Pierwsze zagadnienie — to materjał budowlany. Przypominam sobie, że jako niedysponujący gotówką chłopiec czytywałem pociągające artykuły o tem, jak budować różne cuda z rupieci. Na nieszczęście pomiędzy temi rupieciami musiał się znajdować zawsze jakiś stary mechanizm zegarowy, parę zbytecznych telefonów, rtęć z połamanego barometru i różne graty, których przypadkiem nigdy nie było w moim lamusie. Będę się starał nie wykpiwać was w podobny sposób. Nie mogę wprawdzie zbudować świata z niczego, ale nie będę wymagał żadnych szczególnych rzeczy. Powodzenie w grze Budowania Świata polega na tem, żeby pomiędzy wyspecjalizowanemi własnościami zakończonej struktury, a prymitywnym charakterem materjału podstawowego, zachodził jaknajwiększy kontrast.

Struktura relacyjna. Jako materjał budowlany obieramy *relacje* i ich *człony*. Relacje łączą człony, człony są elementami wspólnemi relacyj. Jednego nie można pomyśleć bez drugiego. Nie sądzę, by można było sobie wyobrazić jakiś jeszcze ogólniejszy punkt wyjścia. Aby rozróżnić wzajemnie człony, przyporządkowujemy im *znaki rozpoznawcze*. Znak rozpoznawczy składa się z czterech liczb, które w przyszłości ostatecznie zostaną nazwane „spółrzędnemi". Ale wyraz ten przypomina przestrzeń i geometrję, a jeszcze nic podobnego niema w naszym schemacie. Narazie zatem będziemy traktowali cztery liczby utożsamiające, jako nic innego, niż znak rozpoznawczy. Ale dlaczego *cztery?* Używamy czterech liczb dlatego, że się w rezultacie okazuje, że w ten sposób można lepiej uporządkować świat; ale nie wiemy, dlaczego to tak właśnie być musi. Udało się nam jak dotąd zrozumieć, że gdyby relacje domagały się trójkowego albo piątkowego uporządkowania, to byłoby znacznie trudniej zbudować z nich coś interesującego. Lecz nie jest to być może wystarczającem usprawiedliwieniem dla szczególnego założenia, że materjał pierwotny wykazuje uporządkowanie czwórkowe.

Relacja pomiędzy dwoma osobnikami ludzkiemi, w najszerszem swem oznaczeniu, obejmuje wszelkie związki czy porównania pomiędzy niemi — pokrewieństwo, interesy handlowe, sprawność w grze w golfa, — wszelkie opisy, które się odnoszą do obu osobników. Dla ogólności założymy, że relacje w obrębie materjału naszego świata są również złożone i bynajmniej nie dają się wyrazić w miarach liczbowych. Tem nie mniej muszą istnieć jakieś podobieństwa lub jakaś porównywalność relacyj, podobnie jak to ma miejsce przy relacjach pomiędzy osobnikami ludzkiemi. W przeciwnym bowiem razie nie możnaby było powiedzieć o świecie nic, prócz tego, że wszystko w nim jest w najwyższym stopniu niepodobne do czegokolwiek innego. Innemi słowy: musimy postulować nietylko relacje pomiędzy członami, ale również pewnego rodzaju relację podobieństwa pomiędzy niektóremi relacjami. Najlżejsze ustępstwo pod

tym względem już nam pozwoli powiązać wszystko w strukturę.

Przyjmujemy zatem, że przy rozważaniu jakiejś relacji pomiędzy dwoma członami będzie naogół możliwy wybór innych członów pobliskich, których relacja wzajemna jest „podobna" do poprzedniej. Przez „podobna" nie rozumiem „podobna pod wszelkiemi względami", lecz tylko pod względem pewnej cechy. Jak wybieramy tę szczególną cechę? Gdyby nasze człony były osobnikami ludzkiemi, to rozmaite sądy dotyczące podobieństwa wypowiadaliby genealogowie, ekonomiści, psychologowie, sportowcy i t. d. I budowa tej struktury rozbiegałaby się w tem miejscu w różnych kierunkach. Każdy budowałby swą własną strukturę świata z tego samego podstawowego materjału, z ludzkości. Niema żadnego powodu, by zaprzeczać, że podobną rozmaitość światów można zbudować z wspólnego materjału, któryśmy postulowali poprzednio. Lecz wszystkie takie światy, prócz jednego, byłyby poronione. Praca nasza będzie zmarnowana, jeżeli świat, który zbudowaliśmy, nie będzie właśnie tym, który duch obrał, by go ożywić i zamienić na świat, który znamy z naszego doświadczenia. Możemy podać tylko jedną definicję tego oblicza relacyj, które wybraliśmy jako kryterjum podobieństwa: Jest to to właśnie oblicze, które okaże się ważne w chwili, gdy duch zetknie się ze światem fizycznym. Lecz ta sprawa znajduje się już poza państwem fizyki.

Tę wzajemnie jednoznaczną odpowiedniość „podobieństwa" uważamy za określoną tylko w przypadku skrajnym, gdy relacje znajdują się w naszej strukturze bardzo blisko siebie. W ten sposob unikamy wszelkiego porównywania na odległość, które w równym stopniu podlega krytyce, jak działanie na odległość. Pozwólcie mi natychmiast wyznać, że nie wiem, co mam tu na myśli, gdy mówię „bardzo blisko siebie". Przecie, jak dotąd, nie zbudowaliśmy jeszcze ani przestrzeni, ani czasu. Moglibyśmy powiedzieć być może, że to tylko pewne człony posiadają relacje, które dadzą się porównać z relacją wyjściową i przyjąć możliwość takiego

porównania za kryterjum bliskości. Nie wiem. Budowa nasza w tem miejscu wykazuje pewne rysy, lecz sądzę, że należyte ich scementowanie nie leży poza możliwościami logika. Powinniśmy się zresztą już w tem stadjum urządzić tak, żeby przyporządkowane znaki rozróżniające wskazywały odrazu na bliskość relacyj.

Zacznijmy od jakiegoś członu *A* i wychodzącej z niego relacji *AP*. Przejdźmy następnie do przyległego członu *B* i wybierzmy „podobną“ relację *BQ*. Idźmy dalej do innego

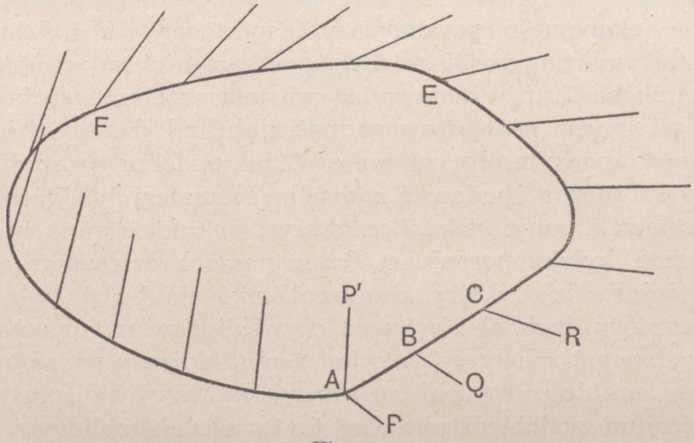


Fig. 7.

przyległego członu *C* i wybierzmy relację *CR* podobną do *BQ*. (Zauważcie, że *C* jest dalej od *A* niż *B* i wobec tego relacja, wychodząca z *C* a podobna do *AP* nie jest tak określona, jak ta, która jest podobna do *BQ*). Krok za krokiem możemy rozciągać to porównywanie wzdłuż pewnej drogi *AEFA*, która wraca do punktu wyjścia. Nic nam nie ręczy, że końcowa relacja *AP*, która, jakby można powiedzieć, została przeniesiona wzdłuż obwodu, będzie się pokrywała z relacją *AP*, z którejśmy wyszli.

Mamy teraz dwie relacje *AP* i *AP'*, wychodzące z pierwszego członu; różnica ich jest związana z pewnym obwodem na świecie, z obwodem *AEFA*. Swobodne końce rela-

cyj P i P' posiadają swe znaki rozróżniające i możemy obliczyć ich różnicę (t. j. różnicę liczb utożsamiających, zawartych w tych znakach). Różnica ta będzie odgrywała rolę znaku dla zmiany, wywołanej przez przeniesienie relacji AP wzdłuż obwodu. Jeżeli zmieniamy obwód i relację pierwotną, zmienia się również różnica PP' i najbliższym krokiem będzie wyszukanie wzoru matematycznego na obliczenie tej zależności. Istnieją zasadniczo cztery rzeczy, które należy połączyć, gdyż obwód liczy się za dwie rzeczy (albowiem obwód prostokątny naprzykład należałoby opisać przez podanie dwóch boków). Każda z tych rzeczy winna być opisana za pośrednictwem czterech liczb utożsamiających (będą to albo znaki rozróżniające albo coś utworzonego z tych znaków). Ażeby sprostać wszystkim możliwym kombinacjom, poszukiwany wzór matematyczny musi zawierać 4^4 czyli 256 spółczynników liczbowych. *Spółczynniki te mierzą w liczbach strukturę, otaczającą człon początkowy.*

W ten sposób zakończyliśmy pierwszą część naszego zadania: wprowadzenie liczb do materjału podstawowego. Metoda nasza nie jest tak sztuczna, jakby się to mogło zrazu wydawać. Jeżeli nie chcemy wykpić się poprostu z zagadnienia, przez wtłoczenie upragnionych fizycznych własności świata wprost w pierwotne relacje i człony, to musimy je wyprowadzić przez wiązanie strukturalne relacyj. A takie wiązanie odbywa się najnaturalniej przez przebieganie obwodów utworzonych z relacyj. Aksjomat porównywalności relacyj przyległych pozwala jedynie rozróżniać relacje podobne i niepodobne, lecz nie daje narazie żadnych środków do klasyfikowania różnych stopni czy rodzajów niepodobieństwa. Znaleźliśmy jednakże sposób na scharakteryzowanie rodzaju niepodobieństwa AP i AP' przez odwołanie się do obwodu, który „przekształca“ AP w AP'. W ten sposób oparliśmy ilościowe badanie odmienności na określeniu podobieństwa.

Liczby mierzące strukturę będą zależały od obranego klucza znaków rozróżniających człony i będą się wraz z temi

znakami zmieniały. To właśnie czyni je szczególnie zdatnemi do budowania zwykłych wielkości fizycznych. Gdy znaki rozróżniające stają się spółrzędnemi przestrzeni i czasu, to dowolny wybór klucza stanie się równoważny dowolnemu wyborowi rusztowania czasoprzestrzennego; a zmiana miar struktury i wielkości fizycznych, zbudowanych z tych znaków, wraz ze zmianą rusztowania czasoprzestrzennego pozostaje w całkowitej zgodzie z teorją względności. Wielkości fizyczne naogół nie mają wartości absolutnych, lecz tylko wartości względem pewnych obranych układów odniesienia czyli kluczy znaków rozróżniających.

Zbudowaliśmy już zatem nasze cegiełki z pierwotnej gliny i następnem naszem zadaniem jest rozpoczęcie budowy. 256 miar struktury, zmieniających się od punktu świata do punktu, ulegają pewnej redukcji, gdy się opuszcza te z nich, które są pomiędzy sobą równe. Ale nawet wtedy będą one zawierały nieco gratów niepotrzebnych do budowy. Martwiło to, jak się zdaje, wielu najwybitniejszych fizyków; nie rozumiem dlaczego. Ostatecznie przecie to umysł decyduje, co jest gratem, a co nie — jakie części naszej budowy będą odwzorowywały przedmioty codziennego doświadczenia, a jakie pozostaną bez odpowiedników. Nie jest naszem zadaniem, jako poszukiwaczy materjału budowlanego, przewidywać co będzie wybrane do pałacu Myśli. Wyrzucimy teraz te rupiecie, jako niepotrzebne w dalszych działaniach, ale muszę podkreślić, że się nie zgadzam z tymi, którzy uważają za plamę na teorji, że się te rupiecie wogóle w niej pojawiły.

Przez dodawanie pewnych miar strukturalnych w sposób symetryczny oraz przez pominięcie innych sprowadzamy liczbę naprawdę ważnych miar do 16.* Można je podzielić na dwie grupy: jedna z nich zawiera 10 miar tworzących pewien układ symetryczny, druga — 6, tworzących układ skośniesymetryczny. Jest to doniosły moment w rozwidleniu się świata.

* Matematycznie sprowadza się to do kontrakcji tensora czwartego stopnia i daje tensor stopnia drugiego.

Spółczynniki symetryczne (10). One to umożliwiają zbudowanie geometrji i mechaniki. Stanowią one dziesięć potencjałów Einsteina (g_{ik}). Tworzymy z nich przestrzeń, czas i krzywizny świata, które przedstawiają własności mechaniczne materji, to jest pęd, energję, naprężenia i t. d. *Spółczynniki skośniesymetryczne (6).* Z nich budujemy elektromagnetyzm. Przedstawiają one trzy składowe natężenia siły elektrycznej i trzy składowe siły magnetycznej. Stąd wyprowadzamy potencjał elektryczny i magnetyczny, ładunek elektryczny i prąd, światło i inne fale elektromagnetyczne.

Natomiast nie otrzymujemy praw i zjawisk atomistycznych. Nasze czynności okazały się zbyt grube, żeby doprowadzić nas do mikroskopowej struktury świata; elektrony i kwanty znajdują się narazie poza naszym zasięgiem.

Lecz w zakresie tego, co nazywa się *fizyką pola,* konstrukcja nasza jest dostatecznie kompletna. Pole metryczne, grawitacyjne i elektromagnetyczne są zawarte w tym schemacie. Budujemy powyżej wyliczone wielkości; okazuje się, że ulegają one naczelnym prawom fizyki pola, *na skutek samej metody, przy której pomocy je zbudowano.* Jest to cechą charakterystyczną tej teorji: prawo pola — prawo zachowania energji, masy, pędu i ładunku elektrycznego, prawo grawitacji, równania Maxwella — nie są prawami, które pozwalają sprawdzić teorję.* Są one poprostu truizmami; wprawdzie nie wtedy, gdy je spotykamy przy obserwacji świata, lecz wtedy, gdy je spotykamy przy budowie świata z pewnej struktury podstawowej. Spróbuję wyjaśnić nasze nowe stanowisko w stosunku do tych praw.

Prawa tożsamościowe. Energja, pęd i napięcie, które zidentyfikowaliśmy z dziesięcioma głównemi spółczynnikami

* Nie włączamy tu głównego prawa, wymienianego zazwyczaj w tym zespole, to jest prawa siły ponderomotorycznej pola elektrycznego. Wydaje się rzeczą niemożliwą wyświetlić źródło tego prawa, nie wchodząc w strukturę elektronową, która jednak jak dotąd znajduje się poza zasięgiem naszej umiejętności w dziedzinie budownictwa świata.

krzywizny świata, stanowią podmiot sławnych praw zachowania energji i pędu. W założeniu, że identyfikacja ta jest poprawna, prawa te są *tożsamościami matematycznemi*. Pogwałcenie ich nie jest do pomyślenia. Najlepiej może będzie wyjaśnić ich istotę za pomocą analogji.

Pewien leciwy kwestor uniwersytecki żył w odosobnieniu od reszty świata i oddany był całkowicie swym rachunkom. Poznawał działalność intelektualną i inne działalności swych kolegów tylko o tyle, o ile wyrażały się one w rachunkach. Niejasno podejrzewał poza tem wszystkiem jakąś objektywną rzeczywistość — jakiś odpowiednik prawdziwego uniwersytetu — jakkolwiek mógł ją wyrażać jedynie w funtach, szylingach i pensach, które tworzyły to, co mógłby nazwać „uniwersytetem znanym rozsądkowi z codziennego doświadczenia". Metoda prowadzenia rachunków stała się zastarzałym zwyczajem, przekazywanym z pokolenia na pokolenie tych pustelniczych kwestorów; kwestor nasz przyjął formę rachunku, jako część istoty rzeczy. Lecz miał on pewne zacięcie naukowe i chciał wiedzieć coś więcej o uniwersytecie. Pewnego dnia, przy przeglądaniu swych książek, zauważył uderzające prawo. Każdej pozycji kredytu odpowiadała równa co do wysokości pozycja gdzieś w debecie. „Ha", rzekł nasz kwestor, „odkryłem jedno z wielkich praw, rządzących uniwersytetem. Jest to doskonałe i ścisłe prawo prawdziwego świata. Kredyt należy nazwać plusem, a debet minusem i będziemy wtedy mieli prawo zachowania funta szterlinga. Oto właściwy sposób badania istoty rzeczy i niema żadnego ograniczenia dla zasięgu tej naukowej metody. Nie będę zwracał żadnej uwagi na przesądy, wyznawane przez niektórych profesorów, że istnieje jakiś dobry duch, zwany Królem, i jakiś zły, zwany Ministerstwem Oświecenia. Jeżeli tylko będę szedł w dalszym ciągu tą drogą, to uda mi się zrozumieć, dlaczego ceny ciągle idą wgórę".

Nie zamierzam zwalczać zdania kwestora, że naukowe badanie rachunków jest drogą do dokładnego (chociaż z konieczności jednostronnego) poznania ukrytej poza niemi rzeczywistości. Można na tej drodze odkryć rzeczy, sięga-

jące głębiej, niż zwykły truizm, zdobyty w jego pierwszym wysiłku. W każdym razie życie jego jest w sposób szczególny powiązane z rachunkami i jest rzeczą właściwą, by odkrył prawa rachunków, jakakolwiek miałaby być ich istota. Lecz chciałbym mu zwrócić uwagę, że odkrywa tylko, w jaki sposób zaczepiają o siebie różne przejawy rzeczywistości uniwersyteckiej w świecie rachunków i że nie jest to równoznaczne z odkryciem praw, rządzących uniwersytetem. Nie rozpoczął on nawet tego odkrycia. Uniwersytet mógłby się zawalić, a jego rachunki ciągleby się zgadzały.

Prawo zachowania pędu i energji wynika z zaczepienia o siebie różnych doznań, za których pośrednictwem „nieprożność“ przestrzeni przejawia się w naszem doświadczeniu. Z jego to okazji znowu wypadło nam stwierdzić, że pewne podstawowe prawo fizyki nie jest prawem rządzącem, lecz „ukartowaną aferą“; wystarczyło tylko sobie uprzytomnić istotę tego, co temu prawu ulega. Możemy mierzyć pewne rodzaje energji przy pomocy termometru, pęd przy pomocy wahadła balistycznego, ciśnienie przy pomocy manometru. Pospolicie przedstawiamy te wielkości jako oddzielne twory fizyczne, których wzajemne zachowanie się ulega pewnemu prawu. Tymczasem obecna teorja orzeka, że trzy te przyrządy mierzą różne, lecz lekko na siebie zachodzące przejawy tego samego tworu fizycznego, i że prawo, które wiążą wyniki ich pomiarów, jest równie tautologiczne, jak „prawo“, które wiąże z sobą pomiary, dokonane skalą w metrach i skalą w stopach.

Powiedziałem, że pogwałcenie tych praw nie jest do pomyślenia. Czyżeśmy zatem znaleźli już prawa fizyczne, które będą trwały po wszelkie czasy, nienaruszone przez żadną rewolucję? Przypomnijmy sobie nasze zastrzeżenie: „w założeniu, że identyfikacja (ich przedmiotów) jest poprawna“. Prawo samo będzie trwało tak długo, jak długo dwa razy dwa będzie cztery. Lecz jego doniosłość praktyczna zależy od tego, czy znamy to, co temu prawo ulega. Sądzimy, że posiadamy tę wiedzę, ale nie rościmy sobie pretensji do nieomylności w tym względzie. Z praktycznego

punktu widzenia prawo zostałoby obalone, gdyby się okazało, że to, co ulega zachowaniu, nie jest tą rzeczą, którąśmy mierzyli przy pomocy owych przyrządów, lecz czemś nieznacznie się różniącem.

Selektywny wpływ umysłu. Zbliża to nas bardzo do zagadnienia mostu pomiędzy światem naukowym, a światem doświadczenia codziennego. Prostsze elementy świata nauki nie posiadają bezpośrednich odpowiedników w doświadczeniu codziennem; korzystamy z tych elementów, aby tworzyć rzeczy, które te odpowiedniki posiadają. Energja, pęd i naprężenie są w świecie naukowym cieniami dobrze znanych cech świata powszedniego. Odczuwam *naprężenie* w swych mięśniach; jedna z postaci *energji* wywołuje u mnie wrażenie ciepła; stosunek *pędu* do masy jest szybkością, która naogół wkracza w krąg mego doświadczenia, jako zmiana położenia przedmiotów. Skoro mówię, że odczuwam te rzeczy, nie wolno mi przytem zapominać, że odczuwanie to, o ile wogóle jest umiejscowione w świecie fizycznym, mieści się nie w samych rzeczach, ale w pewnym zakątku mego mózgu. Dusza również wynalazła swoją sztukę budowania świata. Jej świat powszedni jest zbudowany nie z rozkładu relacyj i ich członów, lecz na podstawie własnej osobliwej interpretacji depesz szyfrowanych, przesyłanych wzdłuż nerwów do jej sanktuarjum.

Zgodnie z tem, nie powinniśmy tracić z oczu okoliczności, że świat, który fizyka usiłuje opisać, powstaje z zestawienia obu tych planów budowy świata. Jeżeli spoglądamy nań tylko z punktu widzenia fizycznego, to nieuniknione jest stwierdzenie dowolności w jego budowie. Z owych cegieł — z 16 miar struktury świata — można zbudować bardzo wiele rzeczy; mogłibyśmy też wziąć znowu coś z odrzuconych rupieci i zbudować jeszcze rozleglejszą rozmaitość rzeczy. Lecz nie budujemy dowolnie; budujemy aby *porządkować*. Rzeczy, które budujemy, posiadają pewne uderzające własności; własności te posiadają one dzięki sposo-

bowi, w jaki zostały zbudowane, lecz również dlatego, że te własności zostały *postulowane*. Istnieje pewien ogólny opis, który pozwala ująć w każdym razie większość operacyj, wymaganych do budowy świata fizycznego. W języku matematyki operacja ta polega na hamiltonowskiem różniczkowaniu pewnej niezmienniczej funkcji owych 16 miar struktury. Nie sądzę, by w podstawowej strukturze relacyj istniało coś, coby gwałtownie się domagało tej właśnie szczególnej kombinacji; znaczenie tego procesu nie tkwi w naturze nieorganicznej. Polega ono raczej na tem, że odpowiada nastawieniu, przyjętemu przez umysł dla pewnych indywidualnych powodów. Żaden inny proces budowy nie dałby się ostatecznie pogodzić z naszym duchowym schematem budowy świata. Pochodna hamiltonowska posiada właśnie ten charakter, który pozwala jej w naszym umyśle wytrwać jako czynny pierwiastek, przeciw biernej rozciągłości przestrzeni i czasu. I pochodna hamiltonowska jest wirtualnie symbolem tworzenia czynnego świata z bezkształtnego tła. Cud Stworzenia wydarzył się nie jeden tylko raz w zamierzchłej przeszłości, lecz wydarza się ustawicznie za sprawą naszego świadomego Umysłu.

Według tego szczególnego planu budowy konstruujemy rzeczy, które czynią zadość prawu zachowania, to znaczy rzeczy, które są trwałe. Prawo zachowania jest truizmem w stosunku do rzeczy, które mu czynią zadość, lecz jego doniosłość w schemacie praw świata fizycznego pochodzi stąd, że umysł żądał trwałości. Moglibyśmy zbudować rzeczy, które nie spełniają tego prawa. W rzeczy samej budujemy pewną bardzo ważną wielkość, „działanie", która nie podlega zachowaniu. Ale jeżeli idzie o działanie, to fizyka się zacięła i upiera się przy uznawaniu tej rzeczy za najbardziej podstawową ze wszystkich, jakkolwiek umysł nie uważał nawet, że zasługuje ona na jakieś miejsce w świecie doświadczenia powszedniego i nie ożywił jej przez żadne wyobrażenie, ani żadną interpretację. Spodziewam się, iż rozumiecie, że budowa, o której mówię, nie jest prostem przesuwaniem materjału tam i zpowrotem; jest ona raczej,

jak budowanie konstelacyj z gwiazd. Rzeczy, które mogliśmy zbudować, choć tego nie zrobiliśmy, istnieją równie dobrze, jak te które zbudowaliśmy. To, co nazwaliśmy budową, jest raczej wyborem z deseni, które się same haftują.

Element trwania w świecie fizycznym, reprezentowany pospolicie przez koncepcję substancji, jest zasadniczo wkładem umysłu do planu budowy czy owego wyboru. Możemy się przyjrzeć działaniu tej tendencji do wyboru na zagadnieniu stosunkowo prostem, naprzykład na hydrodynamicznej teorji oceanu. Na pierwszy rzut oka zagadnienie tego, co się stanie, gdy woda dozna jakiegoś początkowego zakłócenia, zależy wyłącznie od praw nieorganicznych; nic nie jest tu odleglejsze niż wpływ świadomej myśli. W pewnym sensie jest to prawdą; prawa materji pozwalają nam prześledzić ruch i rozwój różnych objętości wody, ale w tem miejscu zagadnienie należy uważać za zakończone, o ile sprawa dotyczy świata nieorganicznego. Lecz w rzeczywistości w podręcznikach hydrodynamiki badania zwracają się w innym kierunku, mianowicie do ruchu fal i grup fal. Posuwanie się fali nie jest posuwaniem się materjalnej masy wody, lecz posuwaniem się pewnej formy, która wędruje po powierzchni wody, w miarę tego, jak cząsteczki wody unoszą się wgórę i wdół; następnie posuwanie się grupy fal nie jest posuwaniem się jakiejś fali. Formy te posiadają pewien stopień trwałości pośród mknących tu i tam cząsteczek wody. Lecz wszystko, co trwałe, domaga się odznaczenia atrybutem materjalności, i żeglarz żywiej może odczuwa, że ocean jest utworzony z fal, niż że jest utworzony z wody.* W ostatniej instancji to wrodzony głód trwałości w naszym umyśle kieruje rozwojem hydrodynamiki i podobnie kieruje budową świata z szesnastu miar struktury.

Mógłby kto zarzucić, że nietylko umysł, ale i inne rzeczy potrafią ocenić to, co trwałe — naprzykład masę. Waga może to uczynić i wskazać nawet przy pomocy wskazówki, wiele jest tej masy. Nie sądzę, by zarzut ten był przekony-

* Nie czynię tu żadnej aluzji do pewnych następstw falowania wody; to co mówię odnosi się, jak sądzę, do milszych wrażeń podróży.

wujący. Przy budowaniu świata fizycznego musimy oczywiście budować również narzędzia pomiarowe, które stanowią część tego świata; a narzędzia miernicze wynikają z planu budowy świata w ten sam sposób, jak twory, do których mierzenia mają one służyć. Gdybyśmy naprzykład z pewnych „gratów" zbudowali twór x, to prawdopodobnie moglibyśmy zbudować z tych gratów również przyrząd do mierzenia wielkości x. Różnica polega wyłącznie na tem: jeżeli wskazówka wagi podaje 5 kg, to pewna świadomość ludzka w pewien tajemniczy (niewyświetlony jeszcze jak dotychczas sposób) postrzega ten fakt, podczas gdy, jeżeli przyrząd mierniczy dla x odczytuje 5 jednostek, to nie uświadamia sobie tego żaden umysł ludzki. W ten sposób odpowiedzialność za to, że schemat świata naukowego zawiera masę a nie zawiera wielkości x, spada ostatecznie na zjawiska świadomości.

Być może, że lepiej możnaby wyrazić ten selektywny wpływ umysłu na prawa Natury mówiąc, iż umysł jest właściwym twórcą *wartości*. Wszystkie „światła i cienie" w naszem ujęciu świata fizyki pochodzą w ten sposób od umysłu i nie mogą być wyjaśnione bez odwołania się do cech świadomości.

Świat, któryśmy zbudowali ze struktury relacyj, oczekują bezwątpienia jeszcze bardzo liczne zmiany w miarę rozwoju nauki. Teorja kwantów wskazuje, że fizyce zagraża jakieś radykalne przeobrażenie. Lecz sądzę, że doświadczenie, które osiągnęliśmy przy budowie świata dało nam szerszy pogląd na możliwości i inną orjentację w stosunku do pojęcia prawa fizycznego. Chciałbym zaakcentować następujące okoliczności.

Przedewszystkiem: ściśle ilościowa wiedza może powstać na podstawie czysto jakościowej. Możliwość porównania, którą należy aksjomatycznie założyć, ogranicza się do wyłącznie jakościowego rozróżnienia podobieństwa i niepodobieństwa.

Powtóre: prawa, któreśmy dotąd uważali za najbardziej typowe, posiadają poprostu charakter truizmów, a ostatecz-

ne prawa, rządzące podstawową strukturą (jeżeli wogóle istnieją) są prawdopodobnie innego typu, niż wszystkie, któreśmy sobie dotąd wyobrażali.

Po trzecie: umysł, dzięki swej skłonności do wyboru, ułożył procesy Natury w ramy praw, których charakter w znacznym zakresie zawdzięczamy dowolności wyboru. Przy odkrywaniu tego systemu praw umysł otrzymuje jakby to od Natury, co w niej sam umieścił.

Trzy gatunki praw. Prawa Natury, o ile możemy osądzić, dzielą się na trzy klasy: 1) prawa identyczne, 2) prawa statystyczne i 3) prawa transcendentalne. Rozważaliśmy właśnie prawa identyczne, to znaczy prawa, przedstawiające tożsamości matematyczne, które zachodzą dzięki sposobowi, w jaki wchodzące do nich wielkości zostały zbudowane. Nie można ich uważać za prawdziwe prawa, rządzące podstawowym materjałem świata. Prawa statystyczne odnoszą się do tłumu i opierają się na fakcie, że jakkolwiek zachowanie się każdego indywiduum może być niezmiernie niepewne, to jednak wyniki przeciętne można przewidzieć z pewnością. Bardzo wiele z pozornej jednostajności Natury jest jednostajnością przeciętnych wielkości. Nasze niedoskonałe zmysły poznają jedynie przeciętny skutek ogromnej liczby indywidualnych cząsteczek i procesów; i prawidłowość tych przeciętnych konstrukcyj może pozostawać w doskonałej zgodzie ze znacznym stopniem chaotyczności w zakresie indywiduów. Nie sądzę, by można było prawa statystyczne (jak naprzykład drugie prawo termodynamiki) zbyć poprostu uwagą, że stanowią one wyłącznie matematyczne przystosowania innych rodzajów praw do pewnych zagadnień praktycznych. Zawierają one bowiem osobliwy, własny element, związany z pojęciem prawdopodobieństwa *a priori;* lecz narazie nie widać jeszcze żadnego miejsca dla tego elementu w pospolitych koncepcjach podłoża świata.

Jeżeli istnieją jakieś prawdziwe prawa, rządzące światem fizycznym, to należy ich szukać w trzeciej grupie — po-

między prawami transcendentalnemi. Prawa transcendentalne obejmują te wszystkie, które nie stały się oczywistemi tożsamościami, wprowadzonemi w schemacie budowy świata. Dotyczą one szczególnego zachowania się atomów, elektronów i kwantów — to jest struktury atomistycznej materji, elektryczności i działania. Wydaje się, że postępujemy jakoś w kierunku ich sformułowania, ale jest jasne, że walka o ich rozsądne ujęcie jest znacznie cięższa niż przy klasycznych prawach pola. Widzieliśmy, że prawa pola, szczególnie prawa zachowania, są pośrednio narzucone przez umysł, który, możnaby powiedzieć, ustalił zgóry plan budowy świata, któryby im czynił zadość. Narzuca się naturalna myśl, że większe trudności z wyświetleniem praw transcendentalnych pochodzą stąd, iż tu nie ograniczamy się już do wydobywania od Natury tylko tego, cośmy w nią sami włożyli, lecz nareszcie stajemy oko w oko z jej własnym, wewnętrznym systemem rządzenia. Lecz niebardzo jestem na tym terenie czegokolwiek pewny. Nie powinniśmy przypuszczać, że możliwy rozwój nowego stanowiska w stosunku do praw Natury został wyczerpany w ciągu paru krótkich lat. Mogłoby się okazać, że prawa atomistyki, podobnie jak prawa zachowania, pojawiają się tylko przy naszem ujęciu świata i mogą się okazać tożsamościami dzięki jakiemuś uogólnieniu stanowiska, któreśmy wyżej zajęli. Lecz jest, być może, równie prawdopodobne, że po usunięciu wszystkich narzuconych praw, które powstają wyłącznie na tle naszego postrzegania świata, pozostanie jakiś świat zewnętrzny, rozwijający się pod panowaniem prawdziwych praw rządzących.

W chwili obecnej możemy zauważyć, że prawa, któreśmy poznali jako dzieło umysłu ludzkiego, cechuje ciągłość, podczas gdy te prawa, które — jak dotąd — wydają się niezależne od umysłu, posiadają charakter atomistyczny. Teorja kwantów, ze swą niechęcią do ułamków i akcentem na liczbach całkowitych, wydaje się obcą wszelkiemu schematowi, który moglibyśmy nieświadomie narzucić, jako rusztowanie dla zjawisk Natury. Być może, że nasza ostateczna konklu-

zja o świecie fizyki będzie przypominała pogląd Kroneckera na czystą matematykę:

„Bóg stworzył liczby całkowite; wszystko inne jest dziełem człowieka *.

* Die ganzen Zahlen hat Gott gemacht; alles andere ist Menschenwerk.

Rozdział XII

WSKAZANIA PRZYRZĄDÓW

Pojęcia powszednie a symbole naukowe. Powiedzieliśmy już we Wstępie, że surowy materjał, z którego budujemy świat naukowy, nie jest zapożyczony ze świata doświadczenia powszedniego. Właściwie dopiero niedawno fizyk zerwał stanowczo z pojęciami powszedniemi. Zpoczątku nie zamierzał bynajmniej odkrywać jakiegoś nowego świata, chciał tylko łatać stary. Jak każdy zwykły śmiertelnik wierzył na początku, że rzeczy są w istocie mniej więcej takie, jakiemi się wydają, i że nasze żywe odczucie otaczającego świata może być punktem wyjścia dla dalszych rozważań. Ale stopniowo okazywało się, że należy zarzucić niektóre z najoczywistszych zdań o rzeczywistości. Nauczyliśmy się, że nie stoimy na niewzruszonej i nieruchomej Ziemi, kierując dumnie czoło ku sklepieniu niebieskiemu, lecz zwisamy, zaczepieni nogami o glob, mknący przez przestrzeń z ogromną szybkością. Ale te nowe odkrycia dają się ciągle jeszcze ująć w ramy pojęć życia powszedniego. Mogę sobie bardzo żywo wyobrazić opisany przed chwilą stan rzeczy. Jeżeli budzi on jakieś opory, to pochodzą one nie z wyobraźni, ale z wiary. Z pewnemi innemi postępami wiedzy oswajamy się podobnie, stosując ów bardzo pożyteczny wybieg ułatwiający zrozumienie; mówimy sobie: „to tak, jak to, lub tamto, tylko w znaczniejszym jeszcze stopniu". Naprzykład, jeżeli sobie pomyślicie coś podobnego do pyłku kurzu, ale *jeszcze mniejszego,* to macie atom, jak go sobie jeszcze zupełnie niedawno wyobrażano.

Prócz tych dobrze znanych mu tworów musiał jeszcze fizyk uwzględniać pewne tajemnicze czynniki, jak grawitację, albo siłę elektryczną; ale nie zakłócało to całości jego obrazu. Nie możemy wprawdzie powiedzieć, do czego elektryczność „jest podobna". Ale jej nieuchwytność nie wydawała się na początku definitywną. Uważano za jedno z najważniejszych zadań nauki odkrycie, w jaki sposób te tajemnicze czynniki sprowadzają się do rzeczy, które można opisać w wyrazach, odnoszących się do doświadczenia codziennego — krótko mówiąc, poszukiwano ich „wyjaśnienia". Naprzykład prawdziwa istota siły elektrycznej mogłaby się okazać jakiemś przesunięciem w eterze. (Eter uważano ówczas za pojęcie powszednie — jakiś skrajny rodzaj rzadkiej materji — tylko *jeszcze rzadszy)*. Tak powoli narastała lista tworów, które miały uregulować swój stosunek do pojęć świata powszedniego. Narazie fizyka musiała się z niemi obchodzić, jak umiała, nie znając ich istoty.

Wszystko szło znakomicie. Nieznajomość istoty tych tworów nie stanowiła przeszkody do przewidywania, jak się one będą zachowywały. Stopniowo zdawaliśmy sobie sprawę z tego, że nasz schemat traktowania wielkości, oczekujących w owej liście, stawał się bardziej ścisły i zadowalający, niż nasza wiedza o rzeczach powszednich. Pojęcia powszednie nie zagarniały coprawda przedmiotowo tej listy, ale zato lista zaczęła zagarniać pojęcia powszednie. Eter, który był kolejno ciałem sztywnem sprężystem, galaretą, pianą, zbiorowiskiem żyrostatów, został pozbawiony materjalności i substancjalności i powędrował zpowrotem do listy. Okazało się, że nauka potrafi tyle osiągnąć, posługując się tworami, których istota pozostawała nieznana, iż zaczęto kwestjonować, czy ustalenie owej istoty przyniesie wogóle korzyści. Kryzys rozpoczął się wtedy, gdy zaczęliśmy budować rzeczy doświadczenia powszedniego, jak materję i światło, z rzeczy, znajdujących się w owej kolejce. Wtedy wreszcie zrozumiano, że powiązanie pojęć naukowych z pojęciami powszedniemi powinno się odbywać za pośrednictwem bardziej złożonych konstrukcyj fizycznych, a nie na

samym początku abecadła. Wiele szkody przyniosło i przynosi nam przekonanie, że elektrony i kwanty powinny być pod pewnemi zasadniczemi względami podobne do substancyj i sił znanych nam z warsztatu; że wystarczy sobie je wyobrażać jako zwykłe rzeczy w nieskończenie mniejszej skali. Powinniśmy unikać podobnych przesądów, z pewnością nielogicznych. A skoro musimy zarzucić użycie pojęć powszednich, pozostają nam tylko symbole, jako jedyna możliwa alternatywa.

Wszystkie niemal teorje fizyczne przyjęły metodę syntetyczną, która polega na tem, że z symbolicznych elementów, właściwych teorji, budujemy świat, który będzie naśladował zachowanie rzeczywiste świata doświadczenia codziennego. Każda zwykła praca teoretyczna w czasopiśmie naukowem zakłada milcząco to podejście do sprawy. Postępowanie takie okazało się bardzo owocne, i ono to w rzeczywistości znajduje się u podłoża postępów nauki, przedstawionych w fizycznej części niniejszej książki. Lecz nie chciałbym się upierać przy tem, że żadne inne postępowanie nie jest dopuszczalne. Zgadzamy się, że na końcu syntezy musi nastąpić powiązanie z światem powszedniej świadomości, ale nie przeciwstawiamy się próbom podejścia do świata fizycznego od tej drugiej strony. Z punktu widzenia filozofji byłoby pożądane zbadanie tego podejścia, i można sobie wyobrazić, że wyniki okażą się owocne pod względem naukowym. Jeżeli dobrze zrozumiałem filozofję Dra Whiteheada, to obiera on właśnie taką drogę. Wymaga to w pewnym zakresie pracy wstecz (jakbyśmy to zgruba opisali); ale jego metoda „ekstensywnej abstrakcji“ ma przezwyciężyć pewne trudności takiego postępowania. Nie jestem powołany do krytykowania tego dzieła, ale w zasadzie wydaje się ono niezmiernie interesujące. Jakkolwiek niniejsza książka może się pod bardzo wielu względami wydawać biegunowo przeciwległa do cieszącej się rozległą poczytnością filozofji Natury Dra Whiteheada, to jednak sądzę, że byłoby właściwsze uważać go za sprzymierzeńca, który z przeciwnej strony góry wierci tunel, aby spotkać się ze swymi mniej

filozoficznie usposobionymi kolegami. Najważniejsze jest jednak, by nie mieszać z sobą obu ujęć.

Istota nauk ścisłych. Ścisłość jest jedną z cech charakterystycznych fizyki i dlatego też naogół utożsamiałem jej zakres z zakresem wiedzy ścisłej. Dokładnie biorąc, nie są to jednak nazwy równoznaczne. Możemy sobie wyobrazić naukę, która nie wiąże się z pospolitemi zjawiskami i prawami fizycznemi, a jednak może być w ten ścisły sposób ujęta. Możnaby sobie wyobrazić, że teorja dziedziczności Mendla przekształci się w niezależną dyscyplinę tego rodzaju, gdyż wydaje się, że zajmuje ona w biologji obecnie takie samo stanowisko, jak teorja atomistyczna w chemji przed stu laty. Tendencją tej teorji jest analizowanie jednostek złożonych na t. zw. *„cechy proste"*. Podobne są one do niepodzielnych atomów, wykazujących pokrewieństwo i podlegających odpychaniu. Połączenia ich ulegają tym samym prawom przypadku, które odgrywają tak doniosłą rolę w termodynamice chemicznej, a dane statystyczne o cechach ludności można przewidywać w podobny sposób, jak wyniki reakcji chemicznej.

Otóż, wpływ takiej teorji na nasze poglądy filozoficzne na sens życia nie zależy od tego, czy atom Mendlowski można ująć w terminach fizyki, czy też nie. Może się okazać, że cecha prosta tkwi w jakiejś konfiguracji cząsteczek fizycznych podłoża, lub też odpowiada wprost jakiemuś związkowi chemicznemu. Mogłaby być wreszcie związana z czemś właściwem materji żywej, a nie zawartej jeszcze na liście tworów fizycznych. Są to dla nas sprawy drugorzędne. Zbliżamy się bowiem do wielkiego zagadnienia; czy istnieje jakiś teren działania — życia, świadomości, bóstwa — który nie zostanie zagarnięty przez postępy nauki ścisłej. Wątpliwości nasze dotyczą nietylko zakresu właściwych wielkości fizycznych, ale wszystkich tworów, do których może być zastosowana nauka ścisła. Albowiem nauka ścisła odwołuje się — tak się przynajmniej wydaje — do praw niezłomnych i bezdusznych, praw przeciwko którym

burzy się duch ludzki. Gdyby nauka ogłosiła ostatecznie, że człowiek jest tylko przypadkowym zbiegowiskiem atomów, to ciosu tego nie złagodziłoby wyjaśnienie, że atomy te są mendlowskiemi cechami prostemi, a nie materjalnemi atomami chemika.

Przyjrzyjmy się zatem tej wiedzy, którą operują nauki ścisłe. Jeżeli poszukamy w protokółach egzaminacyjnych z fizyki i nauk przyrodniczych bardziej zrozumiałych zadań, to moglibyśmy trafić naprzykład na takie: „Słoń ześlizguje się z pagórka, porośniętego trawą...“ Doświadczony kandydat wie, że nie powinien na to zwracać uwagi: wstawiono te wyrazy tylko w tym celu, ażeby wywołać wrażenie realizmu. Czyta dalej: „Masa słonia wynosi dwie tonny.“ Aha, to trzeba już wziąć serjo; słoń rozwiewa się i pozostaje na jego miejscu masa dwóch tonn. Ale cóż to są, ściśle biorąc, dwie tonny, faktyczny przedmiot owego zadania? Odnosi się ten wyraz do jakiejś własności, czy warunku, opisywanego mętnie przy pomocy wyrazu „masywność“, a związanego z pewnym obszarem świata zewnętrznego. Lecz po tej drodze daleko nie zajdziemy: istota świata zewnętrznego nie poddaje się badaniu, pogrążymy się tylko w jakiś wir rzeczy nieopisywalnych. Mniejsza zresztą o to, do czego się te dwie tonny *odnoszą;* ważniejsze jest czem one *są?* Dwie tonny — to wskazanie strzałki, gdy postawimy słonia na wadze. Idźmy dalej. „Nachylenie pagórka wynosi 60°“. A teraz pagórek znika z zagadnienia, a na jego miejsce wchodzi kąt 60°. Cóż to jest 60°? Niema tu co wdawać się w mistyczne dyskusje nad pojęciem kierunku: 60° *jest* wskazaniem pionu na skali przenośnika kątowego. Podobnie przedstawia się sprawa z innemi danemi zagadnienia. Miękko uginająca się murawa, po której ślizgał się słoń, ustąpiła miejsca spółczynnikowi tarcia: ten nie jest może wprost wskazaniem żadnej strzałki, ale ma naturę pokrewną. Istnieją bezwątpienia metody bardziej pośrednie, służące do pomiaru masy słoni i pochylenia pagórków, ale usprawiedliwienie ich polega właśnie na tem, że wiadomo o nich, iż dadzą te same wyniki, co bezpośrednie wskazania strzałek.

Widzimy, że stopniowo poezja rozwiewa się w naszem zadaniu, i w chwili, gdy przystępujemy do poważnych zastosowań nauki ścisłej, pozostały nam tylko wskazania przyrządów. Jeżeli więc do machiny rachunku naukowego wkładamy tylko wskazania przyrządów albo ich równoważniki, to jakże możemy otrzymać coś innego, niż wskazania przyrządów? Otóż, to właśnie tylko otrzymujemy. Zadanie dotyczyło zapewne czasu ześlizgu słonia, a uzyskana odpowiedź będzie wskazaniem na tarczy sekundowej naszego zegara.

Triumf nauki ścisłej we wspomnianem zadaniu polegał na ustaleniu związku liczbowego pomiędzy wskazaniem strzałki wagi w jednym eksperymencie, a wskazaniem zegara w drugim. Badanie krytyczne innych zagadnień fizyki prowadzi do wniosku, że sytuacja ta jest typowa. Całość przedmiotu nauk ścisłych składa się ze wskazań przyrządów i podobnych danych. Nie możemy tu wchodzić w określenie tego, co nazywamy podobnemi danemi. Obserwacja przybliżonej koincydencji wskazówki z pewną podziałką skali może być uogólniona tak, aby objąć obserwację dowolnej koincydencji — lub, jak się to wyraża w języku ogólnej teorji względności, obserwację dowolnego przecięcia się linij świata. Istotna jest rzecz następująca: jakkolwiek wydaje się nam, że posiadamy bardzo określone wyobrażenia o przedmiotach świata zewnętrznego, wyobrażenia te nie wchodzą do nauk ścisłych. Zanim nauka ścisła może się zabrać do zagadnienia, przedmioty, które w niem występują, należy zastąpić przez wielkości, przedstawiające wyniki pomiarów fizycznych.

Postawicie, być może, zarzut, że jakkolwiek do faktycznych rachunków wchodzą jedynie wskazania strzałek, to zadanie stałoby się niedorzeczne, gdybyśmy skreślili z niego wszystko inne. Zagadnienie z konieczności implikuje jakieś jednoczące tło. Przecie to nie wskazanie wagi ześlizgiwało się z pagórka! A jednak z punktu widzenia nauki ścisłej, to, co naprawdę się ześlizgiwało z pagórka, może być opisane jedynie, jako wiązka wskazań przyrządów. (Nie za-

pominajmy, że pagórek zastąpiliśmy również przez wskazania przyrządów, i że owo ześlizgiwanie się nie jest już jakąś przygodą, lecz związkiem funkcyjnym pomiędzy pomiarami przestrzeni i czasu). Wyraz „słoń“ wywołuje w nas pewne skojarzenia wrażeń psychicznych, ale te wrażenia same przez się nie mogą być przedmiotem zagadnienia fizycznego. Mamy, naprzykład wrażenie tuszy, które zapewne posiada jakiś bezpośredni odpowiednik w świecie zewnętrznym: lecz odpowiednik ten znajduje się prawdopodobnie poza zakresem naszego poznania i nauka nic z nim począć nie może. Tusza wchodzi do nauki ścisłej w inny jednak sposób, zastępujemy ją przez szereg wskazań cyrkla kulistego. Podobnie czarnoszary wygląd, który należy do naszych wrażeń, ustępuje w nauce ścisłej miejsca wskazaniom fotometru do różnych długości fali. Tak idzie to dalej, dopóki wszystkie cechy słonia nie zostaną wyczerpane i dopóki nie sprowadzimy go do tabeli pomiarów. Zawsze zachodzi ta sama potrójna odpowiedniość:

a) wyobrażenie, które znajduje się w naszym umyśle, a nie w świecie zewnętrznym,

b) pewien odpowiednik w świecie zewnętrznym, którego istota jest niepoznawalna,

c) zespół wskazań przyrządów, które nauka ścisła może badać i wiązać z innemi wskazaniami przyrządów.

Mamy zatem tabelę wskazań strzałek, która jest gotowa do ześlizgiwania się. A jeżeli w dalszym ciągu sądzicie, że podstawienie to pozbawiło zadanie całej jego rzeczywistości, to cieszę się, że macie już przedsmak trudności, które oczekują zwolenników poglądu, że wiedza ścisła wystarcza całkowicie do opisu wszechświata i że nie istnieje nic w naszem doświadczeniu, czegoby nie można wciągnąć do jej zakresu.

Pragnąłbym wyjaśnić, że ograniczenie zakresu fizyki do wskazań przyrządów i rzeczy podobnych nie jest jakimś moim osobistym kaprysem filozoficznym, ale zasadniczo ogólnie przyjętą doktryną naukową. Jest to wynik tendencji, którą można odnieść do początków ubiegłego stulecia, ale która została wyraźnie sformułowana dopiero z nastaniem

teorji względności. Słownik fizyka zawiera wiele wyrazów takich, jak długość, kąt, szybkość, siła, potencjał, natężenie prądu i t. d.: nazywamy je „wielkościami fizycznemi". Uświadomiono sobie obecnie, że jest rzeczą istotną, by je *określać* zgodnie ze sposobem, w jaki je faktycznie rozpoznajemy przy konfrontacji, a nie według jakiegoś znaczenia metafizycznego, któreśmy z niemi jakoś poprzednio wiązali. W starych podręcznikach określano masę, jako „ilość materji"; gdy przyszło jednak do faktycznego wyznaczenia masy, posiłkowano się metodą doświadczalną, pozbawioną związku z tą definicją. Wiara, że wielkość wyznaczona przez zwykłą procedurę eksperymentalną wyrażała ilość materji w ciele, była tylko pobożnem przekonaniem. W chwili obecnej nie uznajemy żadnego sensu w zdaniu, że ilość materji w kilogramie ołowiu równa się ilości materji w kilogramie cukru. Teorja Einsteina radykalnie likwiduje takie wierzenia i kładzie nacisk na to, że każda wielkość fizyczna powinna być określana, jako wynik pewnych czynności pomiarowych i pewnych rachunków. Jeżeli się wam podoba, możecie sobie wyobrażać. że masa jest czemś niepoznawalnem w swej istocie, powiązanem w jakiś zasadniczy sposób ze wskazaniami pewnych strzałek. Lecz, w fizyce przynajmniej, nic nie można osiągnąć przy pomocy takiej mistyfikacji, ponieważ fizyka operuje wyłącznie samemi wskazaniami strzałek. A jeżeli zwiążecie to wskazanie z czemś, czego istota jest bardziej transcendentalna, to nabawicie się tylko dodatkowego kłopotu: będziecie musieli to wskazanie zpowrotem odłączyć.

Należy przyznać, że gdy powiadamy, iż masa wynosi dwie tonny, to nie mamy na myśli wskazania jakiejś specjalnej wagi, na której pomiar wykonano. Pochodzi to stąd, że nie zaczynamy badać eskapady naszego słonia od samego początku, tak jakgdyby to było pierwsze nasze badanie zjawisk świata zewnętrznego. Egzaminator musiałby sformułować swe zadanie znacznie dokładniej, gdyby nie zakładał pewnej ogólnej znajomości elementarnych praw fizyki, to jest tych praw, które pozwalają nam wyprowadzić wska-

zania jednych przyrządów ze wskazań innych. *Właśnie to powiązanie wskazań przyrządów, wyrażone przez prawa fizyczne, stanowi trwałe podłoże dla dowolnego zagadnienia narzuconego nam przez rzeczywistość.*

Do warunków zagadnienia jawnie należy to, że przy ważeniu i przy ześlizgiwaniu się powinien występować jeden i ten sam słoń. Jakże można wyrazić tę tożsamość, jeżeli używamy do opisu świata wyłącznie wskazań przyrządów? Dwa wskazania mogą być *równe*, ale pytanie, czy są *identyczne*, jest bezsensowne. Jeżeli słoń jest wiązką wskazań strzałek, to jakże możemy pytać, czy jest on ciągle *tą samą* wiązką? Egzaminator nie wtajemnicza nas w to, w jaki sposób zapewniono tożsamość słonia; mamy tylko jego osobiste zapewnienie, że nie dokonano żadnej zamiany. Być może zwierzę reagowało na brzmienie swego imienia w obu przypadkach; jeżeli tak, to ta próba tożsamości jawnie znajduje się już poza zakresem obecnej fizyki. Jedyne kryterjum, które bez zastrzeżeń należy do zakresu fizyki, to kryterjum ciągłości: należy obserwować słonia przez cały czas jego wędrówki od wagi do pagórka. Nie zapominajmy, że słoń jest rurą w świecie czterowymiarowym, oddzieloną od reszty czasoprzestrzeni mniej lub więcej ostrą granicą. Obserwator korzystał z siatkówki swego oka jako przyrządu i często odczytywał zarys obrazu; upewniło go to, że prześledził pewną ciągłą i odosobnioną rurę w świecie od początku do końca. Jeżeli w obserwacji zachodziły przerwy, to narażał się na niebezpieczeństwo zamiany słonia, a zatem na to, że zaobserwowany czas ześlizgu nie będzie zgadzał się z wyliczonym *. Podkreślam, że nie wnioskujemy, że zachodzi jakaś tożsamość zawartości izolowanej rury wzdłuż całej jej długości; tożsamość taka byłaby w fizyce pozbawiona sensu. Zamiast tego używamy prawa zachowania masy (albo jako prawa doświadczalnego, albo jako prawa wyprowadzonego

* Dobrą ilustracją takiego podstawienia dają obserwacje astronomiczne pewnej gwiazdy podwójnej, posiadającej dwa składniki o jednakowej jasności. Po pewnej przerwie w obserwacji nieświadomie zamieniono oba składniki i zamiany tej nie odkryto, dopóki coraz rosnąca różnica pomiędzy orbitą rzeczywistą a obliczoną nie ujawniła tego faktu,

z prawa grawitacji. Zapewnia nam ono, w założeniu, że rura jest izolowana, iż wskazanie zawarte w naszej tablicy, a uzyskane przy pomocy wagi, będzie posiadało stałą wartość wzdłuż całej rury. Dla celów nauki ścisłej zastępujemy „ten sam przedmiot" przez „izolowaną rurę świata". Stałość pewnych własności słonia nie jest przyjęta jako oczywista konsekwencja jego *tożsamości,* lecz jest wnioskiem z praw teoretycznych i doświadczalnych o rurach czterowymiarowych, praw uważanych za mocno ugruntowane.

Granice wiedzy fizycznej. Ilekroć stwierdzamy własności jakiegoś ciała w terminach wielkości fizycznych, komunikujemy wiedzę, dotyczącą reakcji różnych przyrządów miernicznych na obecność tego ciała; *i nic pozatem.* Tem nie mniej wiedza tego rodzaju jest dość rozległa. Znajomość reakcji różnych przyrządów na obecność ciała określiłaby kompletnie jego stosunek do otoczenia; nieoznaczona pozostałaby jedynie jego niepoznawalna istota. W teorji względności uważamy to za całkowitą wiedzę o ciele, uważamy, że istota przedmiotu, o ile ją można ustalić zapomocą badania fizycznego, stanowi abstrakcję jego stosunku do wszystkich otaczających przedmiotów. Postępy teorji względności zawdzięczamy w znacznym stopniu wykształceniu potężnego narzędzia matematycznego, rachunku tensorów, który pozwala operować wygodnie nieskończonym układem wskazań. Termin techniczny *tensor,* tak często używany w książkach o teorji Einsteina, można przetłumaczyć jako *tablica wskazań przyrządów.* Stanowi to niewątpliwie jeden z estetycznych walorów matematycznej teorji względności, że matematyka jest tak ściśle przystosowana do pojęć fizycznych. Nie o wszystkich teorjach można to powiedzieć. Możemy naprzykład podziwiać triumf cierpliwości matematyka, który tak ściśle przepowiedział położenie Księżyca, ale pod względem estetycznym teorja Księżyca jest okropna. Jest oczywiste, że Księżyc z jednej, a matematyk z drugiej strony, używają różnych sposobów do znalezienia orbity księżycowej.

Przy pomocy tensorów fizyk matematyczny ściśle opisuje istotę swego przedmiotu, jako tablicę wskazań przyrządów. W ten sposób automatycznie usuwa nagromadzenie obrazów i pojęć, dla których niema miejsca w naukach fizycznych.

Fakt, że nasza wiedza o przedmiotach badanych w fizyce składa się wyłącznie ze wskazań strzałek i innych przyrządów, przekształca w sposób zasadniczy nasz pogląd na warunki wiedzy fizycznej. Do niedawna mniemano, że nasza wiedza o tworach świata zewnętrznego jest znacznie intymniejsza. Pozwolę sobie na ilustrację, która nas postawi przed samem jądrem wielkiego zagadnienia stosunku ducha do materji. Rozważmy żywy mózg ludzki, związany z myślącym duchem. Myśl jest jednym z niezaprzeczalnych faktów świata. Wiem, że myślę, i to z taką pewnością, której nie mógłbym przypisywać żadnemu faktowi z mojej wiedzy fizycznej o świecie. W bardziej hipotetyczny sposób, ale na podstawie wcale przekonywujących dowodów, jestem przekonany, że i wy posiadacie myślące mózgi. Jest to zatem fakt, który powinien być zbadany. Fizyk zbiera swe narzędzia i rozpoczyna systematyczne badanie. Ale odkrywa tylko zbiorowisko atomów, elektronów i pól sił, ułożonych w czasie i przestrzeni, napozór zupełnie podobnych do tych, które widzi w ciałach nieorganicznych. Może odkryć później inne cechy: energję, temperaturę, entropję — żadna z nich nie jest identyczna z myślą. Mógłby traktować myśl, jako złudzenie — jakąś opaczną interpretację wzajemnego oddziaływania odkrytych przez niego wielkości fizycznych. Ale jeżeli zrozumie, jakiem jest szaleństwem uważać za złudzenie najbardziej niewątpliwy fakt naszego doświadczenia, będzie musiał podjąć straszliwe zagadnienie: Jakże to zbiorowisko pospolitych atomów może być myślącą machiną? Lecz z jakiej to wiedzy o istocie atomu wynika niedorzeczność faktu, że mogłyby one utworzyć myślący przedmiot? W drugiej połowie ubiegłego stulecia fizycy sądzili, że wiedzą o czem mówią, używając takich wyrazów jak *materja* i *atom*. Atomy były malutkiemi kulkami bilardowemi; zdanie to miało informować o istocie atomu tak, jak nigdy nie

będziemy mogli być poinformowani o istocie świadomości, piękna czy humoru. Lecz dziś zdajemy sobie sprawę z tego, że nauka nic nie ma do powiedzenia o wewnętrznej istocie atomu. Atom fizyczny, jak wszystko w fizyce, jest tablicą wskazań strzałek. Zgadzamy się na to, że tablica ta jest związana z jakiemś nieznanem podłożem. Dlaczegóżby zatem nie wolno było związać jej z czemś, co posiada istotę duchową i czego zasadniczą cechą jest *myśl?* Czy nie wydaje się niemądrem, przywiązywać ją tylko do czegoś o t. zw. „konkretnym" charakterze, wyłączającym obecność myśli i dziwić się później, którędy się myśl dostała do zbiorowiska atomów? Zrezygnowaliśmy z wszelkich przewidywań, odnoszących się do podłoża wskazań naszych przyrządów i przeważnie nic nie możemy odkryć z jego istoty. Lecz w jednym przypadku — jeżeli idzie o wskazania przyrządów, dotyczące mego własnego mózgu — posiadam wgląd, który nie jest ograniczony do świadectwa wskazań. Wgląd ten wskazuje, że są one związane z podłożem świadomości. Mógłbym podejrzewać, że podłoże innych wskazań przyrządów w fizyce posiada istotę, związaną w sposób ciągły z tą, która mi się ujawniła w tym poszczególnym przypadku, lecz nie przypuszczam, by podłoże to posiadało którąś z bardziej szczegółowych cech naszej świadomości *. Lecz o ile idzie o ów jedyny przypadek bezpośredniego wglądu w podłoże, nie powstaje żadne zagadnienie sprzeczności: nie istnieje żadna inna wiedza o tem podłożu, z którą wypadałoby tę pierwszą uzgodnić.

W naukach ścisłych badamy powiązanie jednych wska-

* Naprzykład, większość z nas przyjęłaby zapewne (hipotetycznie), że cecha dynamiczna świata, o której mówiliśmy w rozdziale V, jest charakterystyczna dla całości podłoża. Rzecz jasna, nie można jej wykryć we wskazaniach przyrządów, a jedyny nasz wgląd w nią pochodzi z uczucia „rozwoju" w naszej świadomości. „Rozwój", podobnie jak myślenie, znany jest nam wyłącznie dzięki temu, że ma miejsce w naszej własnej duszy. Lecz byłoby niedorzecznem przypuszczenie, że myślenie rozciąga się również na nieograniczone zbiorowiska atomów, podczas gdy rozwój mógłby być (i jest pospolicie) uogólniony na świat nieorganiczny. W świetle tego przestaje być sprawą obojętną, czy świat nieorganiczny jest oglądany od przeszłości do przyszłości, czy też w kierunku przeciwnym.

zań strzałek z innemi. Różne wyrazy wiążą się z sobą w nieskończony cykl, a ta sama niepoznawalna istota przewija się przez całość. *Nic nie stoi na przeszkodzie temu, by zbiorowisko atomów, stanowiących mózg, stanowiło już samo przez się przedmiot myślący, dzięki posiadaniu cech, których fizyka nie oznacza i nie może oznaczyć.* Skoro już musimy umieścić naszą tablicę wskazań w jakiemś podłożu, to skorzystajmy przynajmniej z jedynej wskazówki o istocie tego podłoża, którą się nam udało uzyskać — wskazówki, że może się ono objawić jako działalność umysłowa.

Cykliczna metoda fizyki. Uczyniłem przed chwilą aluzję do nieskończonego cyklu; muszę ją teraz wyjaśnić. Wrócę znowu do prawa grawitacji Einsteina. Wyjaśniałem je już niejednokrotnie i mam nadzieję, że jakoś je na podstawie tych wyjaśnień rozumiecie. Tym razem pragnę je wyjaśnić tak dokładnie, że najprawdopodobniej przestaniecie je rozumieć zupełnie. Ale mniejsza o to. Nie szukamy już przecie nowego oświetlenia przyczyny grawitacji; interesuje nas w tej chwili, co byłoby potrzebne do naprawdę *zupełnego* wyjaśnienia czegokolwiek w fizyce.

Prawo Einsteina w swem sformułowaniu analitycznem stwierdza, że w przestrzeni próżnej pewne wielkości, zwane *potencjałami,* spełniają pewne łokciowe równania różniczkowe. Notujemy sobie wyraz „potencjał", który musimy później wytłumaczyć. Moglibyśmy sobie wyobrazić świat, w którym w każdem miejscu i chwili potencjały posiadają całkowicie dowolne wartości. Świat rzeczywisty nie jest tak swobodny, gdyż jego potencjały mogą przybierać tylko wartości, spełniające równania Einsteina. Następna zkolei sprawa to istota potencjałów. Można je określić jako wielkości, uzyskane przez zupełnie proste rachunki matematyczne z pewnych wielkości podstawowych, zwanych *interwałami.* (Na marginesie: wyjaśnić pojęcie interwału). Jeżeli znamy wartości różnych interwałów na obszarze całego świata, to można na podstawie określonych prawideł wyprowadzić

z nich wartości potencjałów. Cóż to są interwały? Są to relacje pomiędzy parami zjawisk, mierzone przy pomocy *sztaby miernicze*j albo *zegara,* albo też obu jednocześnie. (Na marginesie: wyjaśnić terminy „sztaba miernicza“ i „zegar“). Istnieją przepisy, dotyczące dokładnego użycia sztaby i zegara, tak że interwał można otrzymać zapomocą przepisanej kombinacji ich wskazań. Cóż to są sztaby i zegary? Sztaba jest cechowanym paskiem materji, który... (Na marginesie: wyjaśnić pojęcie materji). Po dojrzałym namyśle postanowiłem pozostawić resztę tego opisu, jako „ćwiczenie dla czytelnika“, gdyż zbyt wiele czasu zajęłoby wyliczanie wszystkich własności i subtelności zachowania się wzorców materjalnych, które fizyk uznałby za doskonałą sztabę i doskonały zegar. Przechodzimy zatem do następnego pytania: co to jest materja? Wygnaliśmy metafizyczną koncepcję substancji. Moglibyśmy tu może opisać atomistyczną i elektryczną strukturę materji, ale prowadzi to do mikroskopowego oblicza świata, podczas gdy zajmuje nas tu stanowisko makroskopowe. Ograniczamy się do mechaniki, na której terenie powstaje prawo grawitacji. Będziemy mogli tu określić materję, jako wcielenie trzech pokrewnych wielkości fizycznych: *masy* (lub energji), *pędu* i *naprężenia.* Co to jest „masa“, „pęd“ i „naprężenie“? Teorja Eisteina daje ścisłą odpowiedź na to pytanie i jest to właśnie jeden z jej największych sukcesów. Okazuje się, że są to przerażające wyrażenia matematyczne, zawierające *potencjały* oraz ich pierwsze i drugie pochodne względem spółrzędnych. A co to są potencjały? Ach, przecie to właśnie wam wyjaśniłem!

Określenia fizyki są zbudowane według metody unieśmiertelnionej w znanej piosence ludowej o miłym Romciu:

Skąd potencjał, miły Romciu,
Miły Romciu, miły Romciu?
Z interwału...
Skąd interwał? miły Romciu,...
Zmierz go sztabą...
Skąd wziąć sztabę? miły Romciu
A z materji...

Gdzie materja? miły Romciu,
Tam gdzie siła...
Skąd wziąć siłę? miły Romciu
Z potencjału...
Skąd potencjał? miły Romciu i t. d.

Lecz mogło się stać tak, że przerwaliście moje wyjaśnienie już wcześniej. Gdyśmy doszli do *materji* moglibyście mieć już dość. „Proszę nie wyjaśniać dalej, wiem przypadkowo, co to jest materja". Dobrze zatem, pan X wie, co to

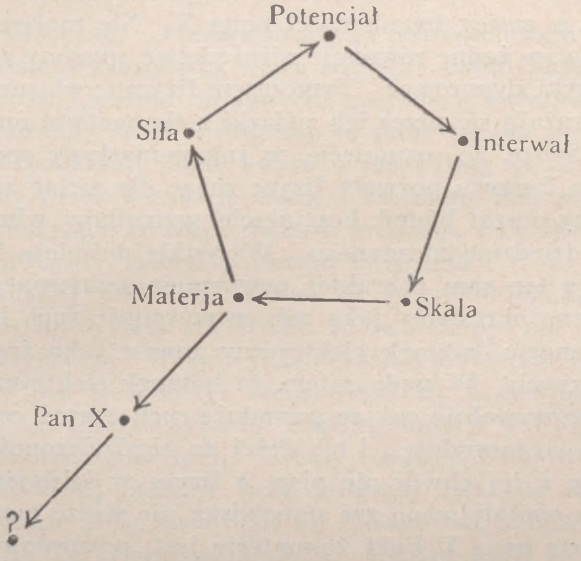


Fig. 8.

jest materja. Zobaczymy, jak to pójdzie. Potencjał określiliśmy przez odstęp, odstęp był mierzony przy pomocy sztaby, sztaba była wykonana z materji..., którą pan X zna. Trafiamy zkolei na pytanie, czem jest pan X?

Otóż tak się dzieje, że się fizyka zupełnie nie troszczy o to, czem jest pan X. Nie ma ona żadnej ochoty przyznać, że skomplikowana struktura świata fizycznego wiąże się jakoś z panem X. Traktuje ona pana X — a w szczególności

tę jego cząstkę, którą nazywamy *świadomością* — jako nieco niewygodnego lokatora, który w pewnem, późnem zresztą stadjum historji świata, zamieszkał w budowli, wzniesionej przez Naturę na drodze powolnego procesu ewolucyjnego. Zbacza zatem z drogi, która prowadzi do pana X — i jeszcze dalej — i zamyka swój cykl, pozostawiając pana X za drzwiami.

Ze swego punktu widzenia fizyka jest całkowicie usprawiedliwiona. Dla teoretycznego schematu fizyki jest faktem zgoła bezużytecznym, że materja w jakiś pośredni sposób wchodzi w zasięg świadomości pana X. Nie możemy tego faktu ująć w żadne równanie różniczkowe, musimy go w ramach fizyki zignorować. Tymczasem fizyczne własności materji wyrażają się przez ich związki z elementami opisanego cyklu. Sądzę, że rozumiecie, w jak pomysłowy sposób ta cykliczna budowa pozwala fizyce zająć dla siebie samowystarczalny obszar badań, bez jakichś wyrostków, wkraczających w dziedzinę nieznanego. Wszystkie definicje fizyczne wykazują ten sam charakter powiązania wzajemnego. Siłę elektryczną określamy jako coś, co powoduje ruch ładunku elektrycznego; ładunek elektryczny znowu jako źródło sił elektrycznych. Wypada zatem, że ładunek elektryczny jest czemś, co wywołuje coś, co powoduje ruch czegoś, co wywołuje coś, co powoduje... i tak dalej do nieskończoności.

Lecz w tej chwili nie piszę o fizyce w ściślejszym zakresie; z ogólniejszego zaś stanowiska nie widzę możliwości pominięcia pana X. Fakt, że materja jest „poznawalna przez pana X“ należy zaliczyć do podstawowych atrybutów materji. Nie chcę powiedzieć, by była to jakaś cecha charakterystyczna, gdyż inne twory fizyczne są również poznawalne przez pana X. Lecz przysługująca potencjalnie całemu światu fizycznemu zdolność do wywoływania wrażeń w świadomości jest cechą, której nie możemy zlekceważyć, skoro porównywamy rzeczywisty świat z światami, których *możliwość* stworzenia sobie wyobrażamy. Wydaje się jednak, że przeważa naogół skłonność do pomniejszania tego faktu. Pospolite stanowisko uważa „poznawalność przez pana X“ za

błahy atrybut, ponieważ traktuje zapewne pana X jako tak zdolnego, że może poznać wszystko, cokolwiek możnaby tylko wiedzieć. Wysuwałem już wcześniej punkt widzenia przeciwny — że umysł ludzki rozwija określoną selektywną działalność, a ponieważ fizyka traktuje o tem, co jest poznawalne przez umysł *, zatem przedmiot jej musiał przejść ten proces wyboru, który zresztą pozostawił na nim wyraźne ślady.

Świat faktyczny. „Poznawalność za pośrednictwem umysłu" jest pozatem własnością, która odróżnia świat faktyczny naszego doświadczenia od innych, urojonych światów, w których możnaby sobie wyobrazić te same ogólne prawa Natury. Wyobraźmy sobie świat — nazwijmy go Utopją — rządzony przez wszystkie znane i nieznane nam prawa Natury, władające również naszym światem, lecz zawierający lepsze gwiazdy, planety, miasta, zwierzęta i t. d. — świat, który mógłby doskonale istnieć, ale przypadkiem nie istnieje. Jakże może fizyk stwierdzić, że owa Utopja nie jest światem faktycznym? Weźmy jakąś cząstkę materji w tym świecie; nie jest to materja rzeczywista, ale przyciąga jednak każdą inną (nierzeczywistą) cząstkę materji w Utopji zgodnie z prawem grawitacji. Sztaby i zegary, zbudowane z tej nierzeczywistej materji, będą mierzyły fałszywe interwały, ale fizyk nie może stwierdzić tej fałszywości, zanim nie udowodni nierzeczywistości materji. Utopja musi się zawalić z chwilą, gdy o jakimś jej elemencie udowodnimy, że jest nierzeczywisty. Lecz dopóki kierujemy się wyłącznie ową budową cykliczną, nie możemy znaleźć słabego punktu, albowiem każdy element jest poprawnie powiązany z resztą cyklu, skoro w Utopji rządzą na mocy naszego założenia te same prawa, co w naszej Naturze. Urojone gwiazdy wysyłają urojone światło, które trafia urojone siatkówki i osta-

* Jest to jawnie prawdziwe w stosunku do fizyki doświadczalnej, ale musi być również prawdziwe w stosunku do teoretycznej, skoro opiera się ona (jak to przynajmniej twierdzi) na doświadczeniu.

tecznie dosięga urojonych mózgów. Ale następny krok unosi już światło poza granice cyklu i pozwala zatem wykryć całe złudzenie. Czy wywołane przez nie zakłócenie mózgu przechodzi do jakiejś świadomości? Oto próba tego, czy mózg jest rzeczywisty, czy urojony. Nie można już dalej zadawać pytania, czy świadomość jest czy nie jest rzeczywista: świadomość jest wyłącznie samopoznawalna i przymiotnik „rzeczywisty" nie może się do niej stosować. Z nieskończonego zbioru światów, stanowiących przykłady tego, co jest możliwe przy danych prawach Natury, jeden się wyróżnia tem, że można o nim powiedzieć więcej niż to tylko, iż spełnia prawa Natury. Tę właśnie cechę, której oczywiście nie można odnieść do żadnego z praw Natury, nazywamy właśnie „faktycznością świata" — używając naogół tego wyrazu jako pewnej aureoli o nieokreślonym sensie. Widzieliśmy, że dążeniem fizyki współczesnej jest zarzucenie tych nieokreślonych atrybutów i zastąpienie ich wyrazami, których definicja jest przystosowana do sposobu, w jaki poznajemy własności świata, gdy się z niemi stykamy. Poznajemy faktyczność pewnego szczególnego świata dlatego, że on to wyłącznie oddziaływa na naszą świadomość. Fizyk teoretyczny zapewne bardzo niechętnie odwołuje się do świadomości, ale doświadczalnie korzysta obficie z tego kamienia probierczego faktyczności. Wolałby pewnie wierzyć, że faktyczność jego przyrządów i obserwacyj jest zapewniona przez jego materjalne narządy zmysłowe; jednakże ostatecznym poręczycielem jest dusza, która poznaje wskazania narządów. Każdy z nas jest uzbrojony w ten kamień probierczy faktyczności i przez jego stosowanie stwierdza, że ten smutny nasz świat jest faktyczny, a Utopja jest marzeniem. Ponieważ nasze indywidualne świadomości są różne, więc różne są również kamienie probiercze; lecz na szczęście ich wskazania co do faktyczności zgadzają się pomiędzy sobą — przynajmniej te świadomości, które się z sobą zgadzają, stanowią wystarczającą większość, aby zamknąć przeciwników w szpitalach dla obłąkanych.

Jest rzeczą naturalną, że fizyka teoretyczna przy formu-

łowaniu swego ogólnego schematu praw Natury nie zajmuje się ani sprawą faktyczności ani jej poręczycielem. Właśnie dzięki temu pominięciu można odróżnić prawo Natury od jakiegoś konkretnego następstwa zjawisk. To, co jest możliwe (lub też „niezbyt prawdopodobne"), należy do zakresu nauk przyrodniczych; to, co się faktycznie dzieje — do zakresu historji naturalnej. Zbyteczne chyba będzie dodawać, że w naukach przyrodniczych osiągamy znacznie lepsze zrozumienie zakresu faktycznego, właśnie dlatego, że rozważamy obszerniejszy zakres niż faktyczny.

Jeżeli chcemy ogarnąć świat ze stanowiska rozleglejszego, a nietylko skonstruować schemat praw fizycznych, to nie możemy traktować powiązania świata z duszą, jako zwykłego incydentu w samodzielnym świecie nieorganicznym. Gdy powiadam, że rozróżnienie świata faktycznego i urojonego jest możliwe tylko przez odniesienie się do duszy, nie chcę twierdzić, że wszechświat bez świadomych istot miałby tyle racji bytu, co Utopja. Ale nie możnaby mu wtedy przypisywać żadnej faktyczności, skoro jedyna droga do definicji tego pojęcia byłaby odcięta. Z faktycznością Natury jest podobnie, jak z jej pięknem. Trudnoby twierdzić, że piękno jakiegoś krajobrazu nie istnieje, gdy nie obserwuje go żadna istota, obdarzona świadomością; lecz z drugiej strony możemy przypisać temu pięknu jakiś sens wyłącznie za pośrednictwem świadomości. Podobnie z faktycznością świata: jeżeli „faktyczny" znaczy „poznany przez duszę", to „faktyczność" stanowi wtedy wyłącznie subjektywną cechę świata; ażeby ją uczynić objektywną, musimy powiedzieć: „poznawalna za pośrednictwem duszy". Im mniejszy kładziemy nacisk na przypadkowość, która cechuje poznanie różnych części świata w chwili obecnej przez poszczególne świadomości, tem większy musimy położyć na *potencjalną* poznawalność za pośrednictwem świadomości, jako na podstawową, objektywną własność materji. Nadaje ona materji tę cechę faktyczności, niezależnie od tego, czy jakaś indywidualna świadomość postrzega ją, czy też nie.

Na rysunku powiązaliśmy pana X z cyklem w pewnym

poszczególnym punkcie, uwzględniając jego domniemaną znajomość materji. Lecz chwila zastanowienia wystarczy, by się przekonać, że punkt tego zetknięcia z światem fizycznym nie jest bardzo ściśle określony. Pan X zna pewien stół; lecz punkt styczności stołu z jego świadomością nie znajduje się w materjale stołu. Od stołu biegną do oka fale świetlne; w siatkówce zachodzą zmiany chemiczne; w nerwach optycznych zachodzą jakieś przebiegi, w mózgu następują procesy atomowe. Nie jest bynajmniej jasne, w którem miejscu zachodzi ostateczny przeskok do świadomości. Nie znamy w świecie fizycznym ostatniej stacji tego procesu, zanim stał się on przeżyciem w świadomości. Zresztą nie jest to ważne. Twory fizyczne są powiązane cyklicznie i jakąkolwiek przypiszemy jednemu z nich naturę wewnętrzną, będzie się ona przewijała przez cały cykl jako jego podłoże. Nie o to idzie, czy materja, czy elektryczność, czy też potencjał stanowią bezpośredni bodziec dla duszy: oblicze ich fizyczne zawsze pozostaje wskazaniem przyrządu albo też zespołem takich wskazań. Zgodnie z naszemi rozważaniami o budowie świata, stanowią one miary struktury, powstające z porównywalności pewnych cech podstawowych relacyj; lecz miary te bynajmniej nie wyczerpują całej treści tych relacyj. Nie sądzę, by oddziaływanie materji na pewne miejsca mózgu wywoływało działalność duszy; uważam raczej naodwrót, że to oddziaływanie materji jest opisem metrycznym pewnej strony działalności duszy. Owo oddziaływanie materji jest drogą, na której poznajemy pewne kombinacje miar struktury. Działalność duszy jest wglądem naszym w kompleks relacyj, których porównywalność jest podstawą tych miar.

„Czem jest pan X?“ W świetle tych rozważań podejmijmy ponownie zagadnienie: „czem jest pan X?“ Muszę badanie to rozpocząć sam jeden; nie mogę bowiem korzystać z Twojej współpracy, zanim nie odpowiem lub nie przyjmę jakiejś odpowiedzi na równie trudne pytanie: „czem jesteś

Ty?“ Wobec tego całe badanie musi się odbyć w dziedzinie mojej własnej świadomości. Znajduję w niej pewne dane, odnoszące się do tego nieznanego pana X i jestem w mocy (przez zastosowanie sił, odpowiadających memu chceniu) rozszerzyć te dane, to znaczy wykonywać doświadczenia na panu X. Mogę naprzykład dokonać analizy chemicznej. Bezpośrednim skutkiem tych doświadczeń jest pojawienie się w mojej świadomości pewnych wrażeń wzrokowych i węchowych. Rzecz jasna, że od tych wrażeń do jakichś racjonalnych wniosków o panu X droga jest bardzo długa. Dowiadujemy się naprzykład, że pan X posiada węgiel w swym mózgu, podczas gdy *bezpośrednie* poznanie odnosiło się do czegoś (nie do węgla) w mej własnej duszy. Istnieje systematyczny łańcuch wnioskowań, biegnący od jednego obszaru wiedzy do drugiego, i łańcuch ten pozwala mi coś twierdzić o czemś wewnętrznem, na podstawie tego, że coś zauważam we własnej duszy. Nie mówimy tu o wnioskowaniu instynktownem, czy kierowanem zdrowym rozsądkiem. Jeżeli idzie o wnioskowanie naukowe, — którego tamto jest prymitywnym poprzednikiem — to może ono przebiegać jedynie w świecie symbolicznym, od punktu, w którym umieszczam siebie, do punktu, w którym znajduje się pan X.

Jedną z cech tego wnioskowania jest, że nie doprowadzi ono nigdy do prawdziwej istoty węgla. Pozostanie on symbolem. Istnieje węgiel w moim własnym mózgu; lecz moja samowiedza nie ujawnia mi tego. O tem, że w moim mózgu może być umieszczony symbol węgla, dowiaduję się tylko na okólnej drodze wnioskowania poprzez świat zewnętrzny, podobnej do tej, na której wykryliśmy istnienie węgla w panu X. Choćby nie wiem jak ściśle był ten węgiel powiązany z memi władzami umysłowemi, poznaję go wyłącznie jako symbol, odłączony całkowicie od wszelkiej zdolności do myślenia. Węgiel to symbol, który można określić tylko w terminach innych symbolów, należących do cyklicznego schematu fizyki. Odkrycie, którego dokonałem, sprowadza się do tego, że muszę umieścić symbol węgla (obok wielu innych) tam, gdzie się znajduje pan X, jeżeli symbole opi-

sujące świat zewnętrzny mają spełniać wzory matematyczne, w związku z któremi je stworzono. W podobny sposób mogę dokonać wyczerpującego badania fizycznego pana X i odkryć cały zespół symbolów, które należy powiązać z miejscem, w którem się on znajduje.

Czy ten zespół symbolów da mi *całość* pana X? Niema najmniejszego powodu, by tak przypuszczać. Głos, który do nas przychodzi poprzez drut telefoniczny, nie daje nam całości tego, co znajduje się na końcu drutu. Powiązanie naukowe jest jak drut telefoniczny: może przekazać jedynie to, do czego przekazania zostało skonstruowane; i nic więcej.

Widzicie, że linja, łącząca pana X ze mną, posiada dwa oblicza. Z jednej strony jest to łańcuch inferencyjny, ciągnący się od symbolów, bezpośrednio powiązanych z wrażeniami w moim mózgu, do symbolów, użytych do opisu pana X, Z drugiej — jest to łańcuch podniet w świecie zewnętrznym, wychodzący od pana X, a sięgający mego mózgu. Zasadniczo ogniwa inferencji przedstawiają dokładne odwrócenie ogniw procesu fizycznego, który nam przyniósł ową informację. (Rzecz jasna, że w rzeczywistości, przez zastosowanie nagromadzonego doświadczenia i wiedzy, skracamy sobie często owo wnioskowanie). Pospolicie liczymy się jedynie z drugiem obliczem owego łańcucha, z przebiegiem fizycznym. Lecz ponieważ jest on jednocześnie łańcuchem wnioskowań, podlega on ograniczeniom, którym dowolny przebieg fizyczny nie podlega.

System wnioskowania, zastosowany w badaniach fizycznych, sprowadza się do równań matematycznych, rządzących symbolami. Dopóki trzymamy się tego postępowania, musimy się ograniczyć do symbolów o charakterze arytmetycznym, przystosowanych do równań matematycznych.* Wobec tego nie istnieje żadna możliwość uzyskania na drodze badań fizycznych takiej wiedzy o panu X, któraby nie miała charakteru liczbowego, i nie mogła być przekazana za pośrednictwem szeregu równań matematycznych.

* Samotny wyjątek stanowi, jak sądzę, uogólnienie Diraca, który wprowadza liczby q (por. str. 195). Jak dotąd, nie widać jeszcze możliwości ogólnego systemu wnioskowania na podstawie niearytmetycznej.

Matematyka jest wzorem doskonałego wnioskowania, to też w fizyce pragniemy zastąpić wszelkie grubsze rozumowania przez rozumowania tego typu. Tam, gdzie nie potrafimy uzupełnić tego łańcucha matematycznego, wędrujemy w ciemnościach i nie możemy rościć pretensyj do prawdziwej wiedzy. Niema się zatem czemu dziwić, że nauka fizyczna rozwinęła koncepcję świata, składającego się z tworów ściśle powiązanych z sobą za pośrednictwem równań matematycznych, tworzących schemat deterministyczny. Cała wiedza fizyczna została w ten sposób wywnioskowana, musiała zatem przyjąć oblicze zgodne z matematycznym systemem wnioskowania. Determinizm praw fizycznych odzwierciedla poprostu determinizm metod wnioskowania. Ta bezduszność natury świata naukowego nie powinna trapić tych, którzy są przekonani, że istotna treść naszego otoczenia posiada raczej duchowy charakter. Ktokolwiek badał ogólne metody wnioskowania, stosowane przez fizyka, mógł przepowiedzieć ogólne cechy świata, który musiał się objawić fizyce. To czego nie mógłby przepowiedzieć — to olbrzymie powodzenie tej metody, której się udało umieścić tak znaczną część zjawisk Natury w ramach obranego zgóry schematu. Lecz — z całym szacunkiem dla postępów, które osiągniemy na podstawie tego schematu — kto twierdziłby, że schemat ten wyjaśnia wszystko, urągałby najoczywistszym faktom. Pan X jest jednym z takich faktów. Gdy fale głosowe sięgają jego ucha, porusza się on nie według jakiegoś równania matematycznego, wiążącego fizyczne cechy tych fal, lecz zgodnie z *treścią*, którą mu te fale dźwiękowe przynoszą. Jeżeli chcemy wykryć, co nakazuje panu X zachowywać się w tak dziwny sposób, musimy porzucić fizyczny system wnioskowania i wejrzeć w to, co się kryje poza symbolami. Tylko na tej drodze będziemy mogli ostatecznie uzyskać odpowiedź na pytanie: Czem jest pan X?

Rozdział XIII

RZECZYWISTOŚĆ

Rzeczywisty a konkretny. Któryś z naszych przodków, hasając w lesie po drzewach, skoczył tak niezręcznie, że nie chwycił ręką upatrzonej gałęzi, i dłoń jego zacisnęła się, nie objąwszy niczego. Wypadek ten mógł łatwo spowodować rozważania filozoficzne na temat różnicy pomiędzy substancją, a próżnią — żeby już nie komplikować sprawy zjawiskiem ciężkości. Tak czy inaczej, potomkowie jego aż po dziś dzień odczuwają nadzwyczajny szacunek dla substancji, szacunek, którego pochodzenie jest otoczone mrokiem tajemniczości. O ile idzie o nasze doświadczenie codzienne, substancja znajduje się w samym środku akcji, wyposażona w rozliczne atrybuty, jak kształt, barwa, twardość i t. d., oddziaływujące na nasze rozmaite zmysły. Poza nią znajduje się podległe jej tło przestrzeni i czasu, przeniknięte przez siły i niekonkretne czynniki, statystujące głównemu aktorowi.

Nasze wyobrażenie substancji jest tylko tak długo żywe, dopóki nie stajemy z niem oko w oko. Rozwiewa się, gdy je zaczynamy analizować. Możemy zrezygnować z pewnych przypisywanych jej cech, które jawnie okazują się rzutami naszych wrażeń zmysłowych na świat zewnętrzny. Naprzykład barwa, tak żywa w naszej świadomości, nie może być przypisana substancji, przy żadnej umotywowanej koncepcji substancji. W każdym razie nie stanowi ona składnika istotnej natury substancji. Domniemana jej istota jest zapewne tem, co próbujemy wywołać w naszej wyobraźni, gdy używamy wyrazu „konkretny", który jest być może objek-

tywizacją czucia dotyku. Gdy próbuję od owej gałęzi abstrahować wszystko prócz jej substancjalności, czy konkretności, i skupić wszystkie wysiłki na zrozumieniu tego, co pozostaje — wyobraźnia zawodzi mnie całkowicie. Lecz wysiłek ten pociąga za sobą jakieś instynktowne zaciśnięcie pięści; czy nie budzi to podejrzenia, że moje wyobrażenie substancji niebardzo się różni od wyobrażenia moich dzikich przodków?

Substancja tak władnie stała na straży swego naczelnego stanowiska na scenie doświadczenia, iż w pospolitym języku wyrazy *konkretny* i *realny* są niemal synonimami. Każcie człowiekowi, który nie jest filozofem albo mistykiem, aby wymienił coś typowo rzeczywistego: z pewnością wybierze coś konkretnego. Zapytajcie go, czy czas jest rzeczywisty: zdecyduje się wtedy zapewne z niejakiem wahaniem, że należy go uważać za rzeczywisty; ale będzie miał wewnętrzne uczucie, że pytanie to jest jakoś niewłaściwe i że badano go niecałkiem lojalnie.

W świecie nauki ścisłej pojęcie substancji nie występuje zupełnie, a ten twór, który stosunkowo najbliżej jej odpowiada, ładunek elektryczny, nie odgrywa bynajmniej roli solisty w orkiestrze innych tworów fizycznych. Z tego powodu świat naukowy uderza nas często swą nierzeczywistością, niczem nie zaspokaja naszego pragnienia konkretności. Lecz jakże mógłby je zaspokoić, skoro nie potrafimy nawet sformułować tego pragnienia? Próbowałem to uczynić: lecz jedynym wynikiem, który uzyskałem, było zaciśnięcie pięści. Nauka nie zaniedbuje bynajmniej wyjaśnienia wrażeń mięśniowych i dotykowych. Oddalając nas od pojęcia konkretności, nauka wskazuje nam, że kontakt nasz z rzeczywistością jest bardziej różnorodny, niż to się mogło wydawać owej małpiej istocie, dla której gałęź, na której się uwiesiła, była początkiem i końcem rzeczywistości.

Lecz zajmuje nas tu nietylko świat. Zgodnie z poprzednim rozdziałem, stajemy na szerszem stanowisku, które prócz cyklicznego schematu fizyki obejmuje jeszcze wiele innych rzeczy. Lecz zanim się zapuścimy na ten bardziej ryzykowny

teren, chciałbym zaakcentować pewien wniosek, który jest bezwątpienia naukowy: współczesne teorje naukowe zerwały z pospolitym punktem widzenia, który utożsamiał rzeczywistość z konkretnością. Sądzę, że możemy iść aż tak daleko, by powiedzieć, że czas jest bardziej typowym przykładem rzeczywistości fizycznej niż materja, gdyż nie jest tak jak ona obarczony metafizycznemi skojarzeniami, z któremi się fizyka nie godzi. Nie byłoby lojalne chwytać całą rękę, gdy nam dają palec, i twierdzić, że skoro fizyka zaszła już tak daleko, to powinna uznać wogóle, że rzeczywistość jest duchowa. Musimy być ostrożniejsi. Ale teraz, przy zabieraniu się do podobnych spraw, nie będziemy się pozwalali unieść poglądowi, że wszystko co nie jest konkretne, należy już przez to samo odrzucić.

Przepaść pomiędzy naukową a nienaukową dziedziną doświadczenia nie jest, jak sądzę, przepaścią pomiędzy konkretnem a transcendentalnem, lecz pomiędzy metrycznem a niemetrycznem. Zgadzam się z materjalistami, którzy odczuwają niechęć w stosunku do pseudo-nauki na pozanaukowym terenie. Nie należy oskarżać nauki o ciasnotę, gdy nie chce się zajmować temi obszarami doświadczenia, które nie odpowiadają jej własnym, wysoko rozwiniętym metodom badania. Nie wolno jej też ganić za to, że spogląda zgóry na stosunkowo wysoką dezorganizację naszej wiedzy i metod rozumowania w niemetrycznej dziedzinie doświadczenia. Lecz sądzę, że nie zbłądziliśmy na teren owej pseudonauki, gdy w dwóch ostatnich rozdziałach próbowaliśmy okazać, jak się to stało, że z całej dziedziny doświadczenia tylko pewna wybrana część nadaje się do owego ścisłego metrycznego ujęcia, które jest niezbędne przy stosowaniu metody naukowej.

Materjał duchowy. Postaram się określić możliwie dokładnie ten przebłysk rzeczywistości, który się nam udało uchwycić, jakkolwiek zdaję sobie doskonale sprawę z tego, że nieraz jeszcze zbłądzę przy przejściu do szczegółów. Nawet

jeżeli przyjęty przez nas pogląd na kierunek filozoficzny obecnej fizyki jest słuszny, byłoby przedwczesne podsuwać tu jakiś wykończony schemat istoty rzeczy. Jeżeli ktoś zarzuci mi, że poruszam tu pewne sprawy, które wkraczają na teren doświadczonego psychologa, muszę uznać słuszność zarzutu. Najnowsze tendencje nauk ścisłych, jak sądzę, zaprowadziły nas na wyżynę, z której możemy spojrzeć w głębokie wody filozofji. Jeżeli się zbyt może śmiało w nie zanurzam, to nie dlatego, bym ufał swej sztuce pływania, lecz żeby pokazać, że woda jest naprawdę głęboka.

Postawmy sprawę stanowczo — materjał świata jest materjałem duchowym. Jak to często bywa przy stanowczych oświadczeniach, muszę wyjaśnić, że przez „ducha“ nie rozumiem tu dokładnie ducha, a przez „materjał“ nie rozumiem bynajmniej materjału. Pomimo to jest to możliwie najdokładniejsze oddanie mej myśli w prostem zdaniu. Materjał duchowy świata jest oczywiście czemś ogólniejszem, niż nasze indywidualne, świadome dusze. Lecz możemy sobie wyobrażać jego istotę jako coś, nie różniącego się zasadniczo od przeżyć naszej świadomości. Realistyczna materja i pola sił dawnych teoryj fizycznych z materjałem duchowym nie wiążą się zupełnie — chyba tylko o tyle, że są snutemi przezeń fantazjami. Symboliczna materja i symboliczne pola sił fizyki współczesnej już są mu bliższe, ale wiążą się z nim tak, jak owo sprawozdanie kwestora z działalnością uniwersytetu. Jeżeli to uznać, to działalność duchowa tej części świata, którą sami stanowimy, przestaje nas dziwić. Znamy ją dzięki bezpośredniej samowiedzy, i nie odczuwamy potrzeby wyjaśnienia jej przez sprowadzenie do czegoś innego. niż to, jako co ją znamy — lub raczej, niż to, jako co zna ona siebie. Wytłumaczyć należy właśnie fizyczne oblicze świata, w jakiś sposób podobny zapewne do tego, który wyłożyliśmy przy rozważaniach o budowie świata. Nasze ciała są bardziej tajemnicze niż nasze dusze — przynajmniej byłyby bardziej tajemnicze, gdybyśmy nie odsunęli tej tajemnicy przy pomocy fortelu, polegającego na cyklicznej budowie fizyki. Fortel ten pozwala nam badać objawianie się ciał

przez zjawiska i odsuwa nas od bezpośredniego kontaktu z ukrytą poza niemi tajemnicą.

Materjał duchowy nie rozciąga się w przestrzeni i czasie. Przestrzeń i czas stanowią część cyklicznego schematu fizyki, który ostatecznie sprowadza się do materjału duchowego. Lecz musimy przyjąć, że materjał duchowy może być również zróżniczkowany na części w jakiś inny sposób niż przestrzenno-czasowy. Tylko gdzie niegdzie wznosi się on na poziom świadomości, i z tych wysepek pochodzi cała nasza wiedza. Poza bezpośrednią wiedzą, którą posiada każda świadoma jednostka, istnieje jeszcze wiedza wywnioskowywana. Taka jest właśnie nasza wiedza o świecie fizycznym. Jest rzeczą konieczną, byśmy pamiętali ciągle, że cała wiedza o naszem otoczeniu, z której zbudowano świat fizyki, wstąpiła do naszej świadomości w postaci sygnałów szyfrowanych, przekazywanych wzdłuż nerwów. Gdy przez nerwy nasze biegną sygnały, dotyczące stołu, przebiegi nerwowe w niczem nie przypominają ani owego zewnętrznego stołu, który wywołuje wrażenie, ani też wyobrażenia stołu, które powstaje w świadomości.* W centralnej stacji szyfrów sortuje się i odszyfrowuje nadchodzące sygnały, częściowo na drodze instynktownej budowy obrazów, odziedziczonej po doświadczeniu naszych przodków, a częściowo na drodze porównania i rozumowania naukowego. Przy pomocy tego bardzo pośredniego i hipotetycznego wnioskowania skonstruowano naszą domniemaną wiedzę o świecie i wszystkie nasze teorje o świecie zewnętrznym. Znamy świat zewnętrzny, ponieważ jego macki sięgają naszej świadomości; znamy jednak w rzeczywistości tylko te ich końce, które znajdują się po naszej stronie. Na podstawie znajomości tych końców musimy z większem lub mniejszem powodze-

* Mam tu na myśli podobieństwo pod względem natury wewnętrznej. Jest prawdą (jak to zauważył Bertrand Russell), że symboliczny opis struktury będzie jednakowy dla stołu w świecie zewnętrznym i dla wyobrażenia stołu w świadomości, jeżeli wyobrażenie to jest poprawne naukowo. Jeżeli fizyk nie pragnie przeniknąć wgłąb struktury, to jest rzeczą obojętną, o którym z dwóch stołów myśli w naszej dyskusji.

niem zrekonstruować resztę, tak jak paleontolog odbudowuje zaginione olbrzymy z odcisków ich stopy.

Materjał duchowy — to zbiorowisko relacyj i ich członów, tworzących materjał budowlany dla świata fizycznego. Nasz opis procesu budowy wykazuje jednakże, że wiele z tego materjału wyrzucamy, jako bezużyteczy przy budowie. Ten sam w zasadzie pogląd wypowiadał w roku 1875 W. K. Clifford:

„Następstwo uczuć, które stanowią świadomość pewnego człowieka, jest częścią rzeczywistości, którą inni ludzie postrzegają jako przebiegi jego mózgu."

To znaczy: co człowiek sam poznaje jako następstwo uczuć, stanowi pewną rzeczywistość, która badana za pośrednictwem przyrządów zewnętrznego obserwatora, w ten sposób wpływa na ich wskazania, że się ją poznaje jako konfigurację materji mózgu. Podobnie mówi Bertrand Russell: *

„To co fizjolog widzi, gdy bada mózg, znajduje się w tym fizjologu, a nie w badanym mózgu. Nie wiem, co się znajduje w mózgu martwym w chwili, gdy go fizjolog bada. Lecz dopóki jego właściciel był żywy, przynajmniej część jego zawartości składała się z jego postrzeżeń, myśli i uczuć. Skoro jego mózg składa się również z elektronów, jesteśmy zmuszeni wywnioskować, że elektron jest zespołem zdarzeń i że jeżeli elektron znajduje się w mózgu ludzkim, to jest rzeczą prawdopodobną, że pewne ze składających go zdarzeń, pokrywają się z pewnemi ze „stanów psychicznych" człowieka, do którego mózg należy. Lub też, w każdym razie jest rzeczą prawdopodobną, że stanowią one części takich „stanów psychicznych" — gdyż nie należy przyjmować, że część stanu psychicznego musi być stanem psychicznym. Nie pragnę tu wchodzić w dyskusję nad tem, co to jest „stan psychiczny"; istotne jest dla nas to, że nazwa ta obejmuje postrzeżenia. Zatem postrzeżenie jest zjawiskiem albo grupą zjawisk, z których każde należy do jednej lub kilku grup,

* Analysis of Matter, str. 320.

tworzących elektron w mózgu. Jest to, jak sądzę, najbardziej konkretne zdanie, które można wypowiedzieć o elektronach; każde inne jest mniej lub więcej abstrakcyjne i matematyczne".

Cytuję ten ustęp w pewnej mierze z powodu owej uwagi, że nie należy przyjmować, iż część stanu psychicznego musi być koniecznie znowu stanem psychicznym. Potrafimy bezwątpienia rozłożyć zawartość świadomości w ciągu krótkiego odstępu czasu na mniej lub więcej elementarne uczucia składowe. Lecz nie należy sądzić, że analiza ta odkryje elementy, z których miar są zbudowane atomy czy elektrony. Materja mózgu jest jednem z oblicz całości psychiki; lecz analiza fizyczna materji mózgu nie biegnie bynajmniej równolegle do analizy psychologicznej stanu psychicznego. Wydaje mi się, że Russell chciał nas ostrzec, że mówiąc o składnikach stanu psychicznego, nie ograniczał się do składników, które byłyby uznane za takie ze względów psychologicznych, i że uznawał bardziej abstrakcyjny sposób dzielenia.

Mogłoby to wywołać pewne trudności, gdybyśmy postulowali całkowitą tożsamość materjału *duchowego* z świadomością. Lecz wiemy, że w duszy znajdują się wspomnienia; są one wprawdzie nieobecne w świadomości w danej chwili, lecz mogą być w niej wywołane. Jakoś mętnie zdajemy sobie sprawę z tego, że rzeczy, których nie możemy sobie przypomnieć, leżą gdzieś w pobliżu i mogą się pojawić w naszej duszy w każdej chwili. Świadomość nie jest określona ściśle i rozwiewa się w podświadomość; a poza nią musimy postulować coś nieokreślonego, co się jednak wiąże w sposób ciągły z naszą istotą psychiczną. To „coś" właśnie uważam za materjał świata. Upodabniamy go do naszych świadomych uczuć dlatego, że teraz, gdy jesteśmy przekonani o formalnym i symbolicznym charakterze tworów fizycznych, nie mamy już nic innego, do czego moglibyśmy go upodobnić.

Mówi się często, że podstawowy materjał świata powinien się nazywać „materjałem neutralnym" raczej, niż „duchowym", skoro ma on być taki, że powstają z niego i ma-

terja i dusza. Zgadzam się z tem, o ile idzie o podkreślenie, że tylko ograniczone wysepki tego materjału tworzą rzeczywiste dusze; i że nawet to, co znamy na tych wysepkach, nie wyczerpuje zupełnego inwentarza tego, co się tam może znajdować. Jednak przyjąłbym raczej, że samowiedza świadomości jest przeważnie albo też całkowicie tego rodzaju, iż wyklucza inwentarzowy sposób opisu. Możnaby oczywiście znaleźć lepszy wyraz niż „materjał duchowy"; lecz „materjał neutralny" wydaje się niewłaściwą poprawką. Wyraz ten wskazuje niejako dwie drogi do poznania jego natury, a tymczasem istnieje tylko jedna, mianowicie przez naszą bezpośrednią wiedzę o duszy. Domniemana droga poprzez świat fizyczny prowadzi tylko do cyklu fizyki, w którym biegniemy dokoła, jak kot w pogoni za swym własnym ogonem, i nie docieramy bynajmniej do materjału świata.

Wydaje mi się, że złudzenie substancji pozostawiliśmy tak daleko poza sobą, że wyraz „materjał" nie będzie prowadził już do żadnych nieporozumień. Nie zamierzam, rzecz jasna, materjalizować ani substancjalizować ducha. Dusza jest... ależ wiecie sami, czem jest dusza, pocóż miałbym zatem mówić jeszcze o jej istocie? Wyraz „materjał" odnosi się do funkcji, jaką jej przypada w budowie świata i nie pociąga za sobą żadnej zmiany poglądu na jej istotę.

Trudno rzeczowemu fizykowi zgodzić się na pogląd, że podkład wszystkiego posiada charakter duchowy. Lecz nikt nie może zaprzeczyć, że duch jest pierwszą i najbardziej bezpośrednią rzeczą w naszem doświadczeniu, a wszystko inne otrzymuje się przez odległe wnioskowanie — wnioskowanie albo intuicyjne albo zamierzone. Prawdopodobnie nigdyby nam nie przyszło na myśl (jako poważna hipoteza), że świat może być oparty na jakimś innym materjale, gdybyśmy nie byli pod wrażeniem, że istnieje rywalizujący materjał, posiadający bardziej wygodny charakter rzeczywistości „konkretnej" — coś zbyt bezwładnego i bezmyślnego, by mogło stworzyć jakieś złudzenie. Otóż, rywal ten okazał się tablicą wskazań przyrządów, i chociaż można z niej doskonale zbudować świat o charakterze symbolicznym, jed-

nak budowa ta stanowi wyłącznie przesunięcie badania w kierunku istoty świata doświadczenia.

Ten pogląd na stosunek świata materjalnego do duchowego łagodzi być może do pewnego stopnia rozdźwięk pomiędzy nauką, a religją. Nauki fizyczne, jak się wydawało, opanowały samowystarczalny obszar pewnej rzeczywistości, rozwijając się niezależnie od tej wyższej rzeczywistości, o której nam mówi jakiś głos wewnętrzny. Fizyka jest na tę wyższą rzeczywistość obojętna. Niezależność ta budzi w nas zawiść. Jakoś nas niepokoi myśl o możliwości istnienia napozór zamkniętego w sobie świata, w którym Bóg stał się zbędną hipotezą. Uznajemy, że drogi Boga są niezbadane. Lecz czy w wierzących umysłach nie pozostało coś z uczuć starych proroków, którzy wzywali Boga do zaświadczenia swego królowania i do wskazania, zapomocą znaku czy cudu, że żywioły podlegają jego władzy? A z drugiej strony, czy nie narazilibyśmy się na jeszcze poważniejsze troski, gdybyśmy się pokajali na gruncie naukowym i przyjęli, że do czynników, rządzących gwiazdami i elektronami, należy włączyć ducha wszechobecnego, z którym się wiąże świątynia świadomości? Czyż nie podejrzewalibyśmy wtedy, że fizyk zmierza do sprowadzenia Boga do układu równań różniczkowych, jak to się stało wielokrotnie z innemi czynnikami, wprowadzonemi do fizyki dla uratowania ładu? Przy naszem nowem ujęciu zabezpieczamy się przeciwko takiemu zarzutowi. Albowiem zakres równań różniczkowych fizyki nadaje się jedynie do ujęcia metrycznego i cyklicznego wyższego obszaru, wykrojonego z nierównie szerszej rzeczywistości. Nowe odkrycia naukowe mogą rozgałęzić obficiej schemat cykliczny fizyki; lecz nigdy nie wnikną one — i to ze względu na swoją głębszą naturę — w podłoże, w którem tkwi ich istota — ich rzeczywistość. W tem właśnie podłożu tkwi nasza własna świadomość duchowa; i w niem — jeżeli to wogóle jest możliwe — znajdziemy potęgę przewyższającą świadomość, ale jej pokrewną. Podkład duchowy, o ile jest nam znany z naszej świadomości, ma charakter zasadniczo niemetryczny. Jest więc rzeczą niemożliwą, by rzą-

dzące nim prawa były analogiczne do równań matematycznych fizyki, naprzykład różniczkowych, które są bezsensowne, jeżeli się ich nie naszpikuje wielkościami metrycznemi. Najprymitywniejszy antropomorficzny obraz bóstwa duchowego nie może być bardziej odległy od rzeczywistości, niż ujęcie bóstwa w terminach równań metrycznych.

Definicja rzeczywistości. Czas już stanąć oko w oko z terminami „rzeczywistość" i „istnienie", których dotąd używaliśmy, nie wchodząc zupełnie w to, co one mają oznaczać. Niepokoi mnie wyraz „rzeczywistość", który przecie nie oznacza zwykłej, możliwej do określenia cechy przedmiotów, lecz jest używany w charakterze jakiejś aureoli niebieskiej. Bardzo mocno wątpię, czy ktokolwiek z nas posiada najsłabsze wyobrażenie sensu, który wiążemy z rzeczywistością, czy istnieniem czegokolwiek, prócz naszych własnych Ja. Zdaję sobie sprawę z tego, że jest to twierdzenie śmiałe i muszę się zabezpieczyć przed fałszywem jego rozumieniem. Jest, oczywiście, rzeczą możliwą używać w sposób dorzeczny wyrazu „rzeczywistość" na drodze jakiejś konwencjonalnej definicji. Moje własne przyzwyczajenia w tym zakresie możnaby ująć mniej więcej przy pomocy definicji, że rzecz można nazwać rzeczywistą, jeżeli jest przedmiotem badania ważnego dla mnie osobiście typu. Lecz jeżeli poza tem nic innego nie podkreślę, to okroję ów sens, który się z tym wyrazem pospolicie wiąże. W fizyce potrafimy podać chłodną naukową definicję rzeczywistości, wolną od wszelkiej sentymentalnej mistyfikacji. Lecz nie byłoby to postępowanie całkowicie lojalne, gdyż wyraz „rzeczywistość" jest używany naogół *z intencją wywołania pewnego uczucia,* jest to znakomity wyraz do przemówień. „Czcigodny mówca podkreślił w dalszym ciągu, że zgoda i przyjaźń, do których utrwalenia niezmiennie dążył, stały się w chwili obecnej rzeczywistością (gorące oklaski)". Pojęcie, które tak trudno ująć, to nie „rzeczywistość", lecz „rzeczywistość (gorące oklaski)".

Spróbujmy najprzód przyjrzeć się określeniu, zgodne-

mu z czysto naukowem użyciem wyrazu, chociaż nie zaprowadzi to nas daleko. Jedynym przedmiotem, który mam przy tem badaniu do dyspozycji, jest treść mej świadomości. Następnie, wy ze swej strony możecie mi zakomunikować część treści waszej świadomości, która dzięki temu staje mi się dostępna wewnątrz mej własnej. Dla pewnych, ogólnie przyjętych powodów, których zresztą nie podjąłbym się uzasadnić, przyznaję waszej świadomości te same prawa, co swojej własnej; korzystam z tej części swej świadomości, którą posiadam niejako z drugiej ręki, by „umieścić się na waszem miejscu". Wobec tego przedmiot mego badania zostaje podzielony na treści różnych świadomości, a każda treść stanowi odrębny *punkt widzenia*. Następnie powstaje zagadnienie połączenia wszystkich tych punktów widzenia, tych stanowisk, i w ten sposób tworzy się świat zewnętrzny fizyki. Wiele z tego, co się znajduje w każdej świadomości, jest czysto osobiste, wiele jawnie daje się zmienić przy udziale woli; lecz istnieje również element trwały, wspólny innym świadomościom. Właśnie ten wspólny element pragniemy badać, opisać tak zupełnie i dokładnie, jak to tylko jest możliwe, i odkryć prawa, według których kojarzy się raz z jednem, raz z drugiem stanowiskiem. Nie można oczywiście elementu tego umieścić w żadnej wyróżnionej świadomości; musimy go umieścić na terenie neutralnym — w świecie zewnętrznym.

Prawda, że posiadam silne wrażenia ze świata zewnętrznego niezależnie od porozumiewania się z innemi istotami świadomemi. Lecz gdyby nie to porozumiewanie, nie miałbym żadnego powodu wierzyć tym wrażeniom. Większość naszych pospolitych wrażeń substancji, chwil powszechnych i tak dalej, okazały się iluzorycznemi, i zewnętrzność świata mogłaby się okazać równie mało godna zaufania. Wrażenie zewnętrzności, które przeżywam na jawie jest równie silne w marzeniach sennych; świat tych marzeń jest wprawdzie mniej rozsądny, ale to właśnie można przeciwnie wyzyskać jako argument na korzyść jego zewnętrzności, gdyż wskazuje na jego odłączenie od naszej wewnętrznej zdolno-

ści rozumowania. Dopóki w grę wchodzi jedna tylko świadomość, hipoteza istnienia świata zewnętrznego, odpowiedzialnego za część tego, co obserwujemy w tej świadomości, jest zupełnie jałowa. Wszystko, co możnaby stwierdzić o tym świecie zewnętrznym byłoby tylko kopją tego, co możnaby znacznie pewniej stwierdzić o świecie, występującym w świadomości. Hipoteza staje się dopiero wtedy użyteczna, gdy pozwala na zestawienie światów wielu świadomości, zajmujących różne stanowiska.

Zewnętrzny świat fizyki jest zatem zespoleniem światów, odpowiadających różnym stanowiskom. Istnieje powszechna zgoda w sprawie zasad, na których podstawie należy tworzyć owo zespolenie. Zdania o świecie zewnętrznym, jeżeli są tylko niedwuznaczne, muszą być albo prawdziwe albo fałszywe. Filozofowie często zaprzeczali temu. Bardzo często się słyszy, że teorje o świecie nie są ani prawdziwe ani fałszywe, lecz poprostu dogodne albo niedogodne. Do ulubionych zdań należy, że miarą wartości teorji naukowej jest ekonomja myślenia, którą nam zapewnia. Rzecz oczywista, że wolimy zdanie proste, niż okólne i że znacznie łatwiej o każdej teorji naukowej udowodnić, że jest wygodna, lub że oszczędza myśl, niż że jest prawdziwa. Lecz obniżanie poziomu w praktyce nie powinno nas prowadzić do rezygnacji z ideałów; i dopóki rozróżniamy teorje fałszywe i prawdziwe, musimy dążyć do wyeliminowania teoryj fałszywych. Co do mnie, sądzę, że ciągłe posuwanie się naprzód naszej nauki nie jest postępem czysto użytkowym: jest to postęp w kierunku coraz czystszej prawdy. Nie zapominajmy tylko, że prawda, której poszukujemy w nauce, to prawda o świecie zewnętrznym, przyjętym za przedmiot badania, prawda niezależna od żadnego poglądu na stan tego świata — od tego, czy posiada on, czy też nie posiada owej aureoli rzeczywistości, od tego czy zasługuje, czy nie zasługuje na „gorące oklaski".

Jeżeli przyjmiemy, że zespolenie to zostało wykonane poprawnie, możemy nazwać rzeczywistym świat zewnętrzny i wszystko co w nim występuje, bez większych skrupułów.

Gdy jako uczeni stwierdzamy o czemś w świecie zewnętrznym, że jest rzeczywiste i że istnieje, wyrażamy tylko swoje przekonanie o tem, że prawa zespolenia zostały poprawnie zastosowane — że nie jest to fałszywe pojęcie, wprowadzone dzięki jakiemuś błędowi w procesie syntezy, że nie jest to halucynacja, odpowiadająca tylko jednej indywidualnej świadomości, ani też niezupełne ujęcie, które obejmuje pewne stanowiska, a kłóci się z innemi. Wzbraniamy się poprostu przed rozważeniem straszliwej możliwości, że świat zewnętrzny, zdobyty z takim trudem, mógłby zostać zdyskwalifikowany przez swe nieistnienie. Nie mamy bowiem żadnego wyobrażenia o tem, na czem jakaś inna ewentualna kwalifikacja do istnienia mogłaby polegać, ani też w jaki sposób powaga świata mogłaby wzrosnąć przez zadośćuczynienie jakiemuś ewentualnemu testowi. Świat zewnętrzny jest światem skupiającym nasze wspólne doświadczenia, i żaden inny świat nie mógłby dla nas odegrać tej samej roli, choćby nie wiem jak chlubnie przeszedł wszystkie próby kwalifikacyjne innego rodzaju.

To określenie istnienia, służące na wewnętrzny użytek nauki, czyni zadość zasadzie, stosowanej obecnie również do innych definicyj naukowych, a mianowicie, że należy określać rzeczy zgodnie z tem, jak się je poznaje w praktyce, a nie na podstawie jakiegoś dalszego znaczenia, które chcielibyśmy im przypisywać. Podobnie jak materja musi się rozstać z cechą substancjalności, tak istnienie musi zrezygnować ze swej aureoli „rzeczywistości (gorące oklaski)“, zanim wejdzie w podwoje nauki. Lecz rzecz jasna, że skoro mamy stwierdzić albo podać w wątpliwość istnienie czegoś nie zawartego w zewnętrznym świecie fizyki, to musimy sięgnąć poza zakres definicji fizycznej. Już samo zakwestjonowanie rzeczywistości świata fizycznego zakłada jakąś wyższą krytykę, niż ta, którą nam może zapewnić sama metoda naukowa.

Świat zewnętrzny fizyki został sformułowany jako odpowiedź na pewne poszczególne zagadnienie, narzucone przez doświadczenie ludzkie. Oficjalnie naukowiec rozważa

je jako zagadnienie, na które przypadkiem natrafił, podobnie jak mógłby się zająć krzyżówką, zauważoną w gazecie. Jego rzeczą jest dopilnować, żeby zagadnienie zostało poprawnie rozwiązane. Lecz można podnieść sprawy, które nie odgrywają żadnej roli w rozwiązaniu zagadnienia i których nie ma potrzeby w związku z niem rozważać. Taką sprawą, wiążącą się w sposób naturalny z zagadnieniem świata zewnętrznego, jest pytanie, czy istnieje jakieś wyższe uzasadnienie dla faktu, że o rozwiązanie zagadki świata walczymy znacznie goręcej, niż o rozwiązanie innych zagadnień, które nam doświadczenie podsuwa. Ale jakiego rodzaju uzasadnienia będzie się fizyk domagał? Przecie żądanie takiego uzasadnienia nie należy od zakresu fizyki! A jednak odczuwa on z pewnością uzasadnienie, które nie ogranicza się do doskonałości estetycznej rozwiązania, ani też do korzyści materjalnych, które daje badanie naukowe. Nigdyby się nie zgodził na zlekceważenie swego zadania w ogólnej biesiadzie prawdy. Wątpię, czy na pytanie to można odpowiedzieć coś bardziej określonego, niż to, że nauka żąda „aureoli“ dla swego świata.

Jeżeli mamy uzyskać dla atomów i elektronów świata zewnętrznego nietylko rzeczywistość konwencjonalną, ale „rzeczywistość (gorące oklaski)“, to musimy przyjrzeć się nie końcowi, lecz początkowi badania fizycznego. Na początku tego badania musimy znaleźć owo usprawiedliwienie, które podnosi owe twory ponad poziom dowolnych ćwiczeń umysłowych. Pociąga to za sobą pewne wartościowanie impulsu, który nas pchnął na drogę badania. Jakże przeprowadzić wartościowanie? W każdym razie nie przy pomocy zwykłego rozumowania; powiedziałoby nam ono tylko, że impuls należy sądzić według powodzenia badań — według tego, czy prowadzą one do rzeczy, które naprawdę istnieją i noszą słusznie swą aureolę. W poszukiwaniu złudnej tej aureoli miotamy się tam i zpowrotem wzdłuż łańcucha rozumowań logicznych. Lecz, słusznie czy nie, umysł wierzy, że potrafi wyróżnić pewne badania, jako uświęcone przez niewątpliwy autorytet. Możemy to różnie ująć:

impuls do tego badania jest istotną częścią naszej istoty; jest wyrazem celu, który nas opanował. Czy to mieliśmy na myśli, gdyśmy próbowali twierdzić, że świat zewnętrzny jest rzeczywisty? Jakoś to się niewątpliwie zbliża do sensu naszego zdania, ale nie sądzę, że jest mu całkowicie równoważne. Wątpię, czy utrafimy w intencje, które się kryją poza tem zdaniem, jeżeli nie odważymy się na śmielszą hipotezę, że badanie owo i wszystkie jego wyniki przedstawiają wartość w oczach jakiegoś Absolutnego Sędziego.

Jakiekolwiek przyjmiemy uzasadnienie ostateczne dla rzeczywistości świata zewnętrznego, nie da się uniknąć tego, że rzeczy, które się znajdują poza granicami fizyki, będą potraktowane na tej samej stopie. Nie poddają się one wprawdzie regularnemu badaniu. Ale pomimo to poznajemy, że pewne włókna naszej istoty nic nie mają wspólnego z wrażeniami zmysłowemi. Niebardzo mi na tem zależy, aby zapożyczyć wyrazy ‚rzeczywistość“ i „istnienie“ dla uwieńczenia niemi tych inych dziedzin, któremi się duch interesuje. Chciałbym tylko zaznaczyć, że każda analiza pojęcia rzeczywistości w jego znaczeniu transcendentalnem (niezależnie od tego, czy analiza ta wyszła z świata fizyki) prowadzi do perspektywy, w której świetle człowiek nie sprowadza się wyłącznie do kłębka wrażeń zmysłowych, lecz posiada świadomość celu i odpowiedzialności, które znajdują się na wyższej płaszczyźnie niż świat zewnętrzny.

Z tej perspektywy dostrzegamy świat duchowy równoległy do fizycznego. Doświadczenie — to znaczy, Ja wraz z otoczeniem — obejmuje więcej, niż może ująć świat fizyczny, ograniczony do zespołu symbolów metrycznych. Świat fizyczny, jak to widzieliśmy, jest odpowiedzią na pewne określone i drączące pytanie, które się narzuca przy przeglądzie naszego doświadczenia; i żadne inne zagadnienie nie było badane z taką jak ono ścisłością i starannością. Natomiast postęp w kierunku zbadania niezmysłowych składników naszej istoty nie pójdzie zapewne podobnemi drogami, i nie jest zresztą ożywiony temi samemi zamiarami. Jeżeli ktoś odczuwa, iż ta różnica jest taka wielka, że

wyraz *świat* duchowy może się stać zwodniczą analogją, to nie będę się przy tym wyrazie upierał. Ale chciałbym podkreślić, że kto poszukuje prawdy opierając się na świadomości jako siedlisku samowiedzy, nie ograniczającej się do spraw materjalnych, w takim samym stopniu staje oko w oko z surowem doświadczeniem, jak ten, dla kogo świadomość jest tylko środkiem do odczytywania spektroskopów i mikrometrów.

Ilustracje fizyczne. Jeżeli czytelnik żywi wątpliwości, czy zagadnienie istnienia jakiegoś przedmiotu może być naprawdę nieokreślone, niech rozważy następującą sprawę. Weźmy pod uwagę jakiś rozkład materji w „skończonej lecz nieograniczonej“ przestrzeni Einsteina. Przypuśćmy, że materja jest tak rozłożona, że każdej cząsteczce odpowiada cząsteczka zupełnie podobna a przeciwległa biegunowo. (Istnieją nawet pewne powody, skłaniające do przypuszczenia, że materja *musi* się tak rozłożyć na skutek prawa grawitacji, ale nie jest to pewne). Każda grupa cząsteczek będzie zatem dokładnie podobna do swych antypodów, i to nietylko pod względem swej struktury i ugrupowania, ale również pod względem swego otoczenia. Obu tych grup nie będzie można właściwie rozróżnić na drodze doświadczalnej. Wyruszając w podróż dokoła świata sferycznego trafimy na grupę A, a następnie, po dokonaniu połowy obiegu, napotkamy na dokładnie podobną grupę A', nieodróżnialną doświadczalnie od poprzedniej. Powtórna połowa obiegu doprowadza nas ponownie do zupełnie podobnej grupy, o której jednakże orzekamy, że jest to znowu grupa A. A teraz zastanówmy się przez chwilę. Zdajemy sobie sprawę z tego, że wędrując dostatecznie daleko, trafiamy ostatecznie zpowrotem na tę samą grupę. Dlaczego więc nie przyjmujemy oczywistego wniosku, że stało się to wtedy, gdyśmy dotarli do A'? Przecież wszystko się odbyło wtedy tak, jakgdybyśmy wrócili zpowrotem do punktu wyjścia. Napotkaliśmy szereg dokładnie jednakowych zjawisk, a jednak dla pewnych dowolnych

powodów zdecydowaliśmy, że dopiero co drugi powrót otrzymujemy *rzeczywiście* tę samą grupę cząsteczek. Moglibyśmy bez trudu utożsamić wszystkie grupy pomiędzy sobą; ale w tym przypadku przestrzeń byłaby nie „sferyczna", lecz „eliptyczna". Które z tych dwóch zdań jest jednak w rzeczywistości prawdziwe? Zapomnijcie o tem, że wprowadziłem A i A', jakgdyby były one różnemi grupami, gdyż to rozwiewa całą sprawę; wyobraźcie sobie, że naprawdę zdarzyła się wam taka przygoda w świecie, którego budowy wam nie wyjaśniono. Czy możecie zrozumieć, co oznacza takie pytanie? Co do mnie — nie potrafię tego. Wszystko sprowadza się do odpowiedzi na to, czy stworzymy dwie oddzielne aureole dla A i A', czy też zadowolimy się jedną.

Opisy zjawisk fizyki atomowej cechuje nadzwyczajna plastyczność. Widzimy atomy z ich warstwami krążących elektronów, miotające się tu i tam, zderzające się i odbijające się od siebie. Swobodne elektrony, wyrwane ze swych warstw, odlatują w tempie stokroć szybszem, zakrzywiając się gwałtownie w pobliżu atomów, aby je wyminąć o grubość włosa. Atomy chwytają maruderów i wiążą je w warstwach, a uwalniająca się przytem energja wstrząsa eterem. Promienie rentgenowskie trafiają w atomy i wyrzucają elektrony na wyższe orbity. Widzimy, jak elektrony opadają zpowrotem, czasami krok za krokiem, czasami raptownie, zapędzone w matnię stanów niestatecznych, wahające się przez „przejściami zakazanemi". Ukryta poza tem wszystkiem stała kwantowa h reguluje te przejścia z matematyczną precyzją. Obraz żywo przemawia do naszej wyobraźni — nie jest to niematerjalna dekoracja, rozwiewająca się jak sen.

Widowisko to jest takie fascynujące, że zapomnieliśmy być może, że kiedyś odczuwaliśmy potrzebę wyjaśnienia istoty elektronu. Nigdy na to pytanie nie znaleziono odpowiedzi, nie udało się opleść elektronu żadnemi potocznemi wyobrażeniami: wciąż jeszcze oczekuje on na owej liście, o której mówiliśmy poprzednio. Wobec tego opisy owych procesów należy przyjąć cum grano salis. Skok elektronu jest konwen-

cjonalnym sposobem odmalowania osobliwej zmiany wewnątrz atomu, której w rzeczywistości nie można skojarzyć z ruchami w przestrzeni, tak jak je pojmujemy makroskopowo. *Coś nieznanego powoduje rzeczy nieznane* — oto do czego sprowadza się nasza teorja. Teorja taka nie wróży znacznego wyjaśnienia sytuacji. Brzmi ona zupełnie, jak ów wierszyk ze znanej powieści Lewisa Carrolla:

Śliziste brząki
Wirwają i krężelą wewnątrz pląku.

Spotykamy tu to samo wrażenie aktywności i tę samą mętność w określeniu istoty tej aktywności i jej źródeł oraz czynników. A jednak tak mało obiecujący początek prowadzi do pewnych konsekwencyj. Wprowadzamy porządek do zastępu pozornie niepowiązanych zjawisk; czynimy przewidywania i przewidywania te się sprawdzają. Przyczyną — jedyną przyczyną — tego powodzenia jest to, że opis nasz nie ogranicza się do nieznanych czynników, wykonujących nieznaną działalność, lecz że w opisie tym są obficie rozsiane *liczby*. Kontemplacja elektronów, krążących wewnątrz atomu, nie posuwa nas dalej naprzód; zato rozważenie ośmiu krążących elektronów w jednym, a tylko siedmiu w innym atomie, pozwala nam uchwycić różnicę pomiędzy tlenem i azotem. Osiem ślizistych brząków wirwa i krężeli w pląku tlenu; tylko siedem w pląku azotu. Przez dołączenie jeszcze kilku liczb wierszyk Carrolla może się stać niemal naukowy. Możemy teraz zaryzykować przepowiednię: jeżeli jeden z brząków się wymknie, to tlen wdzieje szatę, należącą właściwie do azotu. W gwiazdach i mgławicach znajdujemy takie wilki w skórze jagnięcia; gdyby nie nasza teorja, mogłoby to nas zaskoczyć. Nie byłoby złym sposobem podkreślenia naszej zasadniczej nieznajomości podstawowych tworów fizycznych, gdybyśmy przetłumaczyli tę teorję na język wierszyka Carrolla. Pod warunkiem, żeby wszystkie liczby, wszystkie artybuty pozostały bez zmiany, niby nasza teorja nie straciła. W liczbach ma swe źródło ta harmonja praw na-

tury, której odkrycie jest zadaniem nauki. Możemy usłyszeć melodję, ale nie zobaczymy artysty. Czy nie o nowej fizyce myślał Trinculo w Burzy Szekspira, gdy mówił: „Oto melodja naszej piosenki, wygrywana przez obraz Nikogo“?

Rozdział XIV

POWODOWANIE

Wydawało się dotąd, że fizyka w starym konflikcie pomiędzy wolną wolą a predestynacją staje stanowczo po stronie predestynacji. Nie rościła sobie ona wprawdzie przesadnych pretensyj, jeżeli idzie o zasięg praw przyrodniczych, ale udzielała stale poparcia moralnego temu poglądowi, według którego wszystko, cokolwiek mogła przynieść przyszłość, jest już wyznaczone przez sytuacje minione.

I pierwszy ranek stworzenia napisał,
Co brzask ostatni rachunku przeczyta.

Nie śpieszę rozwiązywać zagadnienia, które wywołało tyle sporów we wszystkich dziedzinach. Jak większość ludzi przypuszczam, że jest rzeczą niewiarygodną, by zjawiska szerszego zakresu Natury, zawierającego również życie i świadomość, mogły być całkowicie zdeterminowane. A jednak nie potrafię wytworzyć żadnej zadowalającej koncepcji prawa lub następstwa przyczynowego, któraby nie była deterministyczna. Wydaje się rzeczą sprzeczną z naszem poczuciem godności duszy przypuszczać, że rejestruje ona poprostu narzucony szereg myśli i uczuć. Lecz z drugiej strony wydaje się równie niegodnem oddać ją na łaskę popędów bez żadnych racyj przyczynowych. Nie będę się tym dylematem zajmował. Zadaniem mojem jest przedstawić tu stanowisko nauk fizycznych w tej sprawie, która wkracza na ich terytorjum. Niczego bowiem co ludzkie nie można całkowicie odłączyć od ruchów mięśniowych i zakłóceń w świecie

materjalnym. Tymczasem na terenie nauki powstała nowa sytuacja. Narodziny teorji kwantów spowodowały, że *fizyka przestała być związana ze schematem praw deterministycznych.* Determinizm znikł całkowicie z ostatnich sformułowań fizyki teoretycznej i jest rzeczą wątpliwą, czy do nich kiedykolwiek powróci.

Powyższy ustęp pochodzi z rękopisu oryginalnego wykładu, który wygłosiłem w Edynburgu. Stanowisko fizyki w owym czasie wyrażało się obojętnością względem determinizmu. Jeżeli nawet u podłoża zjawisk istnieje schemat praw ściśle przyczynowych, to poszukiwania w tym kierunku nie wchodziły w owym czasie w zakres działania praktycznego, które zmierzało wówczas do innego ideału. Ale to, że podstawa przyczynowościowa została stracona, było rzeczą dobrze znaną; wielu fizyków stwierdzało to z żalem i sądziło, że restauracja jej jest konieczna.*

Gdy przepisywałem niniejszy rozdział po upływie roku, musiałem z tem obojętnem stanowiskiem pomieszać stanowisko wrogie determinizmowi, a wywołane przyjęciem zasady niepewności (str. 204). Jak dotąd starczyło czasu zaledwie na pobieżne zbadanie doniosłych konsekwencyj tej zasady i nie śpieszyłbym się z włączeniem tych aktualności, gdyby nie to, że potwierdzają one, jak się wydaje, koncepcje, do których prowadziły wcześniejsze rozważania. Przyszłość okazuje się kombinacją wpływów przyczynowych przeszłości z elementami nieprzepowiadalnemi — nieprzepowiadalnemi nie dlatego, by nie było możliwe uzyskanie niezbędnych do przepowiedni danych, lecz ponieważ nie istnieją żadne dane, powiązane przyczynowo z naszem doświadczeniem. Tak niezwykłą zmianę stanowiska będziemy musieli uzasadnić dość szczegółowo. Tymczasem jednak

* W parę dni po zakończeniu niniejszych wykładów Einstein pisał w swym adresie z okazji stuletniej rocznicy newtonowskiej. „Tylko w teorji kwantów metoda różniczkowa okazuje się nieadekwatną i zawodzi nas ścisła przyczynowość. Lecz ostatniego słowa jeszcze nie usłyszeliśmy Oby duch Newtona wspomógł nas w odzyskaniu harmonji pomiędzy rzeczywistością fizyczną, a najgłębszą cechą nauki Newtona—ścisłą przyczynowością. (*Nature,* 1927, 26 marzec, str. 467).

chcielibyśmy zauważyć, że przez zajęcie takiego stanowiska nauka wycofuje się ze swej moralnej opozycji względem wolnej woli. Ci, którzy obstają przy deterministycznej teorji działalności duchowej, powinni uzasadniać ją badaniem samego ducha, a nie tem, że w ten sposób osiągają większą zgodność z naszą wiedzą doświadczalną o prawach przyrody nieożywionej.

Powodowanie a strzałka czasu. Przyczyna i skutek są ściśle powiązane ze strzałką czasu: skutek nie może poprzedzać przyczyny. Względność czasu nie zakłóciła tego porządku. Zjawisko, odbywające się tu i teraz może powodować inne zjawiska jedynie wewnątrz stożka absolutnej przyszłości, a może być spowodowane tylko przez zdarzenia wewnątrz stożka absolutnej przeszłości. Natomiast nie może powodować, ani też być spowodowane przez zjawiska znajdujące się wewnątrz neutralnego klina, gdyż w tym przypadku wpływ niezbędny do tego oddziaływania musiałby biec z szybkością większą niż szybkość światła. Lecz rzecz dość osobliwa: to elementarne wyobrażenie o przyczynie i skutku zupełnie się nie godzi z ściśle przyczynowym schematem. Jakże mogę spowodować jakieś zdarzenie w absolutnej przyszłości, skoro przyszłość była już oznaczona, zanim się urodziłem? Nasze początkowe wyobrażenie zakłada oczywiście, że się może urodzić coś, co posiada wpływ na obszar wewnątrz stożka absolutnej przyszłości, ale nie jest powiązane odpowiednio ze stożkiem przeszłości absolutnej. Natomiast pierwotne prawa fizyki nie przewidują takiego powiązania jednokierunkowego; każda zmiana danego stanu świata wywołuje w przeszłości zmiany, symetryczne względem zmian w jego przyszłości. Zatem w fizyce praw pierwotnych, która nie zna strzałki czasu, nie istnieje rozróżnienie „przyczyny i skutku; zamiast tego zdarzenia są powiązane *symetrycznym* związkiem przyczynowym, który się przedstawia z obu stron jednakowo.

Fizyka praw pierwotnych żąda schematu ściśle przy-

czynowego, ale przyczynowość jest stosunkiem symetrycznym, a nie jednokierunkowym stosunkiem przyczyny i skutku. Natomiast fizyka praw wtórnych może rozróżnić przyczynę i skutek, lecz podstawy jej zato nie spoczywają na schemacie ściśle przyczynowym; tej fizyce jest obojętne, czy zwycięży ścisła przyczynowość.

Podnosimy dźwignię w pudle sygnałowem i sygnał opada. Możemy wskazać więzy, które łączą położenie dźwigni z położeniem sygnału. Możemy również przekonać się, że odpowiednie ruchy nie są jednoczesne i wyznaczyć różnicę czasów. Lecz prawa mechaniki nie przypisują absolutnego znaku tej różnicy. Dopóki tylko one wchodzą w grę, możemy równie dobrze przypuścić, że opadnięcie sygnału powoduje ruch dźwigni. Aby tę kwestję rozwiązać, mamy dwie drogi do wyboru. Możemy powołać się na dróżnika, który wie dobrze, że to *on* powziął w duchu postanowienie pociągnięcia dźwigni; ale to kryterjum będzie posiadało walor tylko wtedy, gdy się zgodzimy, że nastąpił tu naprawdę wybór pomiędzy dwoma możliwemi przebiegami, a nie poprostu zarejestrowanie w umyśle czegoś, co już było przedtem zdeterminowane. Albo też możemy się odwołać do praw wtórnych, które stwierdzają, że na świecie było więcej elementu przypadkowości, gdy sygnał opadł, niż wtedy, gdy poruszono dźwignię. Lecz cechą zasadniczą praw wtórnych jest to, że nie uznają one ścisłej przyczynowości; zajmują się one nie tem, co musi nastąpić, lecz tem, co prawdopodobnie nastąpi. Rozróżnienie przyczyny i skutku nie posiada sensu w zamkniętym układzie praw pierwotnych; aby to rozróżnienie uchwycić, musimy zrobić wyłom w tym układzie i wprowadzić rozważania odnoszące się do woli lub do prawdopodobieństwa, elementów obcych temu układowi. Przypomina to nieco dziesięć znikających spółczynników krzywizny, które można byłoby zbadać tylko wtedy, gdyby wtargnąć do zamkniętego systemu świata z jakiemiś obcemi wzorcami mierniczemi.

Dla dogodności będę nazywał stosunek przyczyny i skutku *powodowaniem*, a natomiast symetryczny stosunek, który

nie rozróżnia przyczyny od skutku — *przyczynowością*. W fizyce pierwotnej przyczynowość całkowicie wyrugowała powodowanie. Ideałem jej jest powiązanie całej przeszłości świata z całą przyszłością w schemat deterministyczny, za pośrednictwem stosunku przyczynowości. Aż do niedawna uważano powszechnie, że taki schemat musi istnieć (chociaż być może jest narażony na poderwanie ze strony jakichś nadnaturalnych czynników, znajdujących się poza zakresem fizyki). Możemy wobec tego nazywać to stanowisko „ortodoksyjnem". Rzecz jasna, uznawano, że znana jest nam tylko część struktury owego schematu przyczynowego, ale odkrycie całości uważano za uświęcony cel fizyki.

To zastąpienie powodowania przez przyczynowość na terenie nauki ortodoksyjnej jest doniosłe ze względu na pewną okoliczność. Nie powinniśmy użyczać przyczynowości tej samej sankcji intuicyjnej, która przysługuje właściwie jedynie powodowaniu. Może się nam wprawdzie wydawać, że posiadamy intuicję tego, że ta sama przyczyna nie może posiadać dwóch różnych skutków alternatywnych; ale w każdym razie nie twierdzimy, że ten sam skutek nie może pochodzić od dwóch ewentualnych przyczyn. Oto dlaczego nie można twierdzić, że intuicja narzuca nam założenie ścisłego zdeterminowania, wymuszonego przez stosunek przyczynowości.

Skąd pochodzi tak gorąca wiara w ową hipotezę ortodoksyjną, że zjawiska fizyczne są ostatecznie oparte na schemacie praw całkowicie deterministycznych? Sądzę, że można wskazać dwa powody:

(1) Główne prawa Natury, które się udało odkryć, są jawnie typu deterministycznego, i im to zawdzięczamy wielkie triumfy przepowiedni fizycznych. Jest rzeczą naturalną wierzyć w pewną linję rozwojową, która takie znakomite oddała nam usługi w przeszłości. Rzeczywiście, jest to zdrowe stanowisko, gdy się przyjmuje, że niema granic dla zdolności proroczych nauki, ale dopóki te granice naprawdę się nie ujawnią.

(2) Pospolita epistemologja nauki zakłada zgóry schemat

deterministyczny tego rodzaju. Zarzucenie go pociąga za sobą dalej idące zmiany w naszym stosunku do wiedzy przyrodniczej, niż proste odrzucenie hipotezy, która się nie daje utrzymać.

Przy wyjaśnieniu tego drugiego powodu musimy sobie przypomnieć, że wiedzę o świecie fizycznym musimy wywnioskować z sygnałów nerwowych, które dochodzą do mózgu i że pospolita teorja poznania przyjmuje, że istnieje oznaczony schemat wnioskowania — przyświecający nam jako ideał, zdobywany krok za krokiem. Lecz, jakeśmy już wspominali, te łańcuchy inferencyjne są poprostu odwróceniem łańcuchów przyczynowych fizycznych, które łączą odległe zdarzenia z owemi sygnałami wzdłuż nerwów. Jeżeli schemat przekazywania tych sygnałów wzdłuż nerwów nie jest deterministyczny, to i schemat wnioskowania o źródłach tych sygnałów nie może być deterministyczny, i okazałoby się że nasza teorja poznania została oparta na ideale nieosiągalnym. Jeżeli tak, to należy zasadniczo zmienić naszą postawę względem całego schematu wiedzy przyrodniczej.

Rozważymy jeszcze szczegółowo te powody, ale będzie dogodnie sformułować tu nasze repliki w zwięzłej formie:

(1) W ostatnich czasach osiągnięto największe triumfy w dziedzinie przepowiedni fizycznych przy pomocy praw statystycznych, nie opierających się na podstawie przyczynowej. Pozatem wielkie prawa, które dotąd uważano za przyczynowe, okazały się przy bardziej szczegółowem badaniu prawami statystycznemi.

(2) Czy u podstawy zjawisk atomowych znajduje się schemat przyczynowy, czy nie — w każdym razie współczesna teorja atomu nie usiłuje go odkryć. Czyni ona szybkie postępy, ponieważ nie zmierza już do tego celu. Sytuacja jest taka, że posiadamy epistemologję wiedzy przyrodniczej, niezgodną z faktycznemi celami współczesnych badań naukowych.

Przepowiadalność zdarzeń. Rozważamy typowy przypadek udatnej przepowiedni naukowej. Na 11 sierpnia 1999 roku

przepowiadają całkowite zaćmienie Słońca, widzialne w Kornwalji. Naogół przypuszczamy, że zaćmienie to jest już wyznaczone przez współczesną konfigurację Słońca, Ziemi i Księżyca. Nie pragnę bynajmniej podawać tej przepowiedni w wątpliwość. Spodziewam się, że zaćmienie to nastąpi zgodnie z obliczeniem; ale chciałbym poddać badaniu podstawy tej przepowiedni. Opiera się ona przedewszystkiem na prawie grawitacji — które się okazało w rozdziale VII poprostu truizmem. Nie zmniejsza to wprawdzie wartości przepowiedni, ale podsuwa myśl, że może nie okażemy się takimi niezwykłymi prorokami, gdy trafimy na prawa, które się nie sprowadzają do prostych truizmów. Mógłbym zaryzykować przepowiednię, że 2+2 będzie równe 4 nawet w roku 1999. Lecz jeżeli przepowiednia ta okaże się poprawna, nikogo to nie przekona, że wszechświat (albo — jeśli wolicie — duch ludzki) rządzi się prawami typu deterministycznego. Sądzę, że w świecie rządzonym najbardziej nawet chaotycznie można *pewne rzeczy* przepowiedzieć, jeżeli truizmy nie są wyłączone.

Lecz musimy spojrzeć nieco jeszcze głębiej. Prawo grawitacji jest truizmem tylko wtedy, gdy je oceniamy z punktu widzenia makroskopowego. Zakłada ono przestrzeń i pomiary dokonywane zapomocą przyrządów grubych albo urządzeń optycznych. Nie można go wysubtelnić, aby osiągnęło dokładność, przewyższającą granice tych grubych przyrządów. Jest ono zatem truizmem, obarczonym prawdopodobnym błędem — wprawdzie małym, ale nie nieskończenie małym. Prawa klasyczne sprawdzają się w granicy, gdy idzie o niezmiernie wielkie liczby kwantowe. Układ zawierający Słońce, Ziemię i Księżyc ma liczby kwantowe niezmiernie wielkie (por. str. 184). Możliwość przepowiedni na tym terenie nie jest charakterystyczna dla wszelkich zjawisk przyrodniczych, lecz tylko dla tych, które są związane z wielkiemi liczbami kwantów działania — tak wielkiemi, że już nie wchodzi w grę zachowanie się indywidualne, a jedynie zbiorowe.

Niepewność życia ludzkiego jest przysłowiowa; tymcza-

sem niewiele jest rzeczy pewniejszych, niż wypłacalność towarzystw ubezpieczeniowych. Prawo przeciętne jest tak godne zaufania, że można uważać za rzecz zdeterminowaną, że połowa obecnie urodzonych dzieci przeżyje więcej niż x lat. Lecz nic to nam nie mówi o tem, czy los życia młodego Jana Kowalskiego jest już zapisany w księdze przeznaczeń, lub też czy jeszcze można go zmienić, pilnując, by nie przebiegał ulicy przed autobusami. Zaćmienie w roku 1999 jest tak pewne jak bilans towarzystwa ubezpieczeniowego; następny skok kwantowy atomu jest tak niepewny, jak wasze i moje życie.

Możemy teraz odpowiedzieć na główny argument, dotyczący predeterminacji przyszłości. Argument ten brzmi: zgodnie z doświadczeniem prawa Natury są tego rodzaju, że pozwalają na określone przepowiednie co do przyszłości i jest rzeczą rozsądną przypuszczać, że prawa dotąd niewykryte, będą posiadały ten sam charakter. Odpowiadamy na to: dla zjawisk, któreśmy przepowiadali z powodzeniem, jest charakterystyczne to, że dotyczą one przeciętnych konfiguracyj wielkich zespołów cząsteczek indywidualnych. A wyniki przeciętne można przepowiadać właśnie dlatego tylko, że są one przeciętne, a niezależnie zupełnie od rodzaju praw, dotyczących zjawisk indywidualnych, znajdujących się u ich podstawy.

Gdyby teorja klasyczna rozważała samotny atom w stanie 3, to postawiłaby pytanie: Co uczyni atom w najbliższej chwili? i spodziewałaby się odpowiedzi na to pytanie. Teorja kwantów podstawia zamiast tego pytanie następujące: Na którą z dwóch ewentualności atom się zdecyduje? Albowiem uznaje ona tylko dwa niższe stany, które wchodzą wogóle w zakres możliwości. Następnie, nie próbuje ona znaleźć na to pytanie określonej odpowiedzi, lecz zadowala się wyliczeniem odpowiednich szans jednego czy drugiego skoku. Fizyk epoki klasycznej wyposażyłby atom w mechanizmy, które kierowałyby jego przyszłem zachowaniem się. Fizyk kwantowy zamiast tego tworzy mechanizmy, które wyznaczają jedynie szanse jego przyszłego zachowania się.

Wobec tego w strukturze świata podług nowej teorji kwantów jest rzeczą przesądzoną, że z 500 atomów, znajdujących się obecnie w stanie 3, w przybliżeniu 400 przejdzie do stanu 1, a 100 do stanu 2 — przesądzone w tym oczywiście sensie, w jakim coś podlegającego fluktuacjom może być przesądzone. Szanse 4 do 1 znajdują właściwy odpowiednik w obrazie atomu, to znaczy że w każdym z owych 500 atomów znajduje się coś reprezentującego symbolicznie ów stosunek 4:1. Lecz niema żadnych znaków, któreby rozróżniały atomy należące do grupy owych 100 od 400 pozostałych. Prawdopodobnie większość fizyków przyjęłaby, że jakkolwiek znaków tych niema w obrazie, to jednak istnieją one w rzeczywistości. Sprawa ta należy do rozwinięcia teorji, która się pojawi we właściwym czasie. Znaki te oczywiście nie muszą się znajdować w samym atomie, mogą istnieć w otoczeniu, które znajduje się z atomem w oddziaływaniu wzajemnem. Moglibyśmy naprzykład obciążyć kości w ten sposób, że szanse wyrzucenia sumy 6 będą wynosiły 4 : 1. Zarówno kości, które dają szóstkę, jak te, które tego nie czynią, zawierają odpowiednie szanse w swej budowie— wyrażającej się przesunięciem środka ciężkości. Wynik poszczególnego rzutu nie jest zaznaczony w kostce; jednak jest ściśle uwarunkowo przyczynowo (pomijając element ludzki, wkraczający przy rzucie) przez zewnętrzne wpływy, które tu wchodzą w grę. Nasze stanowisko w tej sprawie jest następujące: przyszły rozwój fizyki może wykazać istnienie takich znaków (wewnątrz atomu albo też we wpływach, dochodzących go zzewnątrz), albo też go nie wykaże. Ale jak dotąd, ilekroć się nam wydawało, że znaleźliśmy cechy przyczynowościowe w zjawiskach przyrodniczych, okazywało się ostatecznie, że są one pozorne, i że ów rzekomy determinizm pochodził z innych powodów. Oto dlaczego skłaniamy się do przychylnego traktowania poglądu, że znaki przyczynowościowe nie istnieją nigdzie.

Lecz można zarzucić, że jest rzeczą niemożliwą, by atom był w tak dokładnie jednakowem położeniu względem dwóch alternatyw, że nigdzie nie możnaby wykryć ostatecznie de-

cydującego czynnika. Jest to apel do intuicji, który można odparować podobnym apelem. Posiadam pewną intuicję znacznie bardziej bezpośrednią, niż jakiekolwiek intuicje wiążące się z przedmiotami świata fizycznego; intuicja ta powiada mi, że nigdzie na świecie nie istnieje żaden ślad jakiegoś czynnika, któryby decydował, czy podniosę za chwilę swoją prawą czy lewą rękę. Zależy to od swobodnego aktu mej woli, niedokonanego jeszcze i nawet nie przewidywanego.* Moje intuicje idą w kierunku, że przyszłość może ujawnić decydujące czynniki, które nie tkwiły starannie ukryte w przeszłości.

Sprawa ma się tak: prawa, rządzące mikroskopowemi elementami świata fizycznego — indywidualnemi atomami, elektronami, kwantami — nie pozwalają na określone przepowiednie dotyczące tego, co indywiduum uczyni w najbliższej chwili. Mówię tu o prawach, które rzeczywiście zostały odkryte i sformułowane przez starą i nową teorję kwantów. Prawa te wskazują różne możliwości przyszłych zdarzeń oraz prawdopodobieństwo każdego z nich. Naogół szanse te są równe pomiędzy sobą i nie przedstawiają się kusząco dla kogoś, któryby chciał prorokować. Lecz niewielkie szanse, dotyczące osobnika, mogą się przekształcić na bardzo znaczne, jeżeli odpowiednio dobrać statystykę zespołu. I ostrożny prorok może wykryć przepowiednie tego rodzaju i zaryzykować swą powagę — bez większego niebezpieczeństwa. Wszystkie owocne przepowiednie, przypisywane dotychczas przyczynowości, sprowadzają się do tej sytuacji. Jest całkowicie prawdziwe, że prawa kwantowe, dotyczące osobników, nie są sprzeczne z przyczynowością: ignorują ją poprostu. Lecz jeżeli kiedyś skorzystamy z tej obojętności, by wprowadzić znów determinizm do podstaw struktury świata, to uczynimy tak tylko dlatego, że skłania nas w tym kierunku nasza filozofja, a nie pod naciskiem faktów doświadczalnych.

* Jest rzeczą całkowicie słuszną uznać wiarygodność tej intuicji, gdy bronimy się przy jej pomocy przed argumentem, apelującym do intuicji. Lecz popełnilibyśmy tu oczywiście błędne koło, gdybyśmy chcieli tej uwadze nadać wartość niezależną.

Moglibyśmy dla ilustracji przeprowadzić porównanie z dogmatem o predestynacji. Ta doktryna teologiczna, cokolwiek możnaby jej zarzucić, wydawała się całkowicie zgodna z predeterminacją świata materjalnego. Lecz gdybyśmy chcieli rozwiązać tę sprawę na podstawie wskazowek, które nam dają nowe prawa fizyki, to musielibyśmy odpowiedzieć: Żaden z dwóch ewentualnych stanów, oczekujących osobnika, nie jest predestynowany; conajwyżej są oznaczone w każdej chwili szanse osiągnięcia jednego lub drugiego z tych stanów.

Nowe stanowisko teorjopoznawcze. Badanie naukowe nie prowadzi do poznania wewnętrznej istoty rzeczy. „Ilekroć stwierdzamy własności jakiegoś ciała w terminach wielkości fizycznych, komunikujemy wiedzę, dotyczącą reakcji różnych przyrządów mierniczych na obecność tego ciała; i nic pozatem“ (str. 238). Lecz jeżeli ciała nie zachowują się zgodnie z wymaganiami ścisłej przyczynowości, jeżeli istnieje element niepewności przy wskazaniach przyrządów mierniczych, to tego rodzaju wiedza wydaje się tracić grunt pod sobą. Ponieważ nie jest zdeterminowane zgóry wskazanie wagi, gdy na nią położymy ciało, zatem nie posiada ono określonej szybkości. Ponieważ nie jest zdeterminowane, gdzie się zbiegną w mikroskopie promienie odbite od ciała, nie posiada ono określonego położenia. Na nic się nie zda odpowiedzieć, że ciało naprawdę posiada określoną masę, szybkość i położenie, których jednak nie znamy. Jeżeli to zdanie coś wogóle oznacza, to odnosi się ono do wewnętrznej natury rzeczy, która znajduje się poza zakresem wiedzy naukowej. Nie możemy wywnioskować ściśle tych rzeczy z niczego, co możemy zaobserwować, gdyż wyrwa przyczynowości przerwała łańcuch wnioskowania. Nie istnieje zatem właściwie wiedza o wskazaniach przyrządów mierniczych, dotyczących ciała, a zatem nie istnieje żadna wiedza o tem ciele. Na co się więc zda mówić o niem? Ciało, które miało być abstrakcją wszystkich wskazań przyrządów (jak dotąd

nieustalonych!) stało się całkowicie zbędne w świecie fizycznym. Oto dylemat, przed którym nas stawia stara teorja poznania, skoro tylko zaczynamy powątpiewać o ścisłej przyczynowości.

W zjawiskach o wielkiej skali można tę trudność obejść. Ciało może nie posiadać określonego położenia, ale może posiadać wewnątrz pewnych dostatecznie wąskich granic położenie niezmiernie prawdopodobne. Gdy prawdopodobieństwo jest wielkie, to podstawienie prawdopodobieństwa zamiast pewności nie sprawia wielkiej różnicy: powoduje tylko nieistotne rozmycie się świata. Lecz jakkolwiek praktycznie zmiana nie jest ważna, pociąga za sobą podstawowe konsekwencje teoretyczne. Wszystkie prawdopodobieństwa opierają na pewnem prawdopodobieństwie a priori, i nie można powiedzieć, czy prawdopodobieństwo jest wielkie, czy małe, nie przyjąwszy takiej podstawy. Gdy traktujemy nasze wyliczone prawdopodobieństwa, które okazały się bardzo wielkie, jako potencjalnie równoważne pewności, to postępujemy tak, jakgdybyśmy czynili przyjętą przez nas podstawę prawdopodobieństw a priori częścią składową struktury świata — jakgdybyśmy wpletli do świata rodzaj symbolicznego włókna, którego nie można opisać na tle starego schematu.

Natomiast w skali atomowej prawdopodobieństwa są naogół zrównoważone i nie możnaby wskazać żadnych „faworytów", na których badacz mógłby postawić swą stawkę. Jeżeli będziemy wciąż określali ciało jako wiązkę wskazań strzałek (lub też niezmiernie prawdopodobnych wskazań strzałek), to musimy uznać, że w skali atomowej „ciała" nie istnieją. Możemy tylko wywnioskować wiązkę prawdopodobieństw. Tak właśnie próbuje Schrödinger odmalować atom — jako środek fali funkcji ψ, mierzącej pewne prawdopodobieństwo.

Naogół mieliśmy do czynienia z prawdopodobieństwami, które zastępują brak wiedzy. Pełniejsza wiedza pozwoliłaby nam nie odwoływać się do prawdopodobieństwa i podstawić zamiast niego ścisłe fakty. Lecz w teorji Schrödingera jest rzeczą podstawową, że prawdopodobieństw nie

można w taki sposób wyrugować. Jeżeli jego funkcja ψ jest dostatecznie skoncentrowana, to wskazuje miejsce, w którem się elektron znajduje; jeżeli jest rozsiana, to prowadzi to tylko do rozmytego wskazania położenia elektronu. Lecz te rozmyte wskazania nie są czemś, co w warunkach idealnych powinno być zastąpione przez dokładną wiedzę: samo ψ działa jako źródło światła, emitowanego z atomu, okresem drgań tego światła są dudnienia fal wielkości ψ, Oznacza to, mojem zdaniem, że rozsiane ψ nie jest symbolem jakiejś niepewności, powstającej z braku wiedzy, jest raczej symbolem zawodu przyczynowości — nieoznaczoności zachowania się atomu, która stanowi jedną z jego cech.

Istnieją dwie główne drogi do poznania wnętrza atomu. Możemy obserwować wchodzące i wychodzące elektrony, albo też wchodzące lub wychodzące światło. Bohr przyjął budowę atomu powiązaną ściśle przyczynowo z pierwszem zjawiskiem, Heisenberg i jego następcy nawiązali do drugiego. Gdyby obie te struktury można było utożsamić, to atom wiązałby je zupełnym łańcuchem przyczynowym. Lecz najwidoczniej powiązanie takie nie istnieje i wobec tego musimy się zadowolić odpowiedniością, w której tworom jednego modelu odpowiadają prawdopodobieństwa w drugim. Istnieją być może szczegóły w obu teorjach, które niezupełnie się godzą z tem ujęciem; lecz wyraża ono zapewne ideał, do którego należy zmierzać przy opisywaniu praw niezupełnie przyczynowościowego świata: Ideał ten można wyrazić w żądaniu, żeby przyczyna jednego zjawiska reprezentowała prawdopodobieństwo przyczyny innego zjawiska. W każdym razie teorja Schrödingera przemawia bardzo za tem, że świat jest rządzony właśnie według tego planu.

Zasada niepewności. Jak dotąd wykazaliśmy, że współczesna fizyka oddala się od postulatu wyznaczenia przyszłości, ignorując go raczej niż odrzucając. Ale z odkryciem

zasady niepewności (str. 204) postawa jej przyjęła bardziej wrogie formy.

Weźmy najprostszy przykład, w którym wydaje się nam, że umiemy przepowiedzieć przyszłość. Przypuśćmy, że mamy cząsteczkę o znanem położeniu i szybkości w chwili obecnej. W założeniu, że nie nastąpi żadne zakłócenie, potrafimy przepowiedzieć położenie cząsteczki w jakiejś chwili sąsiedniej. (Ściśle biorąc, nawet zakłócenie powinno też być przewidziane, ale od tego już będziemy abstrahowali). Otóż, zasada niepewności zabrania nawet takiej prostej przepowiedni. Stwierdza ona, że nie możemy znać jednocześnie dokładnie szybkości i położenia w danej chwili.

Na pierwszy rzut oka wydaje się to sprzecznością. Nie istnieje granica dokładności, z którą możemy wyznaczać położenie, pod warunkiem, że nie pragniemy jednocześnie mierzyć szybkości. Dobrze; dokonajmy zatem w chwili obecnej bardzo dokładnego pomiaru położenia, a po chwili zmierzmy znów bardzo dokładnie samo tylko położenie. Porównanie tych obu dokładnych położeń pozwoli nam wyznaczyć szybkość — i wyciąć szczutka zasadzie niepewności. Lecz szybkość ta nie nadaje się do przepowiedni, ponieważ przy drugim dokładnym pomiarze tak zmaltretowaliśmy cząsteczkę, że nie posiada ona już w dalszym ciągu tej obliczonej szybkości. *Jest to wyłącznie szybkość retrospektywna.* Szybkość nie istnieje w czasie teraźniejszym, lecz w czasie przyszłym dokonanym; nie istnieje, nigdy nie będzie istniała, lecz może przyjść czas, kiedy *istniała była.* Niema dla niej miejsca na fig. 4, która zawiera bezwzględną przyszłość i bezwzględną przeszłość, ale nie zawiera bezwzględnej przeszłości dokonanej.

Szybkość, którą przypisujemy cząsteczce w danej chwili, można uważać za antycypację jej położeń przyszłych. Jeżeli powiadamy, że nie można poznać szybkości (z dowolnie wielkiem przybliżeniem w danem położeniu), to powiadamy, że nie można przewidzieć przyszłości. Skoro tylko przyszłość się zrealizuje, tak że dłużej nie stanowi przewidywania, to szybkość staje się oznaczona.

Stanowisko klasyczne, że cząsteczka posiada określoną (chociaż być może nieznaną) szybkość w danej chwili, sprowadza się do przedstawienia nieznanego elementu w przyszłości jako nieznanego elementu teraźniejszości, w przekonaniu, że nie przyjdzie nam na myśl badać, czy przez to przyszłość stała się lepiej poznawalna.

Ta sama zasada rozciąga się na wszelkie rodzaje zjawisk, które próbujemy przepowiadać, dopóki dążenie do dokładności nie jest pogrzebane pod stosem wartości przeciętnych. Każdej spółrzędnej odpowiada pęd, i na mocy zasady niepewności, im dokładniej znamy spółrzędną, tem mniej dokładnie znamy pęd. W ten sposób Natura zapewnia sobie, że znajomość jednej połowy świata będzie pociągała nieznajomość drugiej połowy — nieznajomość, na którą, jak widzieliśmy, można znaleźć radę, gdy się później tę samą część świata bada retrospektywnie. Trudno się nam zadowolić obrazem świata, który zawiera tyle rzeczy niepoznawalnych. Próbowaliśmy się uwolnić od rzeczy niepoznawalnych, to jest takich, które nie są powiązane przyczynowo z naszem doświadczeniem. Właśnie z tego powodu usunęliśmy szybkość względem eteru, „prawdziwe“ rusztowania przestrzenne i t. d. Podobnie ta obszerna dziedzina niepoznawalności powinna zostać usunięta z teraźniejszości. Właściwem jej miejscem jest przyszłość, ponieważ w niej nie będzie już ona niepoznawalna. Wtłoczono ją przedwcześnie w teraźniejszość jako antycypację czegoś, co nie podlega antycypacji.

Przy badaniu, czy symbole, które fizyk rozsiał po świecie zewnętrznym, pozwalają na przewidywanie przyszłości, musimy się wystrzegać takich symbolów retrospektywnych. Nietrudno być prorokiem, gdy przyszłość się już spełniła!

Zjawiska naturalne i nadnaturalne. Bardzo poważną konsekwencją zarzucenia przyczynowości w świecie zewnętrznym jest niemożność jasnego rozróżnienia zjawisk naturalnych i nadnaturalnych. W jednym z poprzednich rozdziałów po-

równałem do „demona“ niewidzialny czynnik, wynaleziony w celu wytłumaczenia przyciągania grawitacyjnego. Czy pogląd uznający taki czynnik jest bardziej naukowy, niż pogląd dzikusa, który przypisuje wszystko, co mu się w Naturze wydaje tajemnicze, działaniu niewidzialnych demonów? Fizyk Newtonowski posiadał ważki argument na obronę. Mógł się powołać na to, że jego demon grawitacji działa zgodnie z ustalonemi prawami przyczynowemi i nie może wobec tego być porównany z nieodpowiedzialnemi demonami dzikusa. Lecz skoro się raz uznało odchylenie od ścisłej przyczynowości, rozróżnienie to się rozwiewa. Przypuszczam, że dzikus przyznałby, że jego demon posiada pewne przyzwyczajenia, i że możnaby nienajgorzej przewidzieć, co zrobi w przyszłości; lecz że pozatem miewa czasem kaprysy. Właśnie ta niezupełna stateczność uniemożliwiła swego czasu demonowi dzikusa dostęp do fizyki, do której się wcisnął jego brat, demon grawitacji.

Oto dlaczego tyle się mówi o sprawie mego „ja“: posiadam bowiem „własną wolę“ — a przynajmniej mi się tak wydaje. Fizyk musi pozostawić swój schemat przyczynowościowy na łaskę nadnaturalnego działania, które ze „mnie“ emanuje, lub też musi jakoś wytłumaczyć moje nadprzyrodzone cechy. Konieczność samoobrony zmusiła materjalistę do obioru tej drugiej drogi: przyjął, że nie jestem nadprzyrodzony, lecz tylko skomplikowany. Z drugiej strony przyszliśmy do wniosku, że nigdzie nie istnieje zachowanie się ściśle przyczynowe. Nie możemy się chyba obronić przed zarzutem, że przez zniszczenie kryterjum przyczynowości, utorowaliśmy drogę demonom dzikusa. Jest to wprawdzie krok poważny, ale nie sądzę by oznaczał on koniec prawdziwej nauki. Ostatecznie, jeżeli demony będą próbowały się wedrzeć, to przepędzimy je tak, jak Einstein przepędził czcigodnego demona przyczynowościowego, zwanego grawitacją. Przykro się rozstać z prawem piętnowania pewnych poglądów, jako *nienaukowych*, lecz ciągle jeszcze możemy, jeżeli na to pozwalają okoliczności, odrzucić je jako *złą naukę*.

Wolna wola. Z filozoficznego punktu widzenia niezmiernie ciekawe jest zagadnienie, w jakim stopniu rozważania te dotyczą ludzkiego umysłu i ducha. Nie można odłączyć całkowitego determinizmu świata materjalnego od determinizmu umysłu. Weźmy naprzykład przepowiednie, dotyczące pogody od dziś za rok. Trudno sobie wprawdzie wyobrazić podobną przepowiednię o wartości praktycznej, lecz „ortodoksyjni" fizycy nie godzą się jeszcze na to, że jest ona teoretycznie niemożliwa. Utrzymują oni, że pogoda od dziś za rok jest całkowicie zdeterminowana. By uczynić taką przepowiednię, musielibyśmy zażądać niezmiernie dokładnego opisu warunków obecnych, gdyż drobne odchylenie o charakterze lokalnym może spowodować wpływ coraz się rozszerzający. Musimy zbadać stan Słońca tak, by móc przepowiedzieć fluktuacje w promieniowaniu cieplnem i cząsteczkowem, które nam ono wysyła. Musimy zagłębić się we wnętrze Ziemi, ażeby uprzedzić erupcje wulkaniczne, które mogą wywoływać chmury ponad atmosferą, jak to się stało przy wybuchu wulkanu Katmai na Alasce w roku 1912. Lecz ponadto musimy przeniknąć do głębin ludzkiego umysłu. Strejk węglowy, wielka wojna mogą bezpośrednio zmienić warunki atmosferyczne. Zapalona zapałka, niedbale rzucona, może spowodować pożary lasów, co pociągnie za sobą zmiany w ilości opadów i klimacie. Nie może istnieć całkowicie determistyczny bieg zjawisk nieorganicznych, jeżeli dusza ludzka nie podlega determinizmowi. Naodwrót, jeżeli pragniemy wyswobodzić duszę, to musimy również wyswobodzić do pewnego stopnia świat materjalny. Jak się wydaje, nie natrafia to już na żadne przeszkody.

Przyjrzyjmy się uważniej, w jaki sposób dusza panuje nad materjalnemi atomami, i podporządkowuje swej woli ruchy ciała i jego narządów. Sądzę, że obecnie można bezpiecznie przyjąć, że wola istnieje naprawdę. Pogląd materjalistyczny stwierdzał, że ruchy, napozór wywoływane przez wolę, są w istocie odruchami, powodowanemi przez materjalne procesy w mózgu. Przytem akt woli stanowi nieistotne zjawisko towarzyszące, zachodzące jednocześnie ze zja-

wiskami fizycznemi. Lecz stanowisko takie zakłada, że wynik zastosowania praw fizycznych do mózgu jest całkowicie zdeterminowany. Bezsensowne jest twierdzenie, że zachowanie się świadomego mózgu jest takie samo, jak zachowanie się mózgu mechanicznego, jeżeli zachowanie się mózgu mechanicznego również nie jest zdeterminowane. Jeżeli prawa fizyki nie są ściśle przyczynowe, to można co najwyżej powiedzieć, że zachowanie się mózgu świadomego jest jednem z możliwych zachowań się mózgu mechanicznego. Właśnie: a wybór jednego z pośród kilku możliwych jest aktem woli.

Moglibyście na to odpowiedzieć: zatem decyzja powzięta przez atom, który wybiera jeden z możliwych skoków kwantowych, jest również objawem „woli"? Nic podobnego: analogja jest zbyt odległa. Zarówno dla mózgu, jak dla atomu, nic w świecie fizycznym, to jest w zakresie wskazań przyrządów, nie determinuje owej decyzji. Decyzja jest faktem świata fizycznego, którego konsekwencje istnieją w przyszłości, ale nie są przyczynowo powiązane z przeszłością. W przypadku mózgu posiadamy wgląd w świat duchowy poza światem wskazań przyrządów, i w tym drugim świecie dostrzegamy nowy obraz decyzji, obraz, który należy uważać za ujawnienie jej prawdziwej istoty — jeżeli wyrazy *prawdziwa istota* mają jakiś sens. Jeżeli idzie o atom, to nie posiadamy takiego bezpośredniego wglądu w to, co się dzieje poza wskazaniami przyrządów. Wierzymy, że poza wskazaniami przyrządów istnieje jakieś podłoże, wiążące się w sposób ciągły z podłożem mózgu. Lecz za użyciem nazwy „wola" dla podłoża samorzutnego zachowania się atomu nie przemawia nic więcej, niż za użyciem nazwy „rozum" dla określenia podłoża jego zachowania się przyczynowego. Podkreślmy, że idzie przedewszystkiem o to, żeby nie wprowadzać do owego podłoża ścisłej przyczynowości, która została wygnana ze świata wskazań przyrządów. W jedynym przypadku, w którym posiadamy bezpośredni wgląd w owo podłoże — w przypadku mózgu — nie mamy żadnej ochoty rezygnować z uznawania podłoża

duszy i woli. Z drugiej strony nie możemy twierdzić, że cechy predestynacji atomu, niedostrzegalne w świecie wskazań przyrządów, istnieją ukryte i niepoznawalne w nieznanem podłożu. Gdyby mi kto zadał pytanie, czy przyczyna decyzji atomu posiada coś wspólnego z przyczyną decyzji mózgu, odpowiedziałbym poprostu, że przyczyna decyzji wogóle nie istnieje. W przypadku mózgu posiadam głębszy wgląd w tę decyzję; wgląd ten ukazuje mi ją, jako wolę, to jest jako coś znajdującego się poza przyczynowością.

Psychiczny akt wyboru pomiędzy ruchem naprawo albo nalewo wywołuje jeden z dwóch alternatywnych zespołów impulsów wzdłuż nerwów w kierunku nóg. W jakimś ośrodku mózgu przebieg zachowania się pewnych atomów czy elementów świata fizycznego jest bezpośrednio zdeterminowany na skutek owego postanowienia; możnaby również powiedzieć, że opis naukowy tego zachowania się stanowi metryczne oblicze owej decyzji. Może udałoby się przy pomocy zawiłych hipotez przeprowadzić teorję, że tylko niewielka liczba atomów (a może tylko jeden) posiada bezpośredni kontakt z świadomością, i że ta garstka atomów służy jako zwrotnica do kierowania świata materjalnego na ten lub inny tor. Lecz jest rzeczą fizycznie nieprawdopodobną, by funkcje atomów mózgu były tak precyzyjnie podzielone, że regulowanie ich pozwoliłoby wyznaczać również zachowanie się innych atomów. Jeżeli wogóle poprawnie zrozumiałem procesy w mym własnym mózgu, to nie może być mowy o jakiemś liczeniu się z pojedyńczemi atomami.

Nie sądzę, by decyzje nasze były dokładnie regulowane przez zachowanie się pewnych atomów-zwrotnic. Czy da się pomyśleć, żebyśmy mogli wybrać jeden atom w mózgu Einsteina i powiedzieć, że gdyby wykonał on niewłaściwy skok kwantowy, to w teorji względności ukazałaby się odpowiednia luka. Jeżeli uprzytomnić sobie fizyczne następstwa temperatury i wzajemnych zderzeń, to staje się rzeczą niemożliwą obstawać przy takim twierdzeniu. Wy-

daje się, że musimy przypisać sile duchowej nietylko zdolność decydowania o zachowaniu się indywidualnych atomów, lecz również wpływania systematycznego na wielkie grupy — regulowanie szans takiego czy innego zachowania się atomu. Oto co stanowiło zawsze jeden z najbardziej ciemnych punktów w teorji oddziaływania ducha i materji.

Oddziaływanie na prawa statystyczne. Czy duch może obejść *prawa statystyczne*, rządzące materją nieorganiczną? Dopóki tej możliwości nie uznamy, drogi oddziaływania ducha wydają się zbyt ograniczone, aby wywołać te wyniki, które obserwujemy jako konsekwencje postanowień duchowych. Lecz z drugiej strony uznanie tej możliwości prowadzi do faktycznej różnicy fizycznej pomiędzy materją nieorganiczną a organiczną (lub przynajmniej świadomą). Wolałbym uniknąć tej hipotezy, ale jest rzeczą konieczną zbadać uczciwie jej konsekwencje. Indeterminacja uznana we współczesnej teorji kwantów jest tylko częściowym krokiem w kierunku wyzwolenia naszych czynów z pod kontroli deterministycznej. Wróćmy do użytej już raz analogji — uznaliśmy istnienie niepewności, od której może zależeć życie ludzkie; lecz musimy jeszcze ponadto odkryć taką niepewność, która zawiedzie oczekiwania towarzystwa ubezpieczeń życiowych. Teoretycznie jedna z tych niepewności może pociągnąć za sobą drugą, jak to się stało, gdy morderstwo w Serajewie rozstrzygnęło o losie miljonów. Lecz hipoteza, że dusza działa za pośrednictwem dwóch czy trzech atomów - zwrotnic jest zbyt rozpaczliwem wyjściem z tej sytuacji, i odrzucam ją dla powodów podanych już wyżej.

Co innego pozwolić duszy skierować atom na jeden z dwóch torów, z których żaden nie byłby nieprawdopodobny dla atomu nieorganicznego; co innego znowu pozwolić na skierowanie tłumu atomów do konfiguracji, która według praw wtórnych jest „zbyt nieprawdopodobna". Nieprawdopodobne jest tu, by wielka liczba tworów działają-

cych niezależnie mogła się zmówić, ażeby wywołać zamierzony skutek; jest to tak nieprawdopodobne, jak przypadkowe przejście wszystkich atomów do jednej połowy naczynia. Musimy przypuścić, że w tej części fizycznej mózgu, która bezpośrednio jest związana z decyzją psychiczną, istnieje jakaś zależność wzajemna pomiędzy zachowaniem się różnych atomów, której nie dostrzegamy w materji nieorganicznej.

Nie mam zamiaru pomniejszać doniosłości różnicy pomiędzy materją żywą a martwą. Lecz sądzę, że trudność została nieco złagodzona, jeżeli nie usunięta. Jeżeli pozostawiamy atomowi jego dawną budowę, lecz uznajemy możliwość jakiegoś wpływu na prawdopodobieństwo jego niezdeterminowanego zachowania się, to nie popadamy w tak rażącą sprzeczność z prawami przyrody, jak przy innych teorjach oddziaływania ducha na materję, które próbowano wysuwać. (Być może zresztą, że tylko dlatego, że nie wiemy dostatecznie wiele o tych prawdopodobieństwach, nie odczuwamy horendalności takiego pomysłu). Dopóki prawdopodobieństwo pozostaje wierne swej nazwie, może ono ulegać wpływom, na które nigdyby nie reagowały zwykłe twory fizyczne. Nie może istnieć jedno oznaczone prawdopodobieństwo związane z jakiemś zjawiskiem, czy zachowaniem się. Możemy mówić jedynie o „prawdopodobieństwie w świetle pewnej danej wiedzy", i prawdopodobieństwo zmienia się z zakresem tej wiedzy. Wydaje mi się jednym z najbardziej nieprzyjemnych rysów nowej teorji kwantów w jej współczesnym stanie, że nie zdaje sobie ona jakgdyby sprawy z tego faktu i pozostawia nas na pastwę domysłów co do podstawy, na której się opierają jej twierdzenia o prawdopodobieństwie.

Spójrzmy teraz z innej strony: jeżeli jedność świadomości człowieka nie jest złudzeniem, to musi jej odpowiadać jakaś jedność w relacjach materji duchowej, która kryje się poza wskazaniami przyrządów. Jeżeli zastosujemy do świata z jednolitym podkładem duchowym nasze miary struktury relacyj, jak w rozdziale XI, to zbudujemy mater-

ję i pola sił, czyniące tożsamościowo zadość podstawowym prawom pola. Atomy fizyczne nie będą się indywidualnie różniły od tych, które zostały zbudowane poprzednio, gdy nie zakładaliśmy tej jedności w podłożu świata. Lecz wydaje się rzeczą rozsądną, że przy rozważaniu ich zbiorowego zachowania się będziemy musieli wtedy uwzględnić szersze jednoczące wpływy materjału duchowego, wywołujące zależność pomiędzy atomami. Nie należy się spodziewać, że wyniki statystyczne będą tu takie same, jak dla struktur z atomów połączonych przypadkowo.

Sądzę, że również materjalista musi dojść od podobnego wniosku, jeżeli uczciwie przemyśli to zagadnienie. Będzie musiał wprowadzić w świecie fizycznym coś odpowiadającego symbolicznie jedności atomów, połączonych w indywidualnej świadomości, jedności, która nie istnieje w zbiorowisku atomów połączonych w ten sposób. Jedność ta wyklucza oczywiście przepowiednie fizyczne oparte na hipotezie panowania przypadku. Ciąży bowiem na materjaliście nietylko obowiązek przełożenia na konfiguracje materjalne różnorodnych myśli i wyobrażeń ducha, ale nie wolno mu również zaniedbać znalezienia jakiegoś fizycznego odpowiednika dla jaźni.

Rozdział XV

NAUKA A MISTYCYZM

Wypadło mi się pewnego razu zająć zagadnieniem wywoływania fal przez wiatr. Zajrzałem do klasycznego podręcznika hydrodynamiki i znalazłem pod tym właśnie nagłówkiem co następuje:

> Równania (12) i (13) poprzedniego paragrafu pozwalają nam zbadać pokrewne zagadnienie, dość interesujące. Idzie o wytwarzanie i utrzymywanie się fal w ośrodku o tarciu wewnętrznem, przy działaniu odpowiednich sił na powierzchni cieczy.
>
> Jeżeli siły zewnętrzne p'_{yy}, p'_{xy} są danemi wielokrotnościami $e^{ikx+\alpha t}$, gdzie k i α są zgóry zadane, to odpowiednie równanie wyznaczy A i C, a zatem również na mocy (9), wartość η. Znajdziemy na tej drodze:
>
> $$\frac{p'_{yy}}{g\rho\eta} = \frac{(\alpha^2+2\nu k^2\alpha+\sigma^2)A - i(\sigma^2+2\nu km\alpha)C}{gk(A - iC)},$$
>
> $$\frac{p'_{xy}}{g\rho\eta} = \frac{\alpha}{gk} \cdot \frac{2i\nu^2 A + (\alpha+2\nu k^2)C}{(A - iC)},$$
>
> gdzie $gk+T'k^3$ oznaczyliśmy jak wyżej przez σ^2.

I tak dalej przez dwie strony. Przy końcu okazuje się, że wiatr o szybkości mniejszej niż 0,8 km na godzinę nie zmąci powierzchni wody. Przy szybkości 1,6 km na godzinę powierzchnia pokryje się drobnemi zmarszczkami, pochodzącemi od fal włoskowatych, przyczem zmarszczki te znikają natychmiast wraz z siłą zakłócającą. Przy szybkości 3,2 km na godzinę pojawiają się fale, spowodowane przez siłę ciężkości. Autor kończy skromnie: „Nasze bada-

nia teoretyczne pozwalają się zorjentować dość jasno w początkowych stadjach powstawania fal".

Tem samem zagadnieniem zająłem się przy innej sposobności. Wtedy jednak inna książka okazała się stosowniejsza; przeczytałem w niej:

> Są wody rozśmiane przy wiatrów podmuchu,
> Światłem nieb bujnych drgające, wciąż w ruchu.
> Mróz nagłem dotknięciem zatrzyma pląs fali,
> Wód piękno, wód urok. I oto zostanie
> Z nich tylko blask biały, co w głębi się pali,
> I cisza i przestrzeń: noc na oceanie.
>
> (*R. Brooke*)

Te słowa wyczarowują cudowny obraz przed oczyma naszej wyobraźni. Odczuwamy Naturę, bliską nas, łączącą się z nami, aż wypełniła nas radość fal, tańczących w słońcu, dreszcz księżyca nad zastygłem jeziorem. Chwile te nie przynoszą nam ujmy. Nie mówmy, wspominając je: „To niegodne, by człowiek o sześciu trzeźwych zmysłach i naukowem wykształceniu pozwolił się tak oszukać. Na przyszłość będę z sobą brał Hydrodynamikę Lamba". Błogosławione niech będą takie chwile. Życie byłoby żałosne i ciasne, gdybyśmy w otaczającym nas świecie nie dostrzegali innej treści, poza tą która da się zmierzyć i zważyć przy pomocy narzędzi fizyka, lub też opisać przy pomocy metrycznych symbolów matematyka.

Oczywiście było to złudzenie. Łatwo można zdemaskować dość niezręczne oszustwo, którego się na nas dopuszczono. Drgania eteru, o różnych długościach fali, odbite pod różnemi kątami od zakłóconej powierzchni, odgraniczającej powietrze od wody, dotarły do naszego oka i przez oddziaływanie fotoelektryczne wywołały odpowiednie podniety, które powędrowały wzdłuż nerwów optycznych do właściwego ośrodka mózgu. Tam dusza zabrała się do pracy, splatając wrażenie z tych podniet. Materjał nadesłany był dość szczupły. Lecz dusza jest wielką składnicą skojarzeń, których można użyć do przyodziania szkieletu. Utkawszy to wrażenie, dusza spojrzała na swe dzieło i orzekła: Dobrem

jest. Zdolność krytyczna uległa uśpieniu. Przestaliśmy analizować i uświadamialiśmy sobie jedynie wrażenie jako całość. Ciepło powietrza, zapach trawy, cichutki szmer wiatru, połączyły się z tem, co moglibyśmy widzieć, w jedno transcendentalne wrażenie, dokoła nas i wewnątrz nas. Skojarzenia, wyzierające z owej składnicy, stawały się coraz śmielsze. Przypomnieliśmy sobie być może wyrazy: „falujący śmiech"... Fale — zmarszczki — śmiech — wesołość — wyobrażenia te tłoczyły się niesfornie. Zupełnie nielogicznie odczuwaliśmy wesołość, jakkolwiek żadna rozsądna osoba nie wytłumaczy, dlaczego należy się cieszyć ze zbioru drgań eteru. Nastrój spokojnej radości otoczył całość wrażenia. Pogoda ta była w nas, w Naturze, w falach, wszędzie.

Było to złudzenie. Więc pocóż się niem zajmować dłużej? Te ulotne fantazje, rzucane w świat zewnętrzny przez niesforną duszę, nie powinny zaprzątać poważnego poszukiwacza prawdy. Wróćmy do trwałej substancji rzeczy, do materjału wody, poruszającej się pod wpływem ciśnienia powietrza i siły ciężaru, zgodnie z prawami hydrodynamiki. Lecz trwała substancja rzeczy jest przecie również złudzeniem, jest również fantazją, rzuconą w świat zewnętrzny przez duszę. Traktowaliśmy najprzód ciecz jako ciągłą substancję; potem musieliśmy substancję przenieść do atomu, z atomu do elektronu, a tam ją zagubiliśmy ostatecznie. Lecz wkońcu — mógłby kto powiedzieć — osiągnęliśmy coś rzeczywistego na końcu tego pościgu, osiągnęliśmy protony i elektrony. A jeżeli nowa teorja kwantów potępi te obrazy jako zbyt konkretne i pozostawi nas bez żadnego rozsądnego oparcia dla wyobraźni, to mamy przynajmniej spółrzędne symboliczne i funkcje Hamiltonowskie, poświęcające się ofiarnie wspólnemu celowi, by zapewnić że $pq - qp$ równa się $ih/2$

W jednym z poprzednich rozdziałów próbowałem wykazać, że na tej drodze dochodzimy do pewnego schematu cyklicznego, który z samej swej istoty może być jedynie częściowym obrazem naszego otoczenia. Nie daje on rzeczy-

wistości, lecz szkielet rzeczywistości. „Rzeczywistość“ zagubiliśmy w tarapatach pogoni. Odrzuciliśmy najprzód duszę jako źródło złudzeń, a wypadło nam ostatecznie powrócić do duszy i powiedzieć jej: „Oto światy, zbudowane dobrze i zgodnie z prawdą z materjału pewniejszego, niż twe fantastyczne złudzenia. Lecz nic nie mamy takiego, coby uczyniło jeden z nich światem faktycznym. Wybierz jeden z nich i wpleć do niego swe fantastyczne obrazy, bo tylko to może weń tchnąć życie“. Wykarczowaliśmy wszelkie fantazje ducha, aby dotrzeć do rzeczywistości, ukrywającej się na dnie; teraz musimy się przekonać, że owa rzeczywistość na dnie posiada zdolność do wywoływania tych fantazyj. Dusza, tkacz złudzeń, jest zarazem jedyną poręką rzeczywistości; oto dlaczego u podstawy wszelkiego złudzenia należy zawsze poszukiwać rzeczywistości. Złudzenie jest dla rzeczywistości tem, czem dym dla ognia. Nie chcę przez to bronić starego fałszu, że niema dymu bez ognia, lecz jest rzeczą rozsądną zapytać, czy w mistycznych złudzeniach człowieka niema odbicia jakiejś ukrytej rzeczywistości.

Postawmy pytanie konkretnie: Dlaczego mielibyśmy pochwalać przeżywanie takich złudzeń, jakie opisałem wyżej? Sądzę, że każdy pochwala usposobienie wrażliwe na przyrodę, pochwala przetwórczą fantazję i uważa, że nie jest rzeczą właściwą rozcinać stale bez skrupułów otoczenie na sposób teoretyka fizyki. Idzie tu nietylko o punkt widzenia utylitarystyczny, lecz również o wyższy punkt widzenia — o spełnienie życia, które nam dano. Fantazja nie jest jedynie podniętą, której mamy używać od czasu do czasu, by z większym zapałem stosować poprawnie umysł do badań naukowych. Możnaby jej bronić naprzykład na tej podstawie, że niematematycznym umysłom zapewnia w pewnym słabym stopniu ten zachwyt nad światem zewnętrznym, któryby przeżyły w sposób pełniejszy, gdyby rozumiały równania różniczkowe. (Obawiam się, aby czytelnik nie pomyślał, że pragnę ośmieszyć hydrodynamikę; śpieszę zatem powiedzieć, że nie umieściłbym intelektualnego (naukowego) odczucia rzeczywistości na niższym po-

ziomie, niż mistyczne. Znam ustępy, napisane w symbolach matematycznych, które w swej wzniosłości dorównywują owemu sonetowi Ruperta Brooke'a). Lecz sądzę, że się zgodzicie ze mną na twierdzenie, iż jeden z tych dwóch sposobów wielbienia Natury może całkowicie zastąpić drugi. Jakże jednak można uznawać ten pierwszy sposób, skoro nie zawiera on *nic*, prócz złudzenia? Czy nie zaprzecza to wszelkim naszym ideałom etycznym? Wydaje mi się, że istnieją tylko dwie alternatywy: Albo uważać wszelką uległość owemu mistycznemu kontaktowi z Naturą za grzeszną i fałszywą etycznie, albo też uznać, że w tych nastrojach chwytamy coś z prawdziwego stosunku świata do nas — stosunku, którego nie można dostrzec przy ściśle naukowej analizie jego treści. Sądzę, że nawet najbardziej zażarty materjalista nie broni, a w każdym razie nie uprawia pierwszej alternatywy. Przyjmuję zatem tę drugą: że istnieje coś z prawdy u podstawy złudzenia.

Musimy jednak przerwać, by rozważyć rozmiary iluzji. Czy idzie tu o drobne ziarenko prawdy, pogrzebane pod górą złudzenia? Gdyby tak było, to powinniśmy się przynajmniej w części od niego uwolnić i starać się o poznanie prawdy w jej czystej postaci. Otóż, mojem zdaniem, w naszem odczuciu teatru przyrody, który wywiera na nas takie wrażenie, niewiele być może fałszu. Nie sądzę, by istota o wyższej inteligencji niż nasza mogła wiele skreślić z tego, co odczuwamy. Nietyle samo nasze odczucie błądzi, ile późniejsze jego badanie, które je oplata w fantastyczne obrazy. Gdybym miał sformułować w słowach istotę prawdy, którą nam ujawnia doświadczenie mistyczne, to powiedziałbym, że nasze dusze nie są oddzielone od świata; że uczucia pogody i smutku i inne, jeszcze głębsze, niecałkowicie są w nas, lecz są przebłyskami rzeczywistości, przekraczającej wąskie ramy naszej świadomości osobistej; że harmonja i piękno oblicza Natury jest w istocie jednem z radością, która rozpogadza twarz człowieczą. Próbowaliśmy wyrazić tę samą prawdę, gdyśmy mówili, że twory fizyczne są jedynie ekstraktem wskazań przyrządów, że u ich podstawy znajduje

się istota, łącząca się w ciągły sposób z naszą własną. Lecz tylko niechętnie formułuję ją w słowach, albo poddaję ją badaniu introspekcyjnemu. Widzieliśmy, jak sens świata fizycznego zmienia się gwałtownie, gdy obserwujemy go od zewnątrz, zamiast od wewnątrz, jak to się powinno zasadniczo odbywać. Za pośrednictwem introspekcji wyławiamy prawdę do badania zewnętrznego; natomiast przy odczuciu mistycznem prawdę pojmujemy od wewnątrz, jako część nas samych. Tak właśnie powinno się to odbywać.

Wiedza symboliczna a wiedza wewnętrzna. Chciałbym omówić szczegółowiej ten zarzut przeciwko introspekcji. Posiadamy dwa rodzaje wiedzy, które będę nazywał wiedzą symboliczną i wiedzą wewnętrzną. Nie wiem, czy wolno twierdzić, że rozumowanie odnosi się wyłącznie do wiedzy symbolicznej, w każdym razie jednak pospolitsze formy rozumowania zostały rozwinięte wyłącznie dla wiedzy symbolicznej. Wiedza wewnętrzna nie chce się podporządkować regulaminom i analizie; lub też raczej, gdy próbujemy ją zanalizować, wewnętrzność jej rozwiewa się i ustępuje miejsca symbolizmowi.

Rozważmy jako ilustrację analizę humoru. Sądzę, że można do pewnego stopnia zanalizować humor i sklasyfikować istotne części składowe różnych rodzajów żartów. Przypuśćmy, że nam przedstawiono domniemany żart. Poddajemy go analizie naukowej i być może po dokładnem zbadaniu wszystkich jego właściwości, będziemy mogli potwierdzić, że jest to naprawdę dobry żart. Logicznie biorąc, jak sądzę, następnym krokiem winienby być śmiech. Lecz można przepowiedzieć z pewnością, że w wyniku tego badania stracimy wszelką ochotę do śmiechu, jeżeliśmy kiedyś ją mieli. Badanie to poprostu nie ujawnia wewnętrznego mechanizmu żartu. Klasyfikacja owa dotyczy symbolicznej wiedzy o humorze, który obejmuje wszystkie cechy żartu prócz tej, że wywołuje śmiech. Prawdziwa ocena musi przyjść samorzutnie, a nie na skutek introspekcji. Sądzę,

że nie jest to niewłaściwa analogja do naszego mistycznego odczucia Natury i zaryzykowałbym nawet zastosowanie jej do mistycznego odczucia Boga. Istnieją ludzie, dla których uczucie istnienia boskiego, przenikającego duszę, jest jedną z najoczywistszych danych doświadczenia. Z ich stanowiska człowiek bez tego zmysłu jest jak człowiek bez poczucia humoru. Brak tego zmysłu jest pewnego rodzaju duchowym defektem. Możemy próbować analizy tego doświadczenia, podobnie jak analizujemy humor, i zbudować teologję, albo też filozofję ateistyczną, która ubierze w szatę naukową wszystko, co można z niej wywnioskować. Nie zapominajmy, że teologja stanowi wiedzę symboliczną, podczas gdy doświadczenie stanowi wiedzę wewnętrzną. I podobnie jak nie można wywołać śmiechu przez naukowy wykład budowy żartu, tak dyskusja filozoficzna nad atrybutami Boga (czy jakiegoś nieosobowego równoważnika) nie uchwyci tej wewnętrznej reakcji ducha, która jest jądrem całego doświadczenia religijnego.

Obrona mistycyzmu. Obronę mistycyzmu możnaby podjąć mniej więcej w ten sposób. Przyznaliśmy, że twory fizyki, dzięki samej swej istocie, mogą oddawać tylko jedno z dwóch oblicz Natury. Cóż uczynić z resztą? Nie można przecie twierdzić, że ta reszta mniej nas obchodzi, niż owe twory fizyczne. Uczucia, zamiary, wartości składają się na naszą świadomość w równym stopniu jak doznania zmysłowe. Śledzimy owe wrażenia zmysłowe i stwierdzamy, że prowadzą one — wprawdzie nie do przestrzeni i czasu, ale z pewnością w jakieś dziedziny. Jeżeli zajmiecie stanowisko, że całość naszej świadomości sprowadza się do tańca elektronów w mózgu, tak że każda emocja jest jedną z figur tańca, to wtedy wszystkie cechy świadomości zarówno prowadzą do zewnętrznego świata fizyki. Lecz przyjmuję, żeśmy się już zgodzili na odrzucenie tego poglądu i że zgadzacie się również na to, że całość świadomości obejmuje więcej, niż owe quasi-metryczne jej oblicza, których oderwanie pozwala utworzyć mózg fizyczny. Musimy się więc zająć temi skła-

dnikami naszej istoty, których nie można ująć metrycznie, których nie można przeszczepić na grunt przestrzeni i czasu. Gdy mówię „zająć się“ nie mam na myśli naukowego ich badania. Idzie o pierwszy krok, który polega na uznaniu prymitywnych wyobrażeń, w które umysł ubiera te przeżycia, podobnie jak uznajemy prymitywne wyobrażenia, które stanowią świat doświadczenia powszedniego. Nasze wyobrażenie powszedniego stołu było złudzeniem. Lecz gdyby nas jakiś głos proroczy ostrzegł, że jest to złudzenie i gdybyśmy na skutek tego zaprzestali dalszego badania, to nigdybyśmy nie znaleźli stołu naukowego. Aby dotrzeć do rzeczywistości stołu, musieliśmy posiadać narządy zmysłowe, które splatały dokoła stołu obrazy i złudzenia. Jeżeli zatem pragniemy szerszej wiedzy, to pierwszy krok w tym kierunku powinien polegać na rozbudzaniu wyobraźni w dziedzinie tych wyższych przeżyć, o których mówiliśmy. Należy dążyć do tego, by owe elementy naszej istoty przestały być ślepemi drogami, żeby się otwierały w świat, który bezwątpienia będzie częściowo światem złudzeń, lecz w którym tem nie mniej człowiek przebywa w równym stopniu jak w świecie, który nam, również nie bez złudzeń, odkrywają nasze zmysły.

Mistyk wezwany przed trybunał naukowców mógłby zakończyć swą obronę w tym mniej więcej sposobie: „Świat materjalny doświadczenia codziennego, jakkolwiek szwankuje pod względem prawdy naukowej, jest bardzo wygodnem pomieszkaniem. Świat wskazań przyrządów byłby dość niepryjemną siedzibą. Jest to świat symboliczny i tylko *symbole* mogłyby żyć w nim wygodnie. Lecz ja nie jestem symbolem; składam się z tej aktywności umysłowej, która jest waszem zdaniem gniazdem złudzeń, tak że muszę przekształcać świat badany zmysłowo, jeżeli chcę pozostać w zgodzie z własną swą naturą. Lecz nie składam się wyłącznie ze zmysłów, reszta mej istoty musi również żyć i rosnąć. Muszę zdać sprawę z tego otoczenia, na które owa reszta otwiera perspektywy. Moje wyobrażenia o tem otoczeniu duchowem nie dadzą się porównać z waszym naukowym świa-

tem wskazań przyrządów; jest to raczej świat codzienny, który można porównać z światem materjalnym doświadczenia powszedniego. Uważam, że nie jest on ani mniej, ani więcej rzeczywisty od tego ostatniego. Przedewszystkiem nie jest to świat do analizy, lecz świat do życia".

Mistyk nie wycofa się ze swego stanowiska, nawet jeżeli przyzna, że program ten prowadzi nas poza zakres wiedzy ścisłej i że trudno sobie wyobrazić, by do tego duchowego otoczenia kiedykolwiek można było zastosować ścisłe rozumowanie. Powie, że z tego, że nie jesteśmy zdolni ściśle opisać naszego otoczenia nie wynika, że lepiej udawać, że żyjemy w próżni.

Jeżeli trybunał uzna, że obrona ta odparła pierwsze natarcia, zastosuje zapewne w dalszym ciągu ataku chwyt obojętnej tolerancji. „Dobrze, rób jak uważasz. Jest to nieszkodliwa wiara — zupełnie co innego, niż bardziej dogmatyczna teologja. Chciałbyś posiadać jakieś duchowe boisko dla tych dziwnych skłonności w naturze ludzkiej, które czasem opanowują człowieka. Idź zatem i baw się, ale nie zawracaj głowy poważnym ludziom, którzy pilnują świata". Wyzwanie to pochodzi już nie od materjalizmu naukowego, który pragnie znaleźć przyrodnicze wyjaśnienie dla sił duchowych, lecz od niebezpieczniejszego materjalizmu moralnego, który temi siłami gardzi. Niewielu tylko świadomie wyznaje tę filozofję, że siły postępu są powiązane jedynie ze stroną materjalną naszego otoczenia, lecz z drugiej strony niewielu tylko może twierdzić, że nie ulega jej wpływowi. Nie powinniśmy przeszkadzać „ludziom praktycznym", tym pracowitym twórcom historji, którzy w coraz szybszem tempie unoszą nas w kierunku naszego przeznaczenia, które każe mrowisku ludzkiemu niszczyć ziemię. Lecz czy historja potwierdza, że siły materjalne były zawsze najpotężniejszemi czynnikami? Nazwijcie je boskiemi, szatańskiemi, fanatyzmem, głupotą — lecz nie niedoceniajcie potęgi mistyki. Można zwalczać mistycyzm jako błąd, albo wierzyć weń jako w inspirację, lecz nie może on być przedmiotem obojętnej tolerancji.

Rzeczywistość a mistycyzm. Lecz obrona przed naukowcami nie wystarczy na nasze własne wątpliwości. Trapi nas wyraz *rzeczywistość*. Próbowałem już omawiać sprawy, związane ze znaczeniem tego wyrazu. Lecz napastuje on nas tak gwałtownie, że narażając się na powtórzenia, muszę go raz jeszcze zbadać ze stanowiska religji. Kompromis złudzenia i rzeczywistości może wystarczyć przy traktowaniu naszego otoczenia fizycznego; lecz przyjęcie takiego kompromisu w dziedzinie religji oznaczałoby lekceważenie świętości. Wydaje się, że rzeczywistość dotyczy wierzeń religijnych bardziej, niż czegokolwiek innego. Nikt się nie troszczy o to, czy istnieje rzeczywistość ukryta poza humorem. Artysta, który usiłuje wyrazić duszę w swym obrazie, nie troszczy się o to, czy dusza naprawdę istnieje, czy też nie. Nawet fizyka mało obchodzi, czy atomy lub elektrony naprawdę istnieją; zapewnia zazwyczaj, że tak właśnie jest, lecz, jak widzieliśmy, wyrazu „istnienie“ używa wtedy w pewnym indywidualnym sensie i nikt się tem nie interesuje, czy jest to więcej niż termin konwencjonalny. W wielu dziedzinach (nie wyłączając być może filozofji) wydaje się wystarczające umówić się, co będziemy nazywali rzeczywistem, a dopiero potem próbować wykryć znaczenie tego wyrazu. Tak więc się dzieje, że religja jest jedynym terenem badania, na którym sprawa rzeczywistości i istnienia jest uważana za doniosłą i bardzo istotną.

Lecz jak tę sprawę rozstrzygnąć? Gdy Dr. Johnson uwikłał się w jakieś argumentacje, aby zwalczyć „pomysłową sofistykę biskupa Berkeleya, dowodzącą, że materja nie istnieje i że wszystko w wszechświecie jest tylko idealne“ odpowiedział, „uderzywszy bardzo silnie nogą w wielki kamień, tak że ten odskoczył“ — „Oto moja replika“. O czem to go właściwie przekonało, niebardzo jest jasne; lecz najwidoczniej jakoś go to uspokoiło. I po dziś dzień rzeczowi naukowcy odczuwają to samo pragnienie, by uciec przed tym polotem myśli w dziedzinę rzeczy, które można kopnąć, chociaż powinni byli się zorjentować już do tej pory, że to,

co nam Rutherford zostawił z wielkiego kamienia, nie zasługuje nawet na kopnięcie.

Istnieje ciągle jeszcze skłonność do poszukiwania w wyrazie „rzeczywistość" jakiejś magicznej pociechy, jak kiedyś w błogosławionym wyrazie „Mezopotamja". Gdybym miał stwierdzać rzeczywistość duszy albo Boga, to nie próbowałbym porównania z wielkim kamieniem Johnsona, który jest jawnem złudzeniem, ani też z wielkościami *p* i *q* teorji kwantów, które są abstrakcyjnemi symbolami. Nie mam zatem prawa używać tego wyrazu w religji, aby przy jego pomocy użyczyć jej przedmiotowi tej przyjemnej aureoli, która — najprawdopodobniej fałszywie — została skojarzona z kamieniami i spółrzędnemi kwantowemi.

Instynkt naukowy ostrzega mnie, że wszelka próba odpowiedzi na pytanie, co jest rzeczywiste, w sensie szerszym od tego, który przyjęto w nauce dla spraw wewnętrznych, prowadzi tylko do zabłąkania się w próżne słowa i górnolotne przymiotniki. Wiemy wszyscy dobrze, że istnieją dziedziny ducha ludzkiego, niezależne od świata fizyki. W mistycznem poczuciu stworzenia, w sztuce, w tęsknocie za Bogiem, dusza wznosi się i znajduje spełnienie czegoś, właściwego jej naturze. Usprawiedliwienie tego rozwoju tkwi wewnątrz nas, jest to dążenie, które się narodziło wraz z naszą świadomością, czy też Światło Wewnętrzne, pochodzące od większej niż nasza potęgi. Nauka chyba nie zakwestjonuje tego usprawiedliwienia, gdyż pościg za prawdą pochodzi właśnie z dążenia, któremu dusza musi ulegać, z ciekawości, która nie pozwoli się stłumić. Czy w intelektualnej pogoni nauki, czy to w mistycznej pogoni ducha, jakieś światło wabi nas zdaleka, a pragnienie we wnętrzu naszej istoty odpowiada na to wołanie. Czy nie możemy tak pozostawić sprawy? Czy naprawdę jest rzeczą konieczną wyciągać wygodny wyraz „rzeczywistość", i rozdawać go protekcjonalnie dokoła?

Zagadnienie świata naukowego jest częścią zagadnienia znacznie szerszego — zagadnienia całości naszego do-

świadczenia. Doświadczenie można uważać za kombinację własnej istoty z otoczeniem, przyczem rozplątanie tych oddziaływujących na siebie składników jest częścią zagadnienia. Życie, religja, wiedza, prawda — wszystko się wiąże w tem zagadnieniu; przedmiotem jednych jest szukanie nas samych w tem doświadczeniu, przedmiotem innych wyszukanie w niem naszego otoczenia. Każdy z nas w swojem życiu styka się z tem zagadnieniem; jest niezmiernie doniosłym warunkiem, że stanowimy część danych tego zagadnienia, które właśnie mamy rozwiązać. Na samym początku dostrzegamy najpierwotniejszy fakt odczucia jakiegoś przeznaczenia w nas, które nas skłania do podjęcia owego zagadnienia. Mamy coś spełnić w naszem życiu. Istnieją zdolności, któremi jesteśmy obdarzeni, lub które winniśmy zdobyć i które w rozwiązaniu tego zagadnienia muszą znaleźć swe spełnienie. Może się wydać zarozumiałem, że tak kształtujemy pojęcie prawdy według naszej istoty: lecz zagadnienie prawdy może powstać tylko z pragnienia prawdy, które się w naszej istocie znajduje.

Tęcza opisana przy pomocy symbolów fizyki jest pasmem drgań eteru, ułożonych systematycznie według długości fal od mniej więcej 0,000040 cm do 0,000072 cm. Z pewnego punktu widzenia zniekształcamy prawdę, gdy podziwiamy wspaniały łuk barw, i winniśmy dążyć, by umysł nas przeżywał tęczę taksamo, jak tablicę długości fal. Lecz jakkolwiek w ten właśnie sposób objawia się tęcza nieosobowemu spektroskopowi, nie opisujemy jednak całości prawdy i sensu doświadczenia — które jest punktem wyjścia dla całego zagadnienia — gdy usuwamy czynniki, które nas różnią od spektroskopu. Nie możemy powiedzieć, że tęcza, jako część świata, jest przenaczona do wywoływania żywych efektów barw; lecz wolno nam być może, powiedzieć, że dusza ludzka, jako część świata, jest przeznaczona do poznawania tęczy w ten właśnie sposób.

Sens i wartość. Gdy myślimy o śmiechu iskrzących się fal, wkładamy oczywiście w obserwowany obraz pewien sens,

którego w nim nie było. Fizyczne elementy wody — drobne mknące ładunki elektryczne — nie zamierzały bynajmniej wywołać wrażenia, że są szczęśliwe. Lecz zupełnie podobnie nie zamierzały one wywołać wrażenia substancji, barwy i kształtu geometrycznego fal. Jeżeli można im przypisać jakieś wogóle zamiary, to możnaby mówić tylko o zamiarach spełniania pewnych równań różniczkowych — i to tylko dlatego, że są one same tworami matematyka, który ma szczególne upodobanie do równań różniczkowych Treść fizyczna jest równie obca owemu obrazowi, jak treść mistyczna; obie znajdują się *tu* — w duszy.

Wszystko, cokolwiek powiemy o świecie, musi być w wysokim stopniu zależne od zmysłów, które przypadkowo posiadamy. Jakże się zmienił świat od czasu, gdy człowiek zaczął wierzyć raczej swemu wzrokowi, niż powonieniu! Jesteś sam w górach, tonąc w wielkiej ciszy; lecz wyposaż się w sztuczny zmysł elektryczny i... eter zaryczy wrzaskiem jazz-bandu z Savoyu. Lub...

> Ta wyspa pełna jest rozgłosów,
> Dźwięków i słodkich pieśni, co niosą rozkosz,
> A nie rażą. Czasami tysiące
> Rozdrganych instrumentów brzęczy, czasem
> Brzmią głosy wkoło mnie,

Naogół biorąc, dostrzegamy w Naturze to, czego szukamy, albo do czego szukania jesteśmy przystosowani. Nie chcę oczywiście powiedzieć, że stanowisko to da się przeprowadzić we wszystkich szczegółach; ale, w świetle uznanych przez nas wartości, będą się odcinały rzeczy, które tym wartościom odpowiadają. W ten sposób naprzykład wartość przywiązywana do trwałości wywołała świat pozornej substancji; być może w ten sposób Bóg wewnątrz nas tworzy Boga w Naturze. Lecz nie możemy uzyskać zupełnego ujęcia, dopóki oddzielamy świadomość od świata, do którego ona należy. O tem, co nazwałem „podłożem wskazań przyrządów“ możemy mówić wprawdzie tylko spekulatywnie; ale sądzę, że możemy się odważyć na przypuszczenie, że je-

żeli nasze wartości są naprawdę absolutne, to muszą być ukryte w tem podłożu, które się nie ujawnia w fizyce; nie istnieją one bowiem we wskazaniach przyrządów, lecz są poznawane przez świadomość, wzrastającą w to właśnie podłoże. Nie pragnę wysuwać tego poglądu jako teorję; chciałbym tylko podkreślić, że poznajemy świat fizyczny i jego punkty styczności z podłożem tylko na terenie naszych izolowanych świadomości i że wobec tego nie możemy osiągnąć tej idei całości, która jest cechą skończonej teorji. Prawdopodobnie natura ludzka w pewnym stopniu została wyspecjalizowana na skutek doboru naturalnego. Możnaby wobec tego wątpić, czy ocena trwałości i innych cech, które obecnie uważamy za podstawowe, stanowi istotną cechę świadomości, czy też została rozwinięta w stosunkach ze światem zewnętrznym. Jeżeli to drugie jest prawdą, to wartości, które duch dostrzega w świecie zewnętrznym, pochodzą pierwotnie z materjału tego świata. Takie przerzucanie wartości nie byłoby obce naszemu poglądowi, że materjał świata, ukryty poza wskazaniami przyrządów, wiąże się w sposób ciągły z duchem.

W sprawach praktycznych wystarczy przyjąć wartości uznane przez normalną ludzką świadomość za wartości powszechne. Lecz jawna możliwość dowolności przy takiej ocenie skłania nas do poszukiwania kryterjów, które byłyby ostateczne i bezwzględne. Stajemy wtedy przed dwiema alternatywami. Albo nie uznajemy żadnych wartości bezwzględnych; wtedy głos wewnętrzny naszej świadomości jest najwyższym sędzią i próżne jest poszukiwanie innej instancji. Albo też uznajemy wartości bezwzględne; wtedy wypada się oddać optymistycznej wierze, że nasze wartości są jakiemś słabem odbiciem wartości Sędziego Absolutnego, czyli że posiadamy jakiś wgląd w ducha Absolutu, w źródła owych pragnień i ich przyczynę, którego powagi zazwyczaj już nie podajemy w wątpliwość.

Próbowałem oczywiście przedstawić stanowisko, do którego dotarliśmy w niniejszych wykładach, tak konsekwentnie, jak to było możliwe. Lecz nie zdziwiłbym się bardzo,

gdyby pod ostrzem krytyki ujawniły się w niem sprzeczności. Całkowita konsekwencja jest warunkiem ujęcia ostatecznego; dla nas jednak jest ważniejsze, czy nasze rozumowania dotknęły istotnych punktów, niż czy doprowadziły do właściwych wyników. Naczelne punkty, które zdaniem mojem zasługują na badanie filozoficzne, mogą być streszczone w następujący sposób.

(1) Symboliczność istoty tworów fizycznych jest powszechnie uznana. Schemat fizyki w jego obecnem sformułowaniu ujawnia jaskrawo fakt, że jest tylko częściowem obliczem czegoś obszerniejszego.

(2) Ścisła przyczynowość została w dziedzinie świata materjalnego zarzucona. Nasze wyobrażenia o prawach rządzących światem znajdują się w stadjum rekonstrukcji, i nie jest rzeczą możliwą przepowiedzieć, jaką przyjmą ostatecznie formę; wszystko jednak wskazuje na to, że ścisła przyczynowość znikła nazawsze. Usuwa to dawniejszą konieczność założenia, że dusza podlega prawom deterministycznym, lub też przeciwnie, że może ona zakłócić funkcjonowanie praw deterministycznych.

(3) Uznajemy, że świat fizyczny jest całkowicie abstrakcyjny i „nierzeczywisty", jeżeli pominąć jego związek z świadomością. Dzięki temu przywracamy świadomości jej podstawową rolę, zamiast traktować ją jako nieistotną komplikację, znalezioną okolicznościowo wśród przyrody nieorganicznej w poźnem stadjum historji ewolucji.

(4) Usprawiedliwienie dla wiązania „rzeczywistego" fizycznego świata z pewnemi czuciami, których jesteśmy świadomi, nie różni się istotnie, jak się wydaje, od usprawiedliwienia dla wiązania jakiejś dziedziny duchowej z inną częścią naszej osobowości.

Nie pragniemy twierdzić, że w filozofji tej znajduje się coś nowego. W szczególności treść pierwszego z powyższych punktów podnosiło wielu pisarzy, i uzyskała ona bezwątpienia powszechną zgodę wielu uczonych jeszcze przed ostatniemi przewrotami w teorjach fizycznych. Lecz sprawy te uzyskują inne zabarwienie, gdy stają się czemś więcej niż

doktryną filozoficzną, na którą można uzyskać powszechną zgodę; stają się one składnikiem współczesnej postawy naukowej, potwierdzonej w szczegółach przez bieżący schemat fizyki.

Przekonanie. Przez czternaście rozdziałów śledziliście za mną drogi naukowej krytyki poznania. Podawałem rozważania filozoficzne w miarę tego, jak się one nasuwały w toku badania wniosków naukowych, i mam nadzieję, że nie zniekształcałem ich ze względu na jakieś cele teologiczne. Ale w niniejszym rozdziale stanowisko, które zajmowałem, nie było przeważnie naukowe. Wyszedłem z tej dziedziny naszego doświadczenia, która nie wchodzi w zakres badania naukowego; lub przynajmniej jest dziedziną tego rodzaju, że metody fizyki nie uchwyciłyby tej treści, którą w nich uważamy za istotną. Punktem wyjścia wiary w religję mistyczną jest przekonanie o istnieniu jakiejś treści, czy też, jak to wcześniej nazwałem, pewne dążenie w naszej świadomości. Należy to wyraźnie podkreślić, gdyż odwołanie się do przekonania intuicyjnego było przez wieki podstawą religji, a nie chciałbym wywołać wrażenia, że znaleźliśmy zamiast tego coś innego i bardziej naukowego jako podstawę religji. Odrzucam wszelką myśl o dowodzie charakterystycznych zdań religji czy to na podstawie danych wiedzy fizycznej, czy też zapomocą jej metod. Jeżeli założymy jakąś mistyczną religję, opartą (słusznie czy niesłusznie) na wewnętrznem doświadczeniu jako na podstawie, możemy przejść do dyskusji różnych ataków krytycznych ze strony nauki, oraz do zbadania możliwego konfliktu z poglądami naukowemi na doświadczenie, pochodzącemi również z danych samowiedzy.

Jest rzeczą niezbędną rozważyć bliżej istotę przekonania, z którego pochodzi religja. W przeciwnym razie narażamy się na wysuwanie ślepej negacji rozumu, jako przewodnika do prawdy. Pojawia się tu rozdźwięk w rozumowaniu, trzeba to przyznać; lecz trudno go nazwać zaprzeczeniem rozumu. Taki sam rozdźwięk spotykamy w naszych rozumowaniach o świecie zewnętrznym, gdy się cofniemy dostatecz-

nie daleko. Możemy rozumować jedynie na podstawie danych, a dane ostateczne pochodzą nie z procesów rozumowania, lecz z samowiedzy naszej świadomości. Aby ruszyć z miejsca, musimy coś wiedzieć. Lecz to nie wystarcza: musimy zdać sobie sprawę z istoty tej wiedzy. Musimy postulować, że istota ludzka, sama przez się lub na skutek inspiracji, pochodzącej od jakiejś siły zewnętrznej, może stwierdzać sensowne zdania. W przeciwnym razie nie możemy nawet skonstruować świata fizyki *.

Zgodnie z tem wyrażamy przekonanie, że pewne stany samowiedzy w świadomości są przynajmniej równie doniosłe, jak te, które nazwaliśmy wrażeniami. Nie jest być może zbyteczną uwaga, że czas, dzięki podwójnemu dostępowi, który ma do naszej duszy (str. 48), łączy w pewnym stopniu wrażenia zmysłowe i owe inne stany wiedzy. Pomiędzy temi ostatniemi należy szukać podstawy doświadczenia, na której zbudowana jest religja duchowa. Przekonanie to nie jest już chyba sprawą do dyskusji, zależy ono od natężenia wewnętrznego uczucia poznawania.

Lecz — możnaby powiedzieć — jakkolwiek posiadamy takie poczucie wiedzy w świadomości, czy nie możemy fałszywie zrozumieć istoty tego, czego naszem zdaniem doświadczamy? Ten zarzut, jak mi się wydaje, chybia celu. Jeżeli idzie o doświadczenie w dziedzinie świata fizyki, to często fałszywie rozumieliśmy treść naszych czuć. Zadaniem nauki było odkryć, że rzeczy różnią się bardzo od tego, czem się wydają. Lecz nie wyrywamy sobie przecie oczu, dlatego że wciąż jeszcze zwodzą nas czerwonemi barwami, zamiast informować nas poprostu trzeźwą prawdą długości fal. Musimy żyć pośród takich fałszywych obrazów otoczenia (jeżeli podoba się wam tak to nazwać). Jednakże jest to bardzo jednostronne ujęcie prawdy, gdy we wspaniałych barwach naszego otoczenia nie znajdujemy nic prócz fałszy-

* Moglibyśmy oczywiście rozwiązać zagadnienie, związane z pewnemi danemi, nie znając nawet znaczenia tych danych — jest to „oficjalne“ stanowisko naukowe, jak to przedtem nazwałem. Lecz świat fizyczny, który jest tylko rozwiązaniem zagadnienia, wybranego dowolnie dla spędzenia czasu, nie jest tu przedmiotem naszego zainteresowania.

wych obrazów — prowadzi to do wniosku, że otoczenie jest jedyną rzeczą ważną, a świadomy duch zupełnie nieistotną. W naszych rozdziałach naukowych widzieliśmy, jak umysł przepisuje bieg budowy świata; bez niego tworzyłby świat zupełny chaos. Jest celem nauk fizycznych, by w granicach swego zasięgu odsłonić podstawy struktury, znajdującej się u podłoża świata. Lecz nauka powinna również wytłumaczyć fakt, że powstały z tego świata dusze, które umieją przekształcić tę surową strukturę w bogactwa naszego doświadczenia; w przeciwnym razie musi nauka ten fakt przyjąć z pokorą. Nie jest fałszywem przedstawieniem świata, lecz może raczej wielką zdobyczą — być może wynikiem długich wieków ewolucji biologicznej — że ukształtowaliśmy nasz powszedni świat z surowego materjału. Jest to spełnienie pewnego przeznaczenia w naturze człowieka. Gdyby podobnie świat duchowy został przekształcony przez zabarwienie religijne w coś innego, niż to, czem są jego surowe zewnętrzne własności, moglibyśmy z równem przekonaniem twierdzić, że nie jest to fałszywe ujęcie, lecz zdobycz boskiego pierwiastka w naturze człowieka.

Chciałbym powrócić jeszcze do analogji pomiędzy teologją, a imaginacyjną nauką o humorze, którą (po naradzie z pewną powagą w sprawach filologji klasycznej) odważam się nazwać „geloeologją". Analogja nie stanowi przekonywującego argumentu, lecz musi nam tutaj posłużyć. Rozważmy przysłowiowego Szkota z silnemi skłonnościami w kierunku filozofji, ale niezdolnego do zrozumienia żartu. Niema żadnego powodu, dla którego nie mógłby uzyskać doktoratu w zakresie geloeologji, naprzykład po napisaniu wnikliwej rozprawy o różnicy humoru brytyjskiego i amerykańskiego.

Jego porównanie żartów obu stron będzie szczególnie bezstronne i miarodajne, ponieważ jest zupełnie niezdolny do uchwycenia pointy żadnego z nich. Lecz jego poglądy na to, który z obu narodów rozwija się właściwie, byłyby zupełnie bezwartościowe; brak mu bowiem współczującego zrozumienia — należałoby go przedtem (wyrażając

się w sposób przystosowany do drugiej strony mojej analogji) *nawrócić*. Ta pomoc i krytyka, którą zawdzięczamy geloecologowi i filozoficznemu teologowi zapewnia nam tylko, że szaleństwo nasze nie jest bez metody. Pierwszy może nam wykazać, że wesołe przyjęcie toastu jest wynikiem dobrego obiadu i dobrego cygara, a nie subtelnego przeżycia dowcipu; drugi udowodni, że ekstatyczny mistycyzm pustelnika jest błądzeniem rozgorączkowanego ciała, a nie transcendentalnem objawieniem. Lecz nie sądzę, byśmy się musieli odwoływać do któregokolwiek z nich, aby rozstrzygnąć, czy rzeczywisty jest zmysł, który sobie przypisujemy, ani jaki jest kierunek jego właściwego rozwoju. Jest to sprawa naszego wewnętrznego wyczucia wartości, któremu wszyscy w pewnym stopniu dowierzamy, chociaż mogą być różnice zdań, co do jego zasięgu. Jeżeli nie posiadamy takiego zmysłu, to wtedy nietylko religja, lecz również świat fizyczny i cała wiara w rozumowanie traci swe podstawy.

Pytano mnie niejednokrotnie, czy nauka nie może dostarczyć argumentu, który powinien przekonać rozsądnego ateistę. Taksamo nie potrafię wpoić ateiście uczucia religijnego, jak Szkotowi wrażliwości na dowcip. Jedyną nadzieją na nawrócenie tego ostatniego jest, że przez obcowanie z wesołymi towarzyszami zacznie sobie zdawać sprawę, że traci coś z życia, co warto posiąść. Prawdopodobnie gdzieś w głębiach jego poważnego umysłu istnieje zarodek zmysłu humoru, oczekujący rozbudzenia przez taką właśnie podnietę. Tej samej rady udzieliłbym do propagandy religijnej; jak sądzę, posiada ona tę zaletę, że jest całkowicie ortodoksyjna.

Nie kusimy się o udowodnienie tych poglądów. *Dowód*, to bożek, u którego stóp zadaje sobie męczarnie matematyk; w fizyce palimy ofiary zazwyczaj pod skromniejszym ołtarzem *Prawdopodobieństwa*. Ale nawet czysty matematyk — ten logik surowy—niechętnie przyznaje się do pewnych wierzeń; nigdy nie jest całkowicie przekonany, że schemat matematyki jest bez skazy. Logika matematyczna przeszła przez przewroty tak głębokie, jak przewroty w teorjach fi-

zycznych. Wszyscy w równym stopniu dążymy do ideału, który znajduje się poza naszym zasięgiem. W nauce mamy czasem przekonanie o tem, jakie powinno być poprawne rozwiązanie jakiegoś zagadnienia; bronimy tego przekonania, ale nie potrafimy go udowodnić; powoduje nami wtedy jakiś wrodzony zmysł celowości rzeczy. W ten sam sposób może przyjść do nas przekonanie w dziedzinie ducha, z którą nas wiąże nasza natura. Podałem już przykład takiego przekonania, i to rzadko albo wcale podawanego w wątpliwość: poddanie się mistycznemu wpływowi piękna przyrody jest rzeczą właściwą i odpowiednią dla ducha ludzkiego, chociaż mogłoby się wydawać niewybaczalnem dziwactwem jakiemuś „obserwatorowi“ z poprzednich rozdziałów. Przekonanie religijne opisują często w podobnych wyrazach jako poddanie się; nie można go wymusić przez rozumowanie u tych, którzy nie odczuwają jego wezwania wewnątrz własnej istoty.

Sądzę, że jest nieuniknionym wnioskiem, iż przekonania te podkreślają zawsze osobisty charakter tego, co staramy się uchwycić. Mamy zbudować świat duchowy z elementów, pochodzących z naszej własnej osobowości, podobnie jak budujemy świat naukowy z metrycznych symbolów matematyka. W przeciwnym razie byłby on zupełnie nieuchwytny, byłby tylko otoczeniem, odczuwanem niejasno w chwilach podniecenia, lecz ginącem w szarzyźnie życia codziennego. Aby zwrócić to przekonanie na bardziej stateczne tory, musimy umieć zbliżyć się do Ducha Świata pośród naszych trosk i obowiązków, zetrzeć się z nim w prostszych warunkach, jako duch z duchem, w tych warunkach, do których przystosowuje swe formy każda prawdziwa religja.

Religja mistyczna. Widzieliśmy, że cykliczny schemat fizyki zakłada jakieś podłoże poza zakresem swych badań. W tem podłożu musimy znaleźć przedewszystkiem naszą, a potem może wyższą osobowość. Idea powszechnego Ducha czy Logosu byłaby, jak sądzę, zupełnie rozsądnym wnioskiem

z obecnego stanu teoryj naukowych; a w każdym razie znajduje się z nią w harmonji. Lecz na tym terenie badanie nasze prowadzą jedynie do całkowicie bezbarwnego panteizmu. Nauka nie może powiedzieć, czy duch świata jest zły, czy dobry, i jej kulejące uzasadnienie istnienia Boga mogłoby równie dobrze być obrócone w dowód istnienia szatana.

Sądzę, że jest to przykład tego ograniczenia schematów fizycznych, które już nas przedtem wprawiało w kłopot — że we wszystkich takich schematach przeciwieństwa są reprezentowane przez + i —. Przeszłość i przyszłość, przyczyna i skutek, przedstawia się w ten nieadekwatny sposób. Jedną z największych zagadek nauki jest pytanie, dlaczego protony i elektrony nie są poprostu wzajemnemi przeciwieństwami, jakkolwiek wszystkie nasze wyobrażenia o ładunku elektrycznym wymagają, by elektryczność dodatnia i ujemna pozostawały do siebie w stosunku plusa i minusa. Kierunek strzałki czasu mógł zostać wyznaczony jedynie przez tę nieskładną mieszaninę teleologji i statystyki, znaną pod nazwą drugiego prawa termodynamiki. Albo — wyrażając się dokładniej — kierunek tej strzałki mógł być wyznaczony przez reguły statystyczne, lecz jej rola, jako naczelnego faktu, „wprowadzającego sensowność do świata“ mogła być otrzymana tylko z teleologicznych przesłanek. Jeżeli fizyka nie może określić, od której strony należy patrzeć na jej własny świat, to niewiele się po niej możemy spodziewać, jeżeli idzie o wskazówki etyczne. Zdajemy się na jakiś wewnętrzny zmysł sensowności, gdy obracamy mapę świata przyszłością do góry, i podobnie musimy zawierzyć wewnętrzemu doradcy, gdy ustawiamy świat etyczny dobrem do góry.

Jeżeli nawet zgoda na to, że nauki fizyczne ograniczyły swój zakres w ten sposób, że pozostawiają pewne podłoże, które nam fizyka pozwala, a nawet radzi wypełnić rzeczywistością o pokroju duchowym, to jednak musimy się zetrzeć jeszcze z najtrudniejszą krytyką ze strony nauki. „Tu“, powiada nauka, „pozostawiłam ci dziedzinę, w którą nie będę wkraczała. Przyznaję, że posiadasz jakąś drogę do niej przez samowiedzę świadomości, tak że nie jest to dziedzina

zupełnej ciemności. Lecz jak będziesz tę dziedzinę traktował? Czy posiadasz jakiś system wnioskowania z doświadczenia mistycznego, porównywalny z tym, przy którego pomocy nauka buduje wiedzę o świecie zewnętrznym? Nie żądam, byś używał moich metod, uznaję, że są one tu niestosowalne. Ale powinieneś mieć jakąś metodę, którą można obronić. Podstawa doświadczenia wewnętrznego, na którą się powołujesz, jest być może słuszna; lecz cóż przemawia za tem, że pospolita religijna interpretacja tego doświadczenia jest czemś więcej niż mętnem fantazjowaniem?

Sprawa ta już prawie wykracza poza zagadnienie, które sobie postawiłem. Muszę się ograniczyć do uznania, że pytanie takie jest uprawnione. Jakkolwiek ułatwiłem sobie zadanie, gdyż zająłem się tylko religją mistyczną — nie mam zresztą skłonności bronić jakiejś innej — nie uważam siebie za powołanego do udzielenia odpowiedzi, któraby była chociaż w przybliżeniu zupełna. Jest rzeczą oczywistą, że bezpośredni wgląd świadomości nie może być traktowany bezkrytycznie, jakkolwiek stanowi jedyną drogę do tego co nazwałem *„wewnętrzną“* wiedzą o rzeczywistości, ukrytej poza symbolami nauki. W historji mistycyzm religijny kojarzył się często z wybrykami, których nie możemy pochwalać. Przypuszczam pozatem, że nadmierna wrażliwość na wpływy estetyczne może być świadectwem temperamentu neurotycznego i niezdrowego. Musimy uznać również pewne patologiczne warunki w mózgu, które mogą objawiać się w chwilach natchnionego widzenia. Narzuca się nawet obawa, że po wykryciu i usunięciu wszystkich naszych błędów, niewiele z „nas“ już zostanie. Lecz przy badaniu świata fizycznego musimy ostatecznie polegać na naszych narządach zmysłowych, jakkolwiek mogą one nas narazić na grube złudzenia; podobnie droga świadomości w świat duchowy może być usiana pułapkami, ale nie wyklucza to możliwości posuwania się po niej naprzód.

Należy zaakcentować, że jeżeli religja, czy kontakt z siłami duchowemi posiada wogóle jakąś doniosłość, to musi ona być pospolitym składnikiem życia powszedniego i tak ją

należy traktować w dyskusji. Mam nadzieję, że nie zrozumieliście moich zdań o mistycyźmie, jako aluzyj do anormalnych doświadczeń i objawień. Nie jestem kompetentny w sprawie, jaką siłę dowodową należy przypisać (jeżeli to wogóle można uczynić) tym dziwniejszym postaciom doświadczenia i wglądu. Lecz w każdym razie przypuszczenie, że religja mistyczna ich właśnie głównie dotyczy, możnaby porównać z przypuszczeniem, że teorja Einsteina zajmuje się głównie perihelјum Merkurego i kilkoma innemi wyjątkowemi zjawiskami. Jak na sprawę, którą należy zaliczyć do powszednich, pospolity ton dyskusyj wydaje się często zupełnie nieodpowiednio pedantyczny.

Jako naukowcy zdajemy sobie sprawę z tego, że barwa jest wyłącznie sprawą długości fali drgań eteru. Lecz spostrzeżenie to nie zmienia faktu, że oczy, które odbijają światło o długości fali bliskiej 480 miljonowych milimetra są przedmiotem poematów, podczas gdy te które odbijają fale o długości 530, nie są opiewane. Nie przyjęliśmy jeszcze zwyczaju Laputanów, którzy „gdy chcą naprzykład opisać piękno kobiety, czy innego zwierzęcia, czynią to przy pomocy rombów, okręgów, rownoległoboków, elips i innych wyrazów geometrycznych". Materjalista, który jest przekonany, że wszystkie zjawiska powstają z elektronów i kwantów i tym podobnych rzeczy, rządzonych przez wzory matematyczne, musi prawdopodobnie uznać, że jego żona jest dość skomplikowanem rownaniem różniczkowem; miejmy nadzieję, że jest dość taktowny, by tego faktu nie podnosić w domowem pożyciu. Jeżeli tego rodzaju analizy naukowe odczuwamy jako niewłaściwe i nieistotne w zwykłych stosunkach między ludźmi, to z pewnością są one nie na miejscu w najbardziej osobistych stosunkach, jakie sobie można wyobrazić: w stosunku duszy ludzkiej do boskiego ducha.

Pragniemy doskonałej prawdy, lecz trudno powiedzieć, w jakiej jej szukać postaci. Nie mogę uwierzyć, by miała ona postać, której prototypem jest inwentarz. Doskonałość jej wyraża się częściowo zapewne w tem, co oceniamy jako „poczucie proporcji". Fizyk nie poczuwa się do niewierno-

ści w stosunku do prawdy, gdy jego zmysł proporcji nakazuje uważać deskę za materjał ciągły, jakkolwiek wie dobrze, że „naprawdę“ jest to przestrzeń próżna, usiana zrzadka ładunkami elektrycznemi. I najgłębsze rozważania filozoficzne o istocie Bóstwa mogą prowadzić do wyobrażeń zupełnie niestosownych dla życia codziennego; wypadałoby raczej używać wyobrażeń z przed lat dwóch tysięcy.

Stoję na progu, zamierzając wejść do pokoju. Skomplikowana to sprawa. Przedewszystkiem muszę podjąć walkę z atmosferą, która ciśnie z siłą jednego kilograma na każdy centymetr kwadratowy mego ciała. Muszę się upewnić, że wyląduję na desce, która pędzi z szybkością 30 kilometrów na sekundę dokoła Słońca — ułamek sekundy zbyt wcześnie lub zbyt późno, a deska będzie odległa o mile. Muszę to uczynić, zwisając z okrągłej planety głową nazewnątrz w przestrzeń, przyczem wiatr eteru dmie przez każdą porę mego ciała z szybkością Bóg wie ilu mil na sekundę. Deska nie posiada ciągłej substancji; stąpić na nią jest jak stąpić na rój much. Czy nie przelecę przez nią? Nie; jeżeli zaryzykuję, to jedna z much uderzy mnie i podrzuci zpowrotem do góry i tak dalej. Mogę mieć nadzieję na to, że ostatecznie pozostanę w stanie statecznym. Lecz gdybym miał pecha przelecieć na drugą stronę, albo być podrzuconym zbyt wysoko w kierunku sufitu, to wydarzenie to nie byłoby pogwałceniem praw Natury, lecz tylko rzadkim zbiegiem okoliczności. Oto kilka mniejszych trudności. Powinienem właściwie rozważyć zagadnienie z punktu widzenia czterowymiarowego, jako dotyczące przecięcia mojej linji świata z linją świata deski. Wtedy znów trzebaby ustalić, w którym kierunku entropja świata jest większa, by się upewnić, że moje przejście przez próg jest wejściem, a nie wyjściem.

Zaprawdę, łatwiej przejść wielbłądowi przez ucho igielne, niż fizykowi przez drzwi. I czy drzwi te będą drzwiami stodoły czy drzwiami kościoła, będzie rzeczą rozsądniejszą, jeżeli się zgodzi wejść jako zwykły człowiek, niż czekać, aż rozwiąże wszystkie trudności związane z naprawdę naukowem wejściem.

ZAKOŃCZENIE

Fala oburzenia wzbierała już oddawna w piersi trzeźwego fizyka i oto ma się na nas obruszyć. Spróbujmy nakreślić w ogólnych zarysach naszą obronę.

Przypuszczam, że najgroźniejszym zarzutem będzie, że mówiłem różne rzeczy, o których w głębi duszy wiedziałem, że stanowią tylko zbiór nieszkodliwych niedorzeczności. Mogę was zapewnić, że istnieje we mnie element naukowy, który często podnosił ten zarzut w toku ostatnich rozdziałów. Nie będę twierdził, że zostałem napół przekonany, ale w każdym razie zacząłem odczuwać żywą tęsknotę za temi ścieżkami fizyki, na których istnieją mniej lub więcej wyraźne poręcze, chroniące nas od zapadnięcia się w okropne moczary głupstwa. Lecz pomimo żywego pragnienia, by zejść tym sprawom z drogi i ograniczyć się do dziedziny swego zawodu — do żonglowania wskazaniami przyrządów — muszę się jednak przyznać całkowicie do głównych zasad, które tam reprezentowałem. Wychodząc z eteru, elektronów i innych składników maszynerji fizycznej nie możemy dotrzeć do świadomości człowieka i zdać sprawę z tego, co zostaje w niej przeżyte. Możemy sobie wyobrazić konstrukcję ludzkiej maszyny, powiązanej za pośrednictwem odruchów ze swem otoczeniem. Lecz nie możemy dotrzeć do rozumującego człowieka, podczuwającego się do odpowiedzialności moralnej przy poszukiwaniu prawdy, dotyczącej eteru czy elektronów czy religji. Być może wyda się wam przesadnym wysiłkiem odwoływanie się do całego aparatu ostatnich posunięć na terenie teorji względności i teorji kwantów, tylko po to, by dojść do takiego wniosku; lecz temu muszę zaprze-

czyć. Musieliśmy się przyjrzeć tym teorjom, ponieważ reprezentują one pojęcia nauki współczesnej, a nie idzie nam o to, by stwierdzić przekonanie, że nauka powinna się ostatecznie pogodzić ze stanowiskiem idealistycznem, lecz by zbadać, jak w chwili obecnej sprawa ta naprawdę stoi. Poświęciłbym szczegółową argumentacją ostatnich czterech rozdziałów (pomąconych być może przez powikłania djalektyczne), gdybym umiał w inny sposób podać sens ostatnich zmian w dziedzinie ideałów naukowych. Fizyk spogląda obecnie na świat zewnętrzny w sposób, który potrafię określić tylko jako bardziej mistyczny, chociaż niemniej ścisły i praktyczny, niż ten, który przeważał przed niedawnym czasem, kiedy to uważano, że nic nie może być prawdziwe, jeżeli inżynier nie potrafi wykonać odpowiedniego modelu. Istniał czas, kiedy wydawało się, że to powiązanie świadomości i otoczenia, które stanowi istotę doświadczenia, zostanie ujęte w karby fizyki bardziej jeszcze surowej, niż obecna. Ten okres pychy, kiedy trzeba było niemal zwracać się do fizyka po zezwolenie, by nazwać swą duszę swoją własną, minął całkowicie. Zmiana ta wywołuje myśli, które należy rozwinąć. Nawet jeżeli nie potrafimy dojść do jasności konstrukcji, możemy się zorjentować, że pewne przypuszczenia, oczekiwania i obawy nie są już dłużej usprawiedliwione.

Czyż dla fizyka jest to tylko nieszkodliwą niedorzecznością, gdy stwierdzamy tę konieczność wyjrzenia poza granice fizyki? Jest niedorzecznością jaskrawszą zaprzeczać temu! Lub, jak to wyraziła gorąca relatywistka Czerwona Dama u Lewisa Carrolla: „Nazywasz to niedorzecznością? A ja słyszałam niedorzeczności, w porównaniu z któremi ta byłaby tak rozsądna, jak encyklopedja".

Albowiem, jeżeli ci, którzy utrzymują, że wszystko powinno mieć podstawę fizyczną, utrzymują również, że te poglądy mistyczne są niedorzecznością, to możemy zapytać: „Jakaż jest podstawa fizyczna niedorzeczności?" Zagadnienie niedorzeczności obchodzi fizyka bliżej, niż każde inne zagadnienie moralne. Może on uważać rozróżnienie zła i do-

bra, jako zbyt odległe, by się o nie troszczyć; lecz rozróżnienie dorzeczności i niedorzeczności, rozumowania słusznego i niesłusznego, powinno być omówione na początku wszelkiego badania naukowego. Zbadamy je wobec tego jako przykład dla poszukiwania podstawy fizycznej.

Jeżeli mózg zawiera podstawę fizyczną niedorzeczności w chwili myślenia, to musi ona być jakąś konfiguracją tworów fizycznych; niekoniecznie wprawdzie jakąś wydzieliną chemiczną, lecz czemś nieróżniącem się istotnie od wytworów tego rodzaju. Możnaby sobie wyobrazić to tak, jakgdyby mózg mój, stwierdzając, że 7 razy 8 jest 56, wytwarzał np. cukier, a stwierdzając, że 7 razy 8 jest 65 wytwarzał, powiedzmy, kredę. Lecz któż twierdzi, że maszyna się zepsuła? Jako machina fizyczna mózg działał w zgodzie z niezłomnemi prawami fizyki; czemu zatem piętnować jego działanie? Rozróżnienie produktów chemicznych na dobre i złe nie posiada odpowiednika w chemji. Nie możemy upodobnić praw myśli do praw przyrodniczych; są to prawa, którym *powinniśmy* ulegać, a nie takie, którym *musimy* ulegać. Fizyk musi przyjąć prawa myślenia, zanim przyjmie prawa przyrodnicze. Wyraz „powinniśmy“ przenosi nas poza zakres chemji i fizyki. Dotyczy on czegoś, co pragnie cukru, a nie kredy jako czegoś cennego: dorzeczności zamiast niedorzeczności. Machina fizyczna nie może niczego pragnąć ani cenić; czemkolwiek się ją nakarmi, będzie to przeżuwała zgodnie z prawami jej budowy fizycznej. To, co na terenie świata fizyki jest odbiciem niedorzeczności w umyśle, nie daje podstawy do jej potępienia. W świecie eteru i elektronów moglibyśmy może napotkać niedorzeczność; ale nigdy nie napotkamy w nim „bredni“.

Najrosądniejsza teorja poprawnego rozumowania przebiegałaby prawdopodobnie w następujący mniej więcej sposób. Dzięki rozumowaniu umiemy czasami przepowiadać zdarzenia, potwierdzane następnie przez doświadczenie; procesy psychiczne stanowią ciąg, który kończy się wyobrażeniem, które przewiduje następujące postrzeżenie. Możemy nazwać taki łańcuch stanów umysłu „rozumowaniem owoc-

nem“ — używając tego wyrazu, jako kwalifikacji technicznej, bez żadnych intencyj moralnych, związanych z niemiłym wyrazem „powinien“. Możemy zbadać wspólne cechy różnych przykładów owocnego rozumowania. Jeżeli zastosujemy tę analizę do duchowej strony myślenia, to otrzymamy prawa logiki. Lecz domyślamy się, że analizę tę możnaby zastosować również do fizycznych składników mózgu. Nie jest rzeczą niemożliwą, że znajdzie się jakaś cecha fizycznych przebiegów w mózgu, towarzysząca stale owocnemu rozumowaniu i ona to będzie stanowiła „fizyczną podstawę powodzenia“.

Lecz zdolności do rozumowania używamy nietylko do przepowiadania zjawisk, które potem możemy obserwować; sprawa powodzenia (jak ją przedtem określiliśmy) niezawsze powstaje. Tem nie mniej, gdyby rozumowaniu towarzyszył produkt, który nazwałem wyżej „fizyczną podstawą powodzenia“, to upodobnilibyśmy je oczywiście do rozumowania owocnego.

Jeżeli zatem uda mi się nawet przekonać mego materjalistycznego przeciwnika, że powinien cofnąć zarzut „bredni“, jako niezgodny z jego własnemi zasadami, to jednak mógłby jeszcze twierdzić, że mózg mój przy wytwarzaniu tych myśli nie zawierał fizycznej podstawy powodzenia. Ponieważ istnieje niebezpieczeństwo pomieszania obu punktów widzenia, muszę wyjaśnić dokładnie oba stanowiska:

(a) Gdybym podzielał zdanie mego przeciwnika, nie martwiłbym się o rzekomy brak fizycznej podstawy powodzenia w mych rozumowaniach, gdyż nie jest widoczne, dlaczego należałoby jej wymagać tam, gdzie nie mamy do czynienia z przepowiedniami obserwacji.

(b) Ponieważ nie uznaję jego zdania, więc mnie jego twierdzenie mocno niepokoi; musiałbym je bowiem uważać za wewnętrzny znak możliwości tego, że mocniejszy zarzut „bredni“ (układający się w ramach moich zasad) odnosi się do moich rozważań.

Sądzę, że teorja „powodzenia“ w dziedzinie rozumowania nie znajdzie łaski w oczach matematyków. Dla niego

rozumowanie jest darem nieba, którym należy się rozkoszować zdala od zamętu przyrody. Traktuje jako herezję myśl, że wartość jego dowodu zależy od tego, że fizyk od czasu do czasu udatnie przepowiada zjawiska w zgodzie z doświadczeniem. Niech się świat zewnętrzny zachowuje tak nierozsądnie, jak mu się podoba; zawsze będzie istniał kącik wiedzy, w którym można spokojnie polować na pierwiastki funkcji ζ Riemanna. Teorja „powodzenia" dla fizyka przemawia sama za siebie. Korzysta z tego typu działalności umysłowej, bo prowadzi go ona do jego celów, do sprawdzalnej przepowiedni o zachowaniu się świata zewnętrznego; oto dlaczego ją ceni. Dlaczegóżby tedy teolog miał nie używać i nie cenić tego nierozsądnego procesu psychicznego, który go prowadzi do jego znowu celów: dowodu przyszłego zbawienia lub piekła, by nas zastraszyć, jeżeli nie zmienimy się na lepsze? Zastrzegam się, że nie zachęcam teologów, by gardzili rozumem; idzie mi tylko o to, że mogliby oni to czynić, gdyby rozum nie posiadał nic lepszego na usprawiedliwienie, niż teorję powodzenia.

Zatem właśnie moja troska, by nie mówić niedorzeczności, prowadzi mnie do przekonania, że muszę uwzględnić coś, co jest nieobecne w świecie fizycznym.

Innym zarzutem przeciwko niniejszym odczytom może być to, że uznają one w pewnym zakresie pierwiastek nadprzyrodzony, co dla wielu jest tem samem, co przesąd. O ile nadprzyrodzoność jest związana z zaprzeczeniem ścisłej przyczynowości (str. 286), to mogę odpowiedzieć tylko, że do tego prowadzi nas współczesny rozwój naukowy teorji kwantów. Lecz najprawdopodobniej bardziej drażniącą częścią naszego schematu jest rola, który przyznaliśmy duchowi i świadomości. Zakładam jednak, że przeciwnik mój uznaje świadomość jako fakt i że wie o tem, iż gdyby nie wiedza, którą zawdzięczamy świadomości, to badanie naukowe nie mogłoby nawet zostać rozpoczęte. Czy uważa zatem świadomość za nadprzyrodzoną? Jeżeli tak, to sam właśnie uznaje pierwiastek nadprzyrodzony. Traktujemy ją zgodnie z tem, co wydaje się jej oczywistą rolą: jako

drogę do rzeczywistości i sensu świata, podobnie jak jest ona drogą do wszelkiej wiedzy o świecie. Lub też może traktuje świadomość, jako coś, co należy na nieszczęście uznać, ale o czem właściwie nie wypada wspominać? I na to gotowi jesteśmy się zgodzić. Połączyliśmy świadomość z podłożem, które pozostaje nietknięte przez badanie fizyczne, i zapewniliśmy fizykowi dziedzinę, w której może się kręcić dokoła po cyklach, nie narażając się na napotkanie niczego, co wywoła rumieniec na jego twarzy. Posiada on dziedzinę praw przyrodniczych, ktora zawiera wszystko cokolwiek zdarzyło mu się kiedyś istotnie zająć. Bo też w równym stopniu było zadaniem naszych rozważań zapewnić istnienie królestwa, w którem metoda naukowa może władać bez przeszkód, jak też dotknąć istoty tej części naszego doświadczenia, która znajduje się poza tem królestwem. Ta obrona metody naukowej nie jest być może zbędna. Często słyszy się oskarżenie, że fizyka, przez zlekceważenie tych aspektów doświadczenia ludzkiego, które się ujawniają wyższym umysłom, popadła w szaleństwo, wiodące ją na opłakane bezdroża. Otóż jest częścią naszej tezy, że istnieje dziedzina badań, dla której wystarczają całkowicie metody fizyki, i której mogłoby tylko zaszkodzić uwzględnienie owych innych aspektów.

Dla naukowca, pragnącego bronić religji, byłoby bardzo kuszące następujące zadanie: wziąć najpospolitsze jej wyrażenia, oczyścić je z pewnych prymitywnych skojarzeń (nieuniknionych przy wszystkiem, cokolwiek jest przystosowane do codziennego życia ludzkiego), rozwodnić nieco sens i wykazać, że niewiele wtedy zostanie, coby mogło być sprzeczne z nauką, czy zresztą z czemkolwiek innem. Gdyby taką zrewidowaną interpretację przedstawić odrazu, nie wywołałaby z pewnością żywej krytyki, ale też nie wzbudziłaby żadnego entuzjazmu.

Tem trudniej uwolnić się od tej pokusy, że rozwodnienie to jest przecie w mniejszym czy większym stopniu konieczne. Rzecz jasna, że skoro z nauk stu różnych sekt

mamy wyciągnąć jakieś rozsądne stanowisko do obrony, to przynajmniej niektóre z tych nauk muszą ulec rozwodnieniu. Nie wiem, czy czytelnik uwolni mnie od zarzutu poddania się tej pokusie w miejscach, w których dotknąłem religji; tem nie mniej starałem się z tą pokusą walczyć. Jeżeli jednak powstały w tym względzie jakieś uchybienia, to źródło ich jest prawdopodobnie takie: zajmowaliśmy się sprawami, które się znajdują na pograniczu świata materjalnego i duchowego, podchodząc do nich od strony tego pierwszego. Od tej strony nic, cokolwiek moglibyśmy powiedzieć o świecie duchowym, nie wystarczałoby do obrony nawet najskromniejszej teologji, która jednak nie zrezygnowała z praktycznego oddziaływania na życie ludzkie. Lecz świat duchowy, tak jak go pojmuje każda poważna religja, nie jest dziedziną bezbarwną. Mógłby mnie zatem ktoś posądzić o karygodne przesądzenie sprawy, gdy nazywałem te peryferje nauki światem duchowym; ale traktowałem to tylko jako tymczasowe utożsamienie. Ażeby uczynić je więcej niż tymczasowem, należałoby podjąć podejście od strony drugiej. Nie mam ochoty wchodzić w rolę teologa-amatora i zbadać to podejście z bliska. Wskazałem jednakże, że przypisanie owej dziedzinie zabarwienia religijnego musi spoczywać na wewnętrznem przekonaniu. i sądzę, że nie powinniśmy odmawiać słuszności pewnym przekonaniom, które są analogiczne do niewyrozumowanej wiary w rozum jako podstawy matematyki, do wrodzonego poczucia dopasowania rzeczy, które znajduje się u podstawy nauki o świecie fizycznym, do nieodpartego zmysłu „niekle-jenia się", który jest podstawą humoru. Lub też może nie tyle idzie o uznanie ich słuszności, ile o uznanie ich funkcji, jako istotnej części naszej natury. Nie bronimy przecie słuszności tego, że widzimy piękno w krajobrazie; przyjmujemy tylko z wdzięcznością fakt, że dane nam jest widzieć go w ten sposób.

Mógłby ktoś powiedzieć, że wnioskiem z tego przeglądu nauki współczesnej jest. że religja dla rozsądnego nau-

kowca stała się rzeczą możliwą dopiero około roku 1927. Jeżeli już musimy zająć się tą nudną osobą, człowiekiem całkowicie rozsądnym, to warto zaznaczyć, że nietylko religja, ale większość zwykłych stron życia, stała się dla niego możliwa dopiero w tym roku. Pewne pospolite formy aktywności (naprzykład zakochanie się), jak sądzę, jeszcze teraz są mu wzbronione. Jeżeli potwierdzą się nasze oczekiwania, że rok 1927 był świadkiem obalenia ścisłej przyczynowości przez Heisenberga, Bohra, Borna i innych, to rok ten okaże się niewątpliwie jedną z największych epok w rozwoju filozofji naukowej. Lecz skoro już przed tą błogosławioną erą ludzie jakoś sobie perswadowali, że pomimo ścisłej przyczynowości mogą sami kształtować swą przyszłość materjalną, to mogliby zastosować ten sam modus vivendi w dziedzinie religji.

Zmusza nas to do rozważenia poglądu, głoszonego ze strony kościoła, że nie może być starcia pomiędzy nauką a religją, gdyż należą one do zupełnie odmiennych dziedzin myśli. Wynika stąd, że roztrząsania któreśmy przeprowadzili są zbędne. Lecz wydaje mi się raczej, że twierdzenie takie wywołuje rozważania tego rodzaju — wywołuje pragnienie przekonania się, jak obie dziedziny myśli mogą być powiązane niezależnie z naszem istnieniem. Gdyśmy poznali nieco sposób, w jaki naukowa dziedzina myśli ukonstytuowała się z zamkniętego cyklicznego schematu, możemy wyrazić ostrożną zgodę. Nie unikniemy jednak starcia, jeżeli obie dziedziny nie zostaną ograniczone od swych właściwych zakresów; i każde rozważanie, które doprowadzi nas do lepszego poznania granicy pomiędzy niemi, będzie krokiem w kierunku pokoju. Narazie jednak jest wiele sposobności do konfliktów granicznych; oto ilustracja.

Przyszłe istnienie niematerjalne jest wierzeniem, do którego się przyznają nietylko bardziej dogmatyczni zwolennicy religji. Niebo nie istnieje nigdzie w przestrzeni, ale istnieje w czasie. (Cały sens tej wiary jest związany z wyrazem *przyszłość;* nie sprawia nam żadnego zadowolenia

zapewnienie błogości w jakimś *przeszłym* stanie istnienia). Z drugiej strony naukowiec oświadcza, że czas i przestrzeń stanowią jedno kontynuum, i że współczesna koncepcja Nieba w czasie, a nie w przestrzeni, jest pod tym względem bardziej sprzeczna z nauką, niż przedkopernikańska koncepcja Nieba nad naszemi głowami. Pytanie, które chciałbym teraz postawić, nie dotyczy tego, kto z obu ma rację, lecz który przekracza swe granice? Czy teologja nie może ustalić losów duszy ludzkiej w sposób niematerjalny, nie przekraczając granic nauki? Czy nauka nie może stwierdzać swych wniosków o kontynuum czasoprzestrzennem nie wkraczając na teren teologji? Zgodnie z przedstawionem stanowiskiem nauka i teologja mogą popełniać takie błędy, jakie się im podobają, pod warunkiem, żeby popełniały je *na swych własnych terytorjach;* nie narażą się na zatarg, jeżeli będą się trzymały swych obszarów. Lecz w tem zagadnieniu trzeba będzie przeprowadzić granicę bardzo umiejętnie, aby udaremnić rozwój konfliktu *.

Kierunek filozoficzny współczesnej myśli naukowej zmienił się znacznie od trzydziestu lat. Czy możemy zapewnić, że w ciągu najbliższych lat trzydziestu nie nastąpi inna rewolucja, a może nawet zupełna reakcja? Należy niewątpliwie spodziewać się wielkich zmian, i po tym czasie wiele rzeczy ukaże się w nowem obliczu. Oto jedna z trudności we wzajemnym stosunku nauki i filozofji; oto dlaczego naukowiec zasadniczo tak mało przykłada wagi do konsekwencyj filozoficznych własnych swych odkryć. Dzięki uporczywej wytrwałości posuwa się on powoli i w licznych zakrętach w kierunku coraz czystszej wiedzy; tymczasem widzowi zzewnątrz wydaje się, że jego idee wykonywują najdziwniejsze zygzaki. Odkrycia naukowe przypominają składanie wielkiej łamigłówki; rewolucja w nauce nie oznacza, że wszystkie kostki już ułożone i powiązane należy rozrzucić; prowadzi do tego, że przy dołączaniu

* Trudność ta jest oczywiście związana z podwójnym dostępem czasu do naszego doświadczenia; wspominałem o niej niejednokrotnie.

nowych kostek należy zmienić nasze wrażenie o obrazku, który ma ostatecznie wypaść. Pytacie dziś fizyka, jak mu idzie praca. „Znakomicie; zakończyłem już prawie ten kawałek błękitnego nieba". Nazajutrz pytacie o losy owego nieba i słyszycie w odpowiedzi: „Znacznie jeszcze urosło, tylko okazało się, że to morze, a nie niebo; okręt po niem płynie". Być może, że za następnym razem okaże się, że jest to odwrócony parasol, ale nasz przyjaciel będzie zawsze zachwycony swemi sukcesami. Fizyk ma swe domysły co do charakteru, który będzie posiadał zakończony obraz; od tych domysłów zależą w znacznym stopniu jego poszukiwania za nowemi kostkami; lecz domysły te zmieniają się od czasu do czasu naskutek różnych zaskoczeń w czasie składania. Te rewolucje w poglądach na ostateczny obraz nie pozbawiają fizyka wiary w swą pracę, gdyż zdaje sobie sprawę z tego, że część zakończona stale narasta. Ci, którzy zaglądają przez jego ramię i korzystają z obecnego, częściowego tylko stanu obrazu dla celów pozafizycznych, postępują tak na własne tylko ryzyko.

Brak ostateczności w teorjach fizycznych stanowiłby bardzo poważne ograniczenie naszych rozumowań, gdybyśmy wiele stawiali na ich trwałość. Religijny czytelnik będzie zapewne zadowolony, że mu nie odkryłem Boga objawionego przez teorję kwantów, i narażonego zatem na zmiecenie przy następnym przewrocie. Filozofa obchodzi nietyle szczególna postać teoryj fizycznych — to znaczy wnioski, które fizyk (jak mu się wydaje) wyciągnął — lecz ruch myśli poza niemi. Gdy się nam raz oczy otwarły, możemy przejść do nowszego jeszcze poglądu na świat, ale nie wrócimy zpowrotem do starego.

Gdyby schemat filozoficzny, który obecnie budujemy na postępach naukowych Einsteina, Bohra, Rutherforda i innych miał się zawalić w ciągu najbliższych lat trzydziestu, to winy nie należy przypisywać tym badaczom. Jak systemy Euklidesa, Ptolomeusza, Newtona spełniły swoje przeznaczenie, tak systemy Einsteina i Heisenberga mogą

utorować drogę do jakiejś pełniejszej realizacji świata. Lecz w każdej rewolucji myśli naukowej podkładamy nowe słowa pod starą muzykę; stare zaś nie ulegają zniszczeniu, lecz przekształceniu. Pośród chybionych prób właściwego wyrażenia naszych zdobyczy, jądro prawdy naukowej narasta wytrwale; i o tej prawdzie można powiedzieć: Jakkolwiek się zmienia, pozostaje zawsze ta sama.

PRZYPISY TŁUMACZA

W tekście książki czytelnik nieraz spotka się z wyrazami *„mikroskopowy“*, *„makroskopowy“*. W fizyce współczesnej używa się ich dla oznaczenia odpowiednio wymiarów rzędu wymiarów atomu (miljonowe części milimetra) oraz wymiarów porównywalnych z wymiarami naszego ciała, jakie posiadają przedmioty, spotykane w doświadczeniu codziennem.

Wyrazy *duch, dusza, umysł, świadomość, psychika* i odpowiednie przymiotniki zastępują w niniejszym przekładzie często ten sam niezmiernie wieloznaczny wyraz angielski *„mind“*.

1. Str. 8, w. 9 od góry. „...co się działo z Alicją w Krainie Czarów“.

Jest to aluzja do bardzo popularnej w Anglji groteski fantastycznej dla młodzieży p. t.: „Alice in Wonderland“, pióra Lewisa Carrolla (przeróbka polska Marji Morawskiej p. t.: „Alinka w Krainie Czarów”, Gebethner i Wolff). „Lewis Carroll” — to pseudonim matematyka angielskiego C. L. Dodgsona (1833 — 1898). Dalszą serję przygód Alicji znajdujemy w „Through the Looking Glass” („W zwierciedle”; przekładu polskiego niema). Cytaty z tych książek spotykamy kilkakrotnie (str. 269, str. 318).

2. Str. 12, w. 9 od dołu. „Rusztowania przestrzenne”.

Tak nazywa popularnie Eddington *układ spółrzędnych*, którego przykłady są zapewne większości czytelników znane z początków geometrji analitycznej. Można go sobie wyobrażać najdogodniej, jako trzy ściany jednego rogu pokoju. Podając trzy odległości dowolnego punktu od tych ścian, potrafimy dokładnie opisać jego położenie. Ale położenie punktu można opisać jeszcze na bardzo wiele sposobów; gdy Eddington mówi o rusztowaniu przestrzennem, ma na myśli jakikolwiek sposób charakteryzowania położenia punktu w przestrzeni. Radzimy czytelnikowi, dla ustalenia uwagi, wyobrażać zawsze owe trzy ściany.

Rusztowanie czasowo-przestrzenne (lub czasoprzestrzenne), z którem się czytelnik nieraz jeszcze będzie spotykał, to rusztowanie przestrzenne połączone z jakąkolwiek metodą pomiaru momentu, w którym jakieś zja-

wisko zachodzi. Gdy posiadamy jakieś rusztowanie czasoprzestrzenne, potrafimy powiedzieć o każdem zjawisku, *gdzie* i *kiedy* zachodzi.

3. Str. 36, w. 6 od dołu. „... procesy fizjologiczne w ciele podróżnika odbywają się wolniej, niż ... u człowieka spoczywającego...".

Z omawianym tu paradoksem—jest on znany pod nazwą „paradoksu bliźniąt" albo „zegarów" — była związana kiedyś przewlekła dyskusja. Rozumowanie Eddingtona podlega zarzutowi, że wobec względności ruchu dotyczy ono w jednakowej mierze podróżnika i domatora: każdy z nich byłby zatem „młodszy" przy spotkaniu. Stąd wniosek, że poprawne rozwiązanie paradoksu powinno uwzględniać niesymetrję w warunkach obu osobników. Sprawa staje się jasna w świetle rozważań str. 117. Tylko jeden z tych osobników mógł się poruszać ruchem „naturalnym" („domator"); ruch drugiego musiał zostać zakłócony przez absolutne wpływy zewnętrzne („bombardowanie cząsteczkami", por. str. 121 — 122). Tym wpływom zewnętrznym należy przypisać zwolnienie czasu „podróżnika". Por. też str. 126.

4. Str. 37. w. 14 od dołu. „Powiem Ci, z kim Czas idzie stępa,...".

Szekspir, Jak się wam podoba, akt III, sc. 2. Słowa Rosalindy.

5. Str. 38, w. 3 od dołu. „Rozmieszczenie zjawisk".

Paragraf ten i następne mogą czytelnikowi nastręczyć znaczne trudności, gdyż posiadają dość formalny charakter. Należy dalsze rozważania i rysunki rozumieć tak, jakgdyby przedstawiały niejako alegoryczny obraz świata. W obrazie tym pewne pospolite pojęcia (zjawisko, chwila obecna, Ja, Ty, przyszłość i t. d.) są traktowane, jako pojęcia geometryczne (punkt, linja prosta, część płaszczyzny lub przestrzeni i t. d.), które właśnie należy rozumieć niejako alegorycznie. Prowadzi to do modelu świata jako przestrzeni czterowymiarowej. *Wyobrazić* jej sobie oczywiście nie możemy; zwykle wyobrażamy sobie przestrzeń trójwymiarową zwykłą, której jeden wymiar odpowiada czasowi, a dwa pozostałe — przestrzeni (wyobrażamy sobie przytem naszą pospolitą przestrzeń, jako płaską; daje to znaczne uproszczenia). Na rysunku w tekście założono nawet, że nasza pospolita przestrzeń jest tylko jednowymiarowa (linja prosta!), a zatem świat jest dwuwymiarowy. Radzimy czytelnikowi ograniczyć się do tego obrazu i nie usiłować napróżno wyobrazić sobie przestrzeni czterowymiarowej.

Poniżej podajemy słowniczek do owej „alegorji", w którym czytelnik znajdzie odpowiedniki powszednie użytych wyrazów geometrycznych, w miarę tego, jak się będą one pojawiały w toku trzeciego rozdziału.

Punkt świata (na rys. kółko) — zjawisko, zdarzenie, stan, opisany przez podanie, gdzie i kiedy miał miejsce.

Rusztowania czasowo-przestrzenne — metoda opisywania zjawisk (stanów), ze względu na ich miejsce i datę (por. przypis 2).

„*Tu i teraz*" — zjawisko (stan), zachodzące w miejscu, w którem się znajduje obserwator w chwili dokonywania obserwacji. „Tu"— należy rozumieć „w miejscu obserwacji"; „teraz" — „w chwili obserwacji".

Góra rysunku, dół rysunku — przyszłość, przeszłość.

„*Ja*" — ogół stanów obserwatora, rozważanych ze względu tylko na ich miejsce i datę = zespół pewnych punktów świata; „*moja historja*" = gdzie byłem i kiedy. Podobnie „*Ty*". Na wykresie — prosta,

Linja teraźniejszości — ogół zjawisk, zachodzących dla danego obserwatora jednocześnie w danej chwili, a w różnych miejscach. Linja teraźniejszości wyznacza chwilę powszechną.

Linja zjawisk widzianych tu i teraz — ogół zjawisk, odbywających się w różnych miejscach w różnych chwilach, ale widzianych przez obserwatora jednocześnie.

Linja (albo „szlak") wyobraża również ruch; w szczególności linja prosta przedstawia ruch jednostajny. Im większy jest jej kąt z linją teraźniejszości, tem większa jest szybkość ruchu. Linja zjawisk widzianych teraz, to zarazem ruch promienia świetlnego. Jej kąt z linją teraźniejszości odpowiada szybkości światła.

Wyrazy „*warstwa*", „*przekrój*", „*włókno*", „*klin*", należy sobie interpretować na obrazie geometrycznym.

Szerokość klina — długość odcinka A na fig. 4. Przedstawia on czas pomiędzy zdarzeniami A i B, mierzony przez obserwatora, który sporządził dla siebie ten rysunek.

Relacja dwóch zjawisk na wykresie będzie odcinkiem, łączącym punkty, które są obrazami tych zjawisk. W języku zwykłym będzie to informacja o tem, jak się daleko odbyły od siebie i w jakim odstępie czasu (oczywiście, w określonem rusztowaniu czasowo-przestrzennem). Relacja dwóch postojów pociągu, A i B, będzie np.: „B o 20 km na północ od A i o 13 minut później niż A".

6. Str. 43, w. 5 od góry. „... czerwony kwadrat ja nazwałbym zielonym prostokątem".

Od szybkości ciała względem obserwatora zależą nietylko wymiary ciała (a zatem jego kształt), lecz również jego barwa. Im szybciej oddala się od nas ciało, tem bardziej przesuniętą w kierunku czerwonego końca widma widzimy jego barwę (zjawisko Dopplera). Jeżeli zielone ciało oddala się od nas dostatecznie szybko, to może się nam wydać czerwone.

7. Str. 45, w. 5 od góry. „...musicie sobie wyobrazić...".

Wyobrazić sobie można tylko pierwszy obrót, o którym mówi Eddington. Natomiast dwóch obrotów *wyobrazić* sobie już nie można; można o nich myśleć i pamiętać, ale wyobrażając sobie przestrzeń trójwymiarową i *dopowiadając* sobie tylko, co trzeba. Podobna sytuacja zachodzi na str. 75.

8. Str. 47, w. 5 od dołu. „...w relacji przestrzennej, albo w relacji czasowej...".

Z wyrazem „relacja" spotka się jeszcze czytelnik niejednokrotnie w niniejszej książce. „Relacja" jest techniczną nazwą dla „stosunku", rozumianego w najogólniejszym sensie. Przykłady stosunków: A jest przełożonym B, A jest bratem B, A jest dłużnikiem B, A kocha B, A jest zawarte w B, A jest naprawo od B i t. d. Tu interesują nas w szczególności stosunki czasowo-przestrzenne: A jest o dwadzieścia kilometrów na północ od B, A zdarzyło się o dwa dni później od B. Jeżeli A i B oznaczają dwa zjawiska, z których każde zdarzyło się gdzieś i kiedyś, to relację tych dwóch zjawisk A i B określamy, podając jakie było miejsce zjawiska B względem A, i w jakim odstępie czasu się zdarzyło. Por. koniec przypisu 5.

Pojęcie relacji odgrywa doniosłą rolę w rozdz. XI.

9. Str. 48, w. 7 od góry. „Chciałbym zwrócić waszą uwagę na doniosłą różnicę...".

Jest to jedna z ulubionych myśli Eddingtona, do której wraca wielokrotnie w ciągu książki. Chcielibyśmy ze swej strony polecić ją pilnej uwadze czytelnika.

10. Str. 60, w. 8 — 6 od dołu.

Jeden z epigramatów „Rubáyiát" Omara Chajama, poety i matematyka perskiego z XI stulecia. Znany jest przekład angielski FitzGeralda.

11. Str. 63, w. 7 od dołu. „Strzałka czasu".

Wyrażenie to nawiązuje do pospolitego sposobu oznaczania kierunku ruchu zapomocą strzałki (podobnie kierunek płynięcia rzeki na mapie). Tu idzie o „ruch" czasu.

12. Str. 73, w. 9 od dołu. „Nic z tego",

Por. przypis 7. Chcemy raz jeszcze ostrzec czytelnika przed próbami „wyobrażania" sobie różnych rzeczy w przestrzeni czterowymiarowej. Nie jest to sprawa trudności — nikt z matematyków nie wyobraża sobie przestrzeni czterowymiarowej. Posługiwanie się przestrzenią czterowymiarową ma na celu wygodne ujęcie spraw, apelujące w pewien sposób do intuicyj,

znanych z przestrzeni trójwymiarowej. W rozważaniach, dotyczących teorji względności, *wyobrażamy* sobie przestrzeń trójwymiarową, a pewne rzeczy *dopowiadamy* sobie, nie „widząc" ich.

13. Str. 77 w. 17—19 od góry. „Mógłbym być zamknięty w skorupce orzecha..."

Szekspir, Hamlet, akt II, sc. 2. Słowa Hamleta.

14. Str. 77, w. 11 od dołu. „..∴ z rokiem pańskim ∞".

Ósemka leżąca jest matematycznym symbolem nieskończoności.

15. Str. 81. „Rozwój wszechświata".

W oryginale mamy tu sztuczny rzeczownik „Becoming", użyty w cudzysłowie. Najbliżej mu odpowiada polski wyraz „stawanie się", jest on jednak niezręczny. Zdecydowaliśmy się na wyraz „rozwój", który często bywa używany bez wiązania z nim żadnego sensu dodatniego („rozwój wypadków", „rozwój akcji wojennej"). Uprzedzamy zatem czytelnika, że z wyrazem „rozwój" nie należy tu łączyć żadnych wyobrażeń ewolucyjnych.

16. Str. 155, w. 12 od dołu. „... 1000 km na sekundę".

Do chwili obecnej (styczeń 1934 r.) zaobserwowano jako najwyższą szybkość mgławicy 19700 km/sek. Jest ona skierowana od Ziemi. Obserwacja ta była dokonana na Mount Wilson.

17. Str. 156, w. 12—15 od góry.

Z „Raju utraconego" Miltona, pieśń 2, w. 957—959.

18. Str. 189, w. 13 od dołu. „... w gwiazdach zwanych *białemi karłami*..."

„Białemi karłami" nazywamy rodzaj małych (porównywalnych co do wielkości z Ziemią) gwiazd, których powierzchnie znajdują się w stanie białego żaru. Zarówno rozmiary białych karłów, jak ich barwę, tłumaczymy wysoką ich temperaturą. (Por. Jeans, Wszechświat, str. 211 albo Niebo str. 90).

19. Str. 315. „Budowa świata".

Rozdział ten jest bardzo trudny, i jest zrozumiały zapewne tylko dla tych, którzy znają teorję krzywizny riemannowskiej. Zawiera on właściwie w terminach ogólnych opis postępowania, stosowanego współcześnie do konstrukcji pojęcia krzywizny. Oczywiście, trudno zasymilować te rozważania, jeżeli się nie można zapoznać z odpowiedniemi wzorami. Na szczęście rozdział ten można bez wielkiej szkody poprostu pominąć.

20. Str. 219. „Prawa tożsamościowe".

W tym paragrafie Eddington wspomina o „identyfikacji". Pojęcie to, odgrywające wielką rolę w nowszych uogólnieniach teorji względności, sta-

nowi jeden z najważniejszych przyczynków Eddingtona do nauki współczesnej. Ideałem dzisiejszym teorji fizycznej jest zbudowanie pewnej geometrji (cztero, a w pewnych nowszych próbach, nawet pięciowymiarowej), której terminy są później interpretowane geometrycznie, „identyfikowane" z pewnemi znanemi wielkościami fizycznemi, przyczem z podstawowych związków geometrycznych powinny się otrzymać podstawowe prawa fizyki (prawo grawitacji, ruchu, równania Maxwella i t. d.). Mówi się w związku z tem o „geometryzacji" fizyki. Wielu fizyków, za Eddingtonem, uważa tę „geometryczną strukturę świata" za fakt, i traktuje swe zadanie jako *wykrycie* właściwej „identyfikacji", czyli interpretacji fizycznej terminów geometrycznych, wierząc niezachwianie, że taka identyfikacja istnieje. Tem się tłumaczy uwaga na końcu tego paragrafu: „w założeniu, że identyfikacja jest poprawna". Przykład takiej identyfikacji mamy na str. 219. Wydaje się, że całe to stanowisko należy traktować raczej jako osobisty pogląd.

21. Str. 223, w. 5 od góry i inne. „Różniczkowanie hamiltonowskie, pochodna hamiltonowska".

Termin ten jest używany, jak się zdaje, wyłącznie przez Eddingtona i oznacza pewną operację różniczkową, do której prowadzi obliczanie warjacji całki działania. Czytelnik nieobeznany z matematyką może się całkowicie zadowolić wyjaśnieniem, że różniczkowanie hamiltonowskie oznacza pewne działanie matematyczne na funkcjach, a pochodna hamiltonowska— jego wynik.

22. Str. 242. „Miły Romciu"...

W oryginale piosenka dziecięca „The House that Jack built", o tyle gorzej dobrana od naszej, że nie wraca do początku; zmusza to Eddingtona do pewnego omówienia, któreśmy opuścili jako zbyteczne przy naszej piosence.

23. Str. 245, w. od góry. „Świat faktyczny".

Tak tłumaczyliśmy „The actual world" oryginału. Wyraz „faktyczny" jest użyty, jak np. w zdaniu: „Faktyczne jego nazwisko brzmiało Kowalski".

24. Str. 269, w. 8 i 9 od góry. „Śliziste brząki...".

W oryginale wiersz „Jabberwocky" (to jabber — paplać) w rodzaju Juljana Tuwina Słopiewni, pochodzący ze wspomnianej już książki Lewisa Carrola „Through the Looking-glass" (por. przypis 1).

25. Str. 270, w. 3 i 4. „Oto melodja...".

Słowa błazna Trinculo z Szekspira „Burzy" (akt III, sc. 2).

26. Str. 271, w. 10 i 11 od góry.

Z „Rubáyiát" Omara Chajama (por. przypis 10).

27. Str. 305, w. 18 — 14 od dołu.

Słowa Kalibana z Szekspira „Burzy" (akt III, sc. 2).

28. Str. 315, w. 16 — 18 od góry. „Oczy, które odbijają...".

Ciała ukazują się nam w barwie, odpowiadającej długości fali odbijanego przez nie światła. 480 miljonowych części milimetra odpowiada barwie niebieskiej; 530 — odpowiada barwie żółtej.

29. Str. 315, w. 19 od góry „...Laputanów...".

Laputani — nazwa jednego z urojonych narodów, u których gościł Guliwer, bohater popularnej książki Swifta.

30. Str. 318, w. 10 od dołu, „...Czerwona Dama...".

W „Through the Looking-glass Carrolla (por. przypisy 1 i 24) występują figury szachowe, które ożyły po tamtej stronie zwierciadła. Czerwona Dama (w oryginale queen — królowa) jest jedną z nich. Zacytowane zdanie pochodzi z bardzo zabawnej rozmowy, którą Czerwona Dama prowadzi z Alicją.



BIBLIOTEKA NAUKOWA
WAP
43039/
2.