

NANOTECHNOLOGIA JAKO DZIAŁ FIZYKI SZKOLNEJ

Sylwia Budzik

Uniwersytet Rzeszowski, PL

Streszczenie

Rozwój nauczania powinien iść w parze z rozwojem nauki dlatego musimy uzupełniać treści nauczania elementarnymi pojęciami dzięki którym ludzie będą mogli zrozumieć co się dzieje dookoła nas. Koniec XX wieku to niezwykle dynamiczny rozwój nanotechnologii. Czy w związku z tym należy wprowadzić podstawowe pojęcia z tej dziedziny do programu nauczania szkoły średniej? Jeżeli tak, to trzeba przeprowadzić analizę treści materiału przeznaczonego do nauczania zarówno pod względem merytorycznym jak i dydaktycznym.

Od kilku lat obserwuje się szybki rozwój nanotechnologii, która należy do najbardziej dynamicznie rozwijającej się dziedziny nauki i techniki, łącząc wybrane obszary fizyki ciała stałego, chemii, materiałoznawstwa i biologii molekularnej.

Już dziś technolodzy kwantowi potrafią łąpać pojedyncze atomy i wykonywać z nimi doświadczenia. Potrafią odbijać atomy tam i z powrotem w polach elektromagnetycznych, rysować atomowe graffiti, przemieszczając atom na powierzchni ciała stałego i odwzorowywać strukturę kryształu, ujawniając oddzielne atomy.

Doświadczenia te wnikają głęboko w świat kwantów, wiążąc mechanikę kwantową silnie z praktyką. Dziś wokół nas jest wiele rzeczy, które zawdzięczają jej swoje istnienie np.: odtwarzacz płyt kompaktowych, nieskapujące farby, światła hamowania w samochodzie, współczesna telekomunikacja światłowodowa, tomografia mózgu wykorzystująca magnetyczny rezonans jądrowy oraz skaningowy mikroskop tunelowy.

Czy osiągnięcia nanofizyki mogą stwarzać perspektywę wprowadzenia podstawowych pojęć z tej dziedziny do programu nauczania fizyki w szkole średniej?

Jeżeli zauważymy, że

- Świat kwantów jest konieczny,
- Nie ma żadnej, bardziej niż fizyka właśnie, podstawowej nauki przyrodoznawczej, na którą dałoby się rzucić uwierający ciężar pytań ostatecznych.
- I jeżeli także odwołamy się dodatkowo do „treści nauczania”

odpowiedź na wyżej postawione pytanie powinna być twierdząca.

Należy zapoznać uczniów z podstawowymi pojęciami mechaniki kwantowej dla lepszego zrozumienia zasad jakimi rządzi się mikroświat.

Wprowadzając nowe pojęcia do programu nauczania należy przeprowadzić analizę treści materiału przeznaczonego do nauczania zarówno pod względem merytorycznym jak i

dydaktycznym. Powinna ona doprowadzić do strukturalnego układu treści, to znaczy do takiego, który by tworzył „system pojęć powiązanych siatką zależności logicznych i matematycznych, wewnętrznie niesprzeczny, dynamiczny (a więc nie zamknięty), ale nie pozbawiony inwariantów, który jest jednocześnie modelem rzeczywistości fizycznej” (M. Sawicki, Struktury logiczne w nauczaniu fizyki).

Wyróżnia się następujące etapy analizy treści materiału przeznaczonego do realizacji:

1. Sporządzenie dokładnego rejestru celów przewidzianych do osiągnięcia przez uczniów po zrealizowaniu określonej partii materiału. Te cele należy wyrazić w kategoriach konkretnych wiadomości, umiejętności i nawyków;
2. Opracowanie listy twierdzeń podstawowych (rejestru informacji podstawowych), które uczeń ma sobie przyswoić – pomocna może być ona później także, przy opracowaniu testu wiadomości;
3. Opracowanie macierzy dydaktycznej, dzięki której można przeprowadzić analizę związków merytorycznych i logicznych zachodzących między daną regułą a pozostałymi regułami.

Poniżej zilustrowano dwa pierwsze etapy z zakresu nanotechnologii, której elementy można wprowadzić do programu nauczania fizyki w szkole średniej.

Ad.1)

a) rejestr wiadomości, które uczniowie winni przyswoić i zapamiętać:

- fakt, że Wszechświat jest nieredukowalnie przypadkowy;
- hipotezę o zmiennych ukrytych, które określałyby zachowanie się cząstek kwantowych;
- prawdopodobieństwo zdarzenia obliczamy posługując się amplitudą prawdopodobieństwa;
- zagadnienie efektu tunelowego;
- co kryje się pod pojęciem struktur niskowymiarowych (2DEG, 1DEG, 0DEG);
- podanie przykładów kwantowych obwodów (bramka z przerwą);

b) rejestr umiejętności:

- udowodnienie, że nie istnieją zmienne ukryte;
- wyjaśnienie w jaki sposób można manipulować amplitudą prawdopodobieństwa, oraz na czym polega zasada Feynmana;
- interpretowanie wzoru na energię cząstki w studni potencjału;

- wyjaśnienie pojęcia poziomów energetycznych;
- omówienie zasady działania STM, ATM;
- opisanie na czym polega i do czego służy laserowe chłodzenie atomów (idea kryształu optycznego i lasera atomowego);

c) rejestr nawyków:

- scharakteryzowanie pojęcia gęstości stanów i narysowanie wykresów $\rho(E)$ dla różnych struktur niskowymiarowych;
- omówienie sposobów wytwarzania struktur niskowymiarowych i ich zastosowań;
- zinterpretowanie wykresów $\rho(E)$ dla poszczególnych struktur niskowymiarowych;
- opisanie kwantowego działania QPC (kwantowego kontaktu punktowego), SET (tranzystora jednoelektronowego);
- porównanie sposobów zmian przewodnictwa w obwodach klasycznych i kwantowych;
- wyjaśnienie idei bramek logicznych i komputera kwantowego.

Ad.2) Zagadnienia podstawowe z jakimi uczeń powinien się zapoznać w czasie nauki o nanotechnologii, :

- Procesy kwantowe podlegają zasadzie kwantowej jaką jest nieredukowalna losowość (nie istnieją zmienne ukryte, które mogłyby określić zachowanie cząstek w mikroświecie)
- Prawdopodobieństwo kwantowego zdarzenia określa amplituda prawdopodobieństwa, która zależy od dwóch liczb rzeczywistych i którą można manipulować.
- Amplituda prawdopodobieństwa zdarzenia, które może zajść na wiele nieodróżnialnych sposobów, podlega zasadzie Feynmana mówiącej o sumowaniu amplitud dla każdego z tych sposobów oddzielnie.
- Istnieją kwantowe ograniczenia energii cząstki znajdującej się w zamkniętym obszarze (np. w metalu) związane z amplitudą prawdopodobieństwa. Doświadczalny dowód to QPC (kwantowy kontakt punktowy), w którym przewodnictwo zmienia się skokowo.
- Stan cząstki o najniższej energii (stan podstawowy) nie odpowiada cząstce nieruchomej.
- W zjawiskach kwantowych mamy do czynienia z efektem tunelowym, polegającym na przenikaniu cząstki przez barierę potencjału.
- Zjawisko tunelowania wykorzystano w nowoczesnych mikroskopach skaningowych (STM, AFM).
- Do zatrzymania i badania atomów służą tzw. pułapki magnetoptyczne. Dzięki temu powstał laser atomowy – spójne źródło materii.

- Do budowania nanoobwodów wykorzystuje się tzw. struktury niskowymiarowe, czyli: półprzewodnik objętościowy (3D), gdzie ruch nośników nie jest ograniczony w żadnym kierunku,
- Studnia kwantowa dwuwymiarowa (2D) – ruch nośników jest ograniczony w jednym wymiarze,
- Drut kwantowy (1D) – ruch nośników ograniczony w dwóch wymiarach,
- Kropka kwantowa (0D) – ruch nośników ograniczony w trzech wymiarach. Ilość możliwych stanów elektronów na jednostkę objętości i jednostkowy przedział energii to gęstość stanów – $g(E)$.
- Elementami kwantowych obwodów są: QPC – kwantowy kontakt punktowy, czyli przewężenie pomiędzy dwoma obszarami 2D, SET – tranzystor jednoelektronowy – urządzenie kontrolujące przepływ prądu porcjami - po jednym elektronie.
- Przykładowymi obwodami są: bramka z przerwą - 2D zamknięty pomiędzy dwoma różnymi materiałami półprzewodnikowymi, a na powierzchni osadzone metaliczne elektrody, do których przyłożone jest napięcie; obwód Taylora – 6 bramek powierzchniowych, które można indywidualnie kontrolować wytwarzając zubożone obszary w znajdującym się pod nimi 2DEG.
- Układ, który realizuje pewną operację logiczną nazywamy bramką (np. bramka NOT lub AND), a do jej opisu stosuje się prosty diagram.
- Do konstruowania komputera kwantowego wykorzystuje się podstawowe elementy – bramki. Te elementy łączy się w większe jednostki funkcjonalne, które są z kolei składnikami jeszcze większych jednostek itd. aż do zbudowania całego komputera.

Należy dodać, że przedstawiona wyżej analiza materiału przeznaczonego do nauczania będzie podstawą dla uświadomienia celów jakie uczniowie mają osiągnąć oraz podstawowych pojęć, które nauczyciel musi wyeksponować w czasie prowadzenia lekcji i ułożenia właściwej pod względem merytorycznym i logicznym kolejności zdobywanej przez uczniów wiedzy.

LITERATURA

- [1] Gerard J. Milburn: *Quantum Technology*, Allen& Unwin, Sidney, 1996
- [2] Gerard J. Milburn, *The Feynman Processor: Quantum Entanglement and the Computing Revolution*, Perseus Books, Sidney, 1998
- [3] Richard P. Feynman, Robert B. Leighton, Matthew Sands, *The Feynman Lectures on Physics. Vol. 3 Quantum mechanics*, Narosa Publishing House, 1965.
- [4] Jerzy Zachorowski, Wojciech Gawlik, *Bose-Einstein Condensation in Atomic Gases*, Acta Phys. Polon. A 102, 577-596 (2002)
- [5] H. Rohrer, *Limits and Possibilities of Miniaturization*, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.32 (1993), P.1