

Filozofia fizyki teoretycznej Einsteina i Diraca*

ABSTRACT. Staruszkiewicz Andrzej, *Filozofia fizyki teoretycznej Einsteina i Diraca* [Philosophy of theoretical physics of Einstein and Dirac]. „Przestrzenie Teorii” nr 1, Poznań 2002, Adam Mickiewicz University Press, pp. 149-160. ISBN 83-232-1238-4. ISSN 1644-6763.

The subject of considerations in this work are Einstein's and Dirac's views on theoretical physics. Using as an example the Euclidean geometry and its epistemological status through the ages, the author outlines the basic philosophy of the modern theoretical physics, emphasising in particular the prominent role of ideas of simplicity and beauty as the guiding principles of research in theoretical physics.

Chcąc mówić o poglądach Einsteina i Diraca na fizykę teoretyczną, muszę przede wszystkim wyjaśnić, czym jest fizyka teoretyczna, samo bowiem zestawienie rzeczownika fizyka z przymiotnikiem teoretyczna może być mylące; podobne zestawienia istnieją w innych naukach, ale znaczą zupełnie co innego. Najlepiej wyjaśnić, czym jest fizyka teoretyczna, rozważając najstarszy i powszechnie znany dział fizyki teoretycznej, jakim jest geometria Euklidesa.

Ze współczesnego punktu widzenia mechanika Newtona, a także szczególna i ogólna teoria względności stanowią różne rodzaje geometrii przestrzeni i czasu. Jest więc ze wszech miar uzasadnione uważać geometrię samej przestrzeni za historycznie pierwszy dział fizyki teoretycznej, odznaczający się, pomimo swej starożytności, wysokim stopniem doskonałości.

Geometria Euklidesa powstała tak dawno i w tak niejasnych okolicznościach, że jej status epistemologiczny był przez ponad 2000 lat przedmiotem sporów. Panowało pomieszanie pojęć, które niemiecki filozof Kant skodyfikował twierdząc, że treść geometrii Euklidesa stanowi prawdę syntetyczną *a priori*. W bardziej zrozumiałym języku oznacza to, że fizyczna przestrzeń z jakichś powodów musi być Euklidesowa. Matematycy z początku XIX w., wśród których należy wymienić przede wszystkim Karola Fryderyka Gaussa, doszli do wniosku, że tak nie jest: fizyczna przestrzeń nie musi być Euklidesowa. Gauss był także astronomem i geodetą, który wykonał pierwsze dokładne mapy północnych Niemiec.

* Wykład wygłoszony na Uroczystym Posiedzeniu Publicznym Polskiej Akademii Umiejętności w dniu 18 XI 2000, publikowany tutaj za zgodą Zarządu PAU.

Mógł przy tej okazji przekonać się, że z dokładnością do błędów obserwacji suma kątów w trójkącie zawsze równa się 180° , co jest charakterystyczną cechą geometrii Euklidesa. Tym samym Gauss mógł przekonać się, że geometria dość dużych kawałków fizycznej przestrzeni jest Euklidesowa i jest to fakt empiryczny.

Jaki jest status epistemologiczny badań takich, jakie robił Gauss? Czego dowiadujemy się, gdy zmierzmy kąty w trójkącie, który tworzą wieża kościoła Mariackiego oraz szczyty Giewontu i Babiej Góry i przekonamy się, że ich suma wynosi dokładnie 180° ?

Jeżeli stanąć na stanowisku Kanta, to otrzymamy tu empiryczne potwierdzenie twierdzenia matematycznego, co jest logicznym nonsensem; twierdzenia matematyki są prawdziwe na mocy dowodu, a nie na podstawie obserwacji. Musimy w tej sprawie zaprowadzić logiczną i epistemologiczną jasność.

Jasność uzyskujemy mówiąc, że przedmioty matematyczne – takie jak te, o których mówi geometria Euklidesa rozumiana tradycyjnie jako dział matematyki – *per se* nie mają związku z rzeczywistością fizyczną, ale tworzą odrębny i autonomiczny świat bytów matematycznych, który oznaczam przez M, od słowa matematyka. Na temat świata M ciągnie się od czasów Platona dyskusja filozoficzna, w którą nie będę wchodzić, gdyż nie ma ona żadnego znaczenia dla moich rozważań. Pogląd, że świat M istnieje równie realnie jak świat przedmiotów fizycznych F, nazywa się platonizmem. Niektórzy ludzie nie zgadzają się z tym poglądem i twierdzą, że świat M należy do świata produktów kultury. Nie ma w tym nic złego, w szczególności nie ma to konsekwencji dla moich rozważań. W końcu podręczniki matematyki, profesorowie matematyki, instytuty matematyki na pewno są produktami kultury. Przenosząc świat M do świata produktów kultury, tzn. twierdząc, że cała treść matematyki także należy do świata produktów kultury, niczego praktycznie nie zmieniamy, a pozbywamy się uciążliwych ludzi, którzy z jakichś tajemniczych powodów są przeciwnikami platonizmu.

Mamy zatem dwa światy, świat F i świat M.

F

M

Bez dalszych zabiegów nie ma między nimi żadnych związków. Związki takie można jednak wprowadzić. Np. Gauss w swoich badaniach geodezyjnych zakładał, że promień światła, który jest przeciw przedmiotem fizycznym i należy do świata F, porusza się po linii, która jest linią prostą w geometrii fizycznej przestrzeni. Założenie to pozwala określić empirycznie geometrię małych fragmentów fizycznej przestrzeni i przekonać się, że jest ona Euklidesowa. Fizykę teoretyczną otrzymujemy, gdy zrobimy

uogólniającą hipotezę, że geometria całej przestrzeni fizycznej jest Euklidesowa. Hipoteza ta jest albo prawdziwa albo fałszywa, ale dopóki jej fałszywość nie zostanie przekonująco udowodniona, stanowi ona potężne źródło zdobywania nowej wiedzy: przy jej pomocy możemy obliczyć odległości i kąty, których nigdy przedtem nie mierzyliśmy lub których zmierzenie może być trudne lub w ogóle niemożliwe, jak np. odległość stąd do środka Ziemi.

Zarysowane wyżej rygorystyczne rozróżnienie świata F i świata M, przy jednoczesnym dopuszczeniu hipotezy odwzorowującej część świata F na część świata M, stanowi całkowicie zadowalające rozwiązanie konfuzji, która panowała ponad 2000 lat i sprowadziła na manowce Kanta. Jednocześnie widać, że geometria Euklidesa ma rzeczywiście podwójny status: jako część świata M stanowi zbiór twierdzeń prawdziwych na mocy dowodu, który otrzymała. Ta sama geometria może być jednak hipotezą o własnościach fizycznej przestrzeni. Wówczas stanowi część fizyki teoretycznej, a przewidywania oparte na tej hipotezie mogą okazać się fałszywe; nie ma to jednak żadnych implikacji dla twierdzeń geometrii Euklidesa jako działu matematyki. Twierdzenia te są prawdziwe na mocy dowodu, a więc niezależnie od obserwacji fizycznych.

Możemy zatem powiedzieć, że fizyka teoretyczna powstaje wówczas, gdy potrafimy sformułować hipotezę odwzorowującą część świata F na część świata M. Odwzorowanie to jest użyteczne, gdy pozwala obliczyć wyniki obserwacji, które nigdy nie były wykonane.

W jaki sposób można odkryć takie użyteczne odwzorowanie? Twórcy fizyki teoretycznej nie skąpili rad na ten temat; rady te są, jak zobaczymy, zawsze podsumowaniem ich osobistego doświadczenia.

Newton napisał w przedmowie do pierwszego wydania *Matematycznych zasad filozofii przyrody*¹:

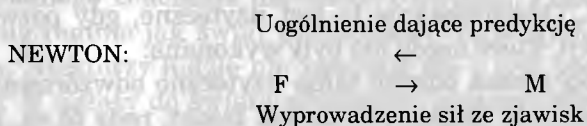
Całe zadanie filozofii przyrody polega na tym, żeby ze zjawisk odczytać siły, a następnie ze znajomości sił przewidzieć dalsze zjawiska.

Jest to na pewno doskonale zdanie, które można by uznać za program całego przyrodoznawstwa matematycznego, które bierze swój początek właśnie od Newtona. Z drugiej strony zdanie to podsumowuje po prostu to, co Newton sam zrobił dokonując swego największego odkrycia, a mianowicie sformułowania zasad mechaniki i grawitacji. Udowadniając, że prawa ruchu planet Keplera można otrzymać z zasad jego mechaniki oraz z hipotezy, że między Słońcem a planetą działa siła odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości, Newton właśnie „wyprowadził siły ze

¹ Cyt. za: *Newton's Philosophy of Nature, Selections from His Writings*, ed. by H. S. Thayer, New York and London 1974.

zjawisk”. W zdaniu tym można dopatrzeć się nawet pewnego podtekstu emocjonalnego. Mianowicie, jak to często bywa w historii nauki, hipoteza odwrotnych kwadratów wisiała wtedy w powietrzu i kilku ludzi wypowiedziało ją niezależnie od Newtona. Newton jak gdyby przypomina tym wszystkim, którzy chcieliby mieć jakiś udział w tym wielkim odkryciu, że czyn naukowy nie polega na sformułowaniu hipotezy, chociażby przypadkowo prawdziwej, ale na „wyprowadzeniu sił ze zjawisk”, tzn. pokazaniu ponad wszelką wątpliwość, że hipoteza pozwala na racjonalny i zgodny z obserwacjami opis zjawisk, że w pewnym sensie wynika ona ze zjawisk. W przypadku Newtona wymagało to udowodnienia szeregu trudnych twierdzeń matematycznych; dowody tych twierdzeń istotnie były całkowicie poza zasięgiem współczesnych Newtona, także tych, którzy myśleli niezależnie od niego o prawie grawitacji. Sławne powiedzenie Newtona: „*hypotheses non fingo*” znaczy właśnie to, że prawo odwrotnych kwadratów nie jest hipotezą, lecz wnioskiem wyprowadzonym ze zjawisk.

Używając diagramu, który zdaje się pochodzić od Diraca, można w następujący sposób zobrazować wypowiedź Newtona. Niech F oznacza ponownie przedmioty fizyczne, które poddajemy badaniu, a M przedmioty matematyczne, za pomocą których chcemy nasze badania uporządkować. Newton dostrzega konieczność podwójnego ruchu myśli: od obserwacji do abstrakcji i od abstrakcji do predykcji.



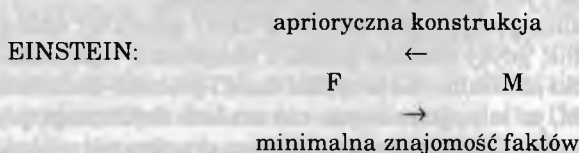
Przypuszczam, że po dziś dzień ogromna większość przyrodników uważa ten podwójny ruch myśli za nieodzowny i będący podstawą skutecznej i odpowiedzialnej nauki. Z tego właśnie powodu jest interesujące, że dwaj wielcy fizycy XX w., Einstein i Dirac, wypowiadają myśli, które można uważać za polemikę z Newtonem. W przypadku Einsteina jest to polemika zupełnie świadoma.

Albert Einstein udoskonalił w 1916 r. teorię grawitacji Newtona. Udoskonalenie to jest ilościowo znikome, a więc bardzo trudne do „wyprowadzenia ze zjawisk”, ale stanowi mimo to prawdziwy przewrót pojęciowy. Nosi ono fatalną i mylącą wielu nazwę Ogólnej Teorii Względności i stanowi największe odkrycie Einsteina. Odkrycie to całkowicie zmieniło jego poglądy naukowe i filozoficzne, o czym nie zawsze się pamięta, mieszając poglądy młodego Einsteina z poglądami odkrywcy Ogólnej Teorii Względności. W kwestii dochodzenia do prawdy naukowej Einstein wypowiadał się kilkakrotnie, m.in. w wykładzie *O metodzie fizyki teoretycznej* wygłoszonym w Oxfordzie w 1933 r. oraz w napisanych pod koniec życia *Zapi-*

skach autobiograficznych, które zostały niedawno wydane po polsku przez Wydawnictwo „Znak”, nawiasem mówiąc z moją przedmową, którą polecam Państwu jako uzupełnienie niniejszych rozważań. W *Zapiskach autobiograficznych* Einstein pisze²:

Teoria grawitacji nauczyła mnie jeszcze jednej rzeczy: nawet z najbardziej bogatego zbioru faktów empirycznych nie można wyprowadzić tak skomplikowanych równań. Teoria może być empirycznie potwierdzona, ale nie istnieje droga od doświadczenia do konstrukcji teorii. Równania tak skomplikowane jak równania pola grawitacyjnego mogą być sformułowane jedynie poprzez odkrycie logicznie prostej zasady matematycznej, która całkowicie lub prawie całkowicie określa równania. Po uzyskaniu tych warunków formalnych w postaci dostatecznie silnej, do skonstruowania teorii wystarczy minimalna znajomość faktów; w przypadku teorii grawitacji jest to czterowymiarowość czasoprzestrzeni oraz tensor symetryczny jako wyrażenie dla struktury czasoprzestrzeni; warunki te w połączeniu z niezmienniczością względem grupy ciągłych przekształceń praktycznie determinują równania [II, s. 49].

Słowa Einsteina brzmią jak polemika z tym, co Newton napisał w *Principiach*. Jest to, jak zaraz zobaczymy, polemika świadoma. Na diagramie Diraca myśl Einsteina można zobrazować następująco:



Minimalna znajomość faktów zastąpiła „wyprowadzenie sił ze zjawisk”, a aprioryczna konstrukcja zastąpiła hipotezę uogólniającą. To, że jest to świadoma polemika z Newtonem, widać z wcześniejszego o 20 lat wykładu *O metodzie fizyki teoretycznej*. W wykładzie tym Einstein pisze³:

Newton, pierwszy twórca uniwersalnego i skutecznego systemu fizyki teoretycznej, jeszcze wierzył, że podstawowe pojęcia i prawa jego systemu mogą być wywiezione z doświadczenia. Takie jest bez wątpienia znaczenie jego powiedzenia „hypotheses non fingo” [III, s. 266].

Po uzasadnieniu swojego odmiennego stanowiska Einstein pisze:

Jeżeli zatem jest prawda, że aksjomatyczna baza fizyki teoretycznej nie może być wywiedziona z doświadczenia, lecz musi być swobodnie skonstruowana, czy możemy mieć nadzieję na znalezienie właściwej drogi? A nawet więcej, czy właściwa

² A. Einstein, *Zapiski autobiograficzne*, Kraków 1996 (w nawiasie podaję bezpośrednio pod cytatami tom i stronę).

³ A. Einstein, *Ideas and Opinions*, New York 1973.

droga istnieje poza naszymi złudzeniami? Czy możemy kierować się doświadczeniem widząc, że istnieją teorie takie jak mechanika klasyczna, które bardzo dobrze opisują zjawiska nie docierając zarazem do sedna sprawy? Odpowiadam bez wahania, że w moim przekonaniu właściwa droga istnieje i że jesteśmy w stanie ją znaleźć. Dotychczasowa historia utwierdza nas w przekonaniu, że Natura jest realizacją najprostszych możliwych idei matematycznych. Jestem przekonany, że możemy odkryć za pomocą czysto matematycznych konstrukcji pojęcia i łączące je prawa, które stanowią klucz do rozumienia zjawisk przyrody. Doświadczenie może podpowiedzieć właściwe pojęcia matematyczne, lecz pojęcia te z całą pewnością nie mogą być wyprowadzone z doświadczenia. Doświadczenie pozostaje oczywiście jedynym kryterium fizycznej użyteczności konstrukcji matematycznej. Lecz twórcza zasada tkwi w matematyce. Dlatego uważam, że w pewnym sensie czysta myśl może uchwycić rzeczywistość, tak jak marzyli o tym starożytni [III, s. 267].

Tak radykalny program badawczy domaga się równie radykalnej ontologii i Einstein rzeczywiście jej dostarcza. W *Zapiskach autobiograficznych* pisze tak:

Prędkość światła c należy do wielkości, które występują w równaniach fizyki jako stałe uniwersalne. Jeśli wszakże zamiast sekundy wprowadzi się odcinek czasowy, w którym światło przebywa 1 cm, c znika z równań. W tym sensie można powiedzieć, że stała c jest jedynie pozornie uniwersalna.

Oczywisty i ogólnie przyjęty jest fakt, że z fizyki można by usunąć jeszcze dwie stałe uniwersalne, gdyby zamiast grama i centymetra wprowadzić odpowiednio dobrane jednostki naturalne (na przykład masę i promień elektronu).

Jeśli się to robi, to w podstawowych równaniach fizyki mogą pojawić się tylko stałe bezwymiarowe. Chciałbym w tym miejscu przedstawić pogląd, który obecnie może opierać się tylko na wierze w prostotę, czyli poznawalność rozumową natury: nie istnieją arbitralne stałe tego rodzaju; innymi słowy, natura ma tę własność, że da się sformułować prawa logicznie tak silnie zdeterminowane, że pojawiają się w nich tylko stałe całkowicie określone rozumowo (a więc nie takie, których wartości liczbowe można zmienić nie niszcząc teorii) [II, s. 37].

Powyższy pogląd Einsteina można by nazwać udoskonalonym pitagoreizmem. Pitagorejczycy twierdzili, że „wszystko jest liczbą” i to jest pewnego rodzaju truizmem, jeżeli wziąć pod uwagę ogromną pojemność pojęcia liczby. To, co Einstein pisze w cytowanym wyżej fragmencie, można sparafrazować mówiąc, że „wszystko jest stosunkowo prostą liczbą”, a to już na pewno nie jest truizmem, przeciwnie, jest to bardzo silna hipoteza ontologiczna mówiąca o tym, jak świat jest naprawdę zbudowany. Hipoteza ta jest albo prawdziwa albo fałszywa. Einstein po prostu uważa ją za prawdziwą, zdając sobie zresztą sprawę z tego, że nie ma na to żadnych argumentów; dlatego mówi o „wierze w prostotę czyli poznawalność rozumową natury”.

Znane powiedzenie Einsteina, wyryte na kominku w jednej z sal Fine Hall, dawnego Instytutu Matematyki w Princeton – „*Bóg jest pomysłowy, ale nie jest złośliwy*” – jest obrazowym wyrazem tego, co nazwałem udoskonalonym pitagoreizmem Einsteina.

O ile Einstein był ulubieńcem mass mediów i każdy współczesny człowiek coś o nim słyszał, o tyle Dirac, uczony podobnego kalibru co Einstein, jest całkowicie nieznany szerszej publiczności. Gdy umarł 20 października 1984 roku na Florydzie, wychodząca w Cambridge popołudniówka napisała w informacji o tym: „Pan Dirac otrzymał doktorat od Cambridge University”⁴. Uwadze dziennikarzy uszło to, że zmarł emerytowany Lucasian Professor of Mathematics, a więc następcą Newtona, pierwszy godny Newtona następcą, Laureat Nagrody Nobla, kawaler najwyższego brytyjskiego odznaczenia Order of Merit itd., można by długo wyliczać dowody uznania, jakie stały się udziałem Diraca. Nie wszyscy są oczywiście takimi ignorantami, jak owi dziennikarze. Znany pisarz angielski, Lord Snow, nazwał Diraca największym Anglikiem XX wieku. Żeby właściwie ocenić tę opinię, warto wiedzieć, że Lord Snow był w czasie wojny członkiem rządu brytyjskiego. W tym charakterze spotykał się z Winstonem Churchillem i był pod wrażeniem jego potężnej osobowości. Jest to dla mnie bardzo budujące, że zasługi uczonego mogą w czyichś oczach przewyższać zasługi tak wielkiego przywódcy, jakim był Winston Churchill.

Dirac dokonał wielu odkryć, w tym także w dziedzinie czystej matematyki, do której wprowadził na zawsze funkcję delta Diraca. Matematycy długo opierali się temu, lecz w końcu musieli skapitulować i dziś funkcja delta Diraca jest niezastąpionym narzędziem nie tylko w fizyce teoretycznej, ale także w analizie matematycznej.

Największym odkryciem naukowym Diraca jest równanie nazwane jego nazwiskiem. Równanie to w zdumiewająco precyzyjny sposób opisuje ruch elektronu, najpospolitszej cząstki elementarnej. Wszystko to, co widzimy wokół siebie lub czego możemy dotknąć, to są elektrony, których ruch w każdej chwili podporządkowany jest równaniu Diraca. Nie można właściwie zrozumieć osobliwej epistemologii Diraca nie pamiętając, że jest ona podsumowaniem osobistego doświadczenia, zwłaszcza tego związanego z odkryciem równania Diraca. W wykładzie pt. *O relacji między matematyką a fizyką* Dirac zarysował osobliwy program dochodzenia do prawdy w fizyce teoretycznej, w którym zaleca⁵:

Zacząć, wybrawszy dział matematyki, o którym można z uzasadnieniem przypuszczać, że będzie podstawą nowej teorii. Specjalną uwagę należy poświęcić mate-

⁴ *Reminiscences about a great physicist: Paul Adrien Maurice Dirac*, ed. by B. N. Kurşunoglu and E. P. Wigner, Cambridge 1990.

⁵ Cyt. za: H. S. Kragh, *Dirac, A Scientific Biography*, Cambridge 1992.

matycznemu pięknu tego działu. Zdecydowawszy się na dziedzinę matematyki, należy ją rozwijać we właściwym kierunku, cały czas patrząc, czy nie wydaje się ona podpowiadać w naturalny sposób jakiejś interpretacji fizycznej.

Na temat występującego tu pojęcia „matematycznego piękna” Dirac pisze dalej:

Piękno matematyczne jest jakością, której nie da się określić, podobnie jak piękna w sztuce nie da się określić, ale ludzie, którzy studiują matematykę, nie mają za zwyczaj żadnej trudności w rozpoznawaniu go.

Gdyby zechcieć metodę Diraca zobrazować na diagramie, który zdaje się pochodzić od niego samego, to wyglądałoby to tak:

DIRAC: F ← M

1. Piękno
2. Prostota
3. Zgodność z obserwacjami,
ale jako wartość podporządkowana

Pierwszy element podwójnego ruchu myśli Newtona w ogóle zniknął. Zamiast drugiego mamy zasady wartościujące, takie jak piękno, prostota, także zgodność z obserwacjami, ale jako wartość podporządkowaną, co Dirac stwierdza *expressis verbis*. To, że zgodność z obserwacjami jest wartością podporządkowaną, może wydawać się szokujące. Najlepiej zrozumieć to na przykładzie, który sam Dirac wielokrotnie przytacza, a mianowicie tzw. elektrodynamiki kwantowej. Teoria ta, której Dirac jest współtwórcą, odznacza się fenomenalną zdolnością przewidywania, potrafi np. obliczyć anomalny moment magnetyczny elektronu z dokładnością do dziewięciu miejsc znaczących, a obserwacje potwierdzają ten rachunek. Mimo to Dirac jej nie akceptuje, bo ta fenomenalna zgodność z obserwacjami jest osiągnięta, jego zdaniem, w sposób nieestetyczny. Najkrócej stanowisko Diraca można podsumować tak: teoria estetyczna może być prawdziwa lub fałszywa, o tym decydują obserwacje, natomiast teoria nieestetyczna jest fałszywa, a zgodność z obserwacjami nie ma tu nic do rzeczy.

Diagram powyższy ilustruje także zasadę identyfikacji Diraca: odkrycia w dziedzinie fizyki teoretycznej polegają na zidentyfikowaniu przedmiotów fizycznych, które są realizacjami pewnych zastanych przedmiotów matematycznych.

Wyobrażam sobie, że typowy przyrodnik, astronom albo chemik, instynktownie uzna filozofię Newtona za swoją własną, a filozofię Einsteina i Diraca za jakieś dziwactwo. Zupełnie słusznie. Ta filozofia nie da się

przenieść na inne działy przyrodoznawstwa matematycznego, które muszą postępować w myśl trzeźwej recepty Newtona. Jednakże w fizyce teoretycznej filozofia Einsteina i Diraca ma swoje miejsce i nie da się łatwo zignorować, i to wcale nie dlatego, że pochodzi od dwu wielkich uczonych, którzy własnymi odkryciami potwierdzili, że wiedzą, co mówią. Są głębokie powody, które pokrótce przedstawię.

Filozofia Einsteina i Diraca ma dwa źródła. Jednym jest emocjonalna reakcja na własne odkrycia naukowe. Einstein i Dirac proponują innym ludziom zrobić dokładnie to, co sami naprawdę zrobili. W tym sensie jest to propozycja uczciwa, chociaż być może nie do wykorzystania przez innych. Jest jednak i drugie źródło, nie tak subiektywne. Jest nim głębokie przemyślenie konsekwencji odkrycia mechaniki kwantowej, a raczej świata cząstek elementarnych, które mechanika kwantowa opisuje.

Świat cząstek elementarnych jest światem, w którym dwie rzeczywistości, o których była mowa, rzeczywistość przedmiotów fizycznych i rzeczywistość idei matematycznych jak gdyby zlewają się ze sobą w jakiś tajemniczy sposób. Przemawia za tym szereg argumentów, przedstawię tylko najprostsze.

Cząstki elementarne określonego rodzaju, np. elektrony, są identyczne, na co jest wiele bezpośrednich dowodów. Otóż identyczność jest pojęciem matematycznym, pojęciem fizycznym jest podobieństwo, które zachodzi np. między dwoma monetami o tym samym nominale. Z faktu identyczności elektronów widzimy, że idea tożsamości zostaje w przyrodzie zrealizowana z całą nieskończoną ostrością idei matematycznej, ale w świecie cząstek elementarnych. W świecie ciał makroskopowych nie da się wybić dwu monet jednozłotowych tak, żeby między nimi nie było jakiejś różnicy.

Inny przykład. Ładunki elektryczne elektronu i protonu są sobie równe z dokładnością jak $1:10^{-20}$. Zmierzyć coś z dokładnością dwudziestu miejsc znaczących, to tak jakby zmierzyć odległość Ziemi od Słońca z dokładnością do promienia pojedynczego atomu wodoru. Jest to dokładność absurdalna i niczemu nie służąca. Jedynym sensownym wnioskiem, jaki można wyprowadzić z tego obserwacyjnego faktu, jest przyjęcie, że ładunki elektryczne elektronu i protonu są matematycznie równe. Przyjmując, że może być między nimi jakaś różnica, np. na 25 miejscu znaczącym, ściągamy sobie na głowę kłopot znacznie większy niż matematyczna równość. Potrafimy bowiem wyobrazić sobie teorię tłumaczącą matematyczną równość tych ładunków, podczas gdy obliczenie różnicy rzędu 10^{-25} wygląda na przedsięwzięcie zupełnie beznadziejne.

Mówiąc inaczej, między ładunkami elektrycznymi elektronu i protonu zachodzi relacja, ale nie taka, jaka zachodzi między dwojgiem ludzi, z których każdy ma około 170 cm wzrostu i w tym aspekcie są oni do sie-

bie podobni. Relacja ta przypomina raczej związek, jaki zachodzi między dwoma stronami tożsamości matematycznej. To zaś oznacza, że ładunek elektryczny, będąc przedmiotem fizycznym – w co przecież nie można wątpić – jest jednocześnie przedmiotem matematycznym, bo tylko przedmiot matematyczny może być podmiotem w zdaniu, które jest matematyczną tożsamością.

Wreszcie argument być może najbardziej przemawiający do wyobraźni: odporność na działanie czasu. Platon, który pierwszy wyraźnie przeciwstawił przedmioty fizyczne ideom matematycznym, pisze w dialogu *Timaios* tak:

Należy wyróżnić następujące problemy: czym jest to, co zawsze trwa i nie zna urodzin; czym jest to, co się zawsze rodzi i nigdy nie istnieje. Pierwszą rzecz może pojąć tylko intelekt za pomocą rozumowania, bo istnieje zawsze jako ta sama. Przeciwnie, druga jest przedmiotem mniemania w połączeniu z nie rozumowym poznaniem zmysłowym, bo rodzi się i umiera⁶.

Platon bardzo trafnie zauważa, że rodzenie się i umieranie jest uniwersalną cechą przedmiotów fizycznych, nie tylko organizmów: Słońce nie jest organizmem, ale kiedyś powstało i kiedyś przestanie istnieć. To samo można powiedzieć o każdym innym dużym przedmiocie fizycznym, dużym to znaczy złożonym z dużej liczby cząstek elementarnych: Ziemia, budynki, samochody, książki, nie są organizmami, ale kiedyś powstały i kiedyś przestaną istnieć. Natomiast cząstki elementarne są wieczne i niezniszczalne; istnieją w czasie, ale czas się ich nie ima. Sądzę, że gdyby Platonowi przedstawić zachowanie się elektronu, to miałby on wątpliwości, czy jest to jeszcze opisany przez niego przedmiot fizyczny.

Przykłady te pokazują, że cząstki elementarne, takie jak elektron, mają jak gdyby podwójne obywatelstwo, są przedmiotami fizycznymi – w co przecież nie można wątpić – a jednocześnie mają cechy, które od czasów Platona uważa się za charakterystyczne dla idei matematycznych. Ten właśnie fakt, głęboko przemyślany przez Einsteina i Diraca, powoduje, że w proponowanej przez nich metodzie poznania nie ma nic absurdalnego.

W swoim wykładzie *O metodzie fizyki teoretycznej* Einstein używa w pewnym miejscu określenia „właściwa droga”. Brzmi to rzeczywiście bardzo groźnie, tak jakby mówił nie uczoney, lecz przywódca jakiejś sekty. Moim zdaniem nie ma sensu kłócić się o to, która z tych dróg jest właściwa, gdyż są one komplementarne w sensie, który nadał temu słowu Niels Bohr: to, co można osiągnąć na jednej z tych dróg, jest nie do osiągnięcia na innych. Właśnie komplementarność metody Einsteina i Diraca w stosunku do metody Newtona czyni ją niezbędną.

⁶ Platon, *Timajos, Kritias*, przeł. P. Siwek, Warszawa 1986, s. 34.

Jakie jest społeczne oddziaływanie myśli Einsteina i Diraca? Przez społeczne oddziaływanie rozumiem oczywiście wpływ na niewielką społeczność fizyków, których myśli te mogą zainteresować. Otóż pomimo niezwykłości aprioryzmu Einsteina i Diraca i pomimo tego, że obaj ci wielcy uczeni zostali za życia uznani za relikty przeszłości pozostawione na ubożu przez to, co nazywa się *main stream science*, oddziaływanie to jest ogromne. Widząc to, co się dziś dzieje, obaj mogliby z uzasadnieniem powiedzieć: moje jest za grobem zwycięstwo. Dowodem na to może być chociażby tzw. teoria strun, program badawczy będący naiwnie dosłowną realizacją recepty Diraca. W badania z zakresu teorii strun zaangażowane są na świecie setki ludzi, a Edward Witten, amerykański matematyk i fizyk, będący głównym animatorem tej teorii, ma około 50 tys. cytowań. Te 50 tys. cytowań nie jest miarą indywidualnego sukcesu Wittena, bo przecież nie jest jasne, czy sama teoria strun jest sukcesem, jest to raczej miara rozległości wysiłku badawczego wkładanego w rozwój tej teorii, cytowania te pochodzą przecież głównie od młodych ludzi, którzy poważnie potraktowali teorię strun. Jeszcze sto lat temu fenomen teorii strun nie byłby możliwy; żadne czasopismo naukowe nie opublikowałoby spekulacji tak jawnie oderwanych od rzeczywistości. Co powoduje, że w naszych czasach spekulacje takie są akceptowane i publikowane?

Moim zdaniem są dwa powody. Pierwszy to właśnie filozofia i przykład Einsteina i Diraca, którzy pokazali, co można osiągnąć na drodze czystej spekulacji. Drugi powód to sytuacja, w jakiej znalazła się fizyka teoretyczna, a której zasadniczym elementem jest sprzeczność między Ogólną Teorią Względności a mechaniką kwantową. Zresztą sprzeczność to nie jest dobre słowo, należałoby raczej mówić o rozziewie między tymi teoriami. Rozziew ten można scharakteryzować ilościowo jako rozziew między strukturami o rozmiarze przestrzennym 10^{-16} cm, które bada teoria pola będąca współczesną wersją mechaniki kwantowej, a tzw. długością Plancka, która wynosi 10^{-33} cm i która jest charakterystyczną długością kwantowej teorii grawitacji. Wielu ludzi doszło chyba do wniosku, że ten dystans 17 rzędów wielkości jest nie do pokonania metodą Newtona i to stanowi usprawiedliwienie spekulacji takich jak teoria strun. Cokolwiek by sądzić o tej teorii, a teoria ta ma nie tylko entuzjastów, np. Bert Schroer, wybitny niemiecki teoretyk, nazwał teorię strun XX-wieczną teorią flogistonu tzn. teorią rzeczy nieistniejących, teoria ta jest przykładem czysto spekulatywnej fizyki teoretycznej, która jeszcze długo będzie nam towarzyszyć, tak długo jak długo będzie istnieć wyzwanie, które jest usprawiedliwieniem spekulacji. Nie ma niczego bardziej nieustępliwego niż duch ludzki w konfrontacji z czymś, co postrzega jako oczywiste wyzwanie. Niedawno matematycy dali nam piękny przykład owej nieustępliwości ducha, udowadniając po ponad 300 latach nieskutecznych prób

wielkie twierdzenie Fermata. Te 300 lat to jest przypuszczalnie skala czasu, której potrzebują wielkie i trudne idee po to, żeby dojrzeć. Musimy oczywiście nauczyć się odróżniać ziarno od plew, spekulacje twórcze od spekulacji jałowych. Jesteśmy w tym trudnym zadaniu zdani na własne siły, bo przecież ani Einstein ani Dirac nie powiedzieli naprawdę, czym się kierować, czym są piękno i prostota, do których obaj przywiązywali tak ogromną wagę. Pojęcia te pozostają nie dającą się określić zasadą twórczości w dziedzinie fizyki teoretycznej. Mimo to musimy być przygotowani na to, że samo zjawisko czysto spekulatywnej fizyki teoretycznej będzie nam jeszcze długo towarzyszyć.