

Meno a priezvisko:

Škola:

Predmet:

Školský rok/blok:

Skupina:

Trieda:

Dátum:

Bilingválne gymnázium C. S. Lewisa, Beňadická 38, Bratislava

Fyzika

/

Teória

Fyzika mikrosveta

7 Štruktúra mikrosveta

1.7.0 Mikrosvet

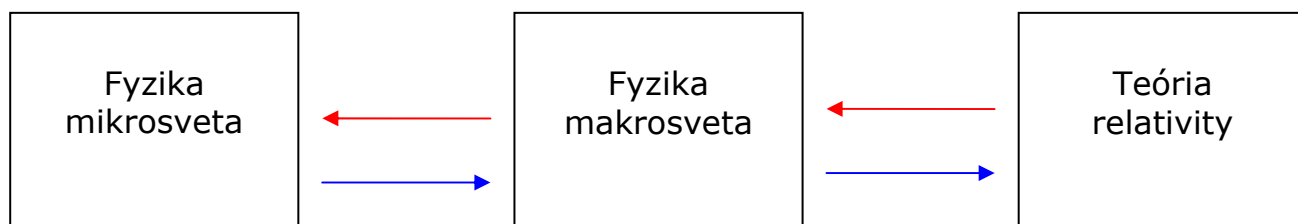
Svet okolo nás vnímame svojimi zmyslami, vysvetľujeme ho svojim rozumom, nechávame ho pôsobiť na svoje city a rovnako ho následne ovplyvňujeme svojou činnosťou. Je to svet každodennej skúsenosti, bežných rozmerov, časových intervalov, rýchlostí, energií, výkonov, ...

Všetci si vieme bežne predstaviť teleso (alebo vzdialenosť) dĺžky od milimetra cez centimetre a metre až po kilometre. Rovnako si vieme predstaviť časové deje, ktoré trvajú od sekúnd cez minúty a hodiny, až po dni a roky. Bežne sa pohybujeme rýchlosťami rádovo jednotiek až stoviek (maximálne tisícok – napríklad v lietadle, rakete) metrov za sekundu.

Veľmi ťažko si ale predstavujeme **rozmary** porovnateľné s rozmermi molekúl alebo atómov na jednej strane alebo rozmary porovnateľné s rozmermi galaxií na strane druhej. Ťažko si predstavíme **časové intervaly** rádovo v milisekundách (záblesky niektorých vesmírnych objektov) alebo rádovo v miliardách rokov (doba existencie vesmíru). Ťažko si je predstaviť **pohyb** objektov, ktoré sa pohybujú rýchlosťou veľkosti niekoľkých desiatok percent rýchlosti svetla.

Fyzika mikrosveta sa zaoberá skúmaním práve týchto extrémov.

Napriek tomu, že sa rozsah našich (ľudských a technických) možností zväčšuje, stále žijeme a pohybujeme sa vo svete, o ktorom máme pomerne dobré predstavy. Jedná sa o **makrosvet**, pre ktorý platia zákony **klasickej fyziky**. Schématicky sa dá vzťah klasickej fyziky (fyziky makrosveta), fyziky mikrosveta a teórie relativity zobrazíť obrázkom



Vedecké poznanie ale preniká stále ďalej, nielen do ďalekých hĺbín vesmíru, ale i hlbšie do mikrosveta, za hranice možností nášho pozorovania a našich zmyslov. Jedná sa o deje v oblastiach s typickými rozmermi od 10^{-18} do 10^{-9} metra, ktoré sa odohrávajú v krátkych časových intervaloch napríklad až 10^{-24} s.

Ak by sme dokázali pozorovať tieto deje, aj tak by sme ich nemohli opísať na základe našich každodenných skúseností – na základe klasickej fyziky. Stretli by sme sa s neznámymi a prekvapujúcimi javmi, ktoré zdanlivo odporujú „zdravému rozumu“.

Mikrosvet teda nie je náš zmenšený svet, ale je to svet docela iný, neobvyklý, a nie je možné ho opísať názornými modelmi makrosveta. Jeho zákonitosti opisuje kvantová fyzika, ktorej vznik možno datovať do dvadsiatych rokov 20. storočia.

Napriek tomu, že i vo fyzike mikrosveta sa využíva rad analógií, modelov, zjednodušení, je nutné si uvedomiť, že fyzikálny opis je v niektorých prípadoch založený na zákonoch a princípoch, ktoré analógiu v makrosvete nemajú (princíp nerozlíšiteľnosti častíc, Heisenbergov princíp neurčitosti, ...).

Procesy v mikrosvete sú ale dôležité pre fungovanie makrosveta:

1. vznikajú v ňom biologické štruktúry a chemické zlúčeniny nutné pre život,
2. vzniká tu žiarenie, pomocou ktorého je možné dokonca pochopiť vznik a vývoj vesmíru,
3. na základe kvantovej fyziky, jadrovej fyziky a fyziky mikročastíc môžeme vytvárať nové druhy látok (lieky, oleje, ...), navrhovať tranzistory, LASERY, jadrové reaktory.

Mikrosvet síce nie je dostupný našim zmyslom priamo a je odlišný od nášho makrosveta, ale i napriek tomu je s ním úzko spätý a je nevyhnutné poznať jeho zákonitosti.

1.7.1 Členenie fyzikálnych objektov podľa veľkosti

Fyzikálne objekty možno deliť podľa veľkosti na tri kategórie:

- **makrofyzikálne objekty** alebo **makroobjekty** sú objekty priamo pozorovateľné – prístupné priamemu pozorovaniu okom, optickým mikroskopom alebo ďalekohľadom priemernej veľkosti. Patria medzi ne všetky pozemské telesá, planéty i hviezdy. K makroobjektom patria tiež objekty, ktoré nie je možné priamo pozorovať a skúmame iba ich makrofyzikálne (napríklad silové) prejavy (gravitačné pole, elektromagnetické pole). K makroobjektom patria aj makrosystémy – objekty priamo pozorovateľné a zložené z obrovského množstva molekúl, atómov, iónov alebo elektrónov, napríklad plyny, kvapaliny, plazma.
- **mikrofyzikálne objekty** alebo **mikroobjekty** tvoriace **mikrosvet** sú sčasti pozorovateľné pomocou najmodernejších elektrónových alebo iónových mikroskopov, sčasti možno ich existenciu dokázať experimentálnymi metódami založenými na fyzikálnych teóriách. K mikroobjektom patria predovšetkým molekuly, atómy, ióny, atómové jadrá a elementárne častice.
- **megafyzikálne objekty** sú galaxie, skupiny galaxií a vesmír ako celok.

1.7.2 Hranice klasickej fyziky

Klasická fyzika zahŕňajúca mechaniku, termodynamiku, molekulovú fyziku a elektrodynamiku dokázala v 19. storočí vysvetliť takmer všetky pozorované javy. Mala ale svoje hranice a nedokázala nájsť odpovede na niektoré otázky:

- Ako vznikajú spektrá jednotlivých prvkov ?
- Prečo sú prvky zoradené tak, ako sa objavujú v periodickej tabuľke prvkov ?
- Čo je podstatou chemickej väzieb umožňujúcich spájanie atómov do molekúl ?
- Prečo svietia hviezdy ?
- Prečo niektoré látky vedú elektrický prúd a iné nie ?

Okrem toho sa objavili ďalšie nevysvetliteľné javy. Jedným z nich bolo žiarenie čierneho telesa. Aby sa dalo teoreticky vysvetliť, musela byť prijatá kvantová hypotéza odporujúca klasickej fyzike, ktorá predpokladala, že energia elektromagnetického žiarenia je vyžarovaná alebo pohlcovaná nespoito – v kvantách. Ďalej boli zistené ďalšie javy nevysvetliteľné z pozícií klasickej fyziky, napríklad fotoelektrický alebo Comptonov jav.

Makrofyzika skúma fyzikálne javy na úrovni makroobjektov, ich obecné vlastnosti a interakcie medzi nimi. K makrofyzike patrí celá klasická fyzika s výnimkou molekulovej fyziky (kinetickej teórie látok).

Fyzika mikrosвета zahŕňa predovšetkým

- molekulovú fyziku,
- atómovú fyziku, resp. fyziku elektrónového obalu,
- jadrovú fyziku,
- fyziku elementárnych častíc, resp. časticovú fyziku,
- fyziku pevných látok.

Teoretickým základom všetkých odborov fyziky mikrosвета je **kvantová fyzika**.

Fyzika megasвета zahŕňa predovšetkým astrofyziku a relativistickú kozmológiu, ktorá sa zaoberá stavom a vývojom vesmíru.

Odpovede na nezodpovedané otázky klasickej fyziky dala až **kvantová fyzika**, ktorá sa zaoberá mikrofyzikálnymi objektami a jej zákonitosti sú odlišné od zákonov makrosвета.

Jednotlivé odbory fyziky mikrosвета sa členia podľa objektov, ktoré skúmajú:

- **atómová fyzika** (fyzika elektrónového obalu) opisuje stavbu atómov, vysvetľuje spektrá prvkov, emisiu a absorpciu svetla, zoradenie prvkov v periodickej tabuľke a chemickej väzby.
- **jadrová fyzika** sa zaoberá stavbou atómových jadier, jadrovými reakciami, rádioaktivitou (emisiou α , β a γ a atómovými jadrami).
- **fyzika elementárnych častíc** študuje stavbu a správanie sa (t.j. reakcie) mikročastíc – najmenších mikroobjektov známych vo fyzike.
- **fyzika pevných látok** sa zaoberá štruktúrou a vlastnosťami pevných látok, ktoré nemožno vysvetliť zákonitostami klasickej fyziky, ale iba pomocou kvantovej fyziky.

1.7.3 Svet molekúl a atómov

Predmety okolo nás nezývame vo fyzike telesá a tieto sú tvorené z látok rôznych **skupenstiev – pevného, kvapalného, plynného skupenstva a plazmy**. Telesá sa nám javia ako spojité, nepozorujeme žiadnu vnútornú štruktúru a je možné ich deliť na menšie a ešte menšie časti.

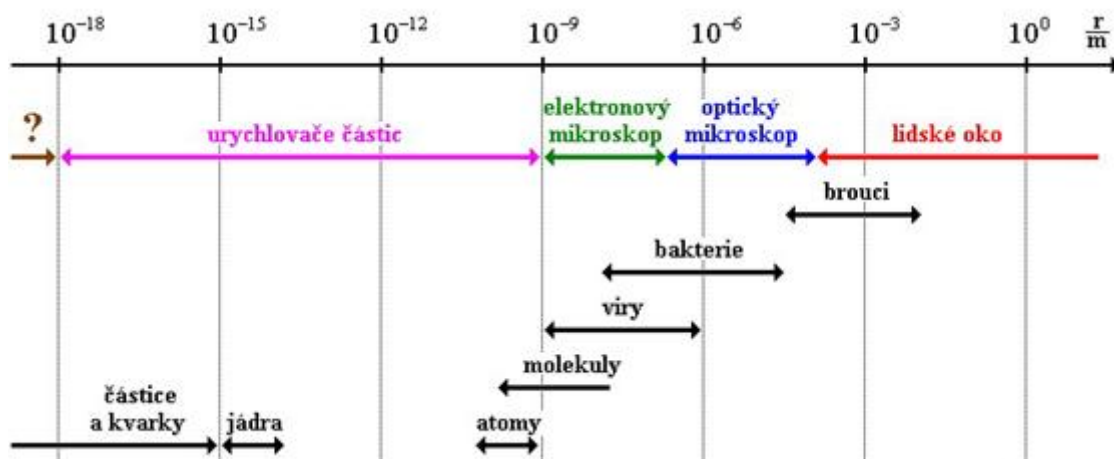
Príklady telies: kryštál, kovový drôt, voda v nádrži, neón v žiarivke, plameň sviečky,

Uvedené štyri skupenstvá veľmi dobre zodpovedajú štyrom živlom antických mysliteľov – zem, voda, vzduch a oheň.

Pri spomínanom delení telies dospejeme k istej technickej hranici. Naše oko ešte rozlíši telieska pod zorným uhlom $1'$, t.j. telieska o veľkosti $0,07\text{mm}$ pozorované z bežnej zrakovej vzdialenosti 25cm . Koncom 16. storočia bol v Holandsku vynájdený **mikroskop**, ktorý dnes umožňuje dosiahnuť až 2-tisíc násobné zväčšenie. Jeho rozlišovacia schopnosť je silno **obmedzená difrakciou použitého elektromagnetického žiarenia**, takže mikroskopom rozoznáme predmety s veľkosťou rádovo $\frac{\lambda}{2} \approx 2 \cdot 10^{-7}\text{m} = 200\text{nm}$, kde λ je vlnová dĺžka viditeľnej časti spektra. Mikroskop teda odhalí svet baktérií, ale svet atómov a molekúl zotáva ukrytý.

Kvantová fyzika zistila, že i častice (napríklad elektróny alebo ióny) prejavujú vlnové vlastnosti. To umožnilo konštrukciu elektrónového mikroskopu i iónového mikroskopu, v ktorých je svetelný lúč nahradený sväzkom urýchlených častíc. Vďaka tomu tieto mikroskopy dosahujú 100 až 200-tisíc násobného zväčšenia. Elektrónové mikroskopy umožnili pozorovať vírusy. Pomocou riadkovacieho tunelového mikroskopu sa podarilo dosiahnuť rozlíšenia $0,2\text{nm}$, pozorovať jednotlivé atómy v kryštáloch a dokonca s nimi manipulovať. Tak bolo možné overiť rádovo veľkosť atómov.

Schématicky je tento stav poznania zobrazený na nasledovnom obrázku:



V hornej časti obrázku sú uvedené rozmery, pod nimi prístroj, ktorý je schopný objekty s týmito rozmermi dobre rozlíšiť a príklady objektov s danými rozmermi.

Prvé zmienky o štruktúre hmoty sa objavujú u gréckych filozofov, ktorí svojim učením vytvorili nový filozofický smer – atomizmus: Leukippos z Milétu, Demokritos z Abdéry a Epikuros zo Samu.

Atomisti vychádzali z predpokladu, že deliť látku nie je možné do nekonečna a že musí existovať konečné, nepatrné, okom neviditeľné, kompaktné, tvrdé a ďalej nedeliteľné čiastočky – atómy (atomos = nedeliteľný), ktoré sa nachádzajú v prázdnom priestore. Obe tieto zložky sú večné a prechod medzi nimi nie je možný. Všetky prírodné, psychické a spoločenské diania spočívajú v spájaní, zrážaní, postrkávaní a rozpojovaní atómov, z ktorých sú zložené, i na ich usporiadaní. Na antický atomizmus nadviazali niektorí fyzici a filozofi novoveku, ale pretože neexistoval žiadny experimentálny dôkaz existencie atómov, šlo o filozofickú špekuláciu.

Na učení atomistov neskôr nadviazal rímsky básnik Lucretius Cara (97 až 55 pred. n.l.), ktorý sústredil najúplnejší výklad starovekého atomizmu vo svojom diele De rerum natura (O prírode).

Temer dve tisícročia zostal Lucretiov epos o stavbe hmoty neprekonaný. Proti atómom ako pevným časticiam, ktoré sa pri svojom pohybe nikdy neopotrebnú, nenamietal nič ani Isaac Newton. Až na prelome 18. a 19. storočia bol antický model spresnený anglickým fyzikom a chemikom Johnom Daltonom (1766-1844) a **atomizmus chemický**. Dalton zisťuje, že sa chemické prvky nezliučujú v ľubovoľných množstvách, ale len v určitých stálych hmotnostných pomeroch. Je to možné vysvetliť tak, že sa atómy jednotlivých prvkov spájajú do molekúl ako najmenšie častice chemických zlúčenín.

Napríklad molekula vody H_2O vznikne zlúčením dvoch atómov vodíka a jedného atómu kyslíka. Z 51 atómov vodíka a 30 atómov kyslíka vznikne len 25 molekúl vody. Vždy musí byť zachovaný pomer atómov vodíka a kyslíka 2:1.

Makroskopické telesá nie sú spojené, ale majú pretržitú štruktúru. Skladajú sa z molekúl, ako najmenších častíc chemických zlúčenín. Molekuly sa skladajú z atómov ako najmenších častíc chemických prvkov.

Štúdiom chemických reakcií je možné staoviť relatívne atómové vlastnosti prvkov, relatívne molekulové hmotnosti molekúl. Vzťahujeme ich k atómovej hmotnostnej konštante (mass unit).

Kľúč do sveta atómov a molekúl poskytuje **Avogadrova konštanta**. Na jej základe je možné vypočítať rozmery a hmotnosti atómov a molekúl, elektrický náboj iónov, energiu uvoľňovanú pri chemických reakciách medzi jednotlivými atómami a tým aj veľkosť síl, ktoré držia atómy v molekulách. Tiež umožňuje vytvoriť si predstavu o obrovskom počte častíc, z ktorých sa látka skladá a tým i o merítkach mikrosveta.

Pre získanie veľmi hrubej predstavy, koľko častíc makroskopické telesá obsahujú, možno uviesť niekoľko príkladov:

- ak sa bude z kvapky vody s objemom 1mm^3 odparovať každú sekundu milión molekúl, bude sa celá kvapla odparovať viac ako milión rokov,
- ak zoradíme všetky atómy obsiahnuté v 1kg železa tesne vedľa seba do rady, bude dĺžka tejto rady bilión kilometrov,
- ak vlejeme jeden liter označených molekúl vody do svetového oceánu a dôkladne zamiešame, následne nájdeme v každom litri oceánskej vody 30 miliard pôvodných molekúl (objem vody v oceánoch sa odhaduje 10^{15}l).

1.7.4 Vnútro atómu

V druhej polovici 19. storočia prebiehalo intenzívne štúdium elektrických a magnetických javov, pretože podstata elektrického prúdu nebola doposiaľ objavená. V roku 1859 objavil nemecký fyzik Julius Plücker katódové lúče, ktoré vznikajú vo výbojovej trubici za silno zníženého tlaku. Pokusmi bolo zistené, že tieto lúče vyletujú z katódy, ionizujú plyny, vyvolávajú svetielkovanie a zahrievanie látky, roztáčajú malý ľahký mlynček, prenikajú tenkým hliníkovým plieskom a odchyľujú sa v elektrickom a magnetickom poli ako záporne nabité častice. Pri dopade na anódu vyvolávajú rentgenové žiarenie, ako to zistil v roku 1895 nemecký fyzik Wilhelm Conrad Röntgen (nositeľ prvej Nobelovej ceny za fyziku).

Na základe týchto a podobných pokusov vyslovil v roku 1897 vo svojej prednáške anglický fyzik Joseph John Thomson hypotézu o elektróne. Dokázal, že katódové lúče sú prúdom rýchlo letiacich záporne nabitých častíc – elektrónov („atómov elektriny“). Tieto elektróny sa musia uvoľňovať z atómov tvoriacich katódu.

Neskôr boli zistené ďalšie zdroje elektrónov – uvoľňujú sa zo záporne nabitej zinkovej doštičky pri dopade svetla (tzv. fotoefekt), z rozžhaveného kovového drátiku, pri rádioaktívnom rozpade, ...

Na základe odchylovania elektrónov v elektrickom a magnetickom poli určil Thomson merný **náboj elektrónu**, t.j. pomer elektrického náboja elektrónu a jeho hmotnosti $\frac{q_e}{m_e}$. Prvá

elementárna častica má teda náboj $q_e = -e = -1,602 \cdot 10^{-19}\text{C}$ a hmotnosť $m_e = 9,110 \cdot 10^{-31}\text{kg}$.

Podobnou témou sa zaoberal tiež americký fyzik Robert Andrews Millikan (1868 - 1953, Nobelova cena za rok 1923) v roku 1910.

Kvantovanie elektrického náboja znamená, že môže nadobúdať len hodnoty, ktoré sú vyjadrené celočíselnými násobkami elementárneho náboja.

V praxi sa môžeme stretnúť s podobným kvantovaním. Ak budeme mať v peňaženke len samé jednéhoeurové mince, nemôžeme si kúpiť v automate, ktorý mince nevracia kávu za 1,50€. Obsah vašej peňaženky je kvantovaný – je vyjadrený celočíselným násobkom počtu jednéhoeurových mincí.

1.7.5 Prvé modely atómov

Poznatok, že elektróny vyletujú z atómov, vyvrátil predstavu a nedeliteľnosti atómov a nastolil otázku ich štruktúry. Predpokladajme, že atóm obsahuje Z elektrónov. Zároveň je atóm ako celok elektricky neutrálny, preto sa v ňom musí vzájomne vyrovnávať záporný náboj elektrónov Z_e a kladný náboj Z_p . Otázkou však zostáva, ako sú kladné a záporné náboje v atóme usporiadané. Thompson predpokladal, že kladný náboj je rozložený rovnomerne v celom objeme atómu a záporne nabité elektróny sú v ňom rozmiestnené náhodne ako hrozienka v oblúbenom anglickom pudingu. Tak vznikol Thomsonov model atómu (pudingový model). Náhodné rozmiestnenie záporne nabitých elektrónov v kladnej hmote atómu je také,

aby sa atóm udržal pohromade a bol stabilný. Pozorovanie nasvedčovalo totiž tomu, že atóm je útvar stabilný.

Z atómov sú zložené všetky telesá (vrátane nás). O ich stabilite nikdo nepochybuje !

Thomsonov model atómu bol teda v súlade s pozorovaním, atóm bol podľa neho stabilný a elektricky neutrálny.

1.7.6 Základné poznatky kvantovej fyziky

Kvantová hypotéza

Planckova kvantová hypotéza: Elektromagnetické vlnenie (teda i svetlo) je vyžarované alebo pohlcované atómami vždy v určitých dávkach, tzv. kvantách – teda žiarenie vyžarované alebo pohlcované atómami nemôže mať ľubovoľnú energiu. Tieto kvantá, ktoré sa od roku 1926 nazývajú **fotóny**, majú energiu $E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$,

kde f je frekvencia a λ vlnová dĺžka elektromagnetického žiarenia, c je rýchlosť svetla vo vákuu, h je Planckova konštanta: $h = 6,626075 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,135670 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$.

Za začiatok vzniku kvantovej fyziky možno považovať objav radiačného zákona, ktorý oznámil 14.12.1900 v Berlíne Max Planck. Dôvodom je Planckova formulácia kvantovej hypotézy umožňujúca teoretické odvodenie radiačného zákona, ktorý vysvetlil vyžarovanie čierneho telesa.

Poznámka: V kvantovej fyzike používame aj vhodnejšiu jednotku energie – elektrónvolt. 1 elektrónvolt eV je energia, ktorú získa elektrón urýchlený potenciálovým rozdielom 1V (napríklad medzi kovovými doštičkami, medzi ktorými je napätie 1V); $1\text{eV} = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Násobné jednotky sú $1\text{keV} = 1000\text{eV}$, $1\text{MeV} = 1000\text{keV}$.