

Ontologiczne spojrzenie na mikrocząstki

JERZY A. JANIK

Ten esej tylko dotyka spraw fizyki, w większym natomiast stopniu dotyczy filozofii, a w szczególności ontologii. Ogólnie rzecz biorąc, chodzi w nim o ontologiczny status obiektów kwantowych. Treść fizyczna podana jest w dużym skrócie, podkreślone są natomiast aspekty ontologiczne.

1. Sprawa identyczności danego rodzaju mikrocząstek

Cząstki mikroświata (danego rodzaju – np. elektrony) są **naprawdę** identyczne. „Naprrawdę” to znaczy nie tak jak kule bilardowe, które mogą wyglądać identycznie, ale naprawdę nie są. Różnią się jakimiś minimalnymi, niezauważalnymi aspektami kształtu, tekstury itp. W słowniku filozoficznym znajduję ostrzeżenie: żadne dwie rzeczy nie mogą być identyczne we wszystkich aspektach – gdyby tak było, to nie byłyby dwiema rzeczami. Znajduję również pojęcie identyczności: dwie rzeczy są identyczne, gdy wszystkie charakterystyki jednej są też charakterystykami drugiej i vice versa. Otóż dwie mikrocząstki – np. dwa elektrony – są różne, gdy dwie reprezentujące je funkcje falowe są różne, albo mając różną postać matematyczną, gdy np. elektrony są w różnych stanach kwantowych, albo mając nawet tę samą postać matematyczną, ale będąc przesunięte w czasoprzestrzeni. Aspekt nierozróżnialności dotyczy wszystkich mikrocząstek, a więc i bozonów, i fermionów. Ale w przypadku fermionów (np. elektronów) przejawia się w sposób szczególnie drastyczny w postaci tzw. zakazu Pauliego. Otóż w atomie nie mogą znajdować się dwa elektrony w tych samych stanach. Być może – zgodnie z tym, co napisałem powyżej – takie dwa elektrony nie byłyby dwiema rzeczami.

2. Mikrocząstki jako byty *in potentia* i jako byty *in actu*

Niektóre mikrocząstki są niestabilne i mogą rozpaść się, dając jako wynik rozpadu inne mikrocząstki. Np. muon (μ) podlega przemianie na elektron i neutrino. Można więc powiedzieć, że muon jako taki jest *in potentia* przemiany. Wiadomo również, że neutrino występuje w trzech odmianach: jako neutrino elektronowe, neutrino muonowe i neutrino tauonowe. Ma miejsce przy tym tzw. oscylacja, polegająca na kolejnym przekształcaniu się neutrino z jednej odmiany w drugą i trzecią. Możemy zatem powiedzieć, że dana odmiana neutrino jest *in potentia* stać się drugą odmianą i trzecią. W obu przykładach pojęcie *bytu in potentia* nie różni się od tego, które wykształciło się na gruncie obserwacji świata makroskopowego. Wspomniany muon jest jako muon *in actu* i jednocześnie jest *on in potentia* przemiany.

Ale mechanika kwantowa, czyli teoria rządząca mikrocząstkami, dopuszcza istnienie cząstek w tzw. super-

pozycji stanów, czyli czymś w rodzaju sumy wszystkich dozwolonych możliwości. Poważnie można zapytać, czy obiekt w superpozycji stanów **JEST**. Jeżeli można mu przypisać jakieś **JEST**, to jest to **ESSE in potentia**. I tylko jako takie wynika z równań mechaniki kwantowej, np. z równania Schrödingera. Gdy nastąpi akt pomiaru, czyli gdy zrealizuje się jedna z możliwości, wtedy w wyniku takiej redukcji otrzymujemy *byt in actu*, który (trzeba to z naciskiem powiedzieć) nie wynika z równań mechaniki kwantowej, jest do niej niejako dołączony. Prócz więc aspektu *in potentia* wspomnianego powyżej dla cząstek rozpadających się lub oscylujących (neutrino), ma tu miejsce specyficzny aspekt *in potentia*, charakterystyczny dla superpozycji możliwości.

Podkreślam, że przejście od superpozycji stanów do jednostanowego wyniku pomiaru jest, z formalnego punktu widzenia, tajemnicą, której jak dotychczas nie rozumiemy. Niektórzy sądzą, że wchodzi tu do akcji oddziaływanie pozamaterialne pomiędzy obiektem a umysłem (*mind*) obserwatora, którego udział jest niezbędny. Inni fizycy nie przyjmują tej niezbędności. Warto jednak zwrócić uwagę, że w sferze czysto umysłowej, sferze przeżycia (*Erlebnis*), które stanowi element husserlowskiej fenomenologii, superpozycja stanów ma miejsce. Mogę przeżywać radość z jakiegoś faktu i jednocześnie (jako coś w rodzaju tła) zmartwienie spowodowane inną okolicznością. Również zjawisko rozterki przed decyzją ma charakter superpozycji, natomiast podjęcie decyzji – charakter redukcji.

3. Wzajemne oddziaływanie jako przejaw wymiany cząstek pośredniczących

Obserwacja przyrody, jeszcze ta przednaukowa, dostarcza oczywistych dowodów, że jej obiekty działają na siebie wzajemnie. Jabłko spada z drzewa na ziemię, zwierzęta współżyją lub/i walczą, ludzie organizują się w społeczeństwa itd. W wielu przypadkach tego typu, przy działaniu i oddziaływaniu następuje jakaś wymiana – aktu miłości czy sympatii, informacji itp. Dawno temu, w jakiejś książce popularnonaukowej, znalazłem poglądowy przykład wzajemnego działania połączonego z wymianą elementu pośredniczącego: Partnerzy rozgrywający partię tenisa niewątpliwie połączeni są wzajemnym działaniem, a elementem pośredniczącym jest piłka wymieniana.

W świecie mikrocząstek, stwierdzając działanie jednej na drugą, musimy koniecznie doszukiwać się istnienia elementu pośredniczącego, którego wymiana decyduje o działaniu wzajemnym. I tak: oddziałujące elektrony wymieniają *foton*, oddziałujące kwarki wymieniają *gluon* itd. Niekiedy wzajemne działanie może być, niejako, wielokierunkowe – np. wytłumaczenie zjawiska nadprzewodnictwa wymaga przyjęcia, że dwa elektrony mogą przyciągać się wzajemnie, tworząc pary, a dzieje się to poprzez wymianę cząstki pośredniczącej – fononu, który – klasycznie rzecz biorąc – odpowiada drganiu sieci kryształu. ▶

► Foton jest typową cząstką pośredniczącą w oddziaływaniach elektromagnetycznych, gluon jest typową cząstką pośredniczącą w oddziaływaniach silnych, a dla oddziaływań słabych okazało się konieczne wprowadzić aż trzy cząstki pośredniczące. W nukleonach (protonach i neutronach) gluony pośredniczą w oddziaływaniach między kwarkami – oddziaływaniach silnych. Natomiast nukleony w jądrze oddziałujące też silnie, pomiędzy sobą wymieniają *pion*.

4. Mikrocząstki – byty substancjalne czy przypadłościowe?

Dychotomia: substancja kontra przypadłość, jest od dawna ugruntowana w terminologii filozoficznej. Np. róża jest bytem substancjalnym, a kolor róży przypadłością (bytem przypadłościowym). W świecie mikrocząstek oczywiście wydaje się nadanie danej mikrocząstce – np. elektronowi, muonowi, pionowi – rangi substancji (bytu substancjalnego). Przypadłościami elektronu (np.) byłaby jego masa, ładunek elektryczny, spin itp. Możliwe jest jednak inne podejście, oparte na kwantowej teorii pola. Kwantowa teoria pola elektromagnetycznego traktuje elektrony jako stany wzbudzone tego pola. W stanie podstawowym pole pozbawione jest elektronów. Natomiast ładując do pola energię, kreujemy jego stany wzbudzone, charakteryzujące się coraz większą – w miarę ładowania – energią, liczbą elektronów. W tym obrazie substancją jest chyba pole, a elektrony przypadłościami.

5. Wyodrębnienie części z całości dla mikrocząstek

Rozłożenie jakiejś całości na sumę części składowych jest czynnością, która w życiu codziennym często ma miejsce. Stwierdzamy jednak, że całość jawi się nam jako większa od sumy części. Np. człowiek to coś więcej niż zbiór komórek tworzących jego organizm. Z tego faktu zdawano sobie sprawę w filozofii już dawno. Pozwalam sobie zacytować tu tezę Kazimierza Twardowskiego, uogólniającą pojęcie części i, niejako, likwidującą nadmiarowość całości nad sumą części. Oto cytat:

Stowo część, składnik należy brać w najszerszym sensie. Nie tylko to, co zwyczaj językowy codziennego życia lub matematyki oznacza jako część, ma być przez to rozumiane, ale w ogóle wszystko, co daje się wyróżnić w przedmiocie przedstawienia, bez względu na to, czy można mówić o rzeczywistym, czy tylko myślowym na to wyróżnialne¹.

Jeżeli mówimy np. o nukleonie, jako złożonym z części składowych – kwarków, to do garnituru części (w myśl podanej powyżej tezy Twardowskiego) należy dołączyć wzajemne oddziaływania między kwarkami, a więc gluony. Podobnie w jądrze atomowym, prócz nukleonów należy wprowadzić oddziaływanie pomiędzy nimi, a więc piony, będące elementami pośredniczącymi.

Na ogół w danym makroobiekcie części składowe można wyodrębnić nie tylko myślowo. Gorzej jest z efemerydalnymi myślowymi „częściami”, bo one tworzą się i znikają, istnieją więc na sposób wirtualny. W jakimś stopniu to się jednak udaje – rozbijając jakieś jądro np. przez zbombardowanie go przyspieszonymi w akceleratorze mikroobiektami, otrzymujemy poszczególne nukleony, ale też piony, czyli cząstki pośredniczące, które się przy tym jako wyzwołyły. Przy analogicznej próbie rozbicia nukleonu

na kwarki, sprawa się nie udaje. Ani poszczególnych kwarków, ani gluonów nie daje się wydzielić. Pozostają one, w myśl tezy Twardowskiego, wyróżnialne tylko myślowo².

6. Nielokalność – „Entanglement”

Niektóre własności makroobiektów (przypadłości) mogą być niezwykle silnie ze sobą sprzężone, tak iż tworzą jedną całość, niezależnie od lokalnych sytuacji komponentów. Przyjął się termin, że są „splątane” (*entangled*). Dotyczy to np. dwóch spinów, które w wyniku splątania ustawiły się w sytuacji antyrównoległej. Oddalając je od siebie, utrzymujemy w mocy ich splątanie. Jeżeli jeden z nich zostanie odwrócony, to drugi – jakkolwiek daleko by był – odwraca się natychmiast, tak że zachowana zostaje sytuacja antyrównoległa. „Natychmiast” nie oznacza krótkiego ewentualnie czasu transportu sygnału, np. elektromagnetycznego, od jednego do drugiego. Wydaje się, że „całościowość” układu dominuje nad lokalnością, likwiduje lokalność.

7. Pokora fizyka

Mimo znakomitych osiągnięć, uzyskanych głównie w ciągu ostatnich trzystu lat, gmach fizyki jest ciągle w budowie – niewiedza chyba przeważa nad wiedzą – i to stymuluje postawę pokory, pokory przed majestatem Tajemnicy... W tym eseju chciałbym podkreślić fakt, że mechanika kwantowa, niesfalsyfikowana dotychczas teoria zjawisk fizycznych, jest niezrozumiała, gdy chodzi o interpretację jej podstaw, i to już od osiemdziesięciu lat. Moim zdaniem spory interpretacyjne, które trwają, dotyczą nie tyle fizyki, co ontologii, która z mechaniki kwantowej się wyłania. Chciałbym tutaj nawiązać do podejścia Immanuela Kanta, do sporu pomiędzy empirycystami a racjonalistami, sporu, który przejawiał się w specyficznie kantowskim podejściu do faktów typu *phenomena* i *noumena*. Kantowskie rozumienie pojęcia *noumenon* jest (o ile dobrze rozumiem) radykalne. Noumenon to dla Kanta³ rzeczywistość, która przekracza doświadczenie i całą racjonalną wiedzę. Rozum musi założyć jej istnienie, wie o jej istnieniu, ale nie wie, jakie ono jest, nie rozumie go. Otóż jeszcze raz podkreślam: Obiekt w superpozycji stanów chyba **JEST**, ale to **JEST** przejawia się w dziwny sposób. Nie można mu przypisać żadnej własności. Klasyczna ontologia twierdzi, że coś bez własności nie istnieje! Być może to natchnęło Nielsa Bohra do wyrażenia poglądu, że kwantowy obiekt w superpozycji stanów nie istnieje. A jednak żaden eksperymentator nie mógłby przyjąć takiego twierdzenia. Czyli – kantowski noumenon!

Po redukcji, która (jeszcze raz podkreślam) nie wynika z równania Schrödingera, mamy wprawdzie zrozumiałą fakt istnienia określonego aspektu obiektu, ale sama transformacja: superpozycja stanów → stan aktualny, jest niezrozumiała. Znowu kantowski noumenon!

JERZY A. JANIK

Institut Fizyki Jądrowej
im. H. Niewodniczańskiego PAN w Krakowie

¹ W. Stróżewski, *Ontologia*, Areus, Znak, 2004, str. 214.

² Liczne dane eksperymentalne z LHC sugerują, iż materia wyprodukowana w zderzeniach ciężkich jonów w stanie początkowym była plazmą kwarkowo-gluonową, mającą własności kolektywne (AMK).

³ *The Harper Collins Dictionary Philosophy*, by P. A. Angeles, Harper Prenal, 1992.