

Andrzej Chmielecki
Warszawa

Przeciw falom. Ku alternatywie dla standardowej mechaniki kwantowej

*Mimo znakomitego potwierdzenia eksperymentalnego standardowa mechanika kwantowa (w wersji skodyfikowanej przez Borna, Diraca i von Neumanna) budzi rozliczne zastrzeżenia i kontrowersje, zgłaszane nawet przez tych fizyków, którzy się do jej rozwoju walnie przyczynili (Einstein, de Broglie, Schrödinger). Również i ja – toutes proportions gardees – nie zaliczam się do jej bezkrytycznych wyznawców. Moje względem niej krytyczne stanowisko ma za swe źródło głównie jej minimalizm poznawczy, dobitnie wyrażony m.in. w obcesowym „Shut up and calculate”, kierowanym do tych adeptów uprawiających mechanikę kwantową, którzy stawiają pytania nieoperacyjne, miast zająć się obliczaniem prawdopodobieństw zaobserwowania pewnych sytuacji według algorytmu, jakiego ona dostarcza. Osobiście postrzegam ją jako fizyczny analogon behawioryzmu w psychologii, co jest wątpliwym tytułem do chwały, a co dobrze widoczne w programowym credo Heisenberga, że mechanika kwantowa winna ograniczyć się do badania związków między wielkościami dającymi się obserwować, w von Neumanna tezie o nieistnieniu zmiennych ukrytych czy w wadze przypisywanej problematyce pomiaru. Konsekwentnie, sądzę, że tej behawiorystycznej fizyce należy – w imię zagubionej inteligibilności – przeciwstawić alternatywę „kognitywistyczną”, nie traktując podstawowych obiektów badanych przez nią (elektronów, fotonów) jako „czarnych skrzynek”, o których strukturze i mechanizmach wewnętrznych można nic nie zakładać, lecz proponując pewne ich „wewnętrzne” modele. To oczywiście zadanie dla profesjonalnych fizyków, a nie dla mnie. Niemniej, w charakterze zaczynu ośmielę się podrzucić tutaj parę swoich pomysłów w tym względzie; pełniejszą ich prezentację zamierzam opublikować w książce *Metafizyka kwantowa, nad którą obecnie pracuję*.*

*

Mechanika kwantowa nie bez racji uchodzi za teorię rewolucyjną, zburzyła wszak wiele idei fizyki klasycznej. Na takie jej postrzeżenie składają się m.in.: sama idea skwantowania wielkości fizycznych uchodzących dotąd za zasadni-

czo ciągle, zasada superpozycji zakładająca jednoczesne przebywanie obiektów w wielu odmiennych stanach fizycznych, niemożliwość jednoczesnej znajomości pewnych sprzężonych wielkości, zasadniczo probabilistyczny, a tym samym indeterministyczny charakter zdarzeń w mikroświecie, dualizm korpuskularno-falowy, nielokalność..., można tak długo. Aliści pożądanym walorem dobrej teorii naukowej nie jest jej rewolucyjność, lecz klasycznie rozumiana prawdziwość i rozumienie odnośnego fragmentu rzeczywistości, jakiego dostarcza. A w tym względzie niestety akcje mechaniki kwantowej nie stoją wysoko, by wspomnieć autorytatywne niewątpliwie stwierdzenie Feynmana, że nikt (łącznie z nim samym) nie rozumie świata kwantów, czy następującą uwagę twórcy koncepcji kwarków Gell-Manna: „Quantum mechanics, that mysterious, confusing discipline, which none of us really understands, but which we know how to use”¹. Pierwsza część mojego artykułu będzie poświęcona egzemplifikacji i uzasadnieniu tej negatywnej opinii. Ale będzie też część druga, konstruktywna, bo powstaje pytanie, czy można temu jakoś zaradzić. W tym charakterze zarysuję dość radykalną – by nie powiedzieć kontrrewolucyjną – alternatywę, która stawia pod znakiem zapytania kilka filarów standardowej mechaniki kwantowej, szczególnie tych immanentnie związanych z funkcją falową *resp.* amplitudami prawdopodobieństwa. Będzie to jednak wciąż mechanika kwantowa, bo nietknięta – a wręcz przeciwnie, dowartościowana – zostanie leżąca u jej narodzin hipoteza Plancka.

Dalekosiężnym celem jest zbudowanie z czasem alternatywy teoretycznej, odpowiadającej ideałowi nauki, która potrafi nie tylko trafnie przewidywać (co mechanika kwantowa bez wątpienia potrafi), ale i wyjaśniać, a tym samym wnosić rozumienie – co w mechanice kwantowej nie jest zbyt częste². Nie obejdzie się w tym względzie bez pewnej dozy metafizyki, co jednak jest naturalne, bo wyjaśnianie wymaga czasem rekursu do pierwszych zasad. Uważam wręcz, że jednym z powodów „niedomagań” poznawczych mechaniki kwantowej jest właśnie unikanie – zapewne nie bez wpływu idei behawiorystycznych i pozytywistycznych – metafizyki, czego drugą stroną jest nadreprezentacja konceptualizacji matematycznych.

*

Dla ilustracji tej wstępnej oceny krytycznej przywołam najpierw krótko trzy sprawy, w których znajduje wyraz kwintesencja – ale też zarazem eksplanacyjna

¹ Cyt. za: D. Bohm, J. Hiley, *The Undivided Universe: An Ontological Interpretation of Quantum Theory*, Routledge, London 1993, s. 1.

² Niestety, niekiedy proponowane wyjaśnienia mogą być jeszcze bardziej tajemnicze niż to, co chce się wyjaśnić. Oto np. David Wallace, podobnie krytycznie oceniając mechanikę kwantową („The purpose of scientific theories is not to predict the results of experiments; it is to describe, explain and understand the world. And quantum mechanics fails to do this” (*idem, The Emergent Multiverse*, Oxford University Press, Oxford 2012, s. 24) jako teorię spełniającą taki cel traktuje koncepcję „wielu światów” Everetta.

niemoc – mechaniki kwantowej, mianowicie fenomen splątania kwantowego, eksperyment z dwoma szczelinami oraz zasadę superpozycji³.

Po pierwsze tedy, czy mechanika kwantowa wyjaśnia, jak jest możliwe tzw. kwantowe splątanie, czyli stwierdzone empirycznie silne korelacje pewnych mierzalnych wielkości – takich jak polaryzacja fotonów czy orientacja spinów odizolowanych cząstek, które uprzednio ze sobą oddziaływały, tworząc jeden układ? Jak wiadomo, mimo iż pomiary na każdej z cząstek z osobna dają wyniki losowe, to, gdy pomiarów dokonuje się jednocześnie na obu, dają one wyniki ściśle skorelowane – np. przeciwne orientacje spinów czy jednakowe polaryzacje fotonów. Zwykle formułuje się to w ten sposób, że pomiar jednej cząstki natychmiast wpływa na wynik pomiaru drugiej, co sugeruje, że te dwa obiekty są ściśle ze sobą skomunikowane, nawet będąc tak daleko od siebie, że nie wchodzi w grę fizyczny przepływ energii między nimi (nazywa się to „nielokalnością”). Mechanika kwantowa nie daje żadnego wyjaśnienia mechanizmu tej korelacji. Tak jest i już! Co najwyżej dodaje się, że próba wyjaśnienia tego fenomenu przez koncepcję zmiennych ukrytych, *implicite* obecna np. w znanym artykule EPR, została ostatecznie odesłana do lamusa przez doświadczalne pogwałcenie tzw. nierówności Bella (v. słynne eksperymenty Aspecta, które interpretuje się jako potwierdzające zupełność mechaniki kwantowej). Akceptuje się tym samym bez zmużenia oka tezę o nielokalności mechaniki kwantowej, choć to teza zakrawająca na czarną magię.

Rozważmy z kolei słynny eksperyment z dwoma szczelinami, w wersji z pojedynczymi cząstkami, które po wystarczająco długim czasie ekspozycji budują na ekranie obraz interferencyjny, mimo iż każda z tych cząstek, gdy jej tor jest śledzony, przechodzi tylko przez jedną szczelinę. To skąd interferencja? Co z czym interferuje, skoro każdorazowo w przestrzeni między szczelinami i ekranem znajduje się tylko jedna cząstka? Mechanika kwantowa „rozwiązuje” tę zagadkę czysto matematycznie, odwołując się do funkcji falowych, opisujących fale stowarzyszone jakoby z cząstkami. A ponieważ fale są rozciągle to mogą jednocześnie przechodzić przez obie szczeliny, a następnie ze sobą interferować. Szkopuł w tym, że według standardowej wykładni mechaniki kwantowej te fale nie są niczym fizycznym, to tylko tzw. fale prawdopodobieństwa, czy też amplitudy prawdopodobieństwa, a więc pewne abstrakty, podczas gdy ślady na ekranie tworzą fizyczne cząstki. Ich tory musiałyby być więc kauzalnie sterowane przez te fale czy amplitudy. Ale nie mogą, bo są to abstrakty matematyczne, nieprzenoszące energii ani pędu. Tajemnica więc pozostaje.

Rozważmy wreszcie fundamentalną dla mechaniki kwantowej, wręcz nieodłączną od niej zasadę superpozycji stanów⁴. Podkreślam: s t a n ó w , bo

³ W konstruktywnej części mego artykułu przedstawię własne propozycje w tych kwestiach.

⁴ „The superposition principle is the cornerstone of quantum mechanics and its failure would signal the end of quantum theory” (J. Dunningham, V. Vedral, *Introductory Quantum Physics and Relativity*, Imperial College Press, London 2011, s. 35).

zasada superpozycji funkcjonuje również w fizyce klasycznej, tyle że dotyczy procesów i charakteryzujących je wielkości fizycznych (np. nakładanie się fal występujących w tym samym obszarze czy sumowanie się natężeń pól cząstkowych), a nie stanów, które wielkościami fizycznymi nie są. Status tej zasady w ramach mechaniki kwantowej przedstawiany bywa dwojako – bądź jako naczelný jej postulat, fundujący dopiero jej infrastrukturę matematyczną (takie stanowisko zajmował np. Dirac w swych słynnych *Principles*), bądź – przeciwnie – jako bezpośrednia konsekwencja liniowości przestrzeni Hilberta. Niestety, muszą tutaj pominąć rozważania Diraca, bo ich analiza wymagałaby odrębnego artykułu. Zaznaczę tylko, że Dirac istotne kwestie interpretacyjne zamiótł pod dywan bez jakichkolwiek wyjaśnień – mówi np. bez żadnych zahamowań o takich tajemniczych w końcu przypadkach, jak jednoczesne znajdowanie się – po przejściu przez interferometr – „niepodzielny” fotonu „częściowo” w jednej, a „częściowo” w drugiej wiązce, a więc w zupełnie odmiennym miejscu przestrzeni, czym popelnia *petitio principii*, bo przecież to właśnie wymagałoby wyjaśnienia. Gdy zaś następnie dokonujemy pomiaru foton, nagle znajduje się tylko w jednym miejscu (idea kolapsu)⁵.

Jeśli natomiast chodzi o uprawomocnienie zasady superpozycji stanów *via* liniowość przestrzeni Hilberta, to chciałbym stwierdzić, co następuje. W obrębie przestrzeni Hilberta superpozycja elementów oznacza, że każdy jej element można przedstawić (czy wręcz równa się) kombinacji liniowej – czyli sumie algebraicznej – pewnych innych elementów; w szczególności mogą to być wektory bazy. Aby to twierdzenie móc bezpiecznie przenieść na jakiś przedmiotowy model tej przestrzeni, winien pomiędzy nimi zachodzić izomorfizm, czyli wzajemnie jednoznaczna odpowiedniość. Otóż z pewnością nie zachodzi to w przypadku przestrzeni stanów kwantowych, bo w każdym podręczniku mechaniki kwantowej można przeczytać, że funkcje falowe *resp.* wektory stanu – które według tejsz reprezentują w przestrzeni Hilberta stany kwantowe – różniące się tylko współczynnikiem skalarnym (inaczej mówiąc: długością odpowiednich wektorów), reprezentują ten sam stan kwantowy. Zachodzi tu więc relacja *w i e l e* elementów przestrzeni Hilberta – *j e d e n* element przestrzeni stanów. Czasem próbuje się temu zaradzić, stwierdzając, że stan kwantowy reprezentowany jest nie przez element przestrzeni Hilberta, lecz przez promień (kierunek) w tej przestrzeni, czyli odpowiednią klasę równoważności. Ale powstaje wówczas jeszcze większy kłopot, bo zbiór kierunków w przestrzeni Hilberta nie stanowi przestrzeni Hilberta! Ba, w ogóle nie jest przestrzenią liniową. Inne proponowane remedium polega na tym, że arbitralnie przyjmuje się, iż stan kwantowy reprezentowany jest przez wektor jednostkowy przestrzeni Hilberta. Ale i to nie załatwia sprawy, bo dotyczy całej klasy wektorów różniących się tzw. czynnikiem fazowym, czyli czynnikiem

⁵ „We must describe the photon as going partly into each of the two components.” Gdy zaś dokonamy pomiaru „... the photon must change suddenly from being partly in one beam and partly in the other, to being entirely in one of the beams” (P. Dirac, *Principles of Quantum Mechanics*, Oxford Clarendon Press, Oxford 1958, s. 8).

zespolonym o module równym jedności. A pomnożenie elementu przestrzeni wektorowej przez taki czynnik jest równoważne obrotowi tego wektora, co choć nie zmienia jego długości – to zmienia jego kierunek.

Ani zatem element przestrzeni Hilberta (funkcja falowa, wektor stanu), ani jego kierunek, ani element jednostkowy nie pozostają w jedno-jednoznacznej relacji do przestrzeni stanów kwantowych. W tej sytuacji automatyczne przeniesienie na tę przestrzeń zasady superpozycji jest nieuzasadnione i trzeba by się odwołać do innej – i to t e o r e t y c z n e j – argumentacji, bo tradycyjnie w uzasadnieniach twierdzeń fizycznych przywoływana zgodność z doświadczeniem nie wchodzi, jak zaraz zobaczymy, w grę.

Jakoż, nawet jeśli pominiemy powyższe zastrzeżenie, pojawia się inne, według mnie istotniejsze, bowiem ten kwantowy analogon zasady superpozycji stwierdza zupełnie co innego niż jego Hilbertowski oryginał – nie ma mianowicie mowy o sumowaniu, cokolwiek miałyby to oznaczać w odniesieniu do stanów. Ta rzekoma suma nie jest bowiem jakimś nowym wypadkowym stanem, którego status egzystencjalny jest taki sam, jak status składników sumy, np. równie aktualny jak one. Dla przykładu, superpozycja stanów różniących się przeciwną orientacją spinów nie jest stanem o spinie równym sumie spinów stanów składowych, bo w przypadku elektronu musiałby to być stan o spinie zero, a elektrony mają zawsze spin połówkowy. Na takie *dictum* mechanika kwantowa odpowiada, że określoną wartość spinu elektron ma tylko w chwili pomiaru, a pomiędzy pomiarami jego spin jest nieokreślony (będąc właśnie ową superpozycją dwu możliwych). Ale czym jest ta superpozycja – współlistnieniem w jakimś dziwnym modusie egzystencjalnym różnym od realności, bo z oczywistych względów jej składniki nie mogą być jednocześnie aktualne⁶? Rzeczywistością wirtualną? Zbiorem możliwości? Prawdopodobieństw? Czymś jeszcze innym? Ale niezależnie od tego, jakiej tu udzielimy odpowiedzi, przecież nie może być tak, że przed pomiarem – czyli w obiektywnej rzeczywistości – mamy do czynienia tylko z możliwościami czy potencjami, bo to oznaczałoby zanegowanie ciągłości istnienia teje. Z drugiej strony, powstaje pytanie, po co to wszystko, co w sensie poznawczym wnosi idea superpozycji, skoro przy pomiarze (czyli w ramach doświadczenia) zawsze uzyskamy jeden z elementów tej przedziwnej „sumy”, a nie żadną superpozycję? Po co więc ta nieweryfikowalna metafizyka, skoro głównym tytułem do chwały mechaniki kwantowej jest zgodność jej przewidywań teoretycznych z doświadczeniem, co jest niewątpliwie jej zaletą?

⁶ W każdym razie w tym samym („naszym”) świecie, bo według Everetta wszystkie są aktualne, tyle że każdy w innym świecie. Jak wskazywałem wcześniej są tacy, którzy traktują tę „egzotyczną” koncepcję poważnie.

*

Zaleta zaletą, ale zgodność z doświadczeniem nie gwarantuje jeszcze prawdziwości, bo przypomnę, że teoria Ptolemeusza ze swoim wydumanym systemem deferentów i epicykli też dawała przewidywania potwierdzone przez obserwacje. Używam tego zestawienia nieprzypadkowo, bowiem sądzę, że mechanika kwantowa – w obu swych głównych wersjach (różniczkowej, skodyfikowanej przez von Neumanna, i całkowitej, pochodzącej od Feynmana) – ze swymi zespolonymi amplitudami prawdopodobieństw, operatorami hermitowskimi, superpozycją stanów i kolapsem funkcji falowej – czyli redukcją rzekomej superpozycji stanów do stanu stwierdzanego w pomiarze – to właśnie współczesny analogon systemu epicykli i deferentów, w którym za pomocą arbitralnych rozstrzygnięć i wyrafinowanych technicznie środków uzyskuje się ostatecznie przewidywania zgodne z doświadczeniem. W mechanice kwantowej takim arbitralnym rozstrzygnięciem jest np. wspomniana normalizacja funkcji falowej do jedności (potrzebna, aby móc używać funkcji falowej do obliczania prawdopodobieństw); zalecenie, aby prawdopodobieństwo sumy zdarzeń niezależnych (jak we wspomnianym przypadku dwóch szczelin) obliczać nie poprzez sumowanie prawdopodobieństw, jak to się dowodzi w rachunku prawdopodobieństwa i jak się robi w fizyce klasycznej, lecz poprzez sumowanie amplitud prawdopodobieństwa, których sumę należy następnie podnieść do kwadratu, co nawiązuje do innego arbitralnego rozstrzygnięcia, mianowicie tzw. reguły Borna, która dla uzyskania prawdopodobieństwa zaleca obliczanie kwadratu modułu funkcji falowej. Cóż, można się w ten sposób wprawdzie pozbyć niepożądanych w tym kontekście liczb zespolonych, tyle że razem z kąpielą wylewa się dziecko, tj. pozbawia się znaczenia czynnik fazowy. Innym takim arbitralnym rozstrzygnięciem, mającym zresztą podobne źródło, jest zalecenie, aby operatory reprezentujące *observable* były operatorami hermitowskimi, co jest oparte na wcześniejszym arbitralnym uznaniu, że funkcje falowe są zasadniczo zespolone⁷.

Jak widać w obu tych przypadkach uwikłane jest założenie, że odpowiednim narzędziem matematycznym mechaniki kwantowej są funkcje zespolone. Tymczasem wygląda na to, że ta zespoloność jest przygodna, czysto pragmatyczna, a wzięła się stąd, że najpierw Heisenberg przy rozwijaniu pewnych funkcji w szereg Fouriera zastosował – wyłącznie z uwagi na wygodę rachunkową – zespoloną, eksponencjalną postać tego szeregu, choć do dyspozycji jest też wersja rzeczywista z sinusami i cosinusami. Z kolei Schrödinger, aby uzyskać równanie falowe pierwszego rzędu względem czasu – choć klasyczne równanie falowe jest rzędu drugiego – musiał dopuścić zespoloną postać funkcji falowej, mimo iż twierdził,

⁷ Hermitowskość gwarantuje, że wartości własne tych operatorów są liczbami rzeczywistymi, a tym samym mogą według mechaniki kwantowej reprezentować wyniki pomiarów. Nie bardzo mnie to przekonuje, bo przecież wyniki pomiarów są liczbami wymiernymi, a nie po prostu rzeczywistymi; jest to więc warunek zbyt ogólny, za słaby.

że jest ona zasadniczo rzeczywista i zalecał uwzględniać tylko jej rzeczywistą część⁸. Zdecydowały więc względy rachunkowe, instrumentalne, w tym sensie arbitralne, że niefizyczne.

*

Funkcja falowa według standardowej mechaniki kwantowej reprezentuje stan układu. Ale stan układu nie jest wielkością fizyczną – nie ma np. miana – lecz agregatem pewnych heterogenicznych wielkości liczbowych, mianowicie wartości zmiennych dynamicznych charakteryzujących układ w danej chwili. I to ta funkcja falowa, która nie jest niczym fizycznym i nie reprezentuje żadnej wielkości fizycznej, która służy wyłącznie obliczaniu prawdopodobieństw, ma spełniać deterministyczne równanie ruchu, jakim jest równanie Schrödingera. Ciekawostka jakiejś świat nie widział – deterministycznie przesądzone zostają prawdopodobieństwa, a tym samym zdarzenia losowe. Czyż to nie jawne *contradictio in adjecto*?⁹ Czasem wprawdzie – szczególnie w ramach tzw. interpretacji kopenhaskiej – aby uniknąć tego rodzaju absurdu, ujmuje się to w ten sposób, że funkcja falowa reprezentuje nie stan obiektu kwantowego, lecz stan naszej wiedzy o tym obiekcie (w równoważnym sformułowaniu: stan kwantowy to dostępna informacja o układzie). Dziwne to jednak postawienie sprawy, bo przecież funkcja falowa nie reprezentuje wiedzy, lecz jest wiedzą – a przynajmniej ma nią być. To dzięki niej mamy wszak uzyskać wiedzę, co może się stać pod warunkiem, że ma ona jakieś odniesienie do wchodzącego tu w grę przedmiotu poznania, czyli do obiektów kwantowych. Z drugiej strony, o reprezentowaniu czegoś mówi się w sytuacjach, gdy to coś nie jest wprost dostępne czy dane, nie prezentuje się, lecz jest jedynie reprezentowane. Czy więc nasza wiedza nie jest nam dostępna? Kolejny absurd.

Mam też inne konceptualne zastrzeżenie do traktowania funkcji falowej jako reprezentacji stanu układu kwantowego. Zależne od czasu równanie Schrödingera jest równaniem różniczkowym zakładającym ciągłość zmiennej czasowej, reprezentowanej matematycznie przez zbiór liczb rzeczywistych, co oznacza, że przyjmuje się, iż oś czasu składa się z bezwymiarowych punktów (chwil). Jeśli zatem funkcja falowa reprezentuje stan układu w danej chwili, to otrzymujemy wniosek, że ewolucja układu (czyli jego ruch) jest konstruowana za pomocą bezruchu. Problem jaki się w tym kontekście pojawia, jest stary jak dzieje filozofii, bo dotyczy Zenona argumentów za niemożliwością ruchu (słynna antynomia strzały).

⁸ „We may take the real part of Ψ as the real wave function (if we require it)” napisał w swym epokowym artykule wprowadzającym zależne od czasu równanie falowe.

⁹ Born w swym artykule wprowadzającym probabilistyczną wykładnię funkcji falowej wyraża to bardziej „elegancko”: „[One could summarize somewhat paradoxically]: The motion of particles conforms the laws of probability, but the probability itself is propagated in accordance with the law of causality” (cyt. za: M. Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, McGraw Hill, New York 1966, s.285).

Skoro bowiem czas jest pojęty jako zbiór nierozciąglonych punktów (chwil), to ruch jest niemożliwy, gdyż w pozbawionej rozciągłości chwili każdy obiekt jest nieruchomy. Jeśli zatem czas modelowany jest przez zbiór liczb rzeczywistych, ewolucja układu kwantowego to – obrazowo mówiąc – sekwencja nieruchomych zdjęć (= stanów w danej chwili), podobny do ciągu klatek na taśmie filmowej, na której przecież żadnego ruchu nie ma; dopiero przy projekcji filmu odnosimy w r a z e n i e ruchu, co zależy od sposobu działania mózgu, *resp.* umysłu. Inaczej mówiąc, w tej reprezentacji filmowej występuje jedynie pozór ruchu; a tego właśnie *mutatis mutandis* dowodził Zenon.

Jest to trudność fizyczna czy wręcz metafizyczna, bo z matematycznego punktu widzenia sprawa jest oczywiście prosta, ale dlatego tylko, że w równaniach różniczkowych rozważa się *de facto* jedynie przyrosty zmiennych – a więc pewne rozciągłości, w tym czasowe – a nie wartości samych zmiennych. Ale problem dynamiki dotyczy nie zmian funkcji falowej, która jest obiektem matematycznym, lecz tego, co ona reprezentuje, czyli dynamiki obiektów kwantowych. Nie tylko zresztą kwantowych, bo dotyczy to wszelkiego ruchu – również tych opisywanych przez mechanikę Newtonowską. Niemniej jest to trudność o tyle nowa i specyficzna dla mechaniki kwantowej, że ujęcie ewolucji układu *via* następstwo stanów popada w jawną sprzeczność z samym aktem założycielskim mechaniki kwantowej, mianowicie z hipotezą Plancka o istnieniu elementarnego, a tym samym minimalnego kwantu działania (słynne h Plancka). Ponieważ działanie ma wymiar [energia \times czas], zatem wspomniany kwant działania jest równy iloczynowi transferu energii i czasu, w którym ten transfer następuje. A skoro iloczyn ten jest skończony, to żaden z czynników iloczynu nie może być zerowy. Mówienie o punktowych chwilach czasu i odpowiadających im stanach nie ma więc sensu fizycznego.

W świetle hipotezy Plancka alternatywą dla ujęcia ewolucji układu kwantowego *via* aczasowe stany może być coś następującego. Ponieważ istnienie elementarnego kwantu działania jest równoznaczne istnieniu elementarnego procesu, przeto należałoby być może przyjąć, że funkcja falowa reprezentuje nie stan układu, lecz elementarny proces, któremu układ podlega¹⁰, i że ewolucja układu jest sumą takich elementarnych procesów, a nie następstwem stanów¹¹. *Mutatis mutandis* zaproponuję to w swoim własnym spojrzeniu na procesy w mikroświecie, do którego zarysowania za chwilę przejdę. Przedtem jednak, na zakończenie tego krytycznego przeglądu, dodam, że według mnie głównym powodem odpowiedzialnym za wszystkie wspomniane słabości jest brak jakichkolwiek modeli dwu podstawowych obiektów badanych przez mechanikę kwantową, tj. elektronów

¹⁰ Zauważmy, że zamiast inkryminowanej superpozycji stanów pojawi się wówczas zwykła, klasyczna superpozycja, którą bez zastrzeżeń akceptuję.

¹¹ Planck postrzegał tego rodzaju podejście jako rutynową strategię w fizyce: „We are accustomed in physics to seek the explanation of a natural process by the method of division of the process into elements. We regard each complicated process as composed of simple elementary processes, and seek to analyse it through thinking of the whole as the sum of the parts” (M. Planck, *Eight Lectures on Theoretical Physics*, Columbia University Press, New York 1915, s. 97).

i fotonów, które wprowadzie wyposaża się w rozmaite ustalone doświadczalnie własności (masę, ładunek, spin, *etc.*), które jednak traktuje się jako punktowe, pozbawione wewnętrznej struktury¹². Co więcej, brak ten bynajmniej nie jest postrzegany jako brak. Oto np. co odnośnie do elektronu stwierdza autor wydanej niedawno przez renomowane wydawnictwo książki *Atomic Structure*: „Any attempts to gain conceptual insights by considering the electron as anything other than a point particle are ill-conceived and counter-pedagogic”¹³, za którym opinię tę powtarza Wikipedia w haśle dotyczącym elektronu: „According to modern understanding the electron is a point particle with a point charge and no spatial extent”. Ciekawe jak punktowemu – a więc pozbawionemu „wnętrza” – elektronowi można przypisać w e w n ę t r z n y stopień swobody, któremu zawdzięcza posiadanie spinu. Dziwna zaiste ta kwantowa logika...

*

Jak wiadomo dla obalenia systemu Ptolemeusza wystarczyło zastąpienie jednego podstawowego rozstrzygnięcia przez alternatywne (Ziemię przez Słońce). Sądzę, że podobnie jest z mechaniką kwantową, że mianowicie racjonalną dlań alternatywę można zbudować zastępując pochodzącą od Louisa de Broglie’a ideę związanych z cząstkami f a l ideą d r g a ń. Proszę zauważyć, że i fizycznie i rachunkowo są to idee bardzo zbliżone – wszak w obu przypadkach mamy przebiegi sinusoidalne zawierające amplitudy, fazy i częstotliwości, a w przypadku poruszającego się układu drgającego mamy też dodatkowo drgania „podróżujące” w przestrzeni, co upodabnia je do fal. Pozwala to zrozumieć, dlaczego przewidywania mechaniki kwantowej uzyskane za pomocą funkcji falowych i równania falowego Schrödingera dają dobre przewidywania, mimo że – jak podejrzewam – w dziedzinie kwantowej nie ma żadnych „fal materii”. Ale są też dwie zasadnicze różnice – po pierwsze drganie jest przestrzennie zlokalizowane, w przeciwieństwie do fali, co upodabnia je do cząstek, a po drugie jest p r o c e s e m dotyczącym pewnego obiektu fizycznego, w przeciwieństwie do abstrakcyjnej funkcji falowej, która nie oznacza żadnego fizycznego procesu i odgrywa rolę czysto pomocniczą, zostając w pewnym momencie wyeliminowana z gry przez odpowiednio skrojone operacje matematyczne. Może więc warto również wyeliminować z gry samą funkcję falową – i to z całym dobrodziejstwem inwentarza – na rzecz funkcji opisujących rzeczywiste procesy fizyczne takie jak drgania?

Napisałem, że drganie jest procesem d o t y c z ą c y m pewnego obiektu fizycznego, a nie po prostu drganiem tego obiektu – np. elektronu. Rzecz bowiem w tym, że po pozbyciu się fal należy też według mnie pozbyć się klasycznie ro-

¹² Przykładowo: „In wave mechanics the electron still remains a point-charge ultimately, and the light-quantum a point-like centre of energy” (A. Sommerfeld, *Wave mechanics*, Methuen, London 1930, s. V).

¹³ L. Curtis, *Atomic Structure and Lifetimes*, Cambridge University Press, Cambridge 2003, s. 74.

zumianych korpuskuł, co w efekcie unieważnia przynajmniej te wersje dualizmu korpuskularno-falowego, według których obiekty kwantowe to bądź cząstki, którym towarzyszą fale (v. fale pilotujące de Broglie'a), bądź fale, które zachowują się jak cząstki (v. paczki falowe Schrödingera), na rzecz czegoś trzeciego, swoistego, co w odpowiednich warunkach doświadczalnych przejawia własności traktowane przez ludzkich obserwatorów bądź jako korpuskularne, bądź jako falowe, nie będąc przy tym żadną domagającą się „komplementarnego” traktowania hybrydą. Czym zatem?

Zanim odpowiem na to pytanie, spróbuję odpowiedzieć na inne, bardziej fundamentalne, metafizyczne wręcz: co mianowicie jest substancją, *arche*, pierwotnym twórczym wszystkich obiektów fizycznych – cząstek, fal, pól, całej w ogóle fizycznej flory i fauny? Otóż według mnie jest to *energia* – nie energia kinetyczna czy potencjalna, tj. nie energia w sensie atrybutywnym, energia „czegoś”, lecz energia sama, energia w sensie substancjalnym właśnie, figurująca np. w dwu słynnych 20-wiecznych wzorach $E = mc^2$ i $E = hv$. To ona jest tym, co trwa i zostaje zachowane w toku zmian – obowiązuje wszak zasada zachowania energii¹⁴. Inherentna jej jest też zasada zmiany – bo przecież energia to zdolność działania – nie ma więc potrzeby zakładać nic więcej. Jest to zatem zasada samowystarczalna – jedność możliwości i aktu, obiektu (substancji) i procesu – zdolna do generowania przekształceń niezbędnych do tego, aby na jej podstawie pojawiło się coś nowego. A przekształcenia te podporządkowane są zasadzie najmniejszego działania, która również nie wykracza poza inwentarz wielkości związanych z energią.

To oczywiście metafizyka, ale taka, bez której fizyka nie może się obejść, jeśli ma być nauką wyjaśniającą.

O tak pojętej energii zakładam, że istnieje ona w postaci skwantowanej (nazywam te kwanty *ergony*), a głównym jej atrybutem są drgania właśnie. To im zawdzięcza energia swą moc sprawczą, tj. zdolność wykonywania pracy. Trudno tu o jakies odpowiedzialne formuły ilościowe, bo ta pierwotna postać energii nie występuje wprost w doświadczeniu, w którym występują jedynie pewne już zintegrowane (splątane – w zwykłym, geometrycznym sensie) zespoły ergonów, tj. obiekty wyższego poziomu złożoności, jakimi według mnie są już tzw. cząstki elementarne. Nie wiadomo w szczególności, czy wszystkie elementarne ergony mają taką samą częstotliwość drgań. W obliczu braku jakichkolwiek danych skłonny jestem natomiast przyjąć hipotezę najprostszą, mianowicie że drgania o których mowa, to drgania harmoniczne. A skoro tak, to ergony to nic innego jak dobrze znane i opisane teoretycznie oscylatory harmoniczne, tyle, że najmniejsze

¹⁴ Mam się w tym względzie na kim wzorować, oto bowiem, ponad pół wieku temu, w artykule zatytułowanym *Matter* pisał jeden z twórców mechaniki kwantowej Wolfgang Pauli: “When a positron and an electron meet they annihilate each other, becoming electromagnetic radiation; and conversely, this radiation can create electrons and positrons in pairs. Taking the existence of all these transmutations into account, what remains of the old ideas of matter and of substance? The answer is *energy*. This is the true substance, that which is conserved; only the form in which it appears is changing” (W. Pauli, *Writings on Physics and Philosophy*, Springer Verlag, Berlin – Heidelberg 1994, s. 31). Szkoda, że Pauli poprzestał na tej konstatacji.

z możliwych. Same oscylacje zaś polegają według mnie na rytmicznych zmianach **gęstości** energii, bo zakładam, że wspomniane oscylatory to obiekty trójwymiarowe, a oscylacje są drganiami podłużnymi. Według mnie drgania te odbywają się ze średnią prędkością równą prędkości światła, co nie powinno dziwić, bo światło to wszak szczególny przypadek drgań energii¹⁵.

A co z materią? Według mnie, wbrew długotrwałej tradycji nie jest ona substancją, lecz jedynie stanem skupienia substancjalnie rozumianej energii o odpowiednio dużej gęstości, jej koncentratem¹⁶. Inne stany skupienia energii to promieniowanie i pola, również cechujące się skwantowaniem.

Dwa główne obiekty, jakie bada mechanika kwantowa – elektrony i fotony – są według mnie oscylatorami harmonicznymi zbudowanymi ze splecionych elementarnych kwantów energii, przy czym elektron zbudowany jest ze stałej liczby ergonów, a fotony o różnej częstotliwości i odmiennej. Dwie te cząstki różnią się jednak, jak wiadomo, nie tylko ilościowo, lecz również pod wieloma innymi względami – np. elektron może zasadniczo znajdować się w spoczynku, podczas gdy foton znajduje się w ciągłym ruchu. Różnicę tę należałoby wyprowadzić z odmiennego sposobu drgania, bo tylko drganiami na tym etapie wszak dysponujemy. Wchodzące tu według mnie w grę hipotetyczne sposoby drgania nazywam odpowiednio drganiem *rejektywnym* i *projektywnym* (ewentualnie wstecznym i postępowym). Rejektywność polega na tym, że energia elektronu w fazie sprężania powraca do stanu początkowego, czyli niejako cofa się, podczas gdy w przypadku fotonu sprężanie zaczyna się od przeciwległego końca, który niejako dogania przesunięte w wyniku rozprężania czoło. Inaczej mówiąc, w pierwszym przypadku kierunku rozprężania i sprężania są przeciwne, a w drugim jednakowe. Oznacza to w każdym razie, że elektron i foton to obiekty o zmiennej geometrii, zależnej od fazy drgań, co po części przynajmniej wyjaśniałoby trudności z ich ścisłą lokalizacją.

Fizyczny mechanizm odpowiedzialny za oscylacje mógłby być następujący. O tej pierwotnej energii zakładam, że wykazuje ona tendencję do skupiania się, tj. do wzrostu gęstości, i że w pewnych granicach siła ta *rośnie* wraz z odległością, podobnie jak to jest w przypadku rozciąganej sprężyny. Tendencja ta byłaby odpowiedzialna za fazę sprężania. Faza przeciwna do sprężania następuje wówczas, gdy gęstość osiąga tak dużą wartość, że uniemożliwia elementarnym oscylatorom drgania, co, z uwagi na zasadę zachowania energii, jest wykluczone. W efekcie jako reakcja następuje „odbicie”, tj. rozprężanie.

¹⁵ Ponieważ prędkość oscylatora zmienia się sinusoidalnie, bo jest wszak pochodną funkcji sinusoidalnej opisującej jego amplitudę, oznacza to, że w przyrodzie występują prędkości chwilowe większe od c , i że sama prędkość światła też nie jest stała, lecz zmienna.

¹⁶ *Notabene*, takie pojmowanie cząstek „materialnych” jest *implicite* przynajmniej zawarte w Louisa de Broglie’a teorii „dwu rozwiązań”, o czym pisze np. Max Jammer w *Philosophy of Quantum Mechanics*: „de Broglie proposed a version of quantum mechanics in which the corpuscule, *identified as an energy concentration in the singularity region of u* , preserves essentially its classical nature” (M. Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics*, John Wiley and Sons, New York 1974, s. 49 [wyróżnienie – A.Ch.]).

*

W dalszych rozważaniach ograniczę się do elektronu – jako głównego aktora na scenie mechaniki kwantowej. Jak wiadomo ma on zarówno ładunek elektryczny, jak i moment magnetyczny, związany z posiadaniem spinu; należałoby więc zaproponować wibracyjny mechanizm ich powstawania. Ponieważ elektron ma ładunek określany jako ujemny, a występują też ładunki dodatnie, trzeba znaleźć jakiś mechanizm typu albo-albo, który za to zróżnicowanie odpowiada. Według mnie najprostszym możliwym wyjaśnieniem jest przyjęcie, że te własności, które przypisujemy ładunkowi elektrycznemu, są efektem ruchu obrotowego elektronu – czyli oscylatora – wokół własnej osi, który może być bądź prawoskrętny, bądź lewoskrętny (względem kierunku oscylacji, czyli zmiany gęstości energii). A jeśli tak, to elektron to zarówno oscylator, jak i rotator, złożenie (superpozycja) dwu rodzajów ruchu periodycznego.

Efektom tego złożenia jest posiadanie momentu magnetycznego, bowiem jeśli rotacja nadaje elektronowi własności elektryczne, to zmiana gęstości energii powstająca w wyniku oscylacji jest równoważna ruchowi ładunku, czyli przepływowi prądu, a jego przepływowi towarzyszy zawsze pojawienie się własności magnetycznych. Ponieważ zaś kierunki oscylacji i rotacji są względem siebie ortogonalne, wyjaśnia, to dlaczego ortogonalne są również składowe: elektryczna i magnetyczna drgań. Z uwagi na to, że wspomniany prąd płynie w obu fazach w przeciwnym kierunku, spin elektronu posiada dwie przeciwne skierowane wartości, ilościowo równe połowie stałej Plancka, czyli kwantu działania, wyrażające działanie związane odpowiednio z fazą sprężania bądź rozprężania. (Uwaga. Aby uwzględnić posiadanie przez elektron momentu obrotowego, zamiast zwykłej częstotliwości ν używa się częstości kołowej $\omega = 2\pi\nu$, w związku z czym spin wyrażany jest w jednostkach $\hbar/2\pi$).

Jeśli zatem powyższy wywód jest trafny, to pojawienie się własności elektrycznych i magnetycznych jest (1) ściśle ze sobą związane, jak dwie strony medalu oraz (2) ma mechaniczną genezę i wyjaśnienie. Nie ma tu więc żadnej tajemniczej „emergencji”. Warto przy tym podkreślić, że tzw. ładunek elektryczny to nie jakiś eteryczny fluid, który w taki czy inny sposób rozproszony jest w materii elektronu¹⁷, lecz globalna charakterystyka tworzącej elektron energii związana z jej ruchem rotacyjnym. Inaczej mówiąc, to nie naładowany elektrycznie elektron wiruje – czemu według klasycznej teorii elektromagnetyzmu winno towarzyszyć

¹⁷ Przyjęcie, że ładunek ma jakąś przestrzenną dystrybucję oznacza, że ma on części. A jeśli tak, to ponieważ są one jednoimienne, a tym samym „odpychają się” wzajemnie, winny spowodować one rozzerwanie elektronu, wbrew stwierdzanej doświadczalnie jego stabilności. Aby tej rozbieżności zapobiec, przyjmuje się idealizacyjnie, że cały ładunek skoncentrowany jest w punkcie, co jednak jest ruchem z deszczu pod rynnę, gdyż oznacza, że gęstość ładunku jest nieskończona. I tak źle, i tak niedobrze.

promieniowanie skutkujące np. spadkiem elektronu na jądro – lecz dopiero dzięki temu wirowaniu nabywa on własności elektryczne.

*

W mechanice kwantowej obowiązuje generalna zależność $E = h\nu$ (*notabene* źródłowo ustalona przez Plancka dla zespołu hipotetycznych oscylatorów harmonicznym właśnie, modelujących zachowanie ciała doskonale czarnego, od czego krok tylko do utożsamienia tych oscylatorów z elektronami). Zapiszmy to nieco inaczej: $h = E/\nu$; widać wówczas, że stała Plancka to transfer energii przypadający na jeden cykl drgania, jednakoowy dla wszystkich częstotliwości; krótko mówiąc – elementarny kwant działania. A ponieważ działanie jest procesem, zależność Plancka oznacza, że istnieją elementarne, niepodzielne procesy¹⁸. *Ergo*, każdy kwantowy proces fizyczny – a zatem ewolucja każdego układu fizycznego w czasie – jest złożony z pewnej ilości procesów elementarnych, co w przypadku, gdy przyjmiemy się, że obiekty kwantowe są oscylatorami, jest zupełnie naturalne i oczywiste, bo chodzi o pojedynczy cykl oscylacji.

Przypomnę, że wspominałem o tym jako o alternatywie dla rekonstruowania procesów w mikroświecie za pomocą idei stanów. Zauważmy, że choć mowa o elementarnych procesach, to jednak są one procesami, a więc mają pewną rozciągłość czasową, w związku z czym argument Zenona się nie pojawia. Z drugiej strony, oznacza to, że wewnątrz takiego procesu coś się wprawdzie dzieje i zmienia (chodzi wszak o jeden pełny cykl oscylacji, w którym zmienia się i amplituda, i prędkość, i faza), ale z uwagi na istnienie elementarnego kwantu działania pozostaje to poza zasięgiem pomiaru czy obserwacji, które wszak wymagają zastosowania zaburzającego obserwowany układ działania, i to nie mniejszego od h (jako minimalnego). Mielibyśmy tym samym wyjaśnienie źródła obowiązywania zasady nieoznaczoności Heisenberga, z tą jednak modyfikacją, że nieokreślona jest każda poszczególna wielkość dynamiczna, a nie tylko „sprzężone kanonicznie” pary mające w iloczynnie wymiar działania (energia i czas, położenie i pęd, składowe momentu pędu), dla których w związku z tym łatwo o ilościową formułę wyrażoną za pomocą mającej ten sam wymiar stałej h . Z drugiej strony, są to ograniczenia o charakterze epistemicznym, związane z nieusuwalnym ograniczeniem naszej wiedzy – bo nie możemy mieć dostępu do, a tym samym znać, fazy drgania elementarnego – a nie ontologiczne, charakteryzujące obiektywną rzeczywistość.

¹⁸ „The finiteness of the quantum of action precludes a subdivision of individual quantum processes” (W. Pauli, *op. cit.*, s. 39).

*

Według mnie to właśnie ta nieznaną nam fazą jest ową zmienną „ukrytą”, której zawdzięczamy rzekomy fenomen splątania kwantowego, bo jednoczesny pomiar oznacza posiadanie jednakowej fazy, od której z kolei zależą badane w tym kontekście *observable*¹⁹. Zauważmy, że nie jest to zmienna ukryta w rozumieniu twierdzenia Bella, gdyż faza należy wszak do zmiennych występujących zarówno w formułach standardowej mechaniki kwantowej (tyle że traktowana jest w niej po macoszemu), jak i w równaniach dla oscylatorów, a Bell dowodził swej nierówności przy założeniu istnienia pewnych *e k s t r a* zmiennych ukrytych.

Mówiąc generalnie, ponieważ fazy, jako należące do elementarnej komórki Plancka, nie znamy w żadnym przypadku, przy przewidywaniu musimy zadowalać się prawdopodobieństwami – obliczając np. stosunek czasu, przez który elektron jako obiekt o zmiennej geometrii przebywa w obrębie cyklu w danym miejscu, do czasu trwania tego cyklu. Na podobnej zasadzie możemy stwierdzić, że przy wielu pomiarach prawdopodobieństwo, że spin elektronu będzie skierowany „w górę” lub „w dół”, wynosi $\frac{1}{2}$, bo w każdej z tych sytuacji przebywa on przez połowę cyklu.

Jeśli zatem moje propozycje są zasadne, to konkluzja byłaby następująca: wbrew mechanice kwantowej w mikroświecie nie ma indeterminizmu, a nieokreśloności i probabilistyczny charakter przewidywań są wyłącznie pochodną naszej nieusuwalnej ignorancji, podobnie jak to ma np. miejsce w przypadku ruchów Browna.

Vivat Einstein!

*

Powstaje pytanie, czy eliminacja idei fal ze sztambucha mechaniki kwantowej nie uniemożliwia wyjaśnienia dobrze potwierzonego eksperymentalnie fenomenu interferencji. Według mnie nie uniemożliwia. Po pierwsze, do interferencji nie są konieczne fale, wystarczy dowolny proces okresowy charakteryzujący się fazą przebiegającą cały zakres cyklu, a oscylatory harmoniczne takie właśnie są. Jeśli zatem w tym samym obszarze przestrzeni nałożą się jednocześnie dwa spójnie drgające oscylatory, będziemy mieli interferencję. Ale, przyznaję, jest tu pewien szkopał – każda cząstka uczestnicząca np. w eksperymencie z dwoma szczelinami przechodzi tylko przez jedną z nich, skąd więc drugi oscylator? Co z czym interferuje? Nasuwa się następująca odpowiedź. Jeśli, jak proponuję, elektrony i fotony są cząstkami złożonymi, które oprócz tego, że same są oscylatorami, są zbudowane z mniejszych oscylatorów, które nazwałem *ergonami*, to wystarczy przyjąć – co wydaje mi się wysoce prawdopodobne – że przy każdym przejściu

¹⁹ To właśnie od tej standardowej fazy zależy np. – jak wyjaśniałem – orientacja spinu elektronu, odmienna dla fazy rozprężania i dla fazy sprężania. Zatem stwierdzana empirycznie w kontekście splątania losowość orientacji spinu elektronu również ma swe źródło epistemiczne, w nieznaności fazy, od której zależy.

od fazy rozprężania do fazy sprężania, co wymaga bardzo gwałtownej redukcji prędkości, od macierzystej cząstki na mocy bezwładności odrywają się pewne z tych elementarnych oscylatorów. Jeśli więc wspomniany rozsiew dotyczy pewnego zakresu kąтового, część z tych ergonów może przejść przez jedną, a część przez drugą szczelinę, by następnie ze sobą interferować. A powstały w ten sposób w przestrzeni za szczelinami wzorec interferencyjny może mieć kauzalny (np. magnetyczny) wpływ na tor macierzystej cząstki, która ostatecznie ląduje w odpowiednim miejscu ekranu.

*

Jak widać zarysowany, dość prosty w sumie, mechaniczno-geometryczny model elektronu pozwala wyjaśnić i zrozumieć wiele rzeczy: posiadanie własności elektrycznych i magnetycznych (w tym spinu), losowy charakter dotyczących go pomiarów, wykazywanie własności „falowych” oraz emisję promieniowania (ergony odrywane wskutek oscylacji), a także istnienie pola i jego linii sił (ergony wyrzucane wskutek rotacji); w sumie – wszystkich głównych stanów skupienia energii. Warto więc chyba zainwestować w jego rozwijanie.

*

Podstawowym zadaniem mechaniki, jako nauki o ruchu, jest sformułowanie równania ruchu odpowiednich obiektów. Powstaje zatem pytanie: jak ta sprawa wygląda w odniesieniu do elektronu pojętego jako harmonicznie oscylująca energia. Generalnie wydawałoby się, że to nic specjalnie trudnego, wszak zachowanie oscylatorów jest dobrze przebadane i opisane, to wręcz modelowy przykład zastosowań mechaniki kwantowej. Tak, ale, po pierwsze, chodzi o oscylator swobodny, mogący znajdować się w ruchu postępowym, a po drugie, wykonujący dodatkowo ruch obrotowy wokół własnej osi.

Według mnie odnośne równanie i jego rozwiązanie od dawna istnieje, a co więcej – jest dziełem dwu wybitnych twórców mechaniki kwantowej, którą tu krytykuję, mianowicie Diraca i Schrödingera, którzy jednak według mnie zrobili to nieintencjonalnie, będąc przekonani, że mówią o korpuskularnie rozumianym elektronie. Chodzi o relatywistyczne, uwzględniające spin (a więc, wtrąć, rotację), równanie dla elektronu, które w końcu lat 20. XX w. sformułował Dirac, a dla którego rozwiązanie w tzw. obrazie Heisenberga podał w 1930 r. Schrödinger. Tu małe wyjaśnienie dla niewtajemniczonych. Wspomniany obraz Heisenberga – w odróżnieniu od tzw. obrazu Schrödingera (oba są obserwacyjnie równoważne), zamiast przypisywać zmienność funkcji falowej reprezentującej stan układu, przypisuje ją operatorom reprezentującym poszczególne dynamiczne wielkości fizyczne (położenie, pęd, energia, *etc.*), a funkcję falową traktuje jako stałą, którą w związku z tym można z rozważań dotyczących dynamiki wyeliminować. W ten sposób dla

operatora p o ł o ż e n i a uzyskujemy *de facto* równanie ruchu – bezpośrednio w kategoriach współrzędnych przestrzennych, bez pośrednictwa funkcji falowej.

To pierwsza, na razie formalna zbieżność z moją propozycją, która też obywa się bez funkcji falowej. Ale jest też zbieżność dalej idąca. Jaki bowiem wynik otrzymał Schrödinger? Po pierwsze, w uzyskanym przez niego rozwiązaniu występują dwa człony, jeden liniowy względem czasu, a więc opisujący ruch postępowy, i drugi oscylacyjny, co oznacza, że elektron cały czas wykonuje też drgania. Ich częstotliwość – bardzo wysoką – Schrödinger oszacował jako rzędu 10^{21} Hz, w związku z czym nazwał to drganie *Zitterbewegung* (po polsku mogłaby to być „drzączka”). Podał też amplitudę tych drgań oraz – uwaga – stwierdził, że prędkość tego ruchu oscylacyjnego równa się prędkości światła. Dirac bez zastrzeżeń zaakceptował w swych *Principles* ten wynik, cytując:

Since electrons are observed in practice to have velocities considerably less than that of light, it would seem that we have here a contradiction with the experiment. The contradiction is not real, though, since the theoretical velocity in the above conclusion is the velocity at one instant of time while observed velocities are always average velocities through appreciable time intervals.

Po czym dodał jeszcze:

We shall find upon further examination of the equations of motion that the velocity is not at all constant, but oscillates rapidly about a mean value, which agrees with the observed value.²⁰

Zgadza się to też, *notabene*, z moją propozycją, bo chodzi wszak o superpozycję ruchu postępowego i oscylacji.

Co mnie uderza w tej akceptacji przez Diraca wyników uzyskanych przez Schrödingera, to akceptacja tej prędkości światła elektronu. Jeśli bowiem traktować elektron jako cząstkę masywną, która jako całość drga z taką prędkością, to mielibyśmy wynik sprzeczny z podstawową tezą teorii względności, bo drganie jest wszak pewną postacią ruchu. A przecież właśnie tę teorię zakłada Dirac, bo mowa o r e l a t y w i s t y c z n y m równaniu dla elektronu.

Widzę tylko jedno wyjście z tej matni: to nie elektron jako całość oscyluje z prędkością światła, oscyluje stanowiąca go energia, jest to więc ruch wewnętrzny elektronu, a nie ruch elektronu w świecie zewnętrznym. A to jest właśnie sedno mojej propozycji.

²⁰ P. Dirac, *op. cit.*, s. 262.

Andrzej Chmielecki

Against Waves. Towards Alternative to the Standard Quantum Mechanics

Abstract

In my opinion the existing formalism of quantum mechanics needs thorough refreshing, mostly because it is focused mainly on predictions, instead of explanations and understanding. I see in it a physical analogue of behaviorism, restricting its goals to what is observable and treating its basic objects (i.e. electrons and photons) as black boxes – or even as sizeless points – devoid of any internal structure. Consequently, I think such superficial theory should be counterbalanced by a version of a deeper, “cognitive” physics. In my paper I outline such a version, based on some reasonable metaphysical assumptions concerning the ultimate stuff all physical entities are made of. (In a word, my candidate for the stuff is *energy* – in substantive and not attributive sense, the one which figures in famous $E = hv$.) The main idea is then to give up purported abstract *undulations* (of nobody knows what) and replace them with real rapid *vibrations* of the stuff. Another novelty consists in giving up the idea of superposition of quantum *states* – the cornerstone of existing quantum mechanics – in favor of superposition of quantum *processes*. Following these modifications I then I sketch my own account of such specific quantal issues as two slits experiment, entanglement and Dirac equation.

Keywords: quantum of action, elementary process, arche, ergons, vibration, harmonic oscillator, superposition principle, hidden variables, interference, entanglement, understanding.

