

Kvantové tunelování

Jakub Stündl

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

jakub.stundl@seznam.cz

Abstrakt

Tato práce se zabývá rozdíly mezi klasickou a kvantovou fyzikou. Jedním z rozdílů je tunelový jev. Tento jev je podle klasické fyziky zakázaný. V kvantovém světě nemůžeme říct o částici, že má polohu v bodě a stejně tak potenciálové bariery již nejsou nepřekonatelné.

1 Úvod

Klasická fyzika popisuje stav systému v daném čase pomocí sady hodnot vybraných měřitelných veličin. Pomocí pohybové rovnice pro systém můžeme určit stav systému v jiných časech. Pojem stavu je v kvantové fyzice složitější. Při měření hodnot můžeme dostat různé výsledky s různou pravděpodobností.

2 Klasická a kvantová teorie z hlediska kvantového tunelování

Klasické částice podléhají Newtonovým zákonům. Částice se nedostane výše, než jí její celková mechanická energie dovolí. Oblast za potenciálovým valem je pro ni energeticky zakázaná. U stejného modelu pomyslné kvantové částice by tomu bylo jinak. Jedním z nepřekvapivějších důsledků kvantové mechaniky bylo zjištění, že kvantové objekty mohou tunelovat skrz bariéry v potenciální energii, jimiž klasické částice prostupovat nesmí. Vysvětlení podle Heisenbergova principu neurčitosti $\Delta E = \frac{h}{\Delta t}$, tedy částice si vypůjčí energii, pokud ji vrátí během časového intervalu $\Delta t = \frac{h}{\Delta E}$. Nebo si můžeme částici představit jako vlnu, která projde bariérou. Ve vlnové funkci existuje pravděpodobnost, že částice projde. Dalším rysem kvantové mechaniky je neurčitost. U klasických objektů se nikdy s ničím neobvyklým nesetkáme, objekt zaujímá místo v čase. Poloha kvantové částice je popsána vlnovou funkcí a je tedy možnost si ji představit jako jistý obláček pravděpodobnosti. Rozdíl pozorujeme například při odrazu objektu. U normálního míčku je zřejmé, že se odrazí zpět a neprotuneluje se. U kvantové částice, když se přiblíží k překážce, existuje jistá pravděpodobnost, že překážkou projde.

3 Klasicky nevysvětlitelné jevy

Ernst Rutherford kromě toho, že objevil jádro, uskutečnil také řadu jiných experimentů, při nichž ostřeloval atomy alfa částicemi. Mimo jiné zjistil, že částice s energií kolem 9 MeV byly silně odpuzovány nábojem jádra. Jinými slovy, má-li se částice dostat ven z jádra, podle všeho je zapotřebí mnohem větší energie, než ony 4 MeV, které má alfa částice vyzářená při alfa rozpadu. Částice se protuneluje touto energetickou bariérou, kterou tvoří silná jaderná interakce, tedy jaderná síla, která drží jádro pohromadě. Zprvu nebyla tato myšlenka přijímána, protože to byl jeden z prvních případů aplikace tunelování na atomové jádro. Opačná situace nastává v jádru Slunce, kde podle výpočtů není dostatek energie, aby částice překonaly odpudivé elektrické síly. Pakliže se ptáme, jaktože Slunce tolik září, měli bychom se spíše ptát, jaktože září tak málo. A odpověď je opět v kvantovém tunelování, kde se částice prosmýkne bariérou.

4 Skenovací tunelovací mikroskop

Myšlenka, na které je založeno toto zařízení, přímo plyne z důsledků kvantové mechaniky, vakuové tunelování. Tato teorie nám říká, že existuje malá, však nenulová pravděpodobnost, že nalezneme elektrony z pevné látky těsně nad povrchem daného kovu. Kvantová mechanika říká, že pokud dostatečně blízko umístíme ostrou, jehle podobnou sondu, a zajistíme napětí mezi sondou a povrchem, bude dokonce i ve vakuu procházet tunelový proud. Pravděpodobnost, že k tomu dojde by měla podle výpočtů velmi rychle klesat se vzdáleností. Protože vlnová funkce velmi rychle klesá, bude procházející proud nesmírně citlivý a vzdálenost. Pokud ovládáme sondu velice přesně, můžeme velikost tohoto proudu použít k měření jednotlivých objektů a povrchu. Další krok bylo vytvořit přístroj, který by systematicky prohledával povrch kovu a vytvořil tak vrstevnicové mapy celého povrchu. Binning a Rohrer, vynálezci zařízení, si také všimli, že čas od času se jim hrot jehly atomy zvedl. Tuto vlastnost dále rozvinula skupina vědců z IBM, kdy vytvořili atomární verzi loga jejich společnosti. Začali čistým niklovým povrchem uloženým ve vysokém vakuu, do něhož zavedli malé množství xenonu. Systém ochladili na 4 K nad absolutní nulu, aby byl minimalizován veškerý tepelný pohyb. Poté hledali atomy xenonu a když nějaký našli, tak ho pomocí sondy na hrotu odtáhli do správné polohy v logu.

5 Závěr

Porozuměním pokročilých fyzikálních teorií, jako je kvantová mechanika, se nám otvírá nespočet dalších možností.

Reference

- [1] Tony Hey, Patrick Walters, *Nový kvantový vesmír*, Argo, Praha 2005
- [2] Kolektiv autorů, *Metody analýzy povrchů* (ed. Frank, L., Král, J.). Academia, Praha 2002)
<http://cs.wikipedia.org/wiki/STM>
- [3] ComputerPysicsLab, *Quantum tunneling*, <http://www.youtube.com/>