

Andrzej Łukasik

FIZYKA WSPÓŁCZESNA A ONTOLOGIE DEMOKRYTA I PLATONA

1. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Niech punktem wyjścia niniejszych rozważań będzie następująca wypowiedź Wernera Heisenberga:

Współczesne interpretacje zjawisk mikroświata niewiele mają wspólnego z prawdziwie materialistyczną filozofią. Można właściwie powiedzieć, że fizyka atomowa sprowadziła naukę z drogi materializmu, którą kroczyła ona w dziewiętnastym stuleciu. [...]

Według Demokryta atomy są wiecznymi i niezniszczalnymi cząstkami materii, żaden atom nie może przekształcić się w inny atom. Fizyka współczesna zdecydowanie odrzuca tę tezę materializmu Demokryta i opowiada się za stanowiskiem Platona i pitagorejczyków. Cząstki elementarne na pewno nie są wiecznymi i niezniszczalnymi cegiełkami materii i mogą się w sobie nawzajem przekształcać. [...] Podobieństwo poglądów współczesnych do koncepcji Platona i pitagorejczyków nie kończy się na tym. Polega ono jeszcze na czymś innym. „Cząstki elementarne”, o których mówi Platon w *Timajosie*, w istocie nie są materialnymi korpuskułami, lecz formami matematycznymi.¹

Oczywiście, nie chodzi o dosłowne potraktowanie ontologicznych modeli świata myślicieli starożytnych i zastosowanie ich we współczesnej filozofii fizyki, lecz o pewne ich interpretacje. Imiona Demokryta i Platona symbolizują raczej opozycyjne stanowiska w odpowiedzi na pytanie o fundamentalną strukturę rzeczywistości fizycznej. Pierwsze — materializmu atomistycznego, drugie — idealizmu obiektywnego.

¹ W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, tłum. S. Amsterdamski, Książka i Wiedza, Warszawa 1965s. 42, 56–57.

Podstawową tezę tradycji, którą określe mianem Demokrytejskiej, można wyrazić następująco: fundamentalny poziom rzeczywistości fizycznej można zrozumieć, zakładając obiektywne istnienie ostatecznych składników materii — obiektów wiecznych, absolutnie niezmiennych i niepodzielnych.

Analogicznie, podstawową tezę tradycji Platońskiej można sformułować następująco: ostateczny poziom rzeczywistości fizycznej można zrozumieć przyjmując obiektywne istnienie czasowych i nieprzestrzennych obiektów matematycznych.

2. POJĘCIE ELEMENTARNEGO SKŁADNIKA MATERII W TRADYCYJI ATOMISTYCZNEJ

Niezależnie od zasadniczych różnic w problemach wyjściowych, jakie zamierzali rozwiązać myśliciele różnych epok, zmian w sytuacji teoretycznej i ewolucji akceptowanych metod poznawania przyrody, idea, że istnieją ostateczne składniki materii związana była z atomizmem — od czysto spekulatywnych dociekań Leukipposa i Demokryta nad naturą bytu do teorii fizyki i chemii końca XIX wieku:

Początkiem wszechrzeczy są atomy [*átoma*] i próżnia [*κενόν*]. Wszystko inne jest tylko mniemaniem (Demokryt).²

Owe elementarne składniki są niepodzielne i niezmiennie, skoro całość wszechrzeczy jest zdolna do trwania po rozpadnięciu się ciał złożonych, a bynajmniej nie ginie i nie przechodzi w niebyt; a jest tak dlatego, że owe elementarne składniki mają zwartą budowę i wskutek tego czynniki rozkładu nie mają do nich dostępu. A zatem pierwotne cząstki elementarne muszą być niepodzielnymi ciałkami fizycznymi (Epikur).³

[...] wydaje mi się prawdopodobne, że na początku Bóg uformował materię w postaci stałych, masywnych, twardych, nieprzenikliwych, ruchomych czą-

² Demokryt, cyt. za: Diogenes Laertios, *Żywoty i poglądy słynnych filozofów*, tłum. I. Krońska, K. Leśniak, W. Olszewski, PWN, Warszawa 1984, IX, 44.

³ Epikur, *List do Herodota*, [w:] Diogenes Laertios, *Żywoty...*, X, 41.

steczek [...]; te pierwotne cząstki, będące ciałami stałymi, są nieporównywalnie twardsze od jakichkolwiek porowatych ciał z nich zbudowanych; są one tak twarde, że nigdy się nie zużyją ani nie rozpadną na kawałki; żadna zwyczajna siła nie zdoła podzielić tego, co Bóg uczynił całością w pierwszym akcie stworzenia (Newton).⁴

Analizy i syntezy chemiczne nie wychodzą poza oddzielenie od siebie cząsteczek i ich połączenie. Żadnego tworzenia ani niszczenia materii nie można osiągnąć w dziedzinie chemii (Dalton).⁵

Przez wieki kwestia istnienia atomów (i próżni) była przedmiotem burzliwych kontrowersji. Współcześnie w atomistyczną budowę materii trudno poważnie wątpić. Oczywiście, według pojęć fizyki współczesnej atomy nie są obiektami prostymi, ale układami złożonymi, czyli systemami, a za najprostsze obiekty uznaje się cząstki elementarne i to właśnie cząstki elementarne byłyby ewentualnymi kandydatami na ostateczne (z punktu widzenia współczesnych teorii fizycznych) składniki materii. Sprawa jednak staje się bardzo skomplikowana, gdy to, co wiemy o cząstkach elementarnych porównamy nie tylko z naiwnymi poglądami myślicieli starożytnych, lecz także z podstawowymi poglądami i pojęciami fizyki klasycznej.

Pojęcie elementarnego składnika materii w atomizmie klasycznym, dla którego będziemy w dalszym ciągu rozważań stosować określenie „cząstka klasyczna” można scharakteryzować następująco⁶: cząstki klasyczne są realnymi przedmiotami, istnieją w czasie i przestrzeni (są dobrze zlokalizowane czasoprzestrzennie); ich istnienie jest związane z trwaniem w czasie i dana cząstka może być, przynajmniej teoretycznie rzecz biorąc, zidentyfikowana z tą samą cząstką w czasie wcześniejszym

⁴ I. Newton, *Optics*, [w:] R. M. Hutchins (ed.), *Great Books of The Western World*, t. 34, *Mathematical Principles of Natural Philosophy. Optics, by sir Issac Newton, Treatise on Light, by Christian Huygens*, Encyclopaedia Britannica Inc., Chicago – London – Toronto 1952, s. 541.

⁵ J. Dalton, *New System of Chemical Philosophy*, cz. 1, Manchester – London 1808, from facsimile edition W. Dawson, London 1953, cz. 1, rozdz. 3, *On Chemical Synthesis*, [w:] <http://web.lemoyne.edu/~giunta/dalton.html>.

⁶ Por. M. Redhead, P. Teller, *Particle Labels and Indistinguishable Particles in Quantum Mechanics*, „The British Journal for the Philosophy of Science” 1992, Vol. 43, nr 2, s. 202.

lub późniejszym; cząstki klasyczne mają określone cechy pierwotne, które są obiektywne i przysługują im niezależnie od tego, jakiego rodzaju układy złożone tworzą te cząstki oraz niezależnie od wykonywanych pomiarów; cząstki klasyczne są niezależnie od siebie istniejącymi indywidualiami, które mogą być policzone i ponumerowane, a zamiana miejscami dwóch cząstek — nawet wówczas, gdy nie różnią się one od siebie żadną cechą wewnętrzną — tworzy nowy układ. Cząstki klasyczne pojmowano jako ciała stałe, absolutnie niezmiennie i niezniszczalne, ich ruch przestrzenny opisywały deterministyczne prawa mechaniki Newtona.

3. DESTRUKCJA POJĘCIA ELEMENTARNEGO SKŁADNIKA MATERII W FIZYCE XX WIEKU

Takie pojęcie elementarnych składników materii należy niewątpliwie do przeszłości.

Wzrost wiedzy sprawia w pewien sposób, że jesteśmy nie coraz bardziej, ale coraz to mniej pewni natury materii. Podczas gdy Dalton i jego szkoła mieli jasny obraz podstawowych cząstek materii jako realnych i niezniszczalnych ciał stałych, ze współczesnej mechaniki falowej wynika bardzo wyraźnie, że w ogóle nie istnieją identyfikowalne jednostki tego typu.⁷

Jest pewnym paradoksem to, że rozwój fizyki w XX wieku, chociaż potwierdził tezę o atomistycznej budowie materii i pozwolił sformułować atomistyczny model świata z wykorzystaniem precyzyjnych formuł matematycznych, a także, co nie mniej ważne, umożliwił praktyczne wykorzystanie możliwości, jakie zawiera atomowa budowa materii — od bomby atomowej, przez reaktory atomowe i medycynę nuklearną do manipulacji pojedynczymi atomami — doprowadził jednocześnie do poważnych trudności natury pojęciowej, a mianowicie, gdyby użyć modnej dziś terminologii filozoficznej, do „dekonstrukcji” samego pojęcia elementarnego składnika materii.

⁷ E. Schrödinger, *What Is an Elementary Particle?*, [w:] E. Castellani (ed.), *Interpreting Bodies. Classical and Quantum Objects in Modern Physics*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey 1998, s. 197.

1. Cząstki kwantowe nie są obiektami dobrze zlokalizowanymi czasoprzestrzennie.

Zgodnie z zasadą nieoznaczoności Heisenberga⁸ dla pędu i położenia, nie można jednocześnie z dowolną dokładnością zmierzyć składowej pędu i odpowiadającej jej składowej położenia cząstki elementarnej:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2},$$

gdzie Δx jest nieoznaczonością x -owej składowej współrzędnej cząstki elementarnej, Δp_x — nieoznaczonością x -owej składowej pędu.⁹

Jeżeli zinterpretujemy zasadę nieoznaczoności ontologicznie, to można stwierdzić, że cząstce kwantowej nie przysługują jednocześnie ściśle określone wartości pędu i położenia, zatem nie możemy jej przypisać ciągłej trajektorii w czasoprzestrzeni. Ruch cząstek kwantowych nie podlega więc deterministycznym prawidłowościom — zgodnie ze statystyczną interpretacją fizycznego znaczenia wektora stanu Ψ sformułowaną przez Maxa Borna (1926) wielkość $|\Psi(x, y, z, t)|^2 dx dy dz$ jest proporcjonalna do prawdopodobieństwa tego, że cząstka znajduje się (*resp.* w rezultacie przeprowadzonego pomiaru znajdziemy cząstkę) w chwili t w elemencie objętości $dx dy dz$. Przed przeprowadzeniem pomiaru cząstka kwantowa nie zajmuje ściśle określonego położenia w przestrzeni.

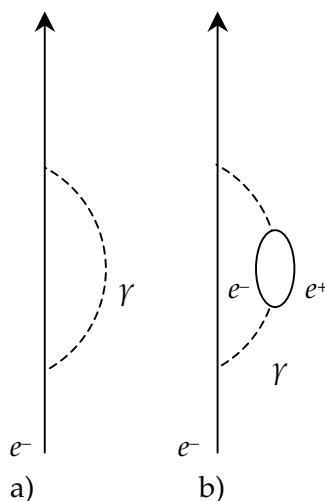
2. Zgodnie z kwantową teorią pola, każda cząstka kwantowa otoczona jest chmurą cząstek wirtualnych i nie istnieje bez swego wirtualnego otoczenia. Jest to obraz mikroobiektów zdecydowanie odmienny od klasycznego pojęcia nieprzenikliwych, dobrze zlokalizowanych korpuskuł. Wynika to z zasady nieoznaczoności dla energii i czasu:

⁸ Por. W. Heisenberg, *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik*, „Zeitschrift für Physik” 1927, Vol. 43, s. 172–198.

⁹ Przez „nieoznaczoność” Δx i Δp_x rozumiemy tutaj pierwiastek ze średniego kwadratu odchylenia od wartości średniej, gdzie „wartość średnia” rozumiana jest jako wartość oczekiwana. Standardowe wyprowadzenie zasady nieoznaczoności dla pędu i położenia por. np. L. Schiff, *Mechanika kwantowa*, tłum. Z. i Z. Rek, PWN, Warszawa 1977, s. 64–65.

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2},$$

gdzie ΔE jest nieoznaczonością energii, Δt — nieoznaczonością czasu.



Diagramy Feynmana ilustrujące cząstki wirtualne otaczające elektron. a) Proces emisji fotonu wirtualnego i jego absorpcji przez elektron; b) proces emisji fotonu wirtualnego przez elektron z dodatkową emisją przez ten foton pary elektron—pozyton, która następnie ulega anihilacji w foton, pochłonięty następnie przez elektron.

Mechanizmy kreacji i absorpcji cząstek wirtualnych sprawiają, że w określonym sensie cząstka elementarna „składa się” z tejże cząstki i swego wirtualnego otoczenia. Na przykład elektron może wyemitować wirtualny foton, z którego następnie powstaje para elektron—pozyton, para ta anihiluje w foton, który pochłonięty zostaje przez elektron.

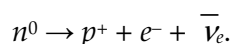
Możemy więc powiedzieć, że fizyczny elektron składa się z prawdopodobieństwem (na jednostkę czasu) bliskim jedności z jednego elektronu bez struktury, z prawdopodobieństwem rzędu $(1/137)^2$ z pozbawionych struktury elektronu i fotonu oraz z prawdopodobieństwem rzędu $(1/137)^4$ z elektronu i pary elektron—pozyton itd.¹⁰

¹⁰ M. Świącicki, *Struktura cząstek elementarnych*, [w:] *Encyklopedia fizyki współczesnej*,

Jest to daleka od poglądowych koncepcji klasycznego atomizmu odpowiedź na pytanie o to, z czego „składa się” cząstka elementarna.

3. Cząstki kwantowe nie są obiektami absolutnie trwałymi i niezniszczalnymi.

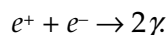
Spośród znanych cząstek elementarnych tylko proton,¹¹ elektron, pozyton, foton i neutrino są trwałe. Większość cząstek elementarnych to obiekty nietrwałe, które spontanicznie rozpadają się na inne cząstki, również określane jako elementarne. Na przykład neutron w jądrze atomowym zachowuje się jak cząstka trwała, ale neutron swobodny rozpada się (po około 17 minutach) na proton elektron i antyneutrino elektryczne:



Rozpad cząstki elementarnej na kilka innych nie znaczy jednak, że cząstki te są jej składnikami w takim sensie, jak elektrony, protony i neutrony są składnikami atomów: procesy te polegają na wzajemnym przekształcaniu się jednych cząstek elementarnych w inne cząstki, które są równie elementarne i dlatego lepiej jest mówić o wzajemnych transformacjach cząstek.

Nawet cząstki trwałe nie są obiektami niezniszczalnymi, co wynika z procesów kreacji i anihilacji materii.

W teorii cząstek elementarnych przyjmuje się, że dla każdego rodzaju cząstek materii istnieją odpowiednie antycząstki. W rezultacie zderzenia cząstki z antycząstką następuje proces nazywany anihilacją. Na przykład w rezultacie zderzenia elektronu z antycząstką, pozytonem, cząstki te przestają istnieć, a powstają fotony promieniowania elektromagnetycznego:



PWN, Warszawa 1983, s. 98. W elektrodynamice kwantowej prawdopodobieństwo emisji cząstki wirtualnej jest proporcjonalne do stałej struktury subtelnej ($\alpha_{el} = 1/137$).

¹¹ Niektóre współczesne teorie przewidują rozpad swobodnego protonu, przy czym jego czas życia szacowany jest na co najmniej 10^{30} lat, co o wiele rzędów wielkości przekracza czas istnienia naszego wszechświata.

W pewnych warunkach możliwy jest również proces odwrotny do anihilacji, zwany *k r e a c j ą p a r* — wysokoenergetyczny foton może wyprodukować parę cząstka—antycząstka (np. elektron i pozyton):

$$\gamma \rightarrow e^+ + e^-.$$

Procesy anihilacji prowadzą zatem do wniosku, że nawet cząstki elementarne, które — jak elektrony czy protony — są trwałe w tym sensie, że nie rozpadają się spontanicznie na inne cząstki nie są absolutnie trwałe, co zakładano zwykle w filozoficznym pojęciu elementarnego składnika materii, ponieważ w rezultacie zderzenia z odpowiednią antycząstką przestają one istnieć, przemieniając się w inne cząstki. Podobnie procesy kreacji par podważają właściwe dla klasycznego atomizmu przekonanie, że cząstki elementarne nie mogą powstawać.

Z mechaniki kwantowej wyłania się więc „obraz materii dynamicznej, w której nie ma obiektów niezniszczalnych”.¹² Procesy kreacji i anihilacji par trudno pogodzić z naszymi filozoficznymi intuicjami dotyczącymi trwałości substancji. W mikroświecie trudno znaleźć takie składniki materii, które mogłyby spełniać funkcję atomów w klasycznym atomizmie, zatem „nie można na poziomie cząstek elementarnych poszukiwać trwałych i dobrze wyodrębnionych składników materii, a z takim pojęciem ciała materialnego kojarzą się klasyczne ontologie bytów indywidualnych”.¹³ Podstawowym założeniem filozofii atomizmu było, że schodząc w głąb struktury materii, dochodzimy do składników coraz trudniejszych do rozbicia i coraz trwalszych — aż do składników absolutnie trwałych. Fizyka cząstek elementarnych prowadzi jednak raczej do przeciwnego wniosku: podstawową cechą elementarnych składników materii jest ich *d y n a m i c z n y* charakter, a nie absolutna niezmienność.

4. Cząstki kwantowe w ramach danego gatunku, których własności są standaryzowane nie są indywidualami.

W mechanice kwantowej zakłada się, że wszystkie cząstki elementarne danego gatunku nie różnią się od siebie żadną wewnętrzną cechą.

¹² M. Tempczyk, *Fizyka najnowsza*, Znak, Kraków 1998, s. 102.

¹³ *Ibidem*, s. 161.

Fizycy na określenie cząstek danego gatunku, których własności wewnętrzne są standaryzowane, stosują zwykle termin *cząstki identyczne*. Podstawowa różnica między pojęciem cząstki klasycznej a pojęciem cząstki kwantowej polega na tym, że cząstki identyczne są w mechanice klasycznej *rozróżnialne*, natomiast w mechanice kwantowej są one *nierozróżnialne*.

Według klasycznej mechaniki statystycznej, jeżeli w jakimś układzie jest pewna liczba cząstek określonego gatunku, znajdujących się w różnych stanach, to nawet jeżeli cząstki te są standaryzowane w ramach gatunku, to ich permutacja, czyli wymiana stanów między dwoma cząstkami, daje w rezultacie nowy stan różniący się od poprzedniego. Cząstki klasyczne podlegają statystyce Maxwella—Boltzmannna. Dla n cząstek i m dostępnych dla nich stanów liczba możliwych układów wyraża się wzorem:

$$N_{M-B}(n, m) = m^n.$$

Jeżeli mamy dwie cząstki klasyczne, i każda z nich może znajdować się w dwóch stanach (oznaczanych jako $|a\rangle$ i $|b\rangle$), to zgodnie ze statystyką Maxwella—Boltzmannna możliwe są $N_{M-B}(2, 2) = 2^2 = 4$ stany, co możemy zapisać następująco:

- 1) $|a(1)\rangle |a(2)\rangle$ (obydwie cząstki w stanie $|a\rangle$);
- 2) $|b(1)\rangle |b(2)\rangle$ (obydwie cząstki w stanie $|b\rangle$);
- 3) $|a(1)\rangle |b(2)\rangle$ (cząstka 1 w stanie $|a\rangle$ i cząstka 2 w stanie $|b\rangle$);
- 4) $|a(2)\rangle |b(1)\rangle$ (cząstka 1 w stanie $|b\rangle$ i cząstka 2 w stanie $|a\rangle$).

Przypadki (3) i (4) są traktowane jako *różne* sytuacje fizyczne — permutacja dwóch dowolnych elementów w układzie złożonym z takich samych elementów daje w rezultacie nowy stan.

Statystyki kwantowe różnią się jednak zasadniczo od statystyki klasycznej Maxwella—Boltzmannna. Z zasady nierozróżnialności wynikają

pewne ograniczenia na obserwowalne stany cząstek w układzie złożonym z cząstek identycznych.¹⁴

Bose i Einstein wykazali, że w celu otrzymania rezultatów teoretycznych zgodnych z wynikami eksperymentów należy założyć, że dla bozonów stany (3) i (4) muszą być traktowane jako jeden stan. Zgodnie ze statystyką Bosego—Einsteina dla n cząstek i m stanów otrzymujemy:

$$N_{B-E}(n, m) = \binom{n+m-1}{n}$$

możliwych układów. Jeśli $n = 2$ i $m = 2$, to otrzymujemy jedynie trzy możliwości:

- 1) $|a(1)\rangle |a(2)\rangle$ (obydwie cząstki w stanie $|a\rangle$);
- 2) $|b(1)\rangle |b(2)\rangle$ (obydwie cząstki w stanie $|b\rangle$);

oraz stan symetryczny:

$$5) |a(1)\rangle |b(2)\rangle + |a(2)\rangle |b(1)\rangle^{15},$$

będący liniową superpozycją stanów (1) i (2).

Dla fermionów, które podlegają zakazowi Pauliego, w układzie złożonym z wielu takich samych cząstek tylko jedna cząstka może znaj-

¹⁴ Jeżeli $|P\Psi\rangle = |\Psi\rangle$, to stan taki nazywa się stanem symetrycznym — po permutacji dwóch stanów otrzymujemy ten sam stan; jeżeli natomiast $|P\Psi\rangle = -|\Psi\rangle$, to stan taki nazywa się stanem antysymetrycznym — w rezultacie permutacji otrzymujemy ten sam stan ze znakiem minus (co oczywiście nie wpływa na wartość oczekiwaną operatora O). Stan, który nie jest ani stanem symetrycznym, ani antysymetrycznym, nazywamy stanem niesymetrycznym i stany takie należy wykluczyć, ponieważ prowadzą one do niezgodnej z doświadczeniem dla cząstek kwantowych klasycznej statystyki Maxwella—Boltzmana. Bozony (cząstki o spinie całkowitym, np. fotony) opisywane są stanami symetrycznymi, natomiast fermiony (cząstki o spinie półłukowym, np. elektrony, protony i neutrony) — antysymetrycznymi. Dla bozonów (statystyka Bosego—Einsteina) dodajemy amplitudy prawdopodobieństwa, dla fermionów (statystyka Fermiego—Diraca) dodajemy amplitudy ze znakiem minus.

¹⁵ Pomijamy tu nieistotne dla naszych rozważań współczynniki liczbowe.

dować się w danym stanie kwantowym. Wówczas otrzymujemy statystykę Fermiego—Diraca — dla n cząstek i m stanów jest

$$N_{F-D}(n, m) = \binom{n}{m}$$

możliwych układów. W odniesieniu do układu dwóch cząstek i dwóch dostępnych dla każdej z nich stanów oznacza to, że możliwy jest tylko jeden sposób obsadzenia stanów $|a\rangle$ i $|b\rangle$ przez cząstki 1 i 2 — każda cząstka znajduje się w innym stanie. Jest to stan antysymetryczny:

$$6) |a(1)\rangle |b(2)\rangle - |a(2)\rangle |b(1)\rangle.$$

Przykładem może być pierwsza „orbita” w atomie, na której mogą znajdować się co najwyżej dwa elektrony: wiadomo, że muszą one mieć skierowane przeciwnie spiny, ale „nie istnieje eksperymentalna metoda, pozwalająca stwierdzić, że ten elektron ma spin w górę, a tamten ma spin w dół”.¹⁶

5. Cząstki kwantowe nie są niezależnie od siebie istniejącymi obiektami nawet wówczas, gdy są odseparowane przestrzennie.

Wniosek ten wynika z eksperymentu Einsteina, Podolskiego i Rose-
na,¹⁷ a ściślej — z empirycznej falsyfikacji nierówności Bella w doświadczeniach Aspecta.

Einstein twierdził, że teorie fizyczne muszą się wiązać z założeniem, że poszczególne rzeczy istnieją całkowicie niezależnie od siebie o ile „leżą w różnych częściach przestrzeni”.¹⁸ W pracy EPR rozważa się układ dwóch cząstek, które uprzednio oddziaływały ze sobą — a zatem są opi-

¹⁶ M. Redhead, P. Teller, *Particles. Particle Labels, and Quanta: The Toll of Unacknowledged Metaphysics*, „Foundation of Physics” 1991, Vol. 21, nr 1, s. 204.

¹⁷ Por. A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?*, „Physical Review” 1935, Vol. 47, s. 777–780; tłum. polskie: *Czy opis kwantowomechaniczny rzeczywistości fizycznej można uznać za zupełny?*, [w:] S. Butryn (red.), *Albert Einstein. Pisma filozoficzne*, tłum. K. Napiórkowski, Wydawnictwo IFiS PAN, Warszawa 1999, s. 117–123.

¹⁸ A. Einstein, *Mechanika kwantowa a rzeczywistość*, [w:] S. Butryn (red.), *Albert Einstein...*, s. 163.

sane przez wspólną funkcję falową Ψ — i pokazuje się, że wykonując pomiar na układzie I, można przewidzieć w sposób pewny stan przestrzenie oddalonego układu II bez jego zakłócania, nawet wówczas, gdy mierzy się wielkości wchodzące w relacje nieoznaczoności, a zatem należy uznać, że wielkości te są realne (co miało dowodzić niekompletności mechaniki kwantowej), chyba że przyjmemy, iż stan układu II zależy od procesu pomiaru przeprowadzonego na układzie I, co w żaden sposób nie zakłóca stanu układu II. „Nie można oczekiwać — twierdzi jednak Einstein — by jakakolwiek rozsądna definicja rzeczywistości na to pozwalała”.¹⁹

W 1964 roku John Stewart Bell sformułował pewną nierówność, która powinna być spełniona, gdyby słuszny był wniosek Einsteina, że kwantowomechaniczny opis za pomocą funkcji Ψ nie jest opisem kompletnym.²⁰ Doświadczenia przeprowadzone w 1982 roku przez zespół Alaina Aspecta²¹ potwierdzają jednak korelacje przewidywane przez mechanikę kwantową, falsyfikują natomiast nierówność Bella. Eksperymenty Aspecta prowadzą do wniosku, że cząstki, które kiedyś oddziaływały ze sobą, pozostają w jakiś sposób częściami jednego systemu nawet wówczas, gdy obecnie dzieli je znaczna odległość przestrzenna i wobec tego trudno traktować je jako całkowicie od siebie niezależne realności fizyczne. Nielokalność (*non-separability*) mechaniki kwantowej ukazuje holistyczne aspekty tej teorii, które są zdecydowanie niezgodne z podstawowymi założeniami atomizmu.

6. Cząstki kwantowe nie są klasycznymi korpuskułami, ponieważ przejawiają własności falowe (dualizm korpuskularno-falowy).

W mechanice kwantowej od czasów wprowadzenia przez Einsteina koncepcji fotonów, wyrażających korpuskularny aspekt fal elektromagnetycznych, a następnie idei fal materii przez de Broglie’a, wyrażających falowe własności cząstek, używa się zarówno korpuskularnego, jak i falowego opisu zjawisk w kombinacji, jaka nie występuje w mechanice

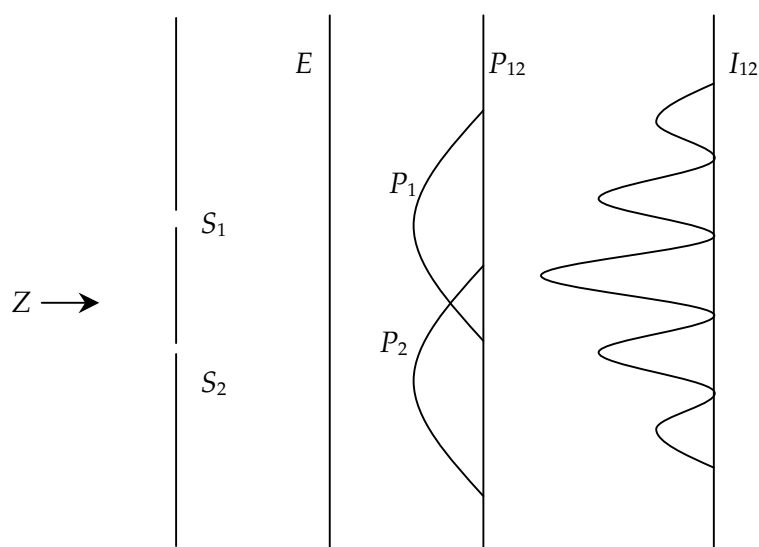
¹⁹ A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, *Czy opis kwantowomechaniczny...*, s. 122.

²⁰ Por. J. S. Bell, *On the Einstein Podolsky Rosen Paradox*, „Physics” 1964, t. 1, s. 195–200, [w:] http://www.drchinese.com/David/Bell_Compact.pdf.

²¹ Por. A. Aspect, J. Dalibard, G. Roger, *Experimental Test of Bell’s Inequalities Using Time Varying Analyzers*, „Physical Review Letters” 1982, Vol. 49, nr 25, s. 1804–1807.

klasycznej.²² Powstaje zatem zagadnienie interpretacji dualizmu korpuskularno-falowego, które można ująć w postaci pytania o to, „jaka jest natura mikroukładów, którymi zajmuje się mechanika kwantowa, czy są to fale, czy też cząstki względnie elementy, które się jawią raz jako fala, raz jako cząstka”.²³

Treścią klasycznego pojęcia cząstki jest przecież to, że jest to obiekt dyskretny, zlokalizowany w małym obszarze czasoprzestrzeni, a dwie cząstki nie mogą równocześnie zajmować tego samego miejsca w przestrzeni. W klasycznym pojęciu fali zawiera się natomiast to, że fale są obiektami rozciągłymi, nie można ich zlokalizować w dowolnie małym obszarze czasoprzestrzeni, a ponadto dwie fale mogą równocześnie znajdować się w tym samym obszarze czasoprzestrzeni (interferencja).



Rozważmy eksperyment interferencyjny na dwóch szczelinach, który — jak pisze Feynman — „zawiera w sobie wszystkie tajemnice mechaniki kwantowej”.²⁴ Układ składa się ze źródła cząstek Z (mogą to być na

²² Por. N. Bohr, *On the Notions of Causality and Complementarity*, „Dialectica” 1948, Vol. 2, s. 313.

²³ Z. Hajduk, *Współczesne interpretacje mechaniki kwantowej*, „Roczniki Filozoficzne” 1965, t. 13, z. 3, s. 71.

²⁴ R. P. Feynman, *Charakter praw fizycznych*, tłum. P. Amsterdamski, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000, s. 138.

przykład fotony lub elektrony), przesłony z dwiema wąskimi szczelinami S_1 i S_2 (odległość między szczelinami jest dużo większa niż długość fali λ) oraz ekranu E , na którym rejestrowane są cząstki (może to być na przykład klisza fotograficzna, szereg detektorów lub ruchomy detektor). Przez x oznaczmy miejsce na ekranie E , w które trafia cząstka.

Przeanalizujemy to doświadczenie, przyjmując założenia, że mamy do czynienia z: a) klasycznymi cząstkami; b) klasycznymi falami; c) cząstkami kwantowymi.

a) Niech źródło Z emituje klasyczne cząstki, o których zakładamy, że są obiektami niepodzielnymi i niezniszczalnymi oraz że poruszają się po jednoznacznie określonych trajektoriach. Jeżeli zamkniemy jedną ze szczelin, na przykład S_2 , to cząstki mogą dotrzeć do ekranu E tylko przez szczelinę S_1 . Prawdopodobieństwo (czyli średnią liczbę cząstek w danym czasie) zarejestrowania cząstki w punkcie x przedstawia krzywa P_1 : najwięcej cząstek trafia w obszar położony naprzeciwko szczeliny S_1 , chociaż niektóre — na przykład w rezultacie rykoszetu od krawędzi szczeliny — mogą znaleźć się w pewnej odległości od tego punktu. Analogiczny obraz (krzywa P_2 na rysunku) otrzymujemy w przypadku, gdy otwarta jest tylko szczelina S_2 . Jeżeli otwarte są obydwie szczeliny, to — ponieważ każda z cząstek może dotrzeć do punktu x albo przez szczelinę S_1 , albo przez szczelinę S_2 — prawdopodobieństwo P_{12} znalezienia cząstki w danym punkcie x jest równe sumie prawdopodobieństw znalezienia cząstek docierających do punktu x przez S_1 i prawdopodobieństwa znalezienia cząstek docierających do punktu x przez szczelinę S_2 :

$$P_{12} = P_1 + P_2.$$

b) Jeżeli wykonamy analogiczne doświadczenie z klasycznymi falami, to możemy określić natężenie fali I w danym punkcie x . Jeżeli otwarte są obydwie szczeliny, występuje interferencja fal — w punkcie pośrodku obydwu szczelin fale docierają do ekranu E zgodne w fazie i otrzymujemy wzmocnienie drgań (interferencja konstruktywna); w miejscach, w których spotykają się fale w fazach przeciwnych, drgania wygaszają się (interferencja destruktywna). Obraz na ekranie jest całkowicie inny niż w przypadku doświadczenia z cząstkami. Natężenie fali I_{12} w danym

punkcie x jest proporcjonalne do kwadratu sumy amplitud fal pochodzących z S_1 i S_2 , które oznaczmy a_1 i a_2 odpowiednio:

$$I_{12} = (a_1 + a_2)^2.$$

Jeżeli zamkniemy jedną ze szczelin, to nie występuje interferencja i kształt krzywej reprezentującej natężenie fali I_1 (lub I_2) jest taki sam, jak krzywej P_1 (lub P_2 odpowiednio) w doświadczeniu z cząstkami.

c) Teraz rozważmy analogiczne doświadczenie z cząstkami kwantowymi. To, że możemy mówić o „cząstkach” jest uzasadnione przez fakt, że gdy cząstka dociera do ekranu, znajdujemy ją zawsze dobrze zlokalizowaną w małym obszarze przestrzeni. Jeżeli na przykład wzdłuż ekranu E umieścimy szereg detektorów, to zawsze reaguje tylko jeden z nich. Każdy z detektorów rejestruje całą cząstkę albo nie rejestruje nic. Jeżeli tylko jedna szczelina jest otwarta, to prawdopodobieństwo trafienia cząstki w pewien punkt ekranu jest dokładnie takie samo, jak dla cząstek klasycznych. Jednak sytuacja staje się zupełnie inna, gdy otwarte są obydwie szczeliny — otrzymujemy obraz interferencyjny dokładnie taki sam, jak w przypadku klasycznych fal. Efektu interferencyjnego nie można interpretować jako rezultatu kolektywnego ruchu cząstek. Załóżmy bowiem, że zmniejszamy natężenie wiązki tak, że w zadanej jednostce czasu przez cały układ przechodzi tylko jedna cząstka. Mimo to — jeżeli otwarte są obydwie szczeliny — nadal obserwuje się obraz interferencyjny (oczywiście po odpowiednio długim czasie). Zatem prawdopodobieństwo trafienia cząstki w pewien punkt ekranu E nie jest równe sumie prawdopodobieństw trafienia w ten punkt cząstek, które przeszły niezależnie przez szczelinę S_1 albo przez szczelinę S_2 . Na przykład w pewne obszary ekranu, do których docierała duża liczba cząstek w przypadku gdy otwarta była tylko jedna szczelina, gdy otwarte są dwie szczeliny — cząstki w ogóle nie docierają. Otworzenie cząstkom drugiej drogi sprawia, że pewne miejsca, w które mogła trafić cząstka przy otworzonej jednej szczelinie, okazują się dla niej niedostępne. Jeżeli w doświadczeniu próbujemy ustalić, przez którą szczelinę przeszła cząstka (na przykład przez umieszczenie odpowiednich detektorów przy szczelinach), wówczas okazuje się, że przechodzi ona zawsze albo przez szczelinę S_1 , albo przez szczelinę S_2 , nigdy zaś równocze-

śnie przez obydwie, ale wówczas nie pojawia się obraz interferencyjny. Takie same rezultaty otrzymujemy, używając w doświadczeniu elektronów, fotonów i innych cząstek kwantowych.

Podsumowując, można powiedzieć, że elektrony docierają do detektorów w całości, tak jak pociski, ale prawdopodobieństwo rejestracji elektronów jest określone takim wzorem jak natężenie fali. W tym sensie elektron zachowuje się jednocześnie jak cząstka i jak fala.²⁵

Teza o dyskretnej naturze materii z pewnością łączy dawniejsze teorie atomistyczne z teoriami fizyki współczesnej. Jeżeli jednak — w ramach kwantowej teorii pola — cząstki traktowane są jako kwanty odpowiednich pól, to pogląd ten podważa sens dualizmu: dyskretna, zindywidualizowana i zlokalizowana czasoprzestrzennie cząstka — ciągłe i niezindywidualizowane pole. Procesy kreacji i anihilacji par cząstka—antycząstka, zachodzące nieustannie w kwantowej próżni, zacierają ponadto właściwy atomizmowi klasycznemu dualizm pustej przestrzeni i materii, przez co na dobrą sprawę znika ostatni element łączący klasyczny atomizm z pojęciem elementarnych składników materii według fizyki współczesnej.

²⁵ R. P. Feynman, *Charakter...*, s. 147. Warto podkreślić, że efekty interferencyjne zachodzą nawet — przynajmniej w zasadzie — dla przedmiotów makroskopowych. W przypadku doświadczeń z przedmiotami makroskopowymi mechanika kwantowa przewiduje, że obserwowany obraz interferencyjny ulega „statystycznemu wygładzeniu” i uśrednieniu (por. R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, *Feynmana wykłady z fizyki*, t. 1, cz. 2, tłum. A. Jurewicz, M. Grynberg, M. Kozłowski, T. Buttler, PWN, Warszawa 1974, s. 184 i n). W 1999 roku zaobserwowano interferencję dla cząsteczek fulerenów, złożonych z 60 albo 70 atomów węgla, czyli, biorąc pod uwagę, że same atomy węgla są systemami złożonymi, dla bardzo skomplikowanych układów (por. A. Zeilinger, *Why The quantum? „It” from „Bit”? A Participatory Universe? The Far-reaching Challenges from John Archibald Wheeler and their Relation to Experiment*, [w:] J. D. Barrow, P. C. Davies, Ch. L. Harper, Jr, *Science and Ultimate Reality. Quantum Theory, Cosmology, and Complexity*, Cambridge University Press, Cambridge 2004, s. 211–213.

4. RENESANS PLATONIZMU W FILOZOFII FIZYKI

Tak radykalne zmiany, jakie wprowadziła w pojęciu elementarnych składników materii fizyka atomowa i cząstek elementarnych prowadzą niektórych uczonych do wniosku, że „współczesne podejście naukowe można uważać za radykalnie antimaterialistyczne”.²⁶ W dwudziestowiecznej filozofii fizyki daje się stwierdzić pewien renesans platonizmu, co wyraża się w przekonaniu, że to raczej idealizm Platona, a nie materializm Demokryta stanowi adekwatną podstawę do ontologicznej interpretacji współczesnej atomistyki.

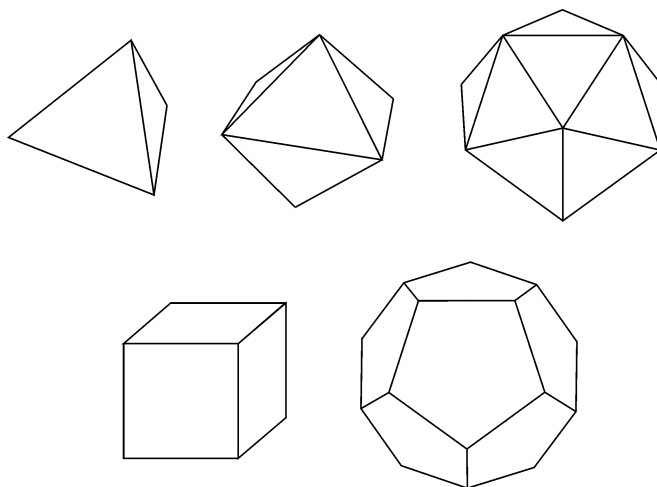
Platon w *Timajosie* zaproponował koncepcję atomizmu geometrycznego, zgodnie z którym „wszystkie gatunki ciał [...] powstają z brył elementarnych, ich kombinacji i wzajemnych przemian”.²⁷ Za podstawowe elementy (zwane „elementami matematycznymi”) uznaje on dwa rodzaje trójkątów prostokątnych. Pierwszy z nich stanowi trójkąt prostokątny nierównoramienny, będący połową trójkąta równobocznego, drugi to trójkąt prostokątny równoramienny, będący połową kwadratu.²⁸ Dobierając odpowiednią liczbę trójkątów pierwszego rodzaju, Platon konstruuje najpierw trójkąty równoboczne, a z nich wielościany foremne odpowiadające żywiołom ognia, powietrza i wody. Są to odpowiednio: sześciąt, dwudziestościan, ośmiościan i czworościan, czyli wielościany, które współcześnie nazywa się bryłami platońskimi.

²⁶ C. W. Misner, *Niematerialne składowe obiektów fizycznych*, [w:] M. Heller, A. Michalik, J. Życiński (red.), *Filozofować w kontekście nauki*, s. 169.

²⁷ Platon, *Timajos*, tłum. P. Siwek, PWN, Warszawa 1986, 61 c.

²⁸ Oczywiście jest tylko jeden typ trójkąta prostokątnego równoramiennego. Natomiast spośród nieskończenie wielu typów trójkątów prostokątnych nierównoramiennych Platon wybiera ten, o którym sądzi, że jest „najpiękniejszy”. Jest to trójkąt, „który ma zawsze kwadrat swego największego boku trzy razy większy od kwadratu najmniejszego” (*ibidem*, 54 a–54c.), czyli taki, którego przeciwprostokątna jest dwa razy dłuższa od najmniejszego boku (*ibidem*, 54 d–54e). Rzeczywiście, jeśli w trójkącie prostokątnym nierównoramiennym krótszą przyprostokątną oznaczymy symbolem a , dłuższą — b , przeciwprostokątną zaś — c , to jeśli $c = 2a$, wówczas z twierdzenia Pitagorasa mamy: $a^2 + b^2 = c^2$, czyli $a^2 + b^2 = (2a)^2$ a stąd $b^2 = 3a^2$. Sformułowane przez Platona warunki spełnia więc każdy trójkąt prostokątny o długościach boków $a = x$, $b = \sqrt{3}x$, $c = 2x$, gdzie x jest dowolną liczbą rzeczywistą dodatnią. Kąty trójkąta wynoszą wówczas 90° , 60° i 30° .

Bryły te — w przeciwieństwie do atomów Demokryta — nie są ostatecznymi, niepodzielnymi elementami świata fizycznego, ponieważ w rezultacie zderzenia dwóch lub większej liczby wielościanów mogą one ulec dezintegracji i utworzyć nowy układ, również w kształcie wielościanu foremego. Tak więc elementarnymi składnikami ciał są trójkąty, i z racji niepodzielności to raczej trójkąty, a nie wielościany foremne pełnią u Platona rolę podobną jak atomy w systemie Demokryta.



Bryły platońskie: czworościan foremny — element ognia, ośmiościan foremny — element powietrza, dwudziestościan foremny — element wody, sześciokąt — element ziemi i dwunastościan.

Według Heisenberga²⁹ „cząstki elementarne” w koncepcji Platona — trójkąty — nie są obiektami materialnymi, lecz są to struktury matematyczne, które reprezentują podstawowe własności symetrii świata.

Zbliżone stanowisko znajdujemy również w pracach innych fizyków, zwolenników platonizmu:

²⁹ Filozoficzne poglądy Heisenberga ulegały ewolucji: od stanowiska radykalnego empiryzmu, przyjmującego, że w teorii fizycznej nie powinny występować wielkości nieobserwowalne, do platonizmu identyfikującego cząstki elementarne z czysto matematycznymi formami (por. P. A. Heelan, *Quantum Mechanics and Objectivity. A Study of the Philosophy of Werner Heisenberg*, Martinus Nijhoff, The Hague 1965, s. 135–140).

Wprawdzie w czasach Platona nie było teoretycznej fizyki, ale to, o czym Platon mówi w *Timajosie*, możemy traktować jako odpowiednik dzisiejszej fizyki teoretycznej. Tak na przykład współczesna fizyka mówi o atomie wodoru. Co się za tym atomem kryje? Matematyczna forma, tak jak w przypadku okręgu (Carl F. von Weizsäcker).³⁰

Mechanika kwantowa [...] zmieniła cały system pojęć, jakich używamy do opisu przyrody: zamiast mówić o cząstkach z dobrze określonym położeniem i prędkością, mówimy teraz o funkcjach falowych i prawdopodobieństwach. Synteza teorii względności z mechaniką kwantową doprowadziła do powstania nowego obrazu świata, w którym materia nie odgrywa już głównej roli. Jej miejsce zajęły zasady symetrii, choć niektóre z nich w obecnym stanie wszechświata pozostają ukryte (Steven Weinberg).³¹

Jedną z zadziwiających cech zachowania świata stanowi jego nadzwyczajna zgodność z prawami matematycznymi. Im lepiej rozumiemy świat fizyczny, im głębiej poznajemy prawa natury, tym bardziej wydaje się nam, że świat fizyczny gdzieś wyparowuje i pozostaje nam tylko matematyka. Im głębiej rozumiemy prawa fizyki, tym dalej wkraczamy w świat matematyki i matematycznych pojęć (Roger Penrose).³²

Wzory matematyczne, trafnie ujmujące bieg zjawisk przyrody, posiadają byt trwały wśród zmiennych kształtów pojęciowych, jakie przybiera pierwotnie z nimi związana teoria. Mogą one okazać się tylko przybliżonym wyrazem stosunków rzeczywistych i podporządkować się wzorom ogólniejszym, w pewnym zakresie pozostają jednak niezachwiane. [...] Tak więc wzory matematyczne fizyki tworzą niezmienny świat idealny, któremu podlega stawianie się w przyrodzie; każdego uderzy tu analogia ze światem idei Platonia-

³⁰ C. F. von Weizsäcker, *Filozofia grecka i fizyka współczesna*, tłum. M. Heller, [w:] M. Heller, A. Michalik, J. Życiński (red.), *Filozofować...*, s. 147–148; por. idem, *Jedność przyrody*, tłum. K. Napiórkowski, J. Prokopiuk, H. Tomasik, K. Wolicki, PIW, Warszawa 1978, s. 433–510; idem, *Platońska koncepcja prawdy w dziejach przyrodznawstwa*, tłum. M. Łukasiewicz, „Literatura na Świecie” 1981, nr 3, s. 156.

³¹ S. Weinberg, *Sen o teorii ostatecznej*, tłum. P. Amsterdamski, Zysk i S-ka, Warszawa 1994, s. 13.

³² R. Penrose, *Makroświat, mikroświat i umysł ludzki*, tłum. P. Amsterdamski, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997, s. 18–19.

skich, niematerialnych pierwowzorów rzeczy i stosunków świata zmysłowego (Czesław Białobrzeski).³³

Michał Heller proponuje pogląd następujący:

Założmy, że istnieje — w sensie Platońskim — pewna abstrakcyjna struktura, do której nie mamy bezpośredniego dostępu poznawczego. Możemy jedynie konstruować matematyczne struktury, które są „cieniami”, lub — używając mniej poetyckiego języka — reprezentacjami tamtej Platońskiej struktury.³⁴

Wówczas matematyczne struktury odpowiadające różnym ujęciom mechaniki kwantowej byłyby, zdaniem Hellera, „abstrakcyjnymi reprezentacjami jakiejś bezpośrednio dla nas niedostępnej struktury Platońskiej. To właśnie abstrakcyjne cechy strukturalne tej Platońskiej struktury należy przypisać [...] kwantowemu światu”.³⁵ Heller w artykule *Ewolucja pojęcia masy* stawia ponadto tezę, że we współczesnych naukach przyrodniczych pojęcie materii zostało całkowicie wyeliminowane, a jeżeli już pojawia się w publikacjach z dziedziny fizyki, to jedynie przez nie-
dbałe użycie języka.

Pojęcie materii we współczesnej fizyce zdecydowanie przestało odpowiadać filozoficznemu lub potocznemu pojęciu materii. [...] Okazuje się więc, że określenie fizyki jako „nauki o materialnym świecie”, lub krócej jako „nauki o materii”, jest niczym innym, jak tylko nawykiem myślowym, który utracił obecnie jakiegokolwiek uzasadnienie. Termin „materia” nie występuje w słowniku fizyki. [...] Znacznie bardziej zgodnym z „danymi” współczesnej fizyki byłoby wyobrażenie sobie nie materii, lecz czystej formy jako tworzywa świata. [...] Jeśli nawet rzeczywisty świat zawiera coś oprócz formy, to metoda dzisiejszej fizyki nie jest w stanie sięgnąć do tego czegoś; to coś niezauważalnie przepływa przez oka sieci matematyczno-empirycznej metody. W tym sensie świat fizyki jest czystą formą.³⁶

³³ Cz. Białobrzeski, *Budowa atomu i pojęcie materii w fizyce współczesnej*, Krakowska Spółka Wydawnicza, Kraków 1921, s. 35–36.

³⁴ M. Heller, *Mechanika kwantowa dla filozofów*, OBI, Kraków 1994, s. 112.

³⁵ *Ibidem*, s. 112.

³⁶ M. Heller, *Ewolucja pojęcia masy*, [w:] M. Heller, A. Michalik, J. Życiński (red.), *Filozofować...*, s. 162–163. Do platonizmu w filozofii fizyki skłania się również Józef Życiński,

5. UWAGI KOŃCOWE — PLATONIZM CZY JEDNAK MATERIALIZM?

Radykalne zmiany w pojęciu elementarnych składników materii, do jakich doprowadziła fizyka XX wieku, prowadzą do wniosku, że powrót do prostej ontologii klasycznego atomizmu jest niemożliwy. Czy zatem pozostaje jedynie platonizm i należy porzucić wszelkie próby skonstruowania ontologii materialistycznej, zgodnej z rezultatami współczesnej fizyki?

Stanowisko platonizmu w filozofii fizyki zacierą, jak się wydaje, odrębność nauk empirycznych od nauk formalnych. W fizyce jednak „nie chodzi wyłącznie o relacje czysto formalne, o abstrakcyjne struktury matematyczne, ale o ich materialne interpretacje, a więc o relacje między obiektami materialnymi obdarzonymi masą, energią itp.”³⁷

Twierdzenia, że atom czy cząstka elementarna to jedynie „matematyczna formy” mogą wydawać się atrakcyjne dla fizyków-teoretyków, ale trudno przypuścić, by znalazły akceptację wśród eksperymentatorów. Pogląd, że jedynie matematyka dostarcza wglądu w mikroświat związany jest ze skrajnie teoretycznym stanowiskiem w filozofii nauki, którego reprezentanci koncentrują się niemal wyłącznie na rozważaniu teorii naukowych, deprecjonując rolę eksperymentu. Jednostronność tego podejścia do nauki jest jednak stopniowo przezwyciężana dzięki orientacji w filozofii nauki, zwanej nowym eksperymentalizmem, którą zapoczątkował Ian Hacking książką *Representing and Intervening* (1983).³⁸

Pomijając już fakt, że od osiemdziesięciu do dziewięćdziesięciu procent uczonych pracuje w dziedzinie nauki doświadczalnej³⁹, eksperymen-

por. J. Życiński, *Filozoficzne aspekty materialności przyrody*, [w:] M. Heller, A. Michalik, J. Życiński (red.), *Filozofować...*, s. 170–185.

³⁷ J. Turek, *Filozoficzne implikacje matematyczności przyrody*, [w:] M. Heller, J. Życiński, A. Michalik (red.), *Matematyczność przyrody...*, s. 159; por. W. Krajewski, *Platonizm czy jednak materializm. W sprawie interpretacji filozoficznej współczesnej fizyki*, „*Studia Filozoficzne*” 1988, nr 11, s. 12.

³⁸ I. Hacking, *Representing and Intervening*, Cambridge University Press, Cambridge 1983.

³⁹ Por. D. Sobczyńska, P. Zeidler, *Przedmowa*, [w:] D. Sobczyńska, P. Zeidler (red.), *Nowy eksperymentalizm. Teoretycyzm. Reprezentacja*, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Filozofii UAM, Poznań 1994, s. 5.

mentowanie stało się — zdaniem Hackinga — do pewnego stopnia niezależnym od teorii źródłem wiedzy o świecie, odgrywa zasadniczą rolę w jego przekształcaniu, a rola eksperymentu nie sprowadza się wyłącznie do testowania teorii.

Hacking odróżnia realizm w odniesieniu do teorii naukowych od realizmu w odniesieniu do przedmiotów teoretycznych postulowanych w ramach teorii. „Pierwszy z nich głosi, że teorie naukowe są prawdziwe, aproksymacyjnie prawdziwe lub dążą do prawdy. Drugi natomiast głosi, że przedmioty teoretyczne, a przynajmniej niektóre z nich, istnieją”.⁴⁰ Hacking argumentuje, że można zasadnie przyjmować realność takich przedmiotów, jak elektrony, pola lub czarne dziury, nawet wówczas, gdy teorii, w których występują tego typu obiekty, nie uważamy za prawdziwe czy nawet w przybliżeniu prawdziwe.⁴¹

Fizyka eksperymentalna dostarcza najbardziej przekonujących argumentów na rzecz realizmu naukowego. Przedmiotami, których w zasadzie nie można obserwować, można po prostu manipulować, aby wytwarzać nowe zjawiska i badać inne aspekty przyrody. Stają się one narzędziami, instrumentami nie naszego myślenia, lecz działania. [...] Eksperymentowanie na przedmiocie nie zobowiązuje do wiary w jego istnienie. Dopiero manipulowanie przedmiotem, w celu eksperymentowania na czymś innym, jest do tego potrzebne. [...] Elektrony nie są już środkami organizującymi nasze myślenie lub zachowującymi zjawiska, które zostały zaobserwowane. One same stanowią teraz sposób kreowania zjawisk w innych obszarach przyrody. Elektrony stały się narzędziami.⁴²

Jeżeli obiektami kwantowymi, takimi jak na przykład elektrony, potrafimy manipulować „przy zastosowaniu dobrze uzasadnionych własności przyczynowych dotyczących tego poziomu struktury materii”⁴³, to, zdaniem Hackinga, jest to dobry argument na rzecz ich realno-

⁴⁰ P. Giza, *Realizm Iana Hackinga a konstruktywny empiryzm Bas C. Van Fraassena*, Wydawnictwo UMCS, Lublin 1990, s. 10.

⁴¹ Por. I. Hacking, *Representing...*, s. 29.

⁴² I. Hacking, *Eksperymentowanie a realizm naukowy*, tłum. A. D. Sobczyńska, [w:] D. Sobczyńska, P. Zeidler (red.), *Nowy eksperymentalizm. Teoretycyzm. Reprezentacja*, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Filozofii UAM, Poznań 1994, s. 9, 11, 12.

⁴³ *Ibidem*, s. 29.

ści: nie możemy już ich traktować jako przedmiotów hipotetycznych, ale powinniśmy je uznać za realnie istniejące obiekty.

Przyjmując rozróżnienie realizmu w odniesieniu do teorii i realizmu w odniesieniu do przedmiotów, nie musimy w wyjaśnianiu sukcesów współczesnego atomizmu postulować obiektywnego istnienia „Platońskiej Matematyki”⁴⁴, której poszczególne matematyczne ujęcia mechaniki kwantowej byłyby reprezentacjami. Możemy po prostu przyjąć, jak to czynią Hacking, Paul Teller czy Nancy Cartwright, że teorie naukowe dostarczają zbioru modeli, których granice nie są ostre, ponieważ teorie modelują pewne obszary rzeczywistości na różne sposoby.⁴⁵ To samo zjawisko fizyczne może być rozmaicie modelowane, przy zastosowaniu różnych technik matematycznych. Ponieważ każdy model uwypukla jedynie pewien aspekt zjawiska, a pomija inne, to pytanie o to, który model jest prawdziwy, okazuje się źle postawione.⁴⁶ Można przyjmować realność atomów, które dla pewnych potrzeb wygodnie jest traktować jak sprężyste kulki, innym razem zakładać model Bohra, a jeszcze w innych wypadkach stosować formalizm mechaniki kwantowej, nie wierząc jednocześnie w prawdziwość żadnego z tych modeli.

Manipulowanie pewnymi obiektami oznacza jednak, że wywieramy na te przedmioty oraz tymi przedmiotami na inne przedmioty fizyczne oddziaływanie, zatem i same te przedmioty są obiektami fizycznymi (*resp.* materialnymi). Jak podkreśla Władysław Krajewski, „eksperymentuje się oczywiście na systemach materialnych, nie zaś na strukturach matematycznych”.⁴⁷ Nawet jeżeli teorie współczesnej fizyki opisują atomy i cząstki elementarne w abstrakcyjnych kategoriach fizyki matematycznej, to praca eksperymentatora związana jest z wykorzystaniem materialnych narzędzi, za pomocą których badamy materialne przedmioty, a nie wyłącznie „formy matematyczne”.

⁴⁴ Por. M. Heller, *Mechanika kwantowa...*, s. 113.

⁴⁵ Por. P. Teller, *An Interpretive Introduction to Quantum Field Theory*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey 1995, s. 5.

⁴⁶ Por. N. Cartwright, *How The Laws of Physics Lie*, Oxford University Press, Oxford 1983, s. 11.

⁴⁷ W. Krajewski, *Platonizm...*, s. 9–10.

