



KAZIMIERZ NAPIÓRKOWSKI

Rewolucja kwantowa – kilka refleksji meta-fizycznych

Quantum Revolution – Some Meta-Physical Reflections

ABSTRACT: Exploration of properties of atoms resulted in a fundamental revision of conceptions and methods how to describe reality. In the first part of twentieth century quantum mechanics has been invented (discovered?). There are various views concerning the meaning of its concepts. We present here some arguments suggesting that a precise drawing a distinction between epistemology and ontology is impossible, at least it is not easy.

KEYWORDS: reality • quantum physics • ontology • epistemology

Celem niniejszego tekstu jest wprowadzenie pewnej wątpliwości co do jasnego rozdziału między tym, co jest a tym, co wiemy, czyli między tym, o czym mówi ontologia a tym, co stanowi przedmiot epistemologii. Jako przykład tego problemu posłużą fizyka atomów. W konsekwencji, w tekście zostanie uwypuklona wątpliwość w odniesieniu do ostrego rozdziału ontologii i epistemologii.

Zasadniczą rewolucję w poglądach na świat fizyczny przyniosła fizyka atomów. Trudno stwierdzić dokładnie, kiedy się rozpoczęła; na pewno gdzieś w XIX wieku. Dawniej – w XVI, XVIII wieku – nie było atomów. Nie chodzi tu o atomy Leukippa i Demokryta, bo są one czymś zupełnie innym. Stwierdzenie „nie było»» można traktować dosłownie. Atomy nie były obecne w poglądach na świat. Nie chodzi tu o ogólne wątpliwości związane na przykład ze stanowiskiem Berkeleyya „esse est percipi»». Jeszcze pod koniec XIX wieku Ernst Mach twierdził, że atomów nie ma, ale jego argumenty były innego rodzaju: odróżniał on bezpośrednie wrażenie od konstrukcji teoretycznych. Zasadniczym argumentem przeciwko takiemu stanowisku, empiriokrytycyzmowi, jest to, iż trudno mówić o *bezpośrednim* wrażeniu – zawsze towarzyszy mu, a właściwie poprzedza je jakaś teoria, której nie można wykluczyć.

Za istnieniem atomów przemawiały argumenty z różnych dziedzin fizyki i chemii. Wymieniam je w kolejności związanej z coraz bardziej konkretnym charakterem.

- Chemia – prawo stosunków stałych i stosunków wielokrotnych: dwa pierwiastki reagują tak, że ich stosunki ilościowe są takie same, albo są ich wielokrotnościami (na przykład dana masa wodoru reaguje z określoną masą tlenu tworząc wodę, ale może też reagować z podwójną masą tlenu tworząc to, co nazywamy wodą utlenioną).
- Fizyka – prawa elektrolizy Faradaya¹, a także prawa łączące masę i objętość gazów w odpowiednich warunkach.
- Mała kropla oliwy rozlana na powierzchni wody tworzy płamę o powierzchni zależnej tylko od wielkości tej kropli, co sugeruje, że powstaje warstwa pojedynczych cząstek, a grubość jej (mierzona metodami optycznymi) daje informację na temat rozmiaru tych cząstek.
- Jak duże są atomy? Wiedza na ten wpływ na przekonanie o ich istnieniu. Za pierwsze wyniki można uznać to, o czym była mowa w poprzednim punkcie.
- Ilościowa analiza ruchów Browna² (Einstein, Smoluchowski). Intensywność tych ruchów zależy od stosunku mas obserwowanej małej cząstki (np. pyłku) i cząsteczek wody. Stąd pośrednia wiedza na temat ich mas.

W tym etapie historii istnienie już nie budzi wątpliwości. Co można wiedzieć o atomach?

Rewolucja kwantowa (od ostatnich dni XIX wieku do początku lat trzydziestych XX wieku) poszła głębiej i dalej.

Koncepcja budowy atomu wyprowadzona z doświadczeń Rutherforda – analogia z układem planetarnym złożonym z ciężkiego dodatniego jądra i lekkiego elektronu stanowiła nowy wielki impuls:

- Wyznaczenie ładunku elektronu (Millikan) razem z prawami elektrolizy dało dość dokładne dane na temat wielkości (masy i rozmiarów) atomów.
- Analiza możliwości, a właściwie niemożliwości istnienia atomów podlegających dotychczasowym teoriom fizycznym doprowadziła do zasadniczej zmiany poglądów na rolę i możliwości poznania fizycznego.

¹ Drugie prawo elektrolizy Faradaya: Masa substancji wydzielonej na elektrodzie jest proporcjonalna do jej równoważnika chemicznego – wielkości związanej z prawem stosunków stałych.

² Obserwowane pod mikroskopem chaotyczne ruchy bardzo małych cząstek na powierzchni płynu.

Problemy związane z poznawaniem własności atomów szczegółowo przedstawia dyskusja Bohra z Einsteinem prowadzona na konferencji nad jeziorem Como (1927) a później podczas konferencji solwayowskich³. Wymieńmy dwa podstawowe pytania:

- a) Co to znaczy, że elektron *jest* gdzieś?
- b) Co można *wiedzieć* na ten temat?

Wyznaczanie położenia elektronu polega na obserwacji rozproszenia światła na tym elektronie. Dokładność pomiaru będzie z grubsza równa długości fali użytego światła. Aby uzyskać większą dokładność należałoby brać światło o bardzo krótkiej fali. Ma to jednak swoją cenę. Foton o bardzo krótkiej fali niesie duży pęd, którego część przekazuje elektronowi. Dokładna wiedza o położeniu elektronu wiąże się ze znaczną niedokładnością wiedzy o jego pędzie (czyli o prędkości). Precyzują to słynne relacje nieokreśloności Heisenberga: $\Delta x \Delta p \sim h^4$.

Ograniczenia wynikające z relacji nieokreśloności sugerują, że odpowiedź na pytanie a) jest tożsama z odpowiedzią na pytanie b), a to wnosi wątpliwość co do oddzielenia dziedzin ontologii i epistemologii.

Źródło powstałych trudności było jasno rozpoznane od razu po powstaniu zasadniczego zrębu teorii kwantów. Oto sformułowanie Nielsa Bohra, tak zwana zasada komplementarności:

however far the phenomena transcend the scope of classical physical explanation, the account of all evidence must be expressed in classical terms.

impossibility of any sharp separation between the behaviour of atomic objects and the interaction with the measuring instruments which serve to define the conditions under which the phenomena appear.

Omówię jeszcze dwa miejsca, w których teoria kwantów wykazuje szczególne cechy odróżniające obiekty atomowe od ciał rządzonych mechaniką klasyczną.


1. Rola prawdopodobieństwa. Nieokreśloności, o których była mowa związane są z tym, że teoria nie przewiduje dokładnego wyniku doświadczenia, a tylko pewien rozkład prawdopodobieństwa rezultatów. Pytanie o to, czy w przyszłości, będzie można to poprawić, tak zwane pytanie o możliwość istnienia ukrytych parametrów

³ NielsBohr, *Electrons and Photons*, Fifth Solvay Conference on Physics, 24–29 oct. 1927, Paris, 1928.

⁴ Iloczyn niepewności związanych z pomiarem pędu i położenia cząstki jest co najmniej rzędu stałej Plancka (wielkość bardzo mała, niedostrzegalna w makroświecie).

(Einstein: Bóg nie gra w kości) spotkało się z subtelną analizą (John Stewart Bell, 1964) według której istnienie ukrytych parametrów implikuje pewną nierówność. Okazało się możliwe stworzenie sytuacji eksperymentalnej, w której ta nierówność nie jest spełniona. Wniosek: nie ma nadziei na znalezienie ukrytych parametrów i przypadek nie daje się wyeliminować. (Oczywiście wyprowadzenie tej nierówności zawiera jakieś założenia.)

Interpretacja prawdopodobieństwa. Zasadniczą sprawą jest pytanie o to, czy prawdopodobieństwo stosuje się do długich serii podobnych bądź jednakowych doświadczeń, czy do pojedynczego przypadku. Zastosowanie do serii nie sprawia problemu, natomiast spotyka się różne poglądy na temat pojedynczego przypadku. Ilustruje to tak zwany problem *kota Schrödingera*:⁵ w szczelnej klatce zamknięty jest kot i naczynie z trucizną otwierane w wyniku zajścia (lub nie) procesu o prawdopodobieństwie $1/2$. Co się stanie? Czy zobaczymy połowę martwego i połowę żywego kota, czy też albo całego kota żywego albo całego niestety martwego. Odpowiedź jest jak się wydaje, oczywista, to drugie. Rzucając kostką jako wynik mamy jedną z liczb 1,2,...,6, a nie coś mieszanego. Podsumowując, prawdopodobieństwo określa wiedzę (dokładniej – to, co można wiedzieć) o wyniku doświadczenia. Pogłębiona analiza związku między prawdopodobieństwem a doświadczeniem znajduje się w artykule C.F.v.Weizsäckera (przekład w jego książce *Jedność przyrody*), a rozwinięta została przez autora w książce *Zeit und Wissen* (Hanser Verlag 1992).

2. Tożsamość przedmiotów. Mamy dwie takie same rzeczy A i B. Możemy je ustawić po kolei, na przykład AB albo inaczej – BA. Są to dwie różne sytuacje, chociaż wyglądają tak samo. Z cząstkami atomowymi jest inaczej: AB i BA to nie są dwa równe układy, lecz jeden – ten sam. Czy to jest istotne, jeśli i tak nie widać różnicy? Okazuje się, że jest to istotne dla fizyki statystycznej gdzie podstawową rolę odgrywa liczba stanów układu o danych własnościach. Związana z nią własność, a dokładniej: opis tej tożsamości w mechanice kwantowej prowadzi między innymi do tak zwanego zakazu Pauliego (dwa elektrony nie mogą być w dokładnie tym samym stanie). Widać, że elektron, czy atom nie jest rzeczą, czyli czymś, o czym można mówić językiem potocznym w wyczerpujący sposób. 

⁵ Schrödinger wcale nie był okrutnikiem, kochał zwierzęta.

KAZIMIERZ NAPIÓRKOWSKI, dr hab. fizyki, profesor Uniwersytetu Warszawskiego, Studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, magisterium z fizyki teoretycznej, później praca w Katedrze Metod Matematycznych Fizyki w dziedzinie fizyki matematycznej i jej metod. Po przejściu na emeryturę praca w Instytucie Matematyki i Kryptologii WAT. Tłumaczenia: m.in. W. Heisenberg, *Część i całość*, A. Einsteina, *Pisma filozoficzne*, M. Planck, *Nowe drogi poznania fizycznego a filozofia*, E. Schrödinger, *Przyroda i Grecy – Nauki przyrodnicze i humanistyczne*, K. Rahner, *Czy wierzysz w Boga*.

KAZIMIERZ NAPIÓRKOWSKI, Ph.D. in Physics, Professor at the University of Warsaw, Studied on the Faculty of Physics in Warsaw University, graduated in theoretical physics, working in the Chair for Mathematical Methods in Physics on mathematical physics and its methods. After retirement, working in the Institut for Mathematics and Cryptology on Military Technical Academy. Translations: a.o. W. Heisenberg, *Część i całość*, A. Einsteina, *Pisma filozoficzne*, M. Planck, *Nowe drogi poznania fizycznego a filozofia*, E. Schrödinger, *Przyroda i Grecy – Nauki przyrodnicze i humanistyczne*, K. Rahner, *Czy wierzysz w Boga*.