

W pogoni za zdrowym rozsądkiem

Mechanika kwantowa jest teorią, która doskonale zgadza się z wynikami doświadczeń, ale zrozumienie jej samej w sobie stawia pewne trudności natury koncepcyjnej. Podstawowe jej założenia wydają się przeczyć zdrowemu rozsądkowi. Wygląda jednak na to, że należy raczej zrewidować nasze pojęcie zdrowego rozsądku, a teorię zostawić na razie w spokoju. Ten numer *Delty* jest właśnie zaproszeniem do wspólnej zabawy w zrozumienie niezrozumiałego.

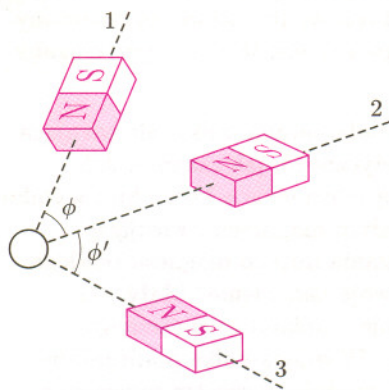
Pozornym paradoksom teorii – wynikającym z pewnych schematów myślowych opartych na codziennym doświadczeniu – poświęcone są pierwsze trzy artykuły. Konkretnym przykładem, gdzie nie stosuje się nasza zdroworozsądkowa zerojedynkowa logika (zakładająca, że prawdziwe jest albo TAK, albo NIE), może być komputer kwantowy. Z założenia jest on oparty na logice kwantowej (choć wyniki daje klasyczne), gdzie istnieje coś pośredniego między TAK a NIE. Omówione wcześniej paradoksy przekładają się na język schematów logicznych, co może w inny sposób przybliżyć logikę wielowartościową.

Co każdy elektron wiedzieć powinien?

Przemysław PANEK

Mechanika kwantowa nigdy nie podobała się Albertowi Einsteinowi. W okresie gdy powstawała, wielokrotnie starał się wykazać wewnętrzną sprzeczność tej teorii. Ważną próbą był eksperyment myślowy, nazwany potem od nazwisk jego twórców paradoksem Einsteina–Podolskiego–Rosena. Na podstawie jego prostszej wersji D. Greenberger, M. Horn i A. Zeilinger przedstawili w 1989 r. paradoks, zwany w skrócie paradoksem GHZ. Zanim go jednak poznamy, przyjrzyjmy się najpierw niektórym kwantowym własnościom elektronów.

W szkole uczymy się, że elektron to mała lekka cząstka, na rysunkach przedstawiana jako kulka. Ma on masę $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg i ujemny ładunek elektryczny $q_e = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Jednak masa i ładunek to nie wszystko, co „posiada” elektron. Ma on także własność zwaną kwantowym momentem magnetycznym lub spinem. Jeżeli elektron znajduje się w niejednorodnym polu magnetycznym, to działa na niego siła, jak na mały magnes (oprócz siły Lorentza związanej z ruchem elektronu jako ładunku elektrycznego). Magnesy mogą się przyciągać lub odpychać. Jeżeli przypadkowy elektron znajdzie się w pobliżu jednego z biegunów magnesu, to mamy 50% szansy, że będzie on przyciągany i tyle samo, że odpychany. Przeprowadźmy eksperyment (niestety, nie wykonamy tego w domu). Do spoczywającego elektronu zbliżamy z góry magnes (rys. 1).



Rys. 1

Opis elektronu jako małej kulki (czy też punktu materialnego) nie jest całkiem poprawny. O elektronie można także myśleć jako o biegnącej fali, która np. ulega dyfrakcji i interferencji, przechodząc wokół przeszkód. Opis korpuskularny i falowy uzupełniają się, tzn. w niektórych sytuacjach ujawnia się falowa natura elektronów, a w innych – to, że są cząstkami. W opisywanym eksperymencie dobrym przybliżeniem będzie opis korpuskularny. Rozmiary układu eksperymentalnego będą duże w stosunku do długości odpowiedniej fali elektronowej, a liczba elektronów – ustalona. Niekiedy może się nasuwać myślenie o obiektach kwantowych jako o jakiegoś rodzaju „falo-cząstkach”, które zachowują się w sposób będący połączeniem własności falowych i cząstkowych. Obraz taki może być jedynie przybliżeniem, prawdziwym w przypadku jednego samotnego elektronu lub elektronów niezależnych i wzajemnie nie oddziałujących. Ogólna sytuacja jest bardziej złożona, czego dostrzeżenie, miejmy nadzieję, ułatwia opisywany eksperyment. Zatem założmy na razie, że mamy do czynienia z małymi kulkami.

Elektrony mają ładunek elektryczny. Zatem, jeśli lecące elektrony umieścimy w polu elektrycznym lub magnetycznym, to będzie na nie działać siła Lorentza, odchylająca ich bieg. Elektrony w próżni mamy dostępne w kineskopie każdego telewizora lub monitora komputerowego. Odpowiednimi przyrządami można zobaczyć, że świecenie ekranu składa się z wielu małych rozbłysków pochodzących od pojedynczych elektronów. W jasnych obszarach jest ich więcej, w ciemnych – mniej. Siła każdego rozbłysku zależy jedynie od energii elektronów (np. od napięcia je przyspieszającego). Zbliży do ekranu magnes. Zauważymy lekkie przekrzywienie się obrazu, spowodowane działaniem siły Lorentza. W kolorowym kineskopie bardziej będą się rzucać w oczy zmiany kolorów, które także powoduje siła Lorentza i które można zrozumieć, znając zasadę działania takiego kineskopu. Nie należy przesadzić ze zbyt dużym magnesem, gdyż ekran się magnetyzuje i barwne plamy jakiś czas pozostają. Eksperyment ten ma jedynie przekonać Czytelnika o realności opisywanych zjawisk, gdyż dalej nie będziemy omawiać wpływu siły Lorentza. Ponadto przyjmijmy, że elektrony poruszają się w próżni, w nieobecności pól grawitacyjnych i elektrycznych.

Powiedzmy, że zdarzyło się, iż elektron jest odpychany i zaczyna poruszać się do dołu. Odsuwamy teraz magnes i przysuwamy go z innego kierunku (nr 2), będącego pod kątem ϕ do poprzedniego. Prawdopodobieństwo, że elektron