



O nauczaniu mechaniki kwantowej w szkole średniej

Andrzej Staruszkiewicz

Instytut Fizyki UJ

Mechanika kwantowa zajmuje szczególne miejsce wśród wielkich teorii fizyki. Mimo, że od powstania mechaniki kwantowej minęło przeszło 80 lat, jej interpretacja i jej implikacje filozoficzne są przedmiotem dyskusji toczonej w czasopiśmie naukowych, na konferencjach itd. Dyskusje te są oczywistą oznaką tego, że fizyka jako nauka nie ma pełnej jasności na temat mechaniki kwantowej. Okoliczność tę podkreśla wielu autorów, np. R. Penrose w swojej pięknej książce *The Emperor's New Mind*, Oxford 1989, pisze:

„I believe that one must strongly consider the possibility that quantum mechanics is simply wrong when applied to macroscopic bodies”¹. Wszystko to znaczy, że nauczyciel nauczając mechaniki kwantowej powinien przestrzegać kardynalnej zasady: **nie uczyć tego, czego się samemu nie rozumie i czego nie rozumie fizyka jako nauka**. Wynika stąd, moim zdaniem, że w szkole średniej nie powinno się objaśniać pojęcia funkcji falowej i jej interpretacji probabilistycznej; nie można też wchodzić w indeterminizm mechaniki kwantowej, bo jest to właśnie zagadnienie bardzo niejasne dla fizyki jako nauki.

Co zatem może być przedmiotem nauczania w szkole średniej? Sądzę, że można, z zachowaniem koniecznej ostrożności, przedstawić następujące zagadnienia:

- (1) relacje de Broglie’a;
- (2) zasadę nieoznaczoności Heisenberga;
- (3) zasadę wykluczania Pauliego;
- (4) dyskretność w zjawiskach biologicznych.

(1) Relacje de Broglie’a tzn. stwierdzenie, że z ruchem falowym monochromatycznym o częstości ν i długości fali λ związana jest energia $E = h\nu$ i pęd $p = h/\lambda$, gdzie h jest stałą Plancka, można wprowadzić jako niezbity wynik doświadczeń nad efektem fotoelektrycznym, efektem Comptona i dyfrakcją elektronów. Relacje de Broglie’a mogą sprawiać trudność komuś, kto mając już pewną wiedzę z zakresu fizyki klasycznej usiłuje utworzyć czasoprzestrzenny obraz obiektu, który jest cząstką i falą jednocześnie; z taką właśnie trudnością zmagali się twórcy mechaniki kwantowej. Jeżeli jednak tego nie robić – a uczeń na ogół nie będzie tego robić – to nie sądzę, by był problem z zaakceptowaniem relacji de Broglie’a, zwłaszcza jeżeli wiadomo, że są one podsumowaniem zupełnie niewątpliwych doświadczeń.

¹ Uważam, iż należy poważnie brać pod uwagę możliwość, że mechanika kwantowa jest po prostu zła w zastosowaniu do ciał makroskopowych.

(2) Dla właściwego przedstawienia zasady nieoznaczoności należy przede wszystkim rozumieć jej status naukowy. Otóż zasada nieoznaczoności nie jest, wbrew swojej nazwie, zasadą fizyczną lecz raczej twierdzeniem matematycznym o falach de Broglie'a. Przez zasadę fizyczną rozumiem regułę lub prawo, które *a priori* mogłoby być prawdziwe lub fałszywe, lecz doświadczenie pokazuje jego prawdziwość. Zasada wykluczania jest tak rozumianą zasadą fizyczną. Natomiast zasada nieoznaczoności jest konieczną, matematyczną konsekwencją znanej własności transformat Fouriera, która polega na tym, że funkcja silnie zlokalizowana ma transformatę Fouriera silnie rozmytą i na odwrót, funkcja prawie monochromatyczna ma transformatę Fouriera silnie zlokalizowaną. Sądzę, że ta ogólna własność superpozycji sinusoid może i powinna być przekazana uczniom, a nauczyciel może tu zademonstrować pomysłowość i inwencję: sinusoidy można składać graficznie lub na komputerze, można też zwrócić uwagę na zjawisko dudnienia bliskich częstości. Uczeń powinien wynieść ze szkoły ideę, że krótki, aperiodyczny sygnał składa się z wielu sygnałów harmonicznym i że im krótszy jest sygnał, tym wyższe częstości są w nim zawarte. Ten czysto matematyczny fakt stanowi istotę zasady nieoznaczoności.

(3) Zasadę wykluczania Pauliego można również wprowadzić jako objaśnienie faktów doświadczalnych, np. jako jedyne wyjaśnienie budowy powłok elektronowych atomów i tablicy Mendelejewa. Jest tu trudność polegająca na tym, że prawie nie sposób sformułować zasadę wykluczania bez użycia niektórych pojęć kwantowomechanicznych, np. pojęcia stanu. W tej sytuacji nauczyciel powinien położyć nacisk na to, że właśnie zasada wykluczania pozwala zrozumieć niektóre najprostsze własności materii, która nas otacza. Uczeń powinien wynieść ze szkoły ideę, że bez mechaniki kwantowej nie można zrozumieć – jak zwraca uwagę Feynman – choćby tego, że stoimy na podłodze zamiast swobodnie spaść przez nią w dół.

(4) Fizyka potrzebowała prawie 300 lat by w opisie materii dojść do jej dyskretnej, policzalnej natury. Tymczasem w zjawiskach biologicznych policzalność jest wszechobecna i tak pospolita, że jej się prawie nie zauważa: człowiek ma 10 palców i 32 zęby, liść koniczyny składa się z trzech płatków etc. Sądzę, że uczeń powinien wynieść ze szkoły ideę, że ten policzalny charakter zjawisk biologicznych jest w ostatecznym rachunku odbiciem dyskretnej i policzalnej natury materii, z której składają się żywe organizmy.

Od Redakcji:

Artykuł ukazał się już w *Fotonie* 6 (marzec 1992).