

# KVANTOVÁ FYZIKA

Základy pre každého



Mgr. Martin Caban



©Martin Caban 2017  
ISBN 978-80-972721-3-5

# Pod'akovanie

Týmto chcem veľmi pekne poďakovať autorovi aplikácie QUANTUM pre Android pánovi Štěpánovi Brychtovi, ktorý je autorom pôvodného českého textu tejto aplikácie. Text som na pár miestach upravil a dotvoril, prípadne som pridal, čo som považoval za hodné spomenutia. Bez jeho súhlasu by nevznikla táto kniha, preto mu chcem týmto poďakovať.

Martin Caban, v Bratislave 2017

# Venovanie autora

Knihu venujem 23. cyklu pomaturitného štúdia astronómie v Hurbanove. A týmto chcem poďakovať:

Lorencovi a Pastorekovi za ich humor a životný postoj, prís-nemu Kováčovi za to, že si vždy našiel pár bodov, ktoré šlo strh-núť, Dorotovičovi za vyčerpávajúce prednášky, Kulčárovi za nad-šenie z meteorológie a štatistiky, ktoré sme bohužiaľ neopäto-vali, Matematikárke za lacné jednotky a dvojky, Plauchovej za to, že čo necituješ a neparafrázuješ, ako by nebolo tvoje, Gá-lisovi za entuziastické prednášky a samozrejme všetkým zamest-nancom Slovenskej ústrednej hviezdárne.

Milade za to, že ma vždy odviezla a párkrát skoro vyhodila z auta, Saši, ktorá bola vždy vecná, Danici, ktorá sa smiala na svojich vtipoch aj bez nás, Barbare, ktorá nás psychicky pripra-vila na maturitu, Janovi, ktorý všetko vedel, Ďurimu, s ktorým bola vždy sranda a ktorý Gálisovi neverí dodnes ani slovo o Veľ-kom tresku, Edovi, ktorý mi v mojej prvej knihe vytkol, že „Mliečna dráha“ je čechizmus, Radovi, ktorý mi dodnes dlží no-tes s poznámkami, Tomášovi, ktorý nechce Bratislavu ani vidieť, Matúšovi, ktorý všetko bral s humorom, hlavne moje narážky na jeho mamu, Ferdinandovi, ktorý „chodí len v sobotu“, Paľovi a Mariane, ktorí nás zásobovali tajnými informáciami a takisto ako my, tomu štúdiu veľa nedali...

Martin Caban :)

# 1. Počiatky kvantovej mechaniky

## Úvod

Na prvý pohľad je pohyb niečo nezaujímavé a triviálne. Ľudia skúmajú pohyb tisíce rokov, ale prvý krok k jeho hlbšiemu porozumeniu predstavujú tri pohybové zákony publikované Isaacom Newtonom v roku 1687 v diele Principia, ktoré tvoria základ klasickej mechaniky. Newtonove pohybové zákony boli vo svojej dobe dobre revolučné a Newton je stále mnohými ľuďmi považovaný za najlepšieho fyzika v dejinách. Ani Newtonove zákony nie sú dokonalé a v roku 1905 prišla na scénu špeciálna teória relativity sformulovaná svetoznáмым fyzikom Albertom Einsteinom, ktorá popisuje pohyb telies s vysokou rýchlosťou. V rovnakej dobe však došlo k zrodu ešte jednej teórie. Teória, ktorá celkom zmenila náš pohľad na realitu. V roku 1900 bol položený základný kameň kvantovej mechaniky. Kvantová mechanika sa zaoberá objektami z mikrosveta, ako sú častice a atómy. Tieto objekty sa chovajú odlišne od objektov z makrosveta, s ktorými bežne prichádzame do kontaktu, a preto nemôžu byť popísané klasickou fyzikou.

# Kvantovanie energie

„Vo fyzike už nie je nič nové na objavenie, teraz už len zostáva stále presnejšie a presnejšie meranie.“

Túto vetu vyslovil na prelome 19. a 20. storočia slávny škótsky fyzik William Thomson a mnoho ďalších vtedajších fyzikov s ním nepochybne súhlasilo. Klasické fyzikálne teórie boli mnohokrát preverené a zdalo sa, že opisujú realitu obstojne. Až neskôr, keď klasické fyzikálne teórie začali zlyhávať, sa ukázalo, ako veľmi sa Thomson mýlil. Chronologicky prvým javom, ktorého opísanie pomocou klasickej fyziky zlyhalo, je takzvané žiarenie absolútne čierneho telesa.

Pre pochopenie tohto javu treba vedieť, že všetky hmotné telesá vo vesmíre vyžarujú energiu v podobe elektromagnetického žiarenia (svetla). Tomuto procesu sa hovorí sálanie. Množstvo takto emitovanej (vyžiarenej) energie závisí od niekoľkých faktorov, napríklad od teploty či farby povrchu telesa. Čím vyššia je teplota telesa, tým je vyššia priemerná frekvencia svetla ním vyžiareného (a tým aj energie, pretože energia svetla je priamo úmerná jeho frekvencii). Telesá pri izbovej teplote vyžarujú prevažne svetlo z infračervenej oblasti, ktoré ale nemôžeme vnímať zrakom. Viditeľné svetlo vyžarujú napríklad kovy pri tavení, keď ich teplota dosahuje niekoľko stoviek stupňov Celsia.

Fyzici 19. storočia sa snažili zistiť zloženie spektra vyžiareného telesom v závislosti od jeho teploty. Na svoje výpočty však použili zjednodušený model telesa, tzv. absolútne čierne teleso. Absolútne čierne teleso je hypotetické teleso, ktoré musí spĺňať tieto dve podmienky:

1. Pohlcuje všetko elektromagnetické žiarenie naň dopadajúce. (Ostatné telesá pohlcujú iba časť elektromagnetického žiarenia a zvyšné svetlo odrážajú.)

2. So svojím okolím zostáva v termodynamickej rovnováhe, t. j. má rovnakú teplotu ako ostatné telesá uzavretej sústavy, v ktorej sa nachádza. V rámci tejto sústavy teda neprebíha tepelná výmena.

Tieto podmienky zaistujú, že spektrum vyžiarené absolútne čiernym telesom je určené iba teplotou telesa. Keď sa však fyzici pokúsili vypočítať zloženie tohto spektra pomocou klasickej fyziky, dostali výsledok, ktorý sa nezhodoval s realitou. Podľa klasickej fyziky by absolútne čierne teleso vyžiarovalo nekonečné množstvo vysokofrekvenčného žiarenia. To má však katastrofálne dôsledky. Klasická fyzika týmto v podstate hovorí, že každé teleso vo vesmíre by malo v zlomku sekundy vyžiariť všetku svoju energiu v podobe svetla z ultrafialového spektra, čo samozrejme v skutočnosti nie je pozorované. Tu sa prvýkrát ukázala nedokonalosť klasickej fyziky. Toto obrovské zlyhanie si vyslúžilo prezývku ultrafialová katastrofa.

Tento problém vyriešil v roku 1900 nemecký fyzik Max Planck. Prišiel s nápadom, že telesá nevyžarujú elektromagnetické žiarenie spojite, ale po tzv. kvantách. Veľkosť (energie) týchto energetických kvánt je daná Planckovou konštantou  $h$  vynásobenou frekvenciou žiarenia:

$$E = h \cdot f$$

$$(h \approx 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js})$$

Elektromagnetickú vlnu si v podstate môžeme predstaviť ako súbor veľmi malých energetických „balíčkov“ (kvánt), ktorých celková energia určuje energiu tejto vlny. Pre každú frekvenciu

má energetické kvantum špecifickú veľkosť. Z rovnice vyššie je vidieť, že žiarenie s vyššími frekvenciami sa skladá z väčších kvánt než žiarenie s nižšími frekvenciami.

Kvantovanie energie pre kvantovú mechaniku predstavuje fundamentálne pravidlo, ako sa dozvieme v ďalších kapitolách.