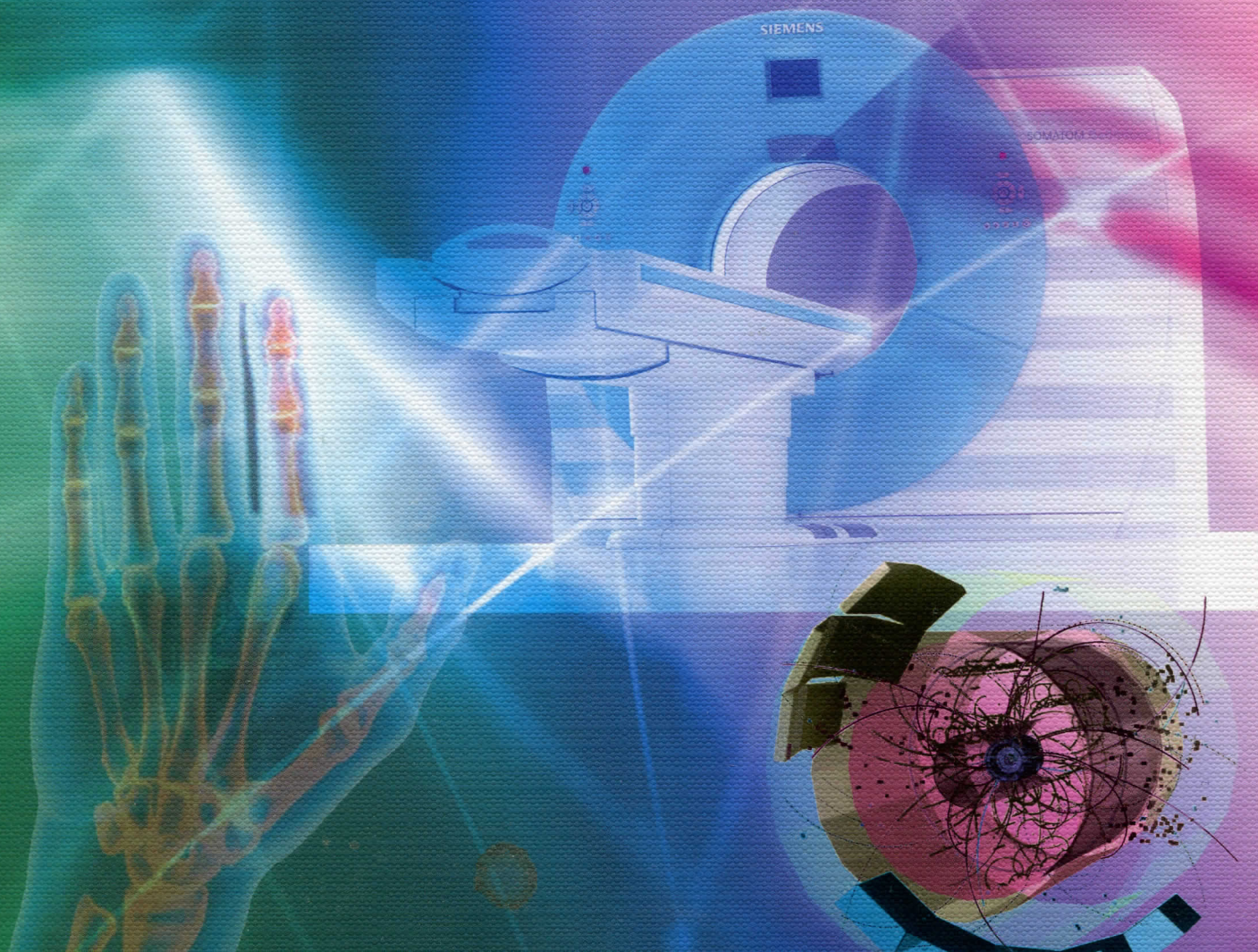


FYZIKA A

**pre 3. ročník gymnázia
a 7. ročník gymnázia
s osemročným štúdiom**



doc. RNDr. Peter Demkanin, PhD.
Mgr. Martina Horváthová

Fyzika

pre 3. ročník gymnázia

a 7. ročník gymnázia s osemročným štúdiom

Autori © doc. RNDr. Peter Demkanin, PhD.
Mgr. Martina Horváthová

Lektori: PaedDr. Soňa Chalupková, PhD.
RNDr. Pavol Kubinec, CSc.

Ilustrácie © autori
Dizajn © štúdio Patria I., spol. s r.o.

Schválilo Ministerstvo školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky pod č. 2012-12951/37450:3-919 zo dňa 24. augusta 2012 ako učebnicu fyziky pre 3. ročník gymnázia a 7. ročník gymnázia s osemročným štúdiom. Schvaľovacia doložka má platnosť 5 rokov.

1. vydanie, 2012

Všetky práva vyhradené.
Toto dielo ani žiadnu jeho časť nemožno reprodukovat' bez súhlasu majiteľa práv.

ISBN 978-80-89431-35-9

Úvod

1. Elektromagnetické vlnenie, svetlo 7

1.1	Spektrum elektromagnetického vlnenia	7
1.2	Lúč svetla, odraz svetla	10
1.3	Lom svetla	13
1.4	Úplný odraz, lom na hranole, spektroskop	16
1.5	Difrakčná mriežka, interferencia svetla	18
1.6	Šošovky	21
1.7	Oko, okuliare, lupa	24
1.8	Fyzikálne veličiny spojené so svetlom	27
1.9	Prenos signálu elektromagnetickým vlnením, digitalizácia signálu	29
1.10	Digitalizácia obrazu	32
1.11	Prenos informácií	33
1.12	Zhrnutie, úlohy	36

2. Atóm 43

2.1	Veľkosť atómu a počty atómov v látke	43
2.2	Kvantovanie elektrického náboja, elektrón	45
2.3	Ako vyzerá atóm	49
2.4	Fotoelektrický jav	51
2.5	Meranie energie elektrónov uvoľnených pri fotoelektrickom jave	54
2.6	Atóm ako zdroj svetla	56
2.7	Röntgenové žiarenie	58

3. Jadro atómu 61

3.1	Zákony zachovania v jadre atómu	61
3.2	Jadrová syntéza a štiepenie jadier	65
3.3	Objav rádioaktívneho žiarenia	68
3.4	Fyzikálne veličiny súvisiace s rádioaktivitou	71
3.5	Účinky ionizujúceho žiarenia a jeho využitie	73
3.6	Zhrnutie, úlohy	77

4. Energia 81

4.1	Formy energie	81
4.2	Elektrický ohrievač, motor a tepelné čerpadlo	85
4.3	Voda a energia	88

5. Niektoré pojmy a vzťahy 91



Učebnica je určená pre študentov, ktorí končia povinný gymnaziálny kurz fyziky. Pripravená je v súlade so Štátnym vzdelávacím programom. Poskytuje však aj materiál a námety na rozšírenie vyučovania a pre samostatnú prácu nad rámec tohto vzdelávacieho programu. Ak sa chystáte maturovať z fyziky a na vysokej škole študovať niektorý z prírodovedných alebo technických odborov, mali by ste použiť učebnicu fyziky určenú na prípravu na takéto štúdium.

V predchádzajúcom štúdiu ste sa na primeranej úrovni naučili fyzikálne myslieť, pozorovať javy okolo seba a zapisovať si výsledky pozorovaní, merať hodnoty niektorých fyzikálnych veličín, naplánovať, zrealizovať a vyhodnotiť experiment. Cieľom vašich učiteľov fyziky bolo tiež pomôcť vám naučiť sa čítať prírodovedné texty a prečítaný text primerane interpretovať. Naučili ste sa používať v komunikácii fyzikálne veličiny a ich jednotky, grafy závislosti jednej fyzikálnej veličiny od inej fyzikálnej veličiny, schémy rôznych aparatúr a zariadení. Naučili ste sa pracovať v tíme a prezentovať výsledky svojej práce. Už dokážete klásť otázky – učiteľom, spolužiakom i prírode samotnej. Naučili ste sa tiež interpretovať odpovede, ktoré ste získali. „Rozumné odpovede sú možné len na rozumné otázky, a preto skôr, ako sa niečo opýtame, mali by sme rozmyšľať nad tým, čo nám ten koho sa pýtame pravdepodobne odpovie, alebo čo nám odpovie príroda sama, ak sa pýtame.“ z rozhovoru s prof. RNDr. Jozefom Masarikom, DrSc., dekanom Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave, 10. augusta 2012.

V tejto učebnici prinášame množstvo informácií, ktoré sa Vám zídu v bežnom živote. Väčšina z týchto informácií je určená na to, aby ste sa s nimi len oboznámili. Keď ich raz budete potrebovať, budete si ich vedieť vyhľadať vo svojom zdroji informácií a mali by ste ich vedieť primeraným spôsobom použiť. Každý človek so všeobecným vzdelaním by mal byť schopný primeraným spôsobom komunikovať s odborníkmi z jednotlivých oblastí prírodných vied a techniky.

Už na prvý pohľad je zrejmé, že nových pojmov je v tejto učebnici oveľa viac, ako v predchádzajúcich ročníkoch. Tak to je práve preto, lebo väčšina z týchto pojmov nie je určená na trvalejšie zapamätanie, ale iba na spracovanie v rámci danej témy, či pri riešení danej úlohy. Odporúčame vám, popri výklade učiteľa a aktivitách realizovaných pod jeho vedením, aj samostatne pracovať s touto učebnicou a s vašimi zdrojmi informácií. Taktiež vám odporúčame spojiť učivo s vedomosťami, ktoré ste získali mimo školy, napríklad z televízie alebo z vašej činnosti v prírodovedných a technických kluboch a krúžkoch.

V tejto učebnici sa vo veľkej miere venujeme oblastiam fyziky, ktoré sa výrazne vyvíjali v dvadsiatom storočí. Viaceré zo zásadných objavov vedy, ktoré ovplyvnili život ľudí, boli ocenené rôznymi cenami. Najznámejšia je Nobelova cena, ktorá sa každoročne udeľuje za zásadný vedecký výskum, technické objavy a za prínos pre ľudstvo. Udeľuje sa každoročne od roku 1901 s výnimkou rokov 2. svetovej vojny. Súčasťou ceny je finančná odmena približne 850 000 EUR. Pôvodným cieľom tejto odmeny bolo umožniť pokračovať vo výskume či práci bez starosti o ich finančné zabezpečenie. Dnes už tento dôvod nie je až tak aktuálny. Oblasti vedy priamo súvisiace s objavmi, ktoré boli ocenené Nobelovou cenou, sme vyznačili poznámkou na okraji textu. Zámerne sme neuvádzali mená vedcov, ktorým bola táto cena udelená.

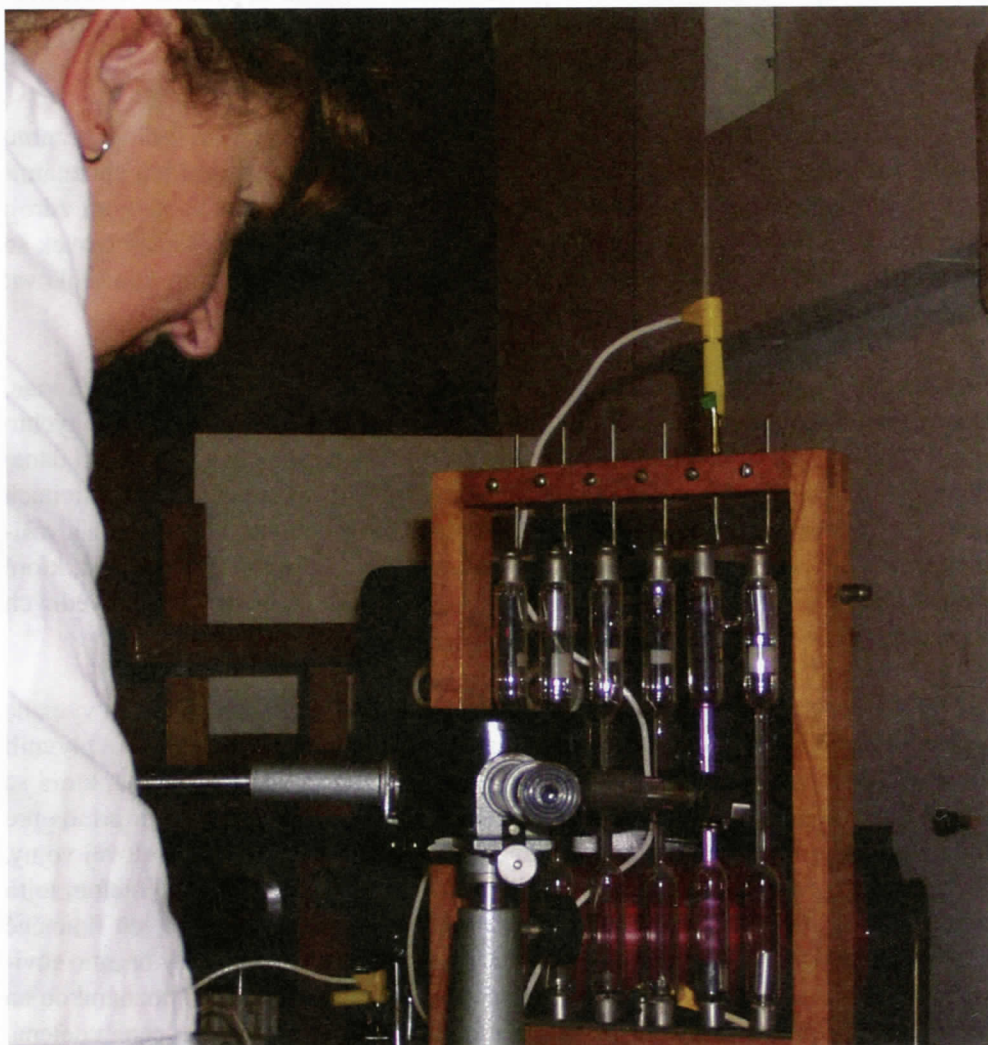
Nobelova cena



V prípade záujmu si ich môžete vyhľadať vo svojom zdroji informácií. Viaceré z objavov, o ktorých píšeme v tejto učebnici, boli ocenené v oblasti chémie.

Poznámka

Počas predchádzajúceho štúdia ste sa naučili, že ak chcete nakresliť obrázok istej situácie, tak si máte vopred stanoviť mierku, a potom kresliť jednotlivé objekty v tejto mierke. Komicky by vyzeral napríklad obrázok chlapca, veľký 10 cm, ktorému nakreslíme oko s veľkosťou 2 cm. Správnejšie by bolo povedať si, že ak chlapcovi s výškou 160 cm zodpovedá na obrázku výška 10 cm, potom oku s priemerom 2,3 cm zodpovedá na obrázku priemer 0,14 cm. V niektorých prípadoch však chceme zvýrazniť určité detaily, a tak ich nakreslíme podstatne väčšie. Takýto spôsob sa používa nielen v komiksoch, ale aj v odbornej literatúre. V odbornej literatúre by sme však mali takto nakreslené obrázky označiť, aby nedošlo k nedorozumeniu. V tejto učebnici používame na označenie takýchto obrázkov text „nie je zachovaná mierka“. Takéto označenie nemusí znamenať iba miernu lineárnu, ale napríklad aj uhlovú odchýlku. V niektorých obrázkoch budeme písať, že dve čiary zvierajú uhol menej ako jeden stupeň a napriek tomu nakreslíme tieto čiary tak, že budú na obrázku zvierajú oveľa väčší uhol.



1. Elektromagnetické vlnenie, svetlo

Pri pojme elektromagnetické vlnenie sa väčšine z vás vybaví kapitoly týkajúce sa mechanického vlnenia z učebnice pre druhý ročník. Skutočne, elektromagnetické vlnenie úzko súvisí s mechanickým vlnením. Pri opise mechanického a elektromagnetického vlnenia používame vo veľkej miere rovnaký matematický aparát, avšak fyzikálna podstata týchto vlnení je rozdielna. Hovoríme, že mechanické a elektromagnetické vlnenie sú **navzájom analogické**. Súvislosť elektromagnetického vlnenia s elektrickým a magnetickým poľom je zrejmä už zo samotnej podstaty tohto vlnenia.

Vysvetlite svojimi slovami pojem **analogia** v súvislosti s podobným matematickým opisom mechanického a elektromagnetického vlnenia. Potom pojem analogia vyhľadajte v slovníku cudzích slov a tiež vo vašom zdroji informácií.

Pripravte si zdroj informácií

Rôzne typy elektromagnetického vlnenia sa využívali počas celého dvadsiateho storočia a ich využitie sa stále zdokonaľuje – od začiatku budovania telefónnych sietí, rozhlasového a televízneho vysielania až po masové používanie mobilných telefónov a bezdrôtovej internetovej komunikácie. Teórie súvisiace s elektromagnetickým vlnením sa začali vyvíjať na začiatku devätnásteho storočia, pri štúdiu vlastností elektrického poľa a magnetického poľa. Dôležitým medzníkom bol objav elektromagnetickej indukcie, o ktorej ste sa učili v predchádzajúcom ročníku. Teoretický základ elektromagnetického vlnenia pochádza od škótskeho fyzika J. C. Maxwella (1831 – 1879). Maxwell tiež ukázal, že elektromagnetické vlnenie na svoje šírenie nepotrebuje látkové prostredie.

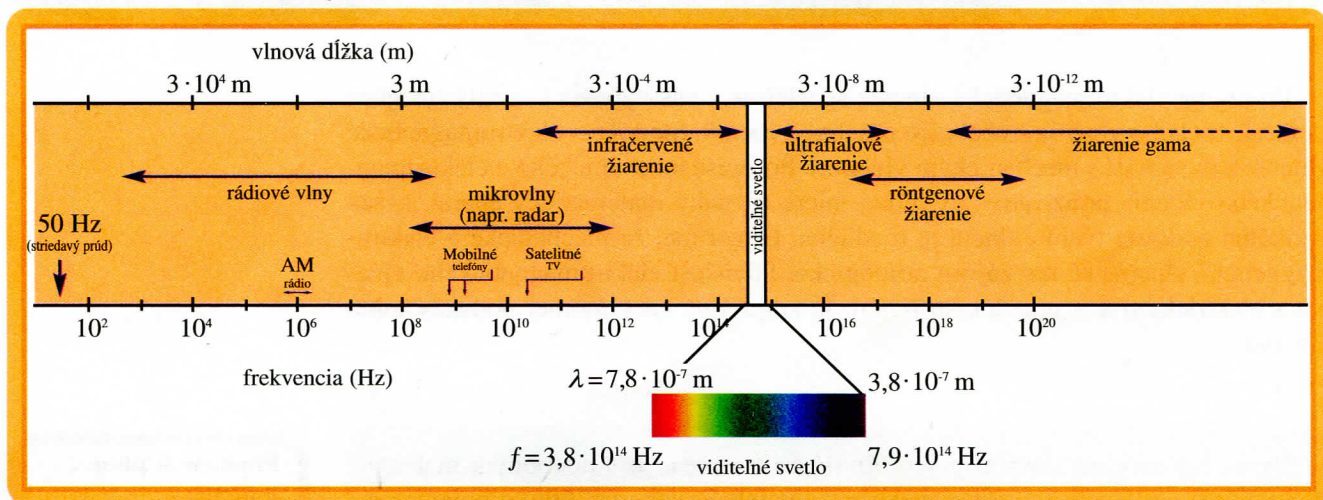
Elektromagnetické vlnenie na svoje šírenie priestorom nepotrebuje látkové prostredie, šíri sa aj vo vákuu.

J. C. Maxwell sa svojimi prácami zaradil do prvej desiatky fyzikov všetkých čias, niektorí ho kladú na druhé miesto hneď po I. Newtonovi.

	Časová os
1820	H. Ch. Oersted publikoval článok o vzniku magnetického poľa v okolí vodiča s prúdom
1831	J. Henry a M. Faraday nezávisle od seba objavili elektromagnetickú indukciu
1864	J. C. Maxwell publikoval teóriu elektromagnetického poľa
1893	Najviac telefónov na počet obyvateľov bolo vo Švédsku, pripojené boli na manuálne ústredne
1923	Prvé verejné rozhlasové vysielanie v Československu
1953	Prvé vysielanie Československej televízie
1979	Prvá automatizovaná sieť pre mobilné telefóny (Japonsko)
1993	1 % telekomunikácií vedených cez internet
2007	97 % telekomunikácií vedených cez internet

1.1 Spektrum elektromagnetického vlnenia

S elektromagnetickým vlnením sa stretávame na každom kroku a mnohokrát si to ani neuvedomujeme. Sledujeme televízny program, počúvame rádio, pozorujeme osvetlené predmety okolo nás, necháme sa ohrievať infražiaričom, počas slnečných dní sa opaľujeme, lekár nám v prípade potreby zhotoví röntgenovú snímku. Žiadna z týchto činností by nebola možná bez elektromagnetického vlnenia.



Nobelova cena, 1908

Najväčšie vlnové dĺžky majú rádiové vlny, vlny používané pri prenose rozhlasového a televízneho signálu a vlny používané radarmi. Potom nasleduje infračervené žiarenie, viditeľné svetlo, ultrafialové žiarenie, röntgenové žiarenie a rádioaktívne žiarenie gama. Takéto rozdelenie elektromagnetického vlnenia podľa vlnovej dĺžky (alebo podľa frekvencie) sa nazýva **spektrum elektromagnetického vlnenia**. Všetky tieto vlnenia majú rovnakú fyzikálnu podstatu, aj keď sú ich prejavy veľmi rozdielne.

Žiarenie

V tejto učebnici budeme používať slová **vlnenie** a **žiarenie** v súvislosti s elektromagnetickým vlnením takmer ako synonymá. Pri vlnových dĺžkach zodpovedajúcich rádiovým vlnám sa prikláňame skôr k pojmu vlnenie, pri vlnových dĺžkach mikrovlnného žiarenia a menších vlnových dĺžkach sa prikláňame skôr k pojmu žiarenie. Musíme upozorniť, že elektromagnetické vlnenie má úplne inú podstatu ako mechanické vlnenie (napr. zvuk) a tiež úplne inú podstatu ako napr. žiarenie alfa alebo žiarenie beta, s ktorými sa stretneme v kapitolách venovaných rádioaktivite.

Svetlo je pre človeka životne dôležité, a to z viacerých dôvodov. Asi najdôležitejšia je schopnosť vidieť – získavať informácie sprostredkované svetlom. Práve preto, že svetlo súvisí s jedným z našich zmyslov, budeme sa mu venovať trochu viac. Viaceré závery, ku ktorým dospejeme, platia rovnako aj pre iné časti elektromagnetického spektra, dokonca aj pre iné vlnenia ako napr. ultrazvuk.

Svetlo

Pripomeňme si niektoré závery a informácie, s ktorými sme sa stretli počas predchádzajúceho štúdia fyziky. Svetlo je elektromagnetické vlnenie s vlnovou dĺžkou z intervalu (vo vzduchu) od 380 nm po 780 nm. Vo vákuu sa šíri rýchlosťou $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, rovnako ako každé iné elektromagnetické vlnenie. Frekvenciu svetla môžeme vypočítať rovnako ako frekvenciu každého iného elektromagnetického vlnenia podľa vzťahu

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

kde λ je vlnová dĺžka svetla, v je rýchlosť svetla a f je frekvencia svetla.

Niekedy sa stretávame s kombináciou spojitého a čiarového spektra. Vtedy spektrum obsahuje svetlo so všetkými vlnovými dĺžkami, ale niektoré vlnové dĺžky sú zastúpené výrazne viac alebo výrazne menej. Takéto spektrum má väčšina úsporých žiaroviek.

Monochromatické svetlo

Niektoré zdroje svetla, napríklad lasery, vyžarujú svetlo iba s jednou vlnovou dĺžkou. Takéto svetlo nazývame **monochromatické svetlo**.

Prostredie	Rýchlosť svetla ($\cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Index lomu prostredia
Vákuum	3,00	1,0000
Vzduch	3,00	1,0003
Voda	2,25	1,33
Sklo	2,0	1,5
Soľ	2,0	1,5
Plexisklo	2,0	1,5
Diamant	1,25	2,4

V súvislosti so svetlom nás bude zaujímať jeho šírenie prostredím, prechod z jedného prostredia do iného prostredia a odraz od rozhrania dvoch prostredí. Pri informácii o rýchlosti šírenia svetla sme zvýraznili, že uvedená hodnota platí pre šírenie svetla vo vákuu. Táto rýchlosť je zároveň maximálnou rýchlosťou, akou sa môže čokoľvek šíriť. Vyššou rýchlosťou sa nešíri žiaden materiálny objekt, ani informácia. V tabuľke uvádzame približné rýchlosti šírenia svetla v iných prostrediach.

Úloha

Červené svetlo z lasera má vo vzduchu vlnovú dĺžku 680 nm. Určte frekvenciu a vlnovú dĺžku tohto svetla vo vode, v skle a v diamante.

Nobelova cena, 1911

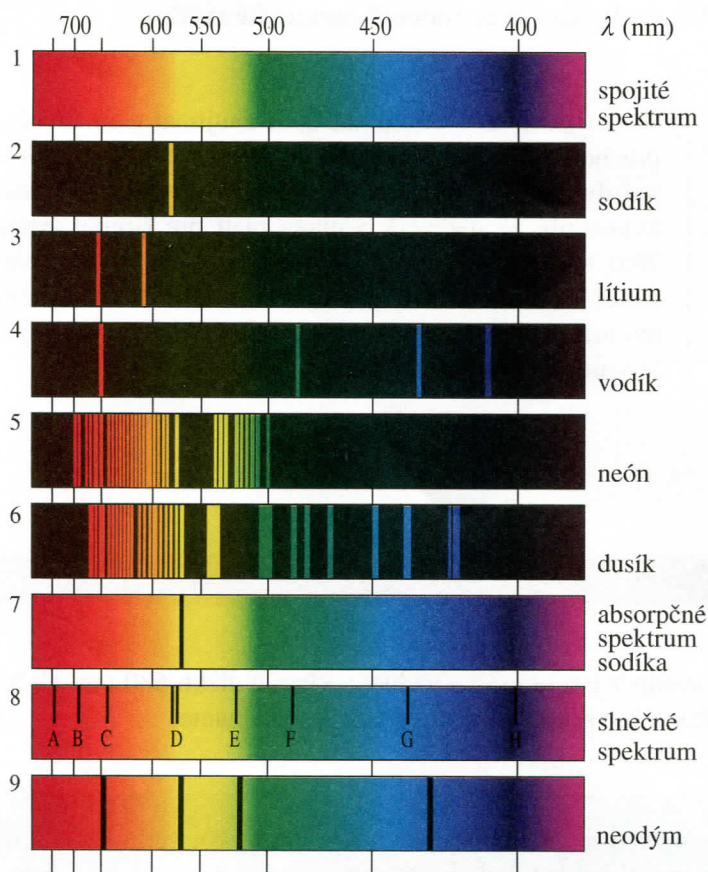
Na tomto mieste sa niektorí z vás môžu opýtať ako svetlo vzniká. Odpoveď by mohla znieť napríklad aj takto: rozsvietime žiarovku, zakúrime v krbe, alebo jednoducho odstránime závesy a vpustíme do miestnosti svetlo, ktoré nevedno ako vzniklo na Slnku. Skutočný proces vzniku svetla bol objavený až začiatkom dvadsiateho storočia. Svetlo môže vznikáť ako žiarenie telesa s vysokou teplotou, alebo pri prechode elektrónu zo stavu s vyššou hodnotou energie do stavu s nižšou hodnotou energie. Žiareniu telies sme sa venovali v časti *Zmena vnútornej energie telesa, teplo* v predchádzajúcom ročníku, kde sme spomenuli tri možné spôsoby tepelnej výmeny - vedením, prúdením a žiarením. Vyžarovaniu svetla pri prechodoch elektrónov medzi dovolenými hladinami energie sa budeme venovať v časťach zaoberajúcich sa atómom.

1.2 Lúč svetla, odraz svetla

Lúč svetla

Už sme spomenuli, že svetlo sa v mnohých javoch správa ako vlnenie. Tiež sme spomenuli, že je vhodné využívať analógiu medzi elektromagnetickým a mechanickým vlnením.

Spojité spektrum (1), emisné spektrá (2-6), absorpčné spektrá (7-9)



Spektrum svetla, alebo aj iného elektromagnetického žiarenia, môže byť spojité alebo diskrétné. Diskrétné spektrum je také, ktoré obsahuje žiarenie iba s niektorými vlnovými dĺžkami. **Spojité spektrum** je také, ktoré obsahuje žiarenie so všetkými vlnovými dĺžkami z istého intervalu vlnových dĺžok. Príkladom zdroja spojitého spektra je rozžeravené vlákno žiarovky alebo, ak zanedbáme drobné detaily, tak aj žiarenie emitované Slnkom. Príkladom diskrétného spektra je žiarenie emitované rozžeraveným plynom, napr. vodíkom. **Diskrétné spektrum** žiarenia zdroja nazývame tiež **čiarové emisné spektrum**.

Svetlo, ale aj iné žiarenie, sa pri prechode cez látku čiastočne alebo úplne absorbuje. Pri prechode svetla plynom sa absorbujú iba zložky svetla s určitými vlnovými dĺžkami. Spektrum svetla po prechode plynom potom nie je spojité, ale diskrétné. Hovoríme o **čiarovom absorpčnom spektre**.

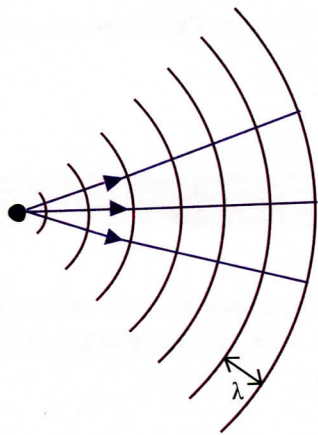
Spojité spektrum a diskrétné spektrum

Čiarové emisné spektrum

Čiarové absorpčné spektrum

Analógiu používame pomerne často pri nových spôsoboch nazerania na problémy a ich súvislosti, ktoré sú iným formám myslenia nedostupné.

Použijme teda terminológiu z častí predchádzajúcej učebnice o vlnení a o zvuku. Zvuk sme zobrazovali pomocou vlnoplôch a lúčov. Vlnoplochy predstavovali množiny bodov, v ktorých má vlnenie v danom okamihu kladnú amplitúdu. Lúče predstavovali orientované čiary vychádzajúce zo zdroja a určujúce smer šírenia vlnenia. Boli vždy kolmé na vlnoplochy. Teraz si ukážeme, ako možno použiť pojem lúč pri opisovaní javov súvisiacich so šírením svetla v prostrediach a na rozhraniach dvoch prostredí.



Pozorovanie

Zatemnite triedu alebo si predstavte, že ste v zatemnenej miestnosti. V jednom kúte zasviete prenosnú lampu. Vedľa lampy položte červenú a zelenú farbičku tak, aby obe boli osvetlené. Postavte sa do protifaľného kúta miestnosti. Pozorujte svoje okolie a zrealizujte nasledovné čiastkové úlohy. Opisy javov zaznamenajte, na samostatný list papiera tak, aby zápisy čo najlepšie vystihovali pozorované javy.

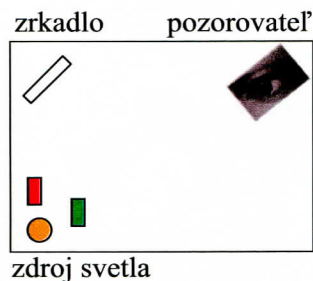
- Opíšte, prečo vidíte žiarovku. Použite pritom pojmy: svetlo, oko, lúč svetla, energia, informácia.
- Opíšte, prečo vidíte farbičky. Použite pritom pojmy: odraz svetla, absorpcia svetla, farba svetla.

Postavte spolužiaka do tretieho kúta miestnosti a dajte mu do ruky rovinné zrkadlo, tabuľku skla a knihu s tmavým matným obalom.

- Opíšte jav, ktorý pozorujete, ak sa dívate na lampu prostredníctvom zrkadla. Jav opíšte pre rôzne polohy zrkadla.
- Pozorovanie z bodu c) zrealizujte tak, že svetlu z lampy dáte do cesty namiesto zrkadla tabuľku skla, a potom čierny matný obal knihy.
- Zápisy svojich pozorovaní zaveste na nástenku. Porovnajte si kvalitu svojich zápisov z pozorovaní so zápsmi svojich spolužiakov.

Ak ste pozorovania robili iba vo svojich predstavách (ako myšlienkový experiment), doma si pozorovania urobte s reálnymi pomôckami.

V predchádzajúcich pozorovaniach ste si mohli všimnúť, že svetlo sa na rozhra-



Zápis z pozorovania

Odraz svetla

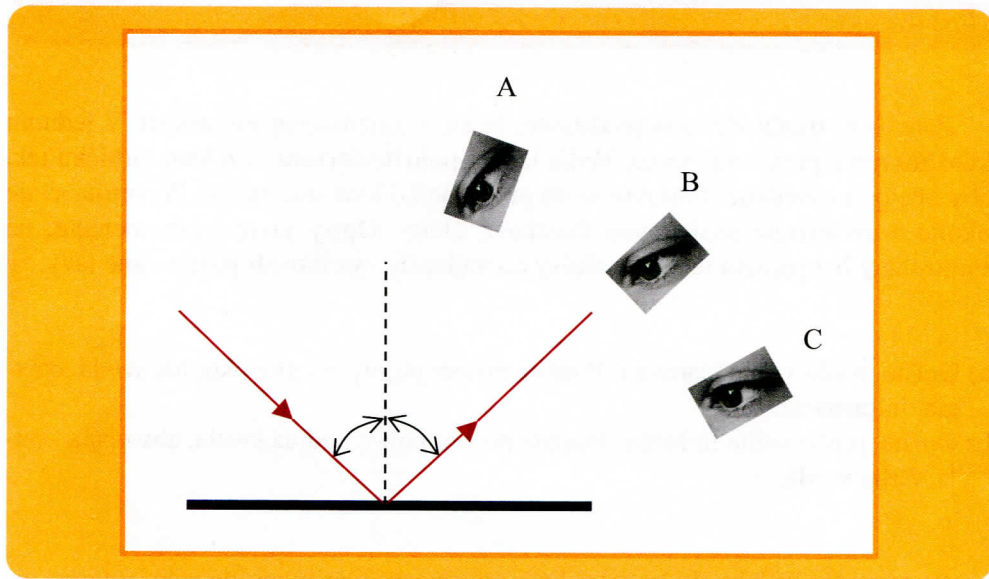
Difúzny odraz

ní dvoch prostredí **odráža**. Tento poznatok môžeme zovšeobecniť. Už v predchádzajúcich ročníkoch ste sa stretli s poznatkom, že lúč svetla sa na rozhraní dvoch prostredí vždy odráža podľa zákona odrazu, a tiež že sa do istej miery odráža difúzne, na všetky strany. Pri odraze od zrkadla prevláda odraz podľa zákona odrazu, pri odraze od matnej knihy prevláda **odraz difúzny**.

Úloha

Pripomeňte si pojmy kolmica dopadu, uhol dopadu a uhol odrazu, rovina dopadu. Zaznačte tieto objekty do nasledujúceho obrázka, ktorý si prekreslite do svojich poznámok. Vysvetlite svojimi slovami zákon odrazu.

Zákon odrazu: Uhol odrazu je rovnaký ako uhol dopadu. Odrazený lúč ostáva v rovine dopadu.



V predchádzajúcom obrázku sme znázornili odraz lúča svetla od zrkadla. Všetky objekty sú v jednej rovine. Ak predpokladáme, že tento lúč predstavuje svetlo zo zdroja, ktorý svieti iba v smere vyznačeného lúča a v miestnosti nie je svetlo zo žiadneho iného zdroja, potom môžeme predpokladať, že svetlo bude vstupovať do oka iba v polohe B. Ak však zrealizujeme pozorovanie, môžeme zistiť, že bod dopadu svetla na zrkadlo vidíme aj keď je oko v polohách A a C. Ak tento bod vidíme, znamená to, že svetlo z tohto bodu do oka vstupuje. Toto vysvetlenie podporuje myšlienku difúzneho odrazu. Teda aj na zrkadle sa časť svetla odrazí na všetky strany.

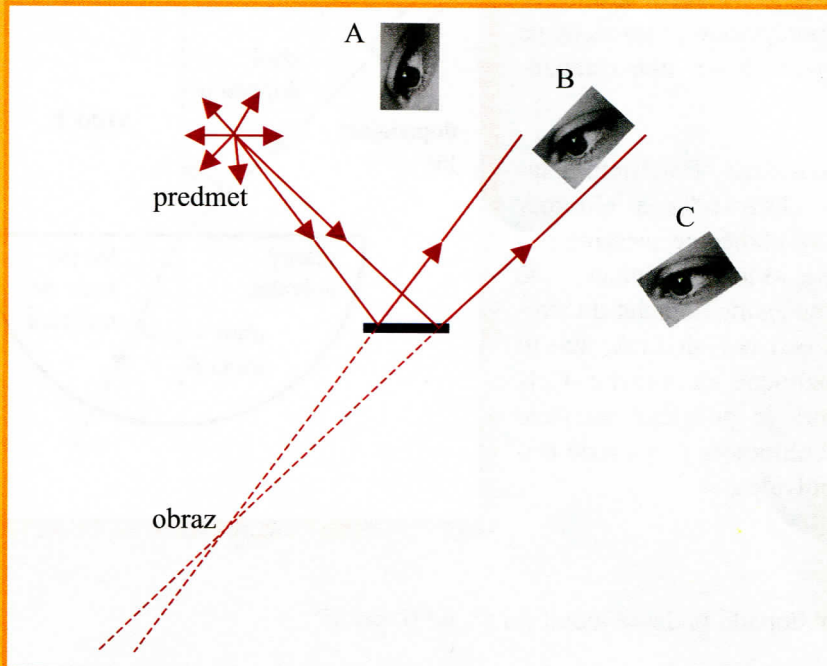
Upozornenie

Uvedené pozorovanie nerealizujte s laserom. Svetlo z lasera nikdy nesmie vstupovať do oka priamo, ani po odraze svetla od lesklých predmetov. Pri práci s laserom môžeme mať oko iba v polohách A a C.

Na nasledujúcom obrázku je znázornený jeden bod predmetu, z ktorého sa odráža svetlo na všetky strany. Časť tohto svetla dopadá na rovinné zrkadlo a odráža sa od neho. Zakreslené sú dva lúče tohto svetla. Každý z nich dopadá na zrkadlo a odráža sa od neho. Všimnime si, že tieto lúče sa po odraze od zrkadla rozbiehajú. Ak lúče predĺžime smerom za zrkadlo, stretnú sa. Pozorovateľ v polohe B vníma rozbiehavý zväzok lúčov tak, akoby vychádzal z jedného bodu. Tento bod nazývame **obraz bodu**. Zaujímavé je, že v mieste kde sa po predĺžení pretínajú dva z odrazených lúčov (napr. tie, ktoré sú zakreslené na obrázku) sa stretávajú aj všetky ďalšie odrazené lúče.

Obraz bodu

Na to, aby sme obraz bodu videli musí existovať lúč, ktorý vychádza z bodu predmetu a po odraze od zrkadla sa dostane do nášho oka. Všimnime si, že pre polohy oka A a C takéto lúče neexistujú, a teda v polohách A a C obraz bodu predmetu nevidíme.



1.3 Lom svetla

Ak svetlo dopadne na rozhranie dvoch prostredí, vždy sa časť svetla odrazí. Ak je druhé prostredie priehľadné, zvyčajne časť svetla prejde do druhého prostredia a často zmení aj smer svojho šírenia. Hovoríme, že sa svetlo láme. Predtým, ako si povieme viac o lome svetla, budeme sa venovať experimentu navrhnutému a zrealizovanému trojicou študentov.

Úloha

Pozorne si prečítajte nasledujúcu časť laboratórneho protokolu (záznamu z experimentu) zaoberajúceho sa odrazom a lomom svetla na rozhraní dvoch prostredí, ktorý robili študenti. Všimajte si postup študentov a záver, ku ktorému dospeli.

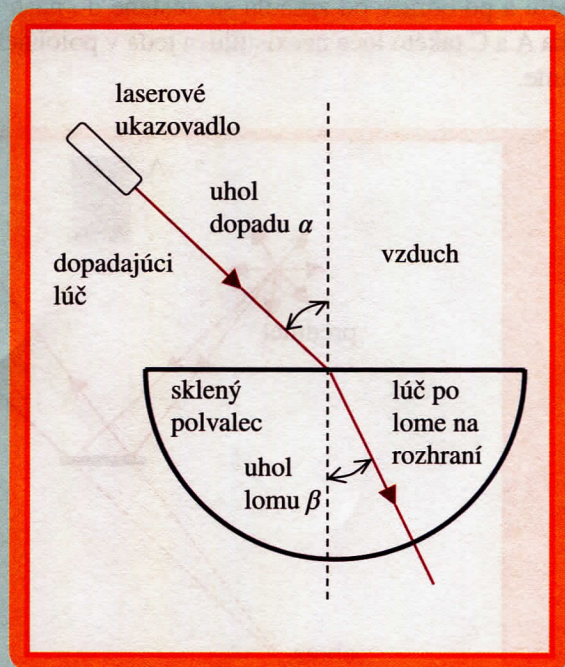
Posúďte prácu rovesníkov

Príprava experimentu: Počas prípravy tohto experimentu sme pozorovali, že lúč svetla z lasera sa od rozhrania vzduchu a skla odráža späť do vzduchu, ale aj láme do skla. Tiež sme pozorovali, že keď lúč svetla dopadne na rozhranie kolmo, smer lúča sa nezmení. Ak lúč svetla dopadne na rozhranie pod uhlom dopadu α , potom lúč prechádza do skla pod uhlom lomu β menším ako uhol α .

Cieľ experimentu: V tomto experimente chceme preskúmať závislosť uhla lomu od uhla dopadu.

Hypotéza: Predpokladáme, že pri lome zo vzduchu do skla je uhol β priamo úmerný uhlu α a uhol β je menší, než uhol α . Tento predpoklad je založený na pozorovaní, ktoré sme zrealizovali.

Aparatúra: Použijeme laserové ukazovadlo a uhlomer 360°. Na uľahčenie merania použijeme sklený polvalec, lúč svetla necháme dopadať do stredu krivosti polvalca tak, ako to je znázornené na obrázku. Celá aparatúra je položená na stole a stred uhlomera je v strede krivosti polvalca.



Uhol dopadu budeme meniť po 5°, od 0° po 85°.

Namerané údaje:

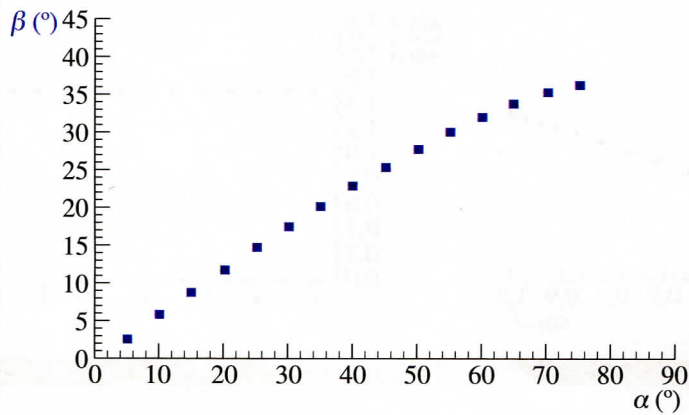
Konštanty: lúč svetla bol počas celého experimentu z jedného lasera a bol červený. Rozhranie bolo zo vzduchu do skla.

Ďalšie údaje sú v tabuľke:

č. m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$\alpha(^{\circ})$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
$\Delta\alpha = \pm 1^{\circ}$																	
$\beta(^{\circ})$	3	7	10	13	16	19	22	25	28	31	33	35	37	39	40	41	N
$\Delta\beta = \pm 1^{\circ}$																	

Meranie pre uhol dopadu 85° sa nám nepodarilo zrealizovať, uhol medzi dopadajúcim lúčom a rovinou rozhrania bol príliš malý.

Spracovanie nameraných údajov: Naša hypotéza by sa mala potvrdiť tak, že grafom závislosti uhla lomu od uhla dopadu by mala byť priamka prechádzajúca nulou. Zostrojme teda tento graf.



Vidíme, že závislosť uhla lomu od uhla dopadu nie je priama úmernosť, nameranými údajmi nie je možné preložiť priamku idúcu nulou, a to ani vtedy, ak vezmeme do úvahy chyby jednotlivých meraní.

Záver: Naša hypotéza sa nepotvrdila, a preto ju zamietame. Pre nameranú závislosť uhla lomu od uhla dopadu musíme hľadať lepšie vysvetlenie.

Úloha

Iste sa vám už stalo, že ste boli presvedčení, že niektoré vaše tvrdenie bolo pravdivé a na základe meraní a/alebo experimentov ste prišli k záveru, že ste sa mylili. Vymenujte takéto skúsenosti z hodín fyziky.

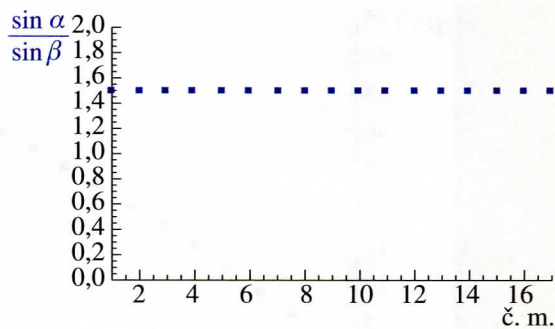
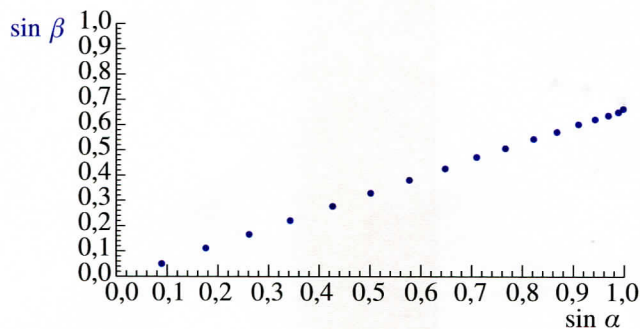
Skupina študentov, ktorá plánovala a realizovala predchádzajúci experiment, použila pri plánovaní iba vedomosti získané vlastným pozorovaním. Niekedy je vhodnejšie využiť pri plánovaní experimentu aj poznatky získané inými ľuďmi. Napr. pri tomto experimente by sme mohli využiť poznatky o lome svetla z niektorého zdroja informácií. Mohli by sme nájsť tzv. Snellov zákon, nazývaný tiež **zákon lomu**.

Snellov zákon;
zákon lomu

Lomený lúč ostáva v rovine dopadu a pomer sínusu uhla dopadu a sínusu uhla lomu je pre danú dvojicu prostredí konštantný, rovná sa podielu rýchlostí svetla v týchto prostrediach.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

Na základe tejto informácie môžeme z údajov získaných skupinou študentov v predchádzajúcom experimente vytvoriť nové grafy.



Vidíme, že závislosť sínusu uhla lomu od sínusu uhla dopadu je priama úmernosť a tiež vidíme, že pomer sínusu uhla dopadu a sínusu uhla lomu je 1,5. Všimnime si, že táto hodnota je rovnaká ako index lomu skla uvedený v tabuľke v časti 1.1.

Index lomu

Rýchlosť svetla v rozličných prostrediach zvyčajne vyjadrujeme pomocou veličiny **index lomu**. Túto veličinu označujeme písmenom n a definujeme ju ako podiel rýchlosti svetla vo vákuu a rýchlosti svetla v danom prostredí. Z tejto definície je zrejmé, že index lomu vákuua je 1. Zákon lomu môžeme vyjadriť aj pomocou indexov lomu:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

1.4 Úplný odraz, lom na hranole, spektroskop

Vráťme sa k zákonu lomu a analyzujeme ho.

Vyjadrime si sínus uhla lomu.

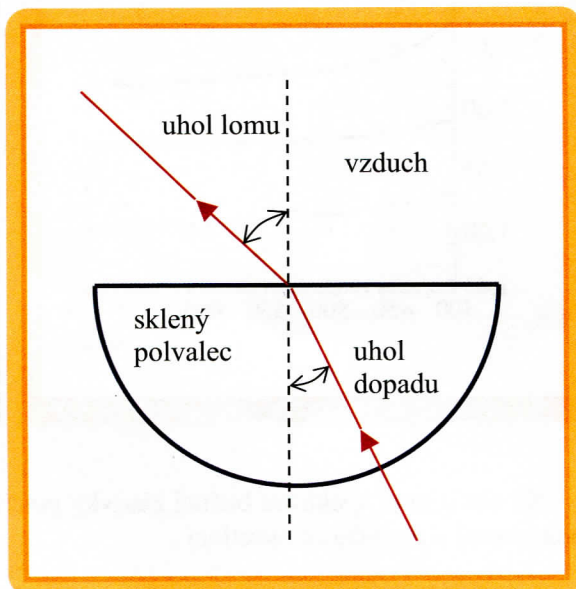
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin \beta = \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha$$

Vieme, že pri lome má zmysel uvažovať o uhloch od 0° po 90° . Pozrime sa či môže nastať situácia, pri ktorej sa uhol lomu nedá vypočítať. Takáto situácia môže nastať vtedy, ak $n_1 > n_2$ a ak je uhol dopadu dosť veľký. V takomto prípade svetlo do druhého prostredia vôbec neprechádza. Jav, pri ktorom sa svetlo po dopade na rozhranie nezlomí do druhého prostredia nazývame **úplný odraz**.

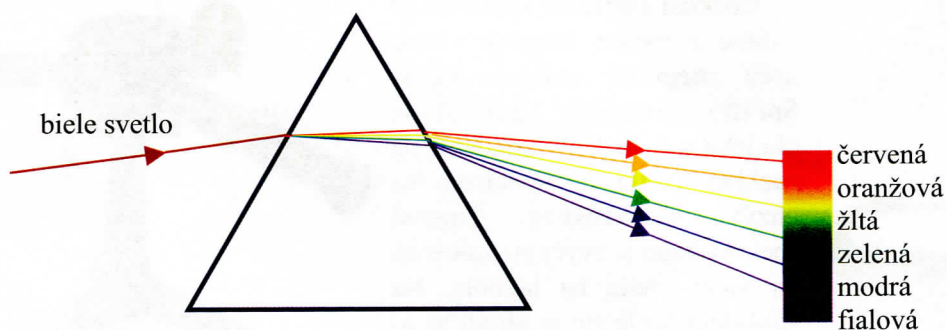
Úplný odraz

Svetlo dopadá zdola na rozhranie sklo-vzduch tak, ako je to znázornené na obrázku.

- Zistite, či svetlo prejde do vzduchu, ak je uhol dopadu 75° .
- Nájdite minimálny uhol dopadu taký, že svetlo sa do vzduchu nezlomí.
- Svoje závery si overte meraním s reálnymi pomôckami.



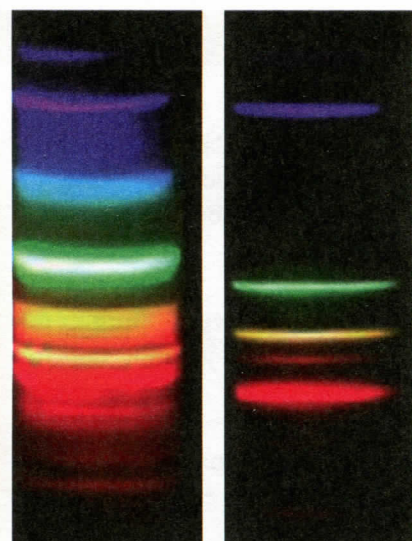
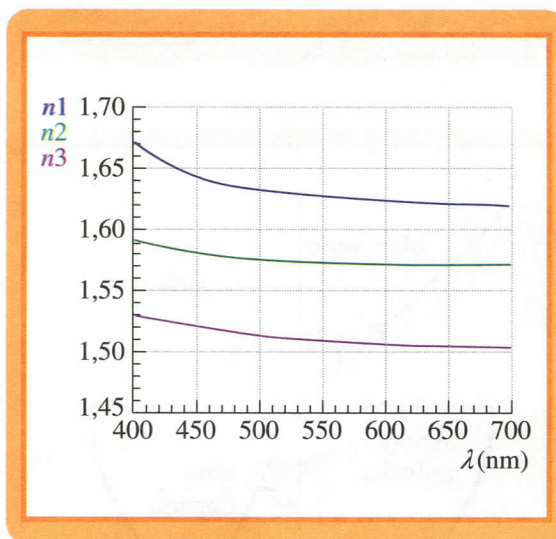
Veźmeme si sklené teleso iného tvaru, hranol s podstavou v tvare trojuholníka. Na hranol nechajme dopadať úzky zväzok lúčov bieleho svetla. Toto svetlo sa láme tak, ako je to znázornené na obrázku.



Môžeme pozorovať, že biele svetlo sa pri vhodnom uhle dopadu na hranol lomom rozkladá na spektrum. Spektrum svetla sme už spomínali v súvislosti so spektrom elektromagnetického vlnenia. Na obrázkoch v časti 1.1, ako aj na predchádzajúcom obrázku vidíme, že biele svetlo sa rozkladá na farby od červenej, cez oranžovú, žltú, zelenú, modrú až k fialovej. V prírode môžeme pozorovať aj iné farby, napríklad hnedú. Tieto však nie sú spektrálnymi farbami, ale podobne ako biele svetlo, sú zmesou viacerých spektrálnych farieb.

Rozklad svetla lomom na rozhraní prostredí nazývame **disperzia**. Disperzia súvisí s rýchlosťou šírenia svetla v niektorých materiáloch. V skle je rýchlosť červenej zložky svetla o niečo vyššia ako fialovej. Na grafoch sú znázornené závislosti indexu lomu od vlnovej dĺžky svetla pre tri rôzne sklá.

Disperzia



Na obrázku je spektrum bežnej žiarivky používanej v domácnostiach a žiarivky používanej v pouličnom osvetlení.

Pripravte si zdroj informácií

Úloha

Vo svojom zdroji informácií zistite, ako súvisí disperzia svetla s dúhou.

Spektroskop

Rozklad svetla na spektrum je jednou z metód, ktorými vieme určiť chemické zloženie látok. Spektrá niektorých látok sú na obrázku v časti 1.1. Zariadenie na rozklad svetla na spektrum sa nazýva **spektroskop**. Činnosť spektroskopu je zvyčajne založená na lome svetla na hranole. Na základnej škole ste sa stretli aj so spektroskopom, ktorý využíva javy súvisiace s interferenciou svetla.



1.5 Difrakčná mriežka, interferencia svetla

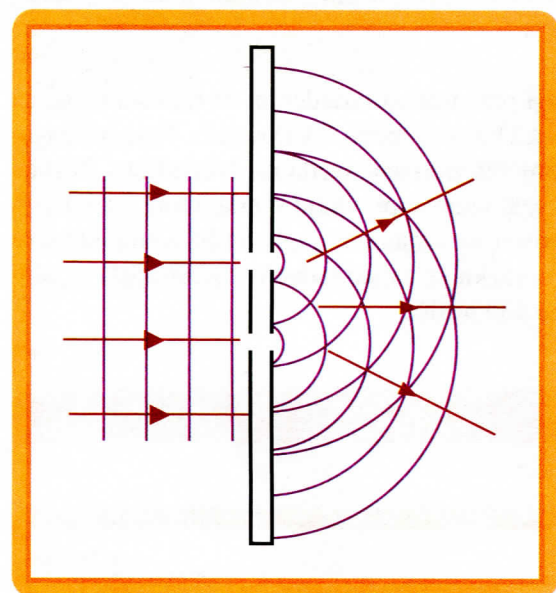
V tejto časti sa budeme venovať správaniu svetla na jemných štruktúrach. Najjednoduchšou štruktúrou bude sústava dvoch tenkých navzájom rovnobežných otvorov v tienidle. Takúto štruktúru nazveme dvojštrbina. Najskôr budeme skúmať správanie svetla na dvojštrbine, potom výsledky zovšeobecníme na viacero navzájom rovnobežných štrbín a na sústavu vrypov na CD nosiči.

Pomôžeme si analógiou svetla s mechanickým vlnením. Pri mechanickom vlnení vlnoplochy predstavovali množiny bodov s maximálnou kladnou výchylkou, pri

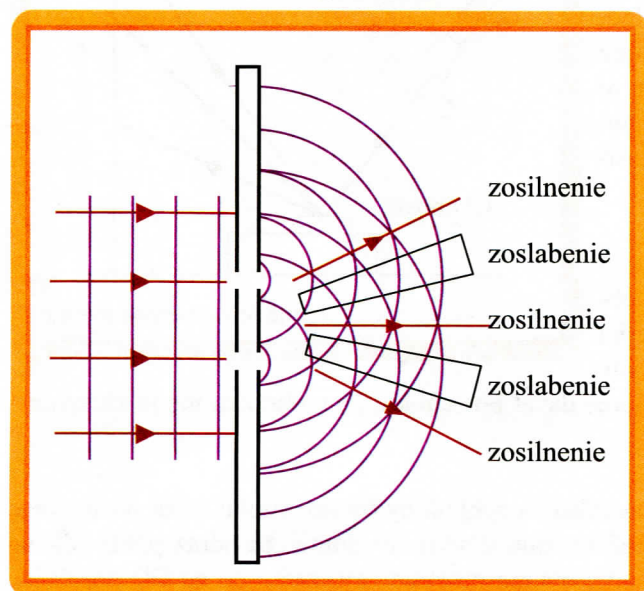
elektromagnetickom vlnení vlnoplochy predstavujú množiny bodov s maximálnou hodnotou fyzikálnej veličiny popisujúcej elektromagnetické vlnenie.

Na obrázku sme nakreslili lúče a vlnoplochy svetla dopadajúceho na dvojštrbinu.

Za každým z otvorov sa svetlo šíri na všetky strany. Otvory sa správajú ako bodové zdroje svetla. Situácia je podobná šíreniu zvuku otvorenými dverami. Pri svetle však v použití takejto analógie musíme byť opatrní. V skutočnosti sa svetlo šíri tak, ako je to znázornené na obrázku iba vtedy, ak je veľkosť otvoru porovnateľná s vlnovou dĺžkou svetla. Ak je veľkosť otvoru výrazne väčšia, potom sa svetlo šíri takmer iba priamo a za prekážkou vzniká tieň.



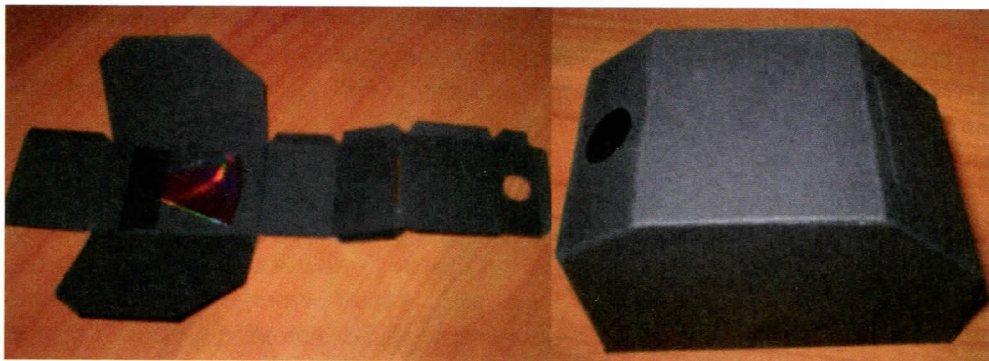
Okrem toho šírenia sa svetla na všetky strany si na obrázku môžeme všimnúť aj ďalší jav. Tento si vysvetlíme na príklade lúča, ktorý je zakreslený na obrázku šikmo nahor. Tento lúč prechádza bodmi, v ktorých sa svetlo z jedného otvoru spolu so svetlom z druhého otvoru vzájomne zosilňujú. Všimnime si, že sa stretávajú oblasti s maximálnou kladnou výchylkou z jedného otvoru s областями s maximálnou kladnou výchylkou z druhého otvoru. Na iných miestach tohto lúča sa stretávajú oblasti s maximálnymi zápornými výchylkami.



Takýmto spôsobom sa svetlo v smeroch naznačených na obrázku zosilňuje. V iných oblastiach sa stretávajú maximálne kladné výchylky z jedného otvoru s maximálnymi zápornými výchylkami z druhého otvoru a vlnenia sa vzájomne zoslabujú. Takéto vzájomné zosilňovanie a zoslabovanie dvojice vlnení nazývame **interferencia vlnení**. Interferenciu vlnení môžeme pozorovať ak máme dve štrbiny, ktorých vzdialenosť je porovnateľná s vlnovou dĺžkou svetla.

Interferencia vlnení

Uhly od priameho smeru, v ktorých vzniknú zosilnenia a zoslabenia závisia od vzdialenosti štrbín a tiež od vlnovej dĺžky svetla. Ak na dvojštrbinu necháme dopadať biele svetlo, rozloží sa na spektrum. Jednotlivé zosilnenia v priamom smere budú farebné. Tento jav je výraznejší vtedy, ak namiesto dvoch štrbín použijeme



Difrakčná mriežka

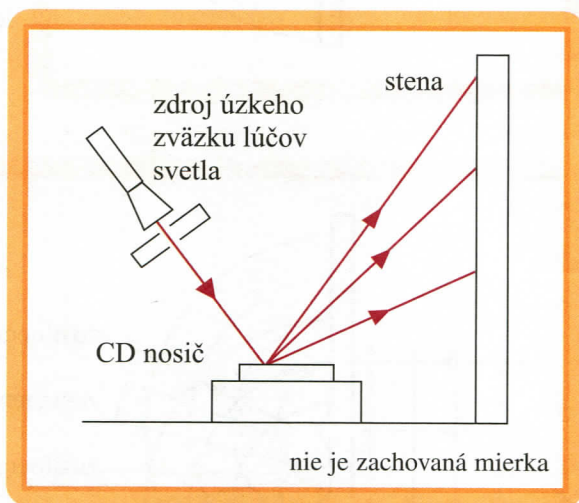
tienidlo s väčším počtom navzájom rovnobežných štrbín – tienidlo s takouto štruktúrou nazývame **difrakčná mriežka**.

Na základnej škole ste mali možnosť pracovať so zariadením na rozklad svetla na spektrum, ktorého súčasťou bol kúsok CD nosiča alebo DVD nosiča. Princíp fungovania tohto zariadenia je veľmi podobný interferencii svetla na dvojštrbine. Rozdiel je v tom, že pokiaľ pri dvojštrbine sa vzájomne ovplyvňujú svetlá, ktoré jednotlivými štrbinami prešli, pri CD a DVD nosiči sa vzájomne ovplyvňujú svetlá, ktoré sa od jednotlivých vrypov odrazili. Na obrázku je najjednoduchší spektroskop založený na difrakcii svetla odrazeného od CD nosiča.

Úloha

Nechajte na CD nosič dopadať svetlo a) z laserového ukazovadla; b) z baterky, v ktorej je vlákňová žiarovka; c) z baterky, v ktorej je dióda; d) z ľubovoľného iného zdroja svetla; a sledujte odrazené svetlo tak, ako je to naznačené na obrázku. Vymenujte rovnaké a rozdielne vlastnosti odrazeného svetla.

Všimnite si, že niektoré objekty na obrázku, napr. baterku a CD nosič sme výrazne zväčšili. Pri takýchto obrázkoch zvykneme dávať poznámku, že v obrázku nie je zachovaná mierka.



Na základe pozorovaní z predchádzajúcej úlohy by sme mohli začať pochybovať o platnosti zákona odrazu. Mali by sme si však uvedomiť, že odraz podľa zákona odrazu nastáva na rozhraní medzi dvoma prostrediami, zatiaľ čo na CD nosiči ide o difrakciu svetla odrazeného od jemných vrypov, vytvorených na tomto nosiči.

Nobelova cena, 1907

Nobelova cena, 1908

Prístroje a zariadenia slúžiace na zobrazovanie predmetov zvyčajne obsahujú telesá, ktoré sa nazývajú **šošovky**. V prístrojoch sa zvyčajne používajú sklené šošovky, pri experimentoch v škole sa niekedy používajú zjednodušené modely šošoviek. Špecifikom tejto časti je, že sa v nej nevenujeme fyzike ako prírodovednému predmetu, ale skôr fyzike ako základom techniky. Máme isté „súčiastky“ – šošovky, chceme popísať ich vlastnosti a tiež chceme naznačiť, ako z nich možno poskladať zariadenia slúžiace na rôzne účely. Pri takomto postupe sa nevieme vyhnúť používaniu špecifickej terminológie. S väčšinou pojmov ste sa už stretli. Ak ste tieto pojmy od vtedy nepoužívali, budete si ich môcť zopakovať.

Šošovka je teleso z priehľadného materiálu, ktorého rozhrania sú guľové plochy, prípadne jedno z rozhraní môže byť aj rovina. Hrúbka šošovky je výrazne menšia, než polomery krivosti guľových plôch a tiež menšia, ako je polomer šošovky. Príklady šošoviek sú na obrázku. Šošovky majú zaujímavú vlastnosť, ktorú si v nasledujúcich riadkoch opíšeme. Predstavme si bod, z ktorého vychádza svetlo (bodový zdroj svetla). Niektoré lúče tohto svetla nechajme dopadať na šošovku. Ak sa dva z týchto lúčov po prechode šošovkou stretnú, potom môžeme s dosť veľkou presnosťou povedať, že sa v tomto bode stretnú všetky lúče, ktoré šošovkou prešli. Túto vlastnosť šošoviek môžeme použiť pri konštrukcii obrazu pri zobrazovaní predmetov šošovkami a skupinami šošoviek.

Šošovky rozdeľujeme na **spojné šošovky** a **rozptylné šošovky**. O tom, či je šošovka spojná alebo rozptylná rozhodujú nasledovné parametre šošovky:

- index lomu materiálu šošovky n_2 ,
- index lomu okolitého prostredia n_1 ,
- dutosť alebo vypuklosť lámavých plôch,
- polomery krivosti lámavých plôch r_1 a r_2 .

Úloha

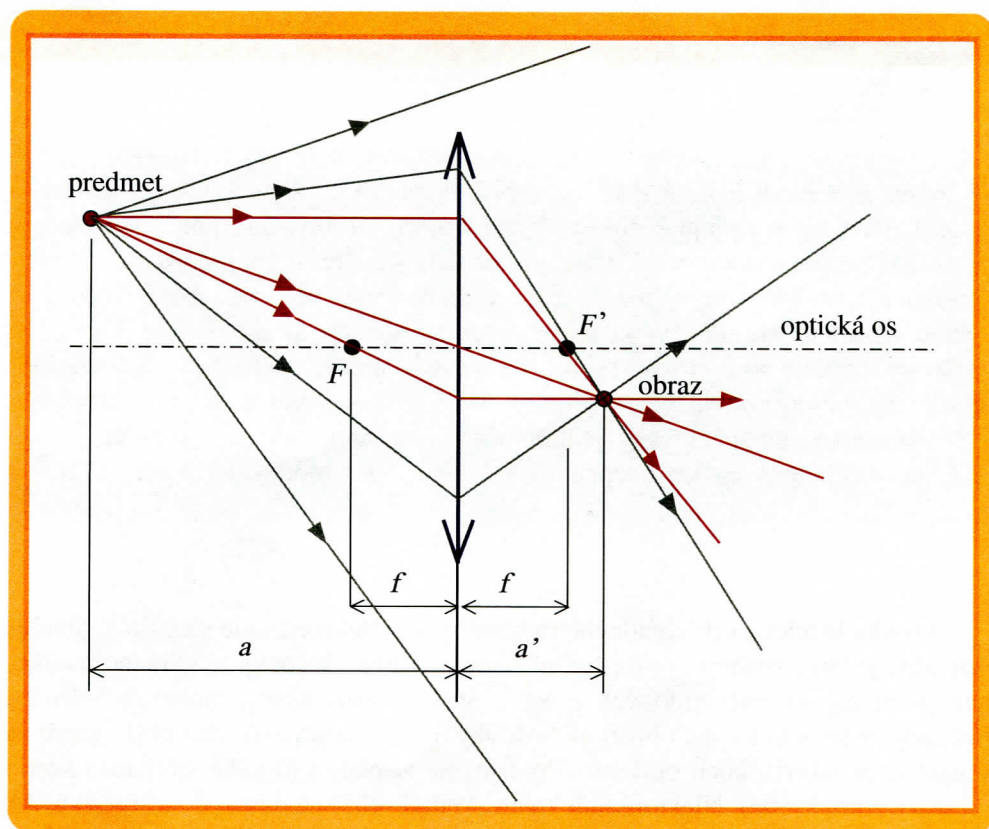
Prekreslite si šošovky z predchádzajúceho obrázka do zošita. Predpokladajte, že svetlo bude na šošovky dopadať zľava, teda že ľavé rozhranie je prvé a pravé rozhranie je druhé. Pre obidve šošovky vyznačte polomery krivosti r_1 a r_2 a rozhodnite, ktoré z rozhraní sú duté a ktoré vypuklé.

Na nasledujúcom obrázku je schematická značka **spojnej šošovky** a tiež niekoľko lúčov vychádzajúcich z jedného bodu nazvaného **predmet**. Červenou farbou sú zvýraznené lúče, ktoré sa zvyčajne dajú skonštruovať najjednoduchšie. Tieto lúče nazývame **význačné lúče**.

Šošovka



Spojná šošovka



Zopakujte si

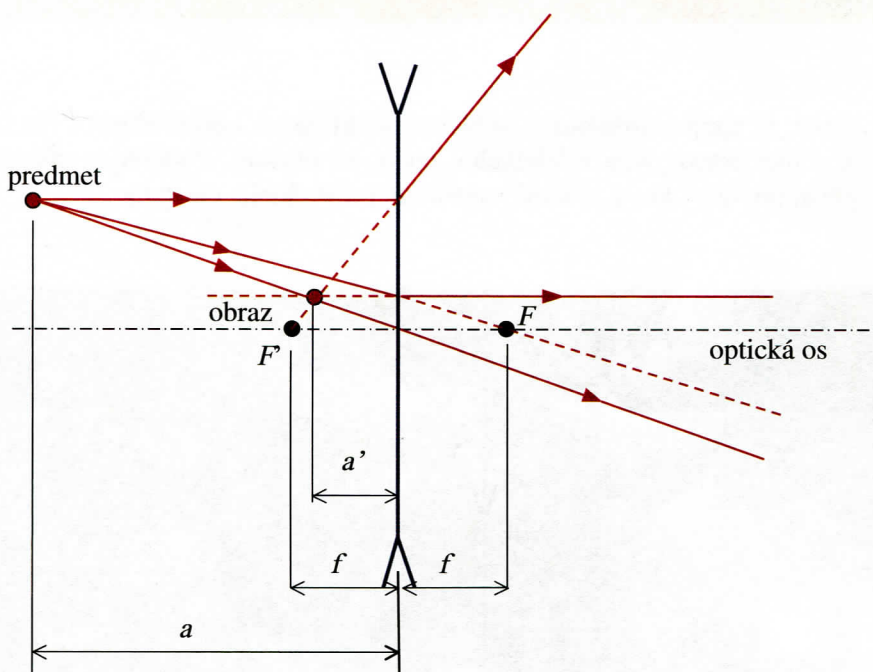
Vidíme, že:

- stredom šošovky prechádza **optická os** – myslená čiara kolmá na obe rozhrania, táto čiara prechádza tiež stredmi krivosti rozhraní,
- lúč idúci rovnobežne s optickou osou (význačný lúč) sa láme tak, že po prechode šošovkou prechádza bodom nazývaným **obrazové ohnisko F'** , toto platí pre každý lúč idúci rovnobežne s optickou osou,
- lúč prechádzajúci optickým stredom šošovky (význačný lúč) sa na šošovke láme tak, že pokračuje bez zmeny smeru,
- lúč prechádzajúci **predmetovým ohniskom F** (význačný lúč) sa láme tak, že po prechode šošovkou je rovnobežný s optickou osou; toto platí pre každý lúč prechádzajúci predmetovým ohniskom,
- vzdialenosť predmetového ohniska od optického stredy šošovky označujeme písmenom f a je rovnaká, ako vzdialenosť obrazového ohniska od optického stredy šošovky, nazývame ju **ohnisková vzdialenosť**,
- vzdialenosť predmetu od optického stredy šošovky označujeme písmenom a , nazývame ju **predmetová vzdialenosť**,
- vzdialenosť obrazu od optického stredy šošovky označujeme písmenom a' , nazývame ju **obrazová vzdialenosť**.

Rozptylná šošovka

Teraz si tieto isté objekty a vlastnosti všimnime na **rozptylnej šošovke**.

Pri rozptylnej šošovke je obrazové ohnisko F' v tom istom priestore ako predmet. Predmetové ohnisko F je v tom priestore, do ktorého prechádzajú lúče po lome na šošovke. Pozorne sledujte lúč vychádzajúci z predmetu rovnobežne s optickou osou a lúč vychádzajúci z predmetu smerom k predmetovému ohnisku.



Vlastnosti šošoviek často vyjadrujeme veličinou nazvanou **optická mohutnosť**. Optická mohutnosť je definovaná ako prevrátená hodnota ohniskovej vzdialenosti a označujeme ju písmenom φ . Jednotkou je **dioptria**, označujeme ju **D**. Pre optickú mohutnosť platí znamienková dohoda uvedená nižšie.

Optická mohutnosť

Pre záujemcov o kvantitatívne skúmanie šošoviek a vlastností obrazu pri zobrazovaní šošovkami uvádzame niekoľko ďalších informácií. Používame pri tom pojmy

- **predmetový priestor** – oblasť, kde sa nachádzajú lúče pred dopadom na šošovku,
- **obrazový priestor** - oblasť, kde sa nachádzajú lúče po prechode šošovkou.

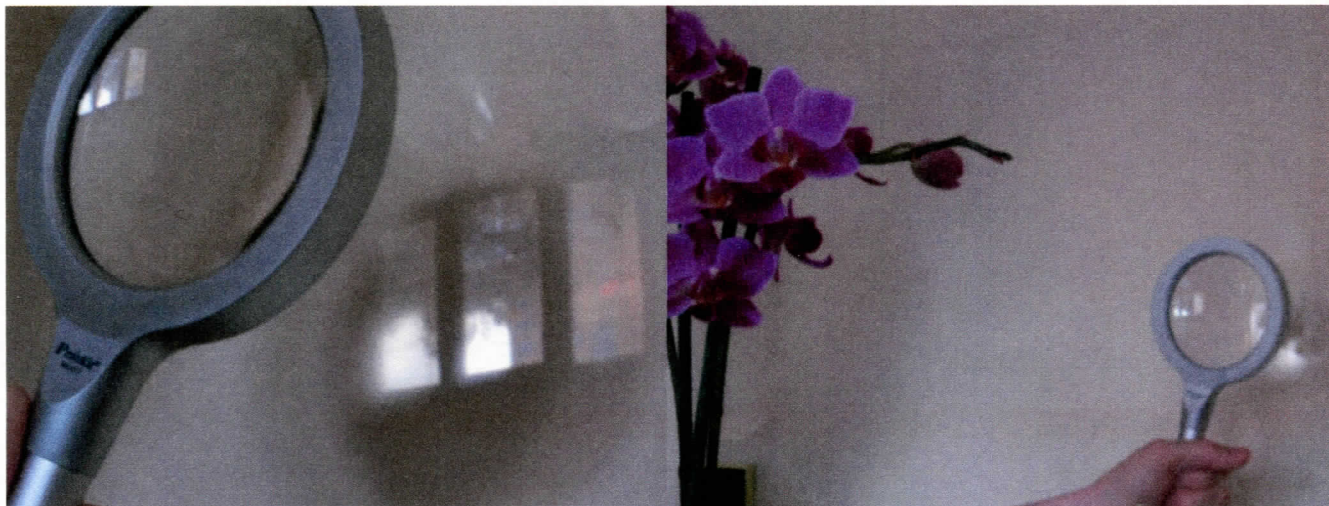
Pri veličinách opisujúcich šošovky a vlastnosti obrazu používame znamienkovú dohodu:

- f je kladná pre spojnú šošovku, záporná pre rozptylnú šošovku,
- a je kladná pre predmet v predmetovom priestore, záporná pre predmet v obrazovom priestore (taký predmet môže vzniknúť napr. zobrazením inou šošovkou),
- a' je kladná pre obraz v obrazovom priestore (napr. na predchádzajúcom obrázku zobrazenia spojnou šošovkou), záporná pre obraz v predmetovom priestore (napr. na predchádzajúcom obrázku s rozptylnou šošovkou),
- r_1, r_2 sú kladné pre vypuklé rozhrania, záporné pre duté rozhrania,
- φ je kladná pre spojnú šošovku a záporná pre rozptylnú šošovku.

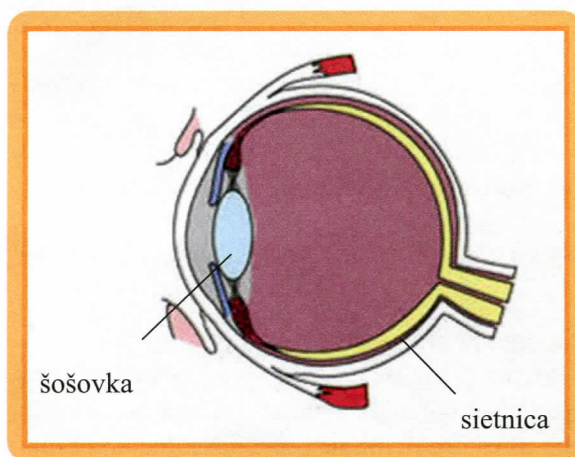
Platí:

$$\varphi = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$$

Veźmime si spojnú šošovku a priblížme ju ku stene oproti oknám. Na stene môžeme vidieť obraz okna a všetkého, čo je za oknami. Podobným spôsobom zobrazme aj predmet, ktorý je v miestnosti nie príliš ďaleko od steny.



Na stene sme vytvorili obraz okna a scény za oknami, v druhom prípade sme získali obraz predmetov menej vzdialených od šošovky. Podobným spôsobom môžeme vysvetliť aj princíp fungovania ľudského oka. Na rozdiel od nášho pokusu ľudské oko nemení vzdialenosť šošovky od tienidla ale mení ohniskovú vzdialenosť šošovky.



Oko je teleso guľovitého tvaru s polomerom približne 23 mm. Na hodinách biológie ste sa naučili, že oko tvorí optický systém s viacerými prostrediami a na zadnej časti oka je fotocitlivá vrstva tyčínok a čapíkov, ktoré zbierajú signál do zrakového nervu. Táto vrstva sa nazýva sietnica. Na obrázku je vyznačená aj časť oka, ktorá sa nazýva očná šošovka. Očná šošovka je pružná a kruhovým svalom ju možno zmenšiť a naopak uvoľniť.

Zmenou geometrie šošovky meníme polomery krivosti lámavých plôch šošovky a tým meníme ohniskovú vzdialenosť šošovky a celého oka. Tento proces nazývame **akomodácia oka**.

Akomodácia oka

Akomodačná schopnosť oka má isté hranice. Bežne dokážeme vidieť predmety, ktoré sú veľmi vzdialené. Najvzdialenejší predmet, ktorý sa na sietnici zobrazí ostro

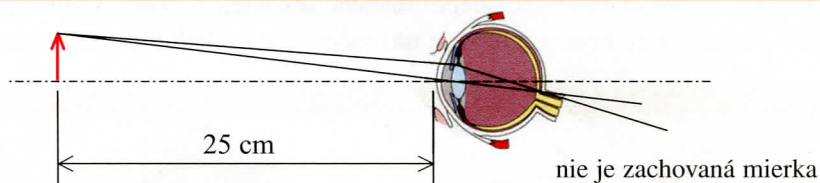
nazývame **ďaleký bod**. U väčšiny ľudí je v nekonečne. Predmety, ktoré sú veľmi blízko oka nevidíme ostro. Vzdialenosť najbližšieho bodu, ktorý ešte dokážeme ostro pozorovať nazývame **blízky bod**. U ľudí je rôzna, vo všeobecnosti je u mladých ľudí menšia a u starších väčšia. Bežná najmenšia vzdialenosť textov, ktoré dokážeme bez väčšej únavy čítať je 25 cm a nazýva sa **konvenčná zraková vzdialenosť**.

Ak človek ostro nevidí vzdialené predmety, hovoríme, že je **krátkozraký**. Obraz vzdialených predmetov vznikne pred sietnicou. Ak človek nevidí ostro predmety vo vzdialenosti 25 cm a menej, hovoríme, že je **ďalekozraký**. Takémuto človeku sa predmet vo vzdialenosti 25 cm zobrazí za sietnicu.

Krátkozraké oko

Ďalekozraké oko

Na obrázku je predmet tvaru šípky. Naznačené lúče zobrazujú jeden bod predmetu. Vidíme, že tento bod sa zobrazil na sietnici. V obrázku nie je zachovaná mierka.

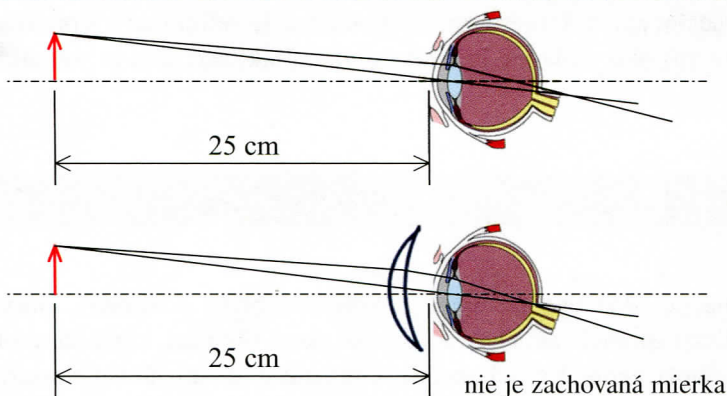


Úloha

Obrázok načrtnite do zošita a vyznačte smery šírenia sa lúčov.

- Dokreslite tretí lúč vychádzajúci z toho istého bodu idúci rovnobežne s optickou osou. Tento lúč, ak by prešiel šošovkou, tak by sa dostal do obrazu na sietnici. Pomocou takéhoto lúča ukážte, kde je ohnisko oka.
- Ak viete, že priemer oka je približne 23 mm, tak odhadnite optickú mohutnosť oka.

Na nasledujúcom obrázku je ďalekozraké oko. Bod predmetu, ktorý je vo vzdialenosti 25 cm od oka sa zobrazil za sietnicu. Aby sme tento bod videli zreteľne, použijeme vhodnú spojnú šošovku. Na obrázku vpravo lekár koriguje zrak najmodernejším excimerovým laserom.

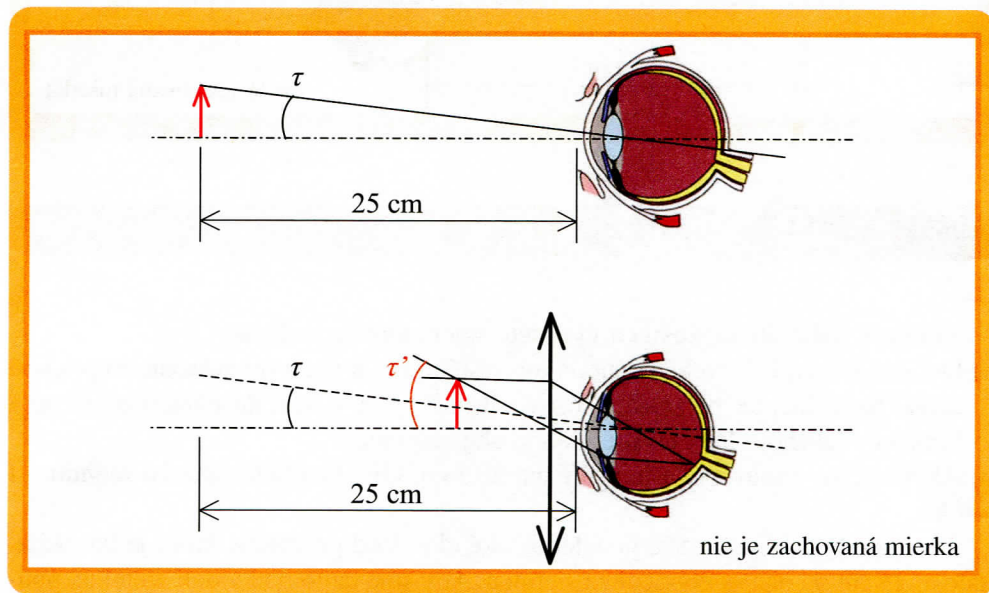


Podobným spôsobom, pomocou vhodného obrázku vysvetlite ako korigujeme krátkozraké oko.

Zorný uhol

Veľkosť obrazu na sietnici závisí od **zorného uhla**, ktorý zvierajú lúče vychádzajúce z krajných bodov predmetu smerujúce od optického stredu šošovky. Čím je predmet bližšie k oku, tým je zorný uhol väčší. Vieme, že dlhodobejšie môže priemerné oko pozorovať predmet najbližšie vo vzdialenosti 25 cm. Oko je schopné rozlíšiť dva body, ak ich vidí pod zorným uhlom väčším, ako $1'$ (jedna šesťdesiatina stupňa), teda ak sú navzájom vzdialené viac, ako 0,07 mm (pri vzdialenosti od oka 25 cm). Na pozorovanie jemnejších detailov používame lupu alebo mikroskop.

Lupa je spojná šošovka, alebo sústava šošoviek s ohniskovou vzdialenosťou menšou než 25 cm. Použitie lupy je naznačené na nasledujúcich obrázkoch.



Na hornom obrázku máme predmet vo vzdialenosti 25 cm a vidíme ho pod zorným uhlom τ . Na spodnom obrázku dáme pred oko lupu, predmet dáme do ohniska lupy (čo je menej ako 25 cm), alebo ešte trošku bližšie k oku. Predmet vidíme pod zorným uhlom τ' väčším ako τ . Uvedomme si, že uhol τ' je veľmi malý, a preto lupu nemusíme mať tesne pri oku. Pokojne ju môžeme držať tak, ako nám je pohodlné.

Úlohy

1. Nakreslite význačné lúče vychádzajúce z krajného bodu predmetu, ktorý sa nachádza v ohnisku spojenej šošovky. Diskutujte ako z obrázka, ktorý ste zostrojili vyplýva, že obraz vznikol v nekonečne. Obrázok dajte do súvisu s použitím lupy.

2. Pripravte si referáty o využití sústavy šošoviek v **mikroskope**, v rôznych typoch **ďalekohľadov** a v **objektívoch fotoaparátu**. Svoje referáty prezentujte podľa pravidiel zaužívaných na vašej škole.

Pripravte si zdroj informácií

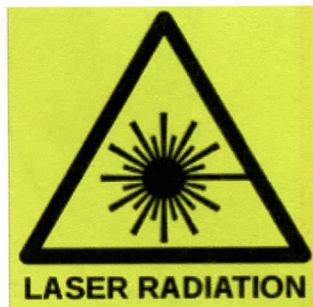
Iste nemusíme pripomínať, že zrak je pre človeka dôležitý a že je veľmi zraniteľný. Medzi najväčšie **ohrozenia zraku** patrí:

- mechanické poškodenie, napríklad rýchlo letiacimi ostrými predmetmi,
- chemické poškodenie, napríklad rozstreknutou kyselinou alebo zásadou,
- poškodenie ultrafialovým žiarením, napríklad zo Slnka,
- poškodenie svetlom s veľkou intenzitou, napríklad z lasera alebo z výkonného reflektora,
- poškodenie dlhodobým zaostrením na jednu vzdialenosť, napríklad pri dlhodobom čítaní knihy alebo sledovaní monitora počítača bez prestávok.

Ochrana zraku

Medzi základné spôsoby **ochrany zraku** patrí nosenie ochranných okuliarov a ochranných štítov a prílb.

Pracoviská a iné priestory so zvýšeným rizikom bývajú označené symbolmi. Niektoré z týchto symbolov sú na obrázkoch.



1.8 Fyzikálne veličiny spojené so svetlom

Ako zdroj svetla si predstavme matnú žiarovku guľového tvaru. Zaujímať nás budú vlastnosti tejto žiarovky ako zdroja svetla a tiež vlastnosti povrchu, ktorý je touto žiarovkou osvetlený. Definujme si fyzikálne veličiny, ktorými tieto vlastnosti opisujeme.

Žiarovka je zdrojom energie, ktorá zo žiarovky vyžaruje. Na opis tejto vlastnosti používame veličinu **žiarivý tok** Φ_e , definujeme ju ako podiel vyžiarenej energie a času, za ktorý bola táto energia vyžiarená. Jednotkou je watt, označujeme ju W.

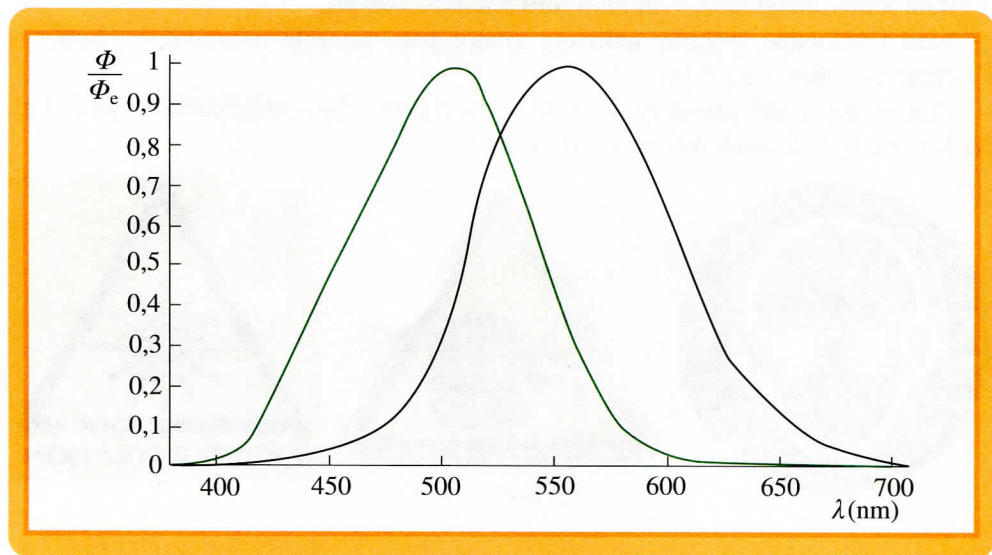
Žiarivý tok

Niekedy nás zaujíma iba vyžarovanie istej časti žiarovky. Napríklad vtedy, ak vyžarovanie nie je rovnaké vo všetkých smeroch, ak niektorá časť žiarovky vyžaruje viac a iná menej. Na vyjadrenie tejto vlastnosti používame veličinu **intenzita vyžarovania** M_e . Definovaná je ako podiel žiarivého toku vyžarovaného istou plochou a veľkosti tejto plochy. Jednotkou je $W \cdot m^{-2}$. Podobne **intenzita dopadajúceho žiarenia** je podiel žiarivého toku dopadajúceho na plochu a veľkosti tejto plochy.

Naše oko reaguje na elektromagnetické žiarenie rôznych vlnových dĺžok rôzne. Žiarenie s vlnovými dĺžkami menšími než 380 nm a väčšími než 780 nm vôbec nevidíme. Najlepšie vidíme žiarenie s vlnovou dĺžkou 555 nm. Preto zavádzame veličiny, ktoré vychádzajú zo subjektívneho vnemu človeka. Nemajú opodstatnenie na-

príklad pri práci s niektorými zvieratami a už vôbec ich nepoužívame vo fyzikálnych meraniach, ktoré nie sú spojené s vnemom človeka.

Predstavme si zdroj svetla s istou intenzitou vyžarovania a pod ním plochu, na ktorej je istá intenzita dopadajúceho žiarenia. Ak svetlo z tohto zdroja bude monochromatické s vlnovou dĺžkou 555 nm, tak budeme ním osvetlenú plochu istým spôsobom vidieť. Plochu v rovnakej vzdialenosti od iného zdroja s tou istou intenzitou vyžarovania, avšak s vlnovou dĺžkou 500 nm budeme vidieť osvetlenú iba tretinovo, ak by sme farbu zdroja vymenili za fialovú s vlnovou dĺžkou 450 nm, tak by osvetlenie bolo iba 5 %. Pri týchto odhadoch sme vychádzali z čiernej krivky grafu. Zelená krivka grafu znázorňuje hodnoty pre nízke osvetlenie, v šere. V šere najlepšie vidíme svetlo s vlnovou dĺžkou 500 nm.



Svetelný tok, lumen

Ak hodnotu žiarivého toku Φ_e vynásobíme v závislosti od vlnovej dĺžky svetla číslom od 0 po 1, podľa predchádzajúceho grafu, dostaneme novú veličinu **svetelný tok**. Označujeme ju symbolom Φ . Jednotkou svetelného toku je **lumen**, označujeme ju **lm**. Od roku 2010 musí byť každá žiarovka označená údajom, aký svetelný tok vyžaruje. Napríklad 60 W vlákňová žiarovka musí vyžarovať minimálne 806 lm. Na 70 W halogénovej žiarovke sme našli údaj 1 200 lm.

Priestor	Bežné osvetlenie (lx)
Jasný slnečný deň	100 000
Zamračené počasie v lete	20 000
Osvetlenie kancelárie	500
Osvetlenie chodby	100
Osvetlenie ulice	10
Mesačný svit	0,25
Jasná hviezdna obloha	0,001

Osvetlenie, lux

Úloha

Nájdite údaje o svetelnom toku a o príkone úsporných žiaroviek s klasickým závitom E 27 a zostrojte graf závislosti svetelného toku od príkonu. Uvažujte hodnoty dané výrobcami na obaloch žiaroviek.

Analogickou veličinou k veličine intenzita dopadajúceho žiarenia je veličina **osvetlenie**. Označujeme ju E_o , definovaná je ako podiel svetelného toku a veľkosti plochy, na ktorú svetelný tok dopadá. Jednotkou osvetlenia je **lux**, označujeme ju **lx**. Bežné osvetlenie niektorých priestorov je v tabuľke.

1. Osvetlenie plochy vo vzdialenosti 1 m je 250 lx.
 - a) Určte svetelný tok žiarovky za predpokladu, že žiarovka svieti vo všetkých smeroch rovnako.
 - b) Odhadnite osvetlenie plochy touto žiarovkou vo vzdialenostiach 2 m, 3 m, 4 m. Pri tomto odhade zanedbajte odrazy svetla od iných predmetov a od stien miestnosti.

Riešenie:

- a) Podľa definície osvetlenia vieme, že svetelný tok je súčinom osvetlenia a veľkosti plochy, ktorú osvetľujeme. Ak zdroj svieti vo všetkých smeroch rovnako, potom bude osvetlenie všade vo vzdialenosti 1 m od žiarovky rovnaké. Povrch gule s polomerom $r = 1$ m je $S = 4\pi r^2$. Svetelný tok bude $\Phi = E_0 S = 250 \text{ lx} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 1 \text{ m}^2 = 3140 \text{ lm}$.
- b) Z predchádzajúceho vzťahu vyplýva, že $E_0 = \frac{\Phi}{4\pi r^2}$. Osvetlenie teda klesá s druhou mocninou vzdialenosti. Vo vzdialenosti 2 m bude osvetlenie 4-krát menšie, vo vzdialenosti 3 m bude 9-krát menšie, vo vzdialenosti 4 m bude 16-krát menšie. Dostaneme teda hodnoty 62,5 lx, 28 lx, 16 lx. V miestnosti nameriame vyššie hodnoty, pretože na plochu kde meriame osvetlenie sa dostáva nielen svetlo vyžiarené priamo smerom na túto plochu, ale aj svetlo vyžiarené inými smermi a odrazené smerom na túto plochu.

2. Naplánujte a zrealizujte meranie závislosti osvetlenia plochy od jej vzdialenosti od prenosnej lampy. Pri plánovaní tohto experimentu berte do úvahy napr. schopnosť okolitých povrchov odrážať svetlo, závislosť osvetlenia plochy od jej naklonenia od smeru priamo ku zdroju svetla, kolísanie osvetlenia s frekvenciou 100 Hz pri použití vláknovej žiarovky a napájanie napätím s frekvenciou 50 Hz, ako aj ďalšie aspekty. V rámci plánovania nezabudnite vysloviť a odôvodniť vašu hypotézu, po spracovaní výsledkov experimentu sa pokúste vysvetliť rozdiely medzi vašimi výsledkami a vašou hypotézou.



1.9 Prenos signálu elektromagnetickým vlnením, digitalizácia signálu

V nasledujúcich dvoch častiach sa budeme venovať digitalizácii signálu. V súčasnosti väčšinu signálov s ktorými pracujeme, premieňame do digitálnej podoby. Zvyčajne to robíme preto, lebo tieto signály a informácie chceme spracovať pomocou počítačov a tiež preto, lebo ich chceme uchovať dlhšie obdobie. Základné princípy digitalizácie si ukážeme na príklade digitalizácie zvuku a na príklade digitalizácie obrázka.

Predstavme si lúč monochromatického svetla z lasera. Tento lúč budeme zapínať a vypínať. Na druhom konci miestnosti alebo aj oveľa ďalej, napríklad na konci ulice,

môžeme tento lúč vidieť a sledovať, ako ho niekto pri jeho zdroji zapína a vypína. Od zdroja sa k nám prostredníctvom tohto lúča šíri informácia. Uvedomme si, že **zdrojom signálu** je spínač (alebo človek alebo zariadenie ovládajúce tento spínač), **komunikačným kanálom** je lúč svetla s danou frekvenciou a **prijímačom signálu** je miesto dopadu lúča na stenu v spolupráci s našim okom. Ak lúč svetla nahradíme napríklad elektromagnetickou vlnou s frekvenciou z oblasti rádiových vln, potom opäť zdrojom signálu opäť môže byť spínač, avšak prijímačom musí byť zariadenie, ktoré nám zachytí postupnosť zapnutí a vypnutí a premení ju na informáciu, ktorú sme schopní vnímať.

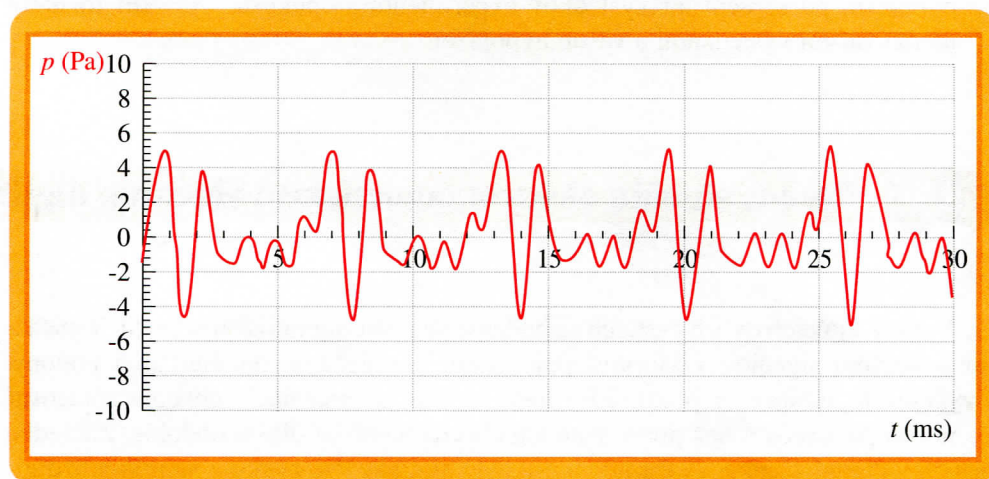
V predchádzajúcom odseku sme opísali prenos veľmi jednoduchej informácie, ktorý pripomína komunikovanie prostredníctvom Morseovej abecedy, v ktorej každé písmeno je vyjadrené postupnosťou zapnutí a vypnutí signálu. Na obrázku je signál SOS zapísaný Morseovou abecedou.



Zopakujte si

Podobným spôsobom prenášame aj iné informácie. V tejto učebnici naznačíme podstatu prenášania zvuku a neskôr aj obrazu. Pripomeňme si základné poznatky o zvuku z predchádzajúceho ročníka. Zvuk je mechanické vlnenie a prenáša sa napríklad vzduchom. Ak ho chceme preniesť z jedného miesta na iné napríklad telefónnou linkou, musíme informácie o tomto zvuku zakomponovať do elektromagnetického signálu. Robíme tak najmä preto, lebo s elektromagnetickým vlnením vieme zaobchádzať oveľa sofistikovanejšie ako s mechanickým vlnením, dokážeme ho prenášať na oveľa väčšie vzdialenosti a elektromagnetickú informáciu dokážeme lepšie uchovávať.

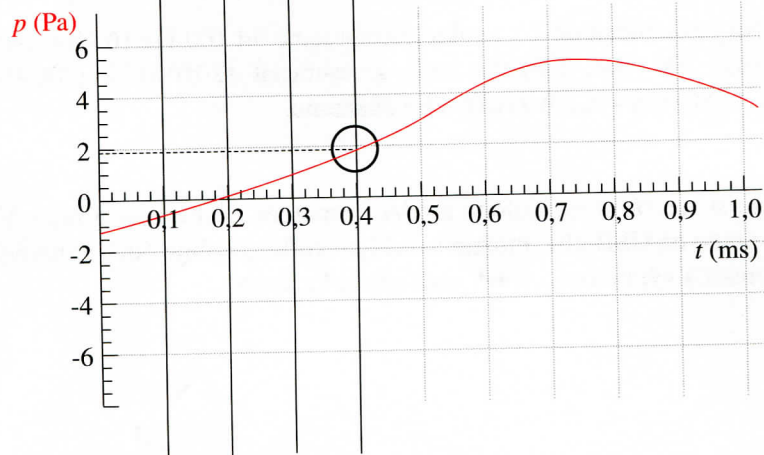
Majme zvukové vlnenie. Na obrázku je zobrazená hláska a pomocou spojitého signálu. V ďalšom sa budeme usilovať premeniť tento signál na postupnosť zapnutí a vypnutí.



Najskôr vyberieme zo znázorneného spojitého (analogového) signálu jeho hodnoty v pravidelných časových intervaloch, napríklad každú desatinu milisekundy.

Každý z týchto hodnôt priradíme istý, vždy rovnaký počet stavov. Každý stav je daný jednou z dvoch možností úrovni - zapnuté / vypnuté. V našom príklade priradíme každej hodnote tri stavy. Teda každej hodnote, ktorú sme zo signálu vybrali priradíme trojicu hodnôt, pričom každá z hodnôt môže dosahovať jednu z dvoch úrovní, 1 (zapnutie) a 0 (vypnutie). Celá trojica teda môže dosahovať nasledovné úrovne: 000; 001; 010; 011; 100; 101; 110; 111. Spolu máme 2^3 úrovní. Z predchádzajúceho obrázka vidíme, že signál dosahuje hodnoty od - 6 Pa po 6 Pa. Teda celkový meraný rozsah je 12 Pa. Tento rozsah rovnomerne rozdelíme na 8 úrovní, dostaneme $12 \text{ Pa} : 8 = 1,5 \text{ Pa}$. Rozdelenie môže vyzeráť napr. tak, ako v tabuľke.

Hodnota signálu (Pa)		Úroveň signálu
od	po	
-6,00	-4,50	000
-4,49	-3,00	001
-2,99	-1,50	010
-1,49	0,00	011
0,01	1,49	100
1,50	2,99	101
3,00	4,49	110
4,50	6,00	111



Na predchádzajúcom obrázku sme ako príklad vyznačili hodnotu signálu v čase 0,4 ms. Táto hodnota je o niečo menšia, než 2 Pa, priradíme jej teda úroveň 101.

Aby sme sa mohli lepšie a presnejšie vyjadrovať, zavedieme si novú terminológiu. Mnohí z vás ste sa s uvedenými pojmami už stretli, porovnajte naše zavedenia pojmov so svojimi predchádzajúcimi vedomosťami. Keď hovoríme o tom, že v pravidelných časových intervaloch vyberáme zo spojitého signálu jeho hodnoty, hovoríme o **vzorkovacej frekvencii**. V našom príklade sme použili vzorkovacou frekvenciu 10 kHz, teda 10 000 hodnôt za sekundu alebo 10 hodnôt za milisekundu.

Keď hovoríme o zapnutí a vypnutí, môžeme hovoriť aj o logickej 0 a logickej 1. Takéto množstvo informácie nazývame **1 bit**, môže dosahovať hodnotu 0 alebo 1.

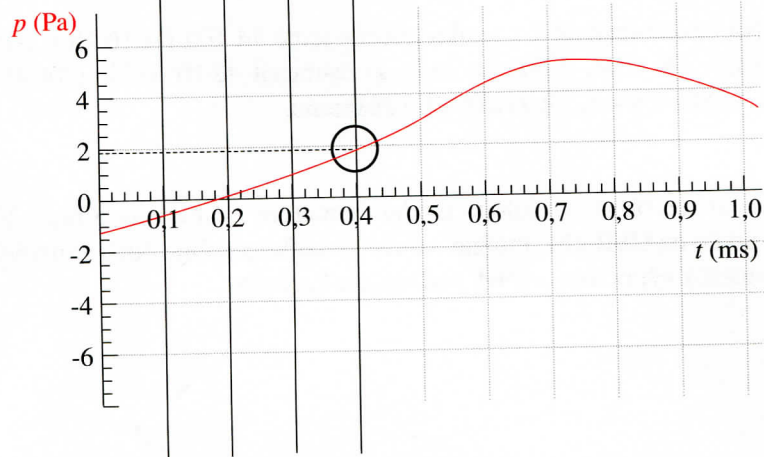
Bit je jednotkou digitálnej informácie. V našom príklade sme použili trojbitové rozlíšenie, každú z hodnôt vybraných vzorkovaním sme nahradili trojicou bitov. Teraz môžeme vypočítať počet bitov potrebných na prenos zvukového vlnenia v nami zvolenej kvalite. Celkový čas vlnenia je 30 ms. Vzorkovaním vyberieme $30 \cdot 10$ hodnôt. Každý priradíme tri bity. Spolu teda použijeme 900 bitov.

Vzorkovacia frekvencia

Bit, bajt

Každý z týchto hodnôt priradíme istý, vždy rovnaký počet stavov. Každý stav je daný jednou z dvoch možností úrovni - zapnuté / vypnuté. V našom príklade priradíme každej hodnote tri stavy. Teda každej hodnote, ktorú sme zo signálu vybrali priradíme trojicu hodnôt, pričom každá z hodnôt môže dosahovať jednu z dvoch úrovní, 1 (zapnutie) a 0 (vypnutie). Celá trojica teda môže dosahovať nasledovné úrovne: 000; 001; 010; 011; 100; 101; 110; 111. Spolu máme 2^3 úrovní. Z predchádzajúceho obrázka vidíme, že signál dosahuje hodnoty od - 6 Pa po 6 Pa. Teda celkový meraný rozsah je 12 Pa. Tento rozsah rovnomerne rozdelíme na 8 úrovní, dostaneme $12 \text{ Pa} : 8 = 1,5 \text{ Pa}$. Rozdelenie môže vyzeráť napr. tak, ako v tabuľke.

Hodnota signálu (Pa)		Úroveň signálu
od	po	
-6,00	-4,50	000
-4,49	-3,00	001
-2,99	-1,50	010
-1,49	0,00	011
0,01	1,49	100
1,50	2,99	101
3,00	4,49	110
4,50	6,00	111



Na predchádzajúcom obrázku sme ako príklad vyznačili hodnotu signálu v čase 0,4 ms. Táto hodnota je o niečo menšia, než 2 Pa, priradíme jej teda úroveň 101.

Aby sme sa mohli lepšie a presnejšie vyjadrovať, zavedieme si novú terminológiu. Mnohí z vás ste sa s uvedenými pojmami už stretli, porovnajte naše zavedenia pojmov so svojimi predchádzajúcimi vedomosťami. Keď hovoríme o tom, že v pravidelných časových intervaloch vyberáme zo spojitého signálu jeho hodnoty, hovoríme o **vzorkovacej frekvencii**. V našom príklade sme použili vzorkovacou frekvenciu 10 kHz, teda 10 000 hodnôt za sekundu alebo 10 hodnôt za milisekundu.

Keď hovoríme o zapnutí a vypnutí, môžeme hovoriť aj o logickej 0 a logickej 1. Takéto množstvo informácie nazývame **1 bit**, môže dosahovať hodnotu 0 alebo 1.

Bit je jednotkou digitálnej informácie. V našom príklade sme použili trojbitové rozlíšenie, každú z hodnôt vybraných vzorkovaním sme nahradili trojicou bitov. Teraz môžeme vypočítať počet bitov potrebných na prenos zvukového vlnenia v nami zvolenej kvalite. Celkový čas vlnenia je 30 ms. Vzorkovaním vyberieme $30 \cdot 10$ hodnôt. Každý priradíme tri bity. Spolu teda použijeme 900 bitov.

Vzorkovacia frekvencia

Bit, bajt

Vzorkovaciu frekvenciu 10 kHz, ako aj trojbitové rozlíšenie sme si zvolili iba kvôli prehľadnosti. Pri zvuku väčšina zariadení v takzvanej CD kvalite používa vzorkovaciu frekvenciu 44,1 kHz a rozlíšenie 16 bit.

Kapacitu zariadenia na ukladanie digitálnych informácií zvyčajne stanovujeme v jednotkách **bajt**, pričom platí 1 bajt = 8 bit.

Úlohy

1. Odhadnite dĺžku zvukovej nahrávky ktorú je možné zaznamenať na pamäťové médium, napr. USB kľúč s kapacitou 2,0 Gbajt.

Riešenie: Na zaznamenanie 1 s zvuku potrebujeme $44\,100\text{ Hz} \cdot 16\text{ bit} = 705\,600\text{ bit}$, teda približne 706 kbit. Môžeme teda zaznamenať $(2 \cdot 10^9 \cdot 8)\text{ bit} : (706 \cdot 10^3)\text{ bit} \cdot \text{s}^{-1} = 2,3 \cdot 10^4\text{ s} = 380\text{ min} = 6,3\text{ h}$ zvukového záznamu.

2. Pripravte si referát o rozdieloch medzi formátom zvuku wav a mp3. Vysvetlite v ňom, prečo na USB kľúč možno nahráť niekoľkonásobne dlhší zvukový záznam v porovnaní s výpočtom z predchádzajúcej kapitoly.

1.10 Digitalizácia obrazu

	Časová os
1969	Objav CCD snímača
1974	Prvé komerčne vyrábané CCD snímače 100 x 100 pixelov
2009	Nobelova cena za práce na CCD snímačoch

Nobelova cena, 2009

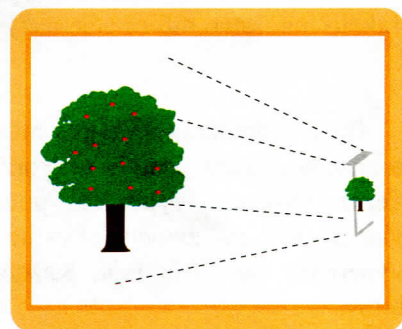
Základnou súčiastkou používanou vo väčšine súčasných zariadení na záznam obrazu je CCD snímač. Tento snímač obsahuje body, nazývané pixely, ktoré sú citlivé na svetlo. Keď je pixel osvetlený, prebehne na ňom fotoelektrický jav, elektróny v ňom zmenia svoju energiu a táto informácia sa ďalej spracuje.

Niektoré aspekty činnosti fotoaparátu s CCD snímačom si ozrejníme na príklade. Majme CCD snímač s rozmermi 24 mm·18 mm obsahujúci 12 miliónov pixelov, teda 12 Mpixel. Predstavme si pixel ako štvorec s hranou a . Odhadneme dĺžku strany a . Plocha CCD snímača je $24 \cdot 18 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2 = 4,3 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2$. Na jeden pixel

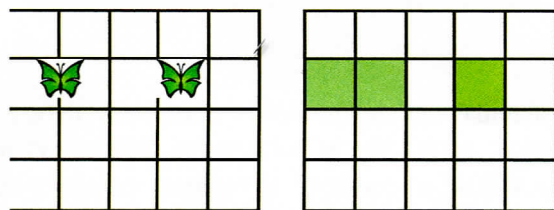
teda pripadá plocha $S_p = \frac{4,3 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2}{12 \cdot 10^6} = 3,6 \cdot 10^{-11}\text{ m}^2$

Hrana pixelu má teda dĺžku $a = 6 \cdot 10^{-6}\text{ m}$.

Odfotografujme týmto fotoaparátom strom s výškou 4,5 m tak, že obraz stromu zaberie tretinu výšky fotografie. Počas fotenia leteli okolo stromu dva maličké motýle vzdialené od seba 9,0 mm. Určme, či na fotografii môžeme tieto motýle navzájom rozlíšiť.



Pri riešení si uvedomíme, že výška obrazu stromu na CCD snímači je tretina z 24 mm, čo je 8 mm. Obraz je teda zmenšený v pomere $\frac{8 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{4,5 \text{ m}} = 1,77 \cdot 10^{-3}$. Vzdialenosť motýľov teda bude $9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 1,77 \cdot 10^{-3} = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$. Vidíme, že táto vzdialenosť je väčšia, než hrana pixelu, teda motýle nesplnú do jedného bodu. Výsledok je naznačený v obrázku.



Úloha

Pripravte si referát o tom, koľko fotografií a koľko minút videozáznamu bez kompresie môžeme zaznamenať na USB kľúč s kapacitou 2,0 Gbajt. Vychádzajte z informácií o svojom fotoaparáte a z ďalších informácií z vášho zdroja informácií.

1.11 Prenos informácií

V predchádzajúcich dvoch častiach sme vysvetlili, ako sa informácia (zvuk, obraz) digitalizuje. Takto upravenú informáciu je často potrebné preniesť aj na veľké vzdialenosti.

Možnosť komunikovať (komunikácia) patrí medzi prirodzené ľudské potreby. Ľudia sa oddávna snažili komunikovať aj na väčšie vzdialenosti napríklad pomocou ohňa, dymu. Takýto signál niesol zväčša málo informácií na pomerne krátke vzdialenosti (dodnes tak fungujú semaforey). Tento prenos veľmi závisel od vonkajších podmienok (hmla). S priemyselným rozvojom v druhej polovici 19. storočia vznikla potreba prenosu väčšieho množstva informácií a na väčšie vzdialenosti. Problém riešili objavy v elektrotechnike – telegraf (S. F. B. Morse, 1844), telefón (A. G. Bell, 1870), televízia (J. L. Baird, 1926). V roku 1929 sa Baird snažil preniesť obraz pomocou kábla spleteného z tisícky sklenených vlákien. Obraz bol však veľmi nekvalitný, a preto sa upustilo od myšlienky používať svetlo na prenos informácií. Namiesto toho sa použilo elektromagnetické vlnenie rádiových vln s frekvenciou 1 až 10 GHz, ktoré sa šírilo káblami. Ak by sme však použili viditeľné svetlo, kapacita prenášaných hovorov by vďaka vysokej frekvencii svetla mohla byť výrazne väčšia. Problém vyriešili dva významné objavy druhej polovice 20. storočia. Objav lasera, ktorého svetlo má viaceré výhody a objav možností použiť sklenené vlákna

	Časová os
1858	Niekoľko slov za hodinu (telegraf)
1866	6 – 8 slov za minútu (telegraf)
1956	36 telefonických kanálov – káble
1960	Ted Maiman, objav lasera (vhodný zdroj svetla na prenos informácií)
1966	Charles Kao, myšlienka použiť sklenené vlákna na prenos informácií pomocou svetla z lasera
1978	4 000 telefonických hovorov – káble

	Časová os
1988	280 Mbit/s 40 000 telefonických kanálov – optické káble
2001	640 Gbit/s 9 700 000 telefonických kanálov – optické káble
2007	Vyššie 1 Tbit/s – optické káble

ako vhodné médium na prenos informácií. K týmto možnostiam prispeli aj následné technologické vylepšenia ich výroby.

V tabuľke je historický prierez množstva prenesených dát podmorskými komunikačnými káblami medzi Európou a Amerikou. Ak by sme zobrali všetky dnes používané optické káble, vlákna sú také dlhé, že by omotali Zem asi 25 000-krát a celková dĺžka vo svete vyrobených káblov rastie každú hodinu o niekoľko tisíc km.

Nobelova cena, 2009

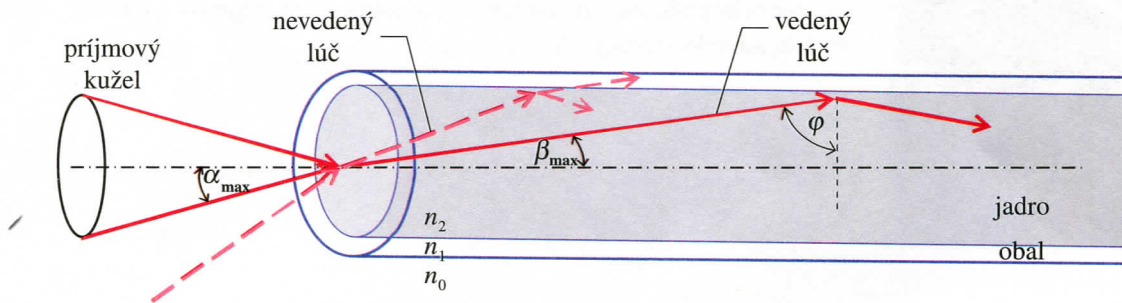


Optické vlákna sú tenké vlákna, vyrobené z polymérov alebo z kremíkového skla (SiO_2), obalené obalom a niekedy aj ochranným plášťom. Princíp šírenia svetla pomocou optického vlákna je založený na úplnom odraze svetla. Náorne si to môžeme ukázať pokusmi znázornenými na obrázkoch. Na prvom obrázku svietime laserovým svetlom na hranol z plexiskla, na druhom obrázku prúd vody vytekajúci z otvoru v PET fľaši znázorňuje optické vlákno. Vyskúšajte si to!

Technici musia v súvislosti s prenosom svetla optickým vláknom riešiť aj problém, ako čo najefektívnejšie dostať svetlo zo zdroja do vlákna. Na to musia poznať jednu z charakteristík vlákna a to uhol, pod ktorým je svetlo ešte schopné šíriť sa vláknom. Najčastejšie používané vlákna na prenos informácií vyrobené z kremíkového skla, majú úzky príjmový kužeľ, pozri úlohu 1. bod a). Z toho vyplýva nevyhnutnosť presnej technológie pri nadväzovaní žiarenia do vlákna. Niektoré polymérové vlákna, používané napríklad ako dekoračné osvetlenie, majú veľký príjmový kužeľ, takže majú schopnosť prijať svetlo z veľkého priestoru, pozri bod b) úlohy 1. Jednoduchým pokusom s polymérovým vláknom sa môžeme presvedčiť, že stačí, aby vlákno bolo na bežnom dennom svetle a na koncoch sa optické vlákno javí, akoby svietilo. Ak potom zakryjeme jeden koniec vlákna, druhý koniec prestane svietiť. Treba si však uvedomiť, že týmto spôsobom sa nedá osvetliť nejaký predmet, pretože podobne, ako svetlo vstupuje do vlákna, tak z neho aj vystupuje – rozptýli sa do priestoru pod veľkým uhlom do širokého kužeľa.

Úlohy

- Na obrázku je znázornené optické vlákno. Zistite, pod akým maximálnym uhlom α_{\max} máme zasvietiť do vlákna („nadviazať svetlo do vlákna“), aby sa lúč ešte šírili:
 - optickým vláknom z kremíkového skla (nech index lomu jadra vlákna je 1,48 a index lomu obalu je 1,46),
 - optickým vláknom z polyméru (nech index lomu polyméru je 1,59 a index lomu obalu je 1,34).



Riešenie:

a) Úlohu budeme riešiť v troch krokoch:

Aby sa daný lúč šíril vláknom, na rozhraní jadro – obal musí nastať úplný

odraz svetla, teda platí $\frac{\sin \varphi}{\sin 90^\circ} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1,46}{1,48}$, z čoho $\varphi = 80,6^\circ$.

Z pravouhlého trojuholníka vyplýva, že $\beta_{\max} = 90^\circ - \varphi = 9,4^\circ$.

Pri vstupe lúča zo vzduchu do vlákna nastáva lom svetla. Platí zákon lomu:

$$\frac{\sin \alpha_{\max}}{\sin \beta_{\max}} = \frac{n_2}{n_0}, \quad \sin \alpha_{\max} = \frac{1,48}{1} \sin 9,4^\circ, \quad \text{z čoho } \alpha_{\max} = 14,0^\circ$$

b) Riešenie je podobné ako v bode a). Výsledok je $\alpha_{\max} = 58,9^\circ$

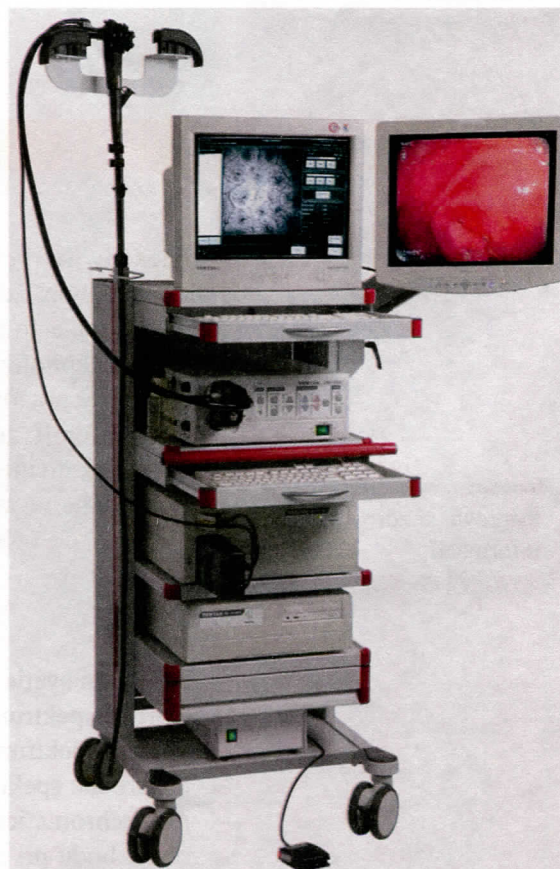
2. V optickom vlákne so známou hodnotou priemeru r , indexu lomu jadra n_1 a indexu lomu obalu n_2 sa šíri svetelný lúč pod konkrétnym uhlom φ .

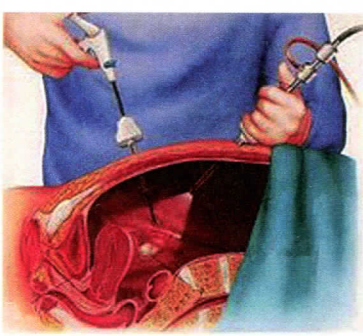
a) Koľkokrát dôjde k úplnému odrazu v priamom vlákne dlhom 1 km?

b) Akú dráhu prejde lúč v tomto vlákne?

c) Ak sa bude daný lúč šíriť vláknom, teoreticky za aký čas by prišiel z New Yorku do Bratislavy?

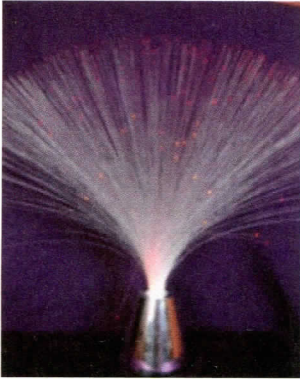
Pojmy ako gastroskopia, bronchoskopia, rektoskopia, kolo-noskopia, rinoskopia, hysteroskopia, cystoskopia a iné spája jedna fyzikálna podstata – prenos svetla do neprístupných častí ľudského tela pomocou optických vlákien. Ide o medicínske, takzvané endoskopické metódy na vyšetrovanie dutých častí tela (žalúdok, pľúca, konečník, hrubé črevo, nos, maternica, močové cesty a iné). Na vyšetrenie slúži endoskop - optický prístroj na princípe optických vlákien, ktorý umožňuje posvietiť si a preniesť obraz z dutých častí tela. Endoskopy sa využívajú aj v priemysle.





Na obrázku lekár operuje laparoskopickou metódou. Brušná dutina sa pred operáciou pacientovi naplní oxidom uhličitým. Cez malý otvor sa do tela zavedie endoskop slúžiaci na osvetlenie a zobrazenie orgánov a ďalšími otvormi sa do tela zavedú chirurgické nástroje.

Úlohy



Pripravte si zdroj informácií

1. Pomocou zväzku optických vlákien (napríklad z dekoračnej lampy) si overte, že svetlo vieme dostať “za roh”. Napodobnite historický pokus z roku 1929, kedy sa vynálezca televízie J. L. Baird pokúsil preniesť obraz predmetu pomocou zväzku optických vlákien.

2. Pripravte si referáty o histórii podmorských komunikačných káblov, spôsobe ich výroby a ukladania na morské dno, využití optických vlákien v technike, technologických novinkách týkajúcich sa tejto oblasti, histórie laparoskopie. Svoje referáty prezentujte podľa pravidiel zaužívaných na vašej škole.

1.12 Zhrnutie, úlohy

Niekedy sa hovorí, že učenie sa je dávanie zmyslu novým skúsenostiam. Predpokladáme, že niektorým skúsenostiam získaným vyučovaním fyziky ste dali nový zmysel, a že tento je možné vyjadriť niektorými z pojmov, ktoré sme používali. V tejto kapitole sme zaviedli niekoľko nových pojmov. Používali sme aj pojmy, s ktorými ste pracovali už na základnej škole, ktorých význam bolo však potrebné si znovu uvedomiť, zopakovať, prípadne spresniť, dať im zmysel, spojiť ich so skúsenosťami získanými v škole i mimo školy. V prípade potreby pojmy a slovné spojenia vyhľadajte vo svojom zdroji informácií.

Pripravte si zdroj informácií

- analógia
- vákuum
- svetlo
- spektrum svetla
- čiarové spektrum svetla
- emisné spektrum
- absorpčné spektrum
- monochromatické svetlo
- obraz bodu pri zobrazovaní zrkadlom

- obraz bodu pri zobrazovaní šošovkou
- zákon lomu
- index lomu
- úplný odraz
- difúzny odraz
- disperzia svetla
- spektroskop
- interferencia svetla
- šošovka
- obraz predmetu pri zobrazovaní zrkadlom
- obraz predmetu pri zobrazovaní šošovkou
- optická mohutnosť šošovky
- dioptria
- akomodácia oka
- okuliare s optickou mohutnosťou kladnou
- okuliare s optickou mohutnosťou zápornou
- osvetlenie
- lumen
- lux
- vzorkovacia frekvencia
- bajt
- pixel
- optické vlákno

Vyjadrite sa k nasledovným problémom

1. Kúsok sodíka vložíme do modrého plameňa plynového horáka a uvidíme, že farba plameňa sa zmení na ostrú žltú. Všimnite si emisné spektrum sodíka na obrázku v časti 1.1. V oblasti viditeľného svetla má emisné spektrum sodíka jednu výraznú čiaru zodpovedajúcu vlnovej dĺžke 587 nm. Táto vlnová dĺžka zodpovedá žltému svetlu. Diskutujte o tom, že farba svetla sa nezmenila ako následok zmeny teploty plameňa, ale sa musela zmeniť z iných dôvodov.



2. Pri pozorovaní svetla z hviezd môžeme pomocou kvalitných spektroskopov zistiť, že toto svetlo obsahuje okrem iného aj štvoricu čiar veľmi podobnú absorpčnému spektru vodíka. Z tohto usudzujeme, že na povrchu týchto hviezd sa nachádza vodík. V laboratóriu môžeme zmerať, že absorpčné spektrum vodíka obsahuje čiary zodpovedajúce vlnovým dĺžkam 410 nm, 434 nm, 486 nm,

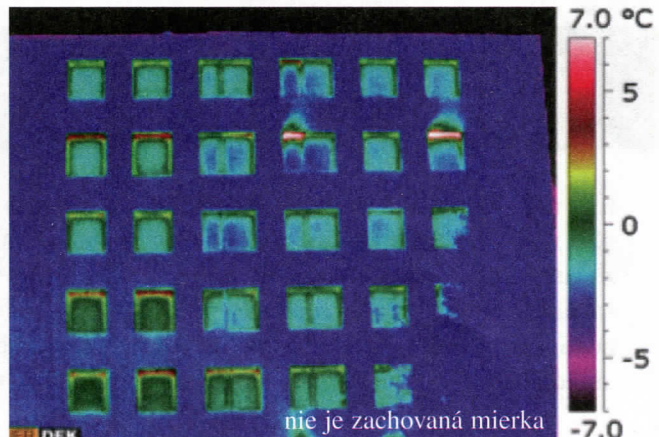
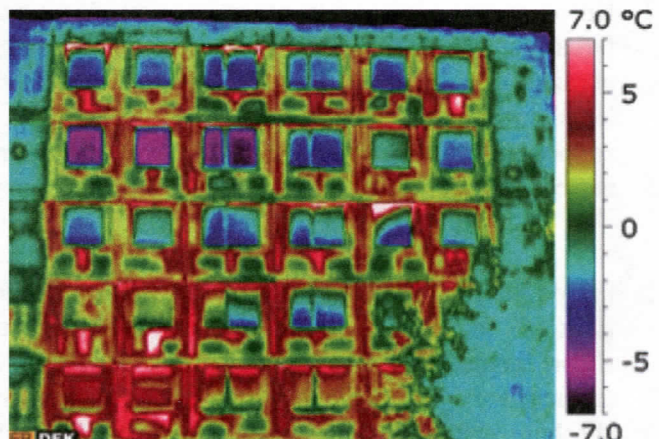


656 nm. Vo svetle z hviezd nájdeme však čiary s vlnovými dĺžkami 412 nm, 436 nm, 488 nm a 658 nm. Diskutujte o tomto jave. Využite svoje vedomosti z minulého ročníka o Dopplerovom jave. Pripravte si referát o tom, že tento jav sa dá využiť na meranie rýchlosti pohybu hviezd. Môžete sa tiež venovať skutočnosti, že hviezdy viac vzdialené od Zeme sa od nej vzdalujú rýchlejšie. Zistite, ako ďaleko od Zeme je hviezda, ktorej spektrum je v tejto úlohe spomenuté.

3. V časti 1.4 sme biele svetlo rozložili hranolom na spektrum. Diskutujte o tom, na ktorom rozhraní nastala disperzia a prečo sme použili hranol. Diskutujte tiež o tom, ako sa po lome na hranole bude správať svetlo z lasera.
4. Prístroje na nočné videnie používajú viacero systémov. Vo všeobecnosti zosilňujú infračervené žiarenie z prirodzených zdrojov svetla v okolí alebo používajú ako zdroj reflektor vyžarujúci infračervené žiarenie. Pripravte si referát o využívaní takýchto prístrojov. Spomeňte použitie pri zabezpečení majetku, v poľovníctve a podobne.

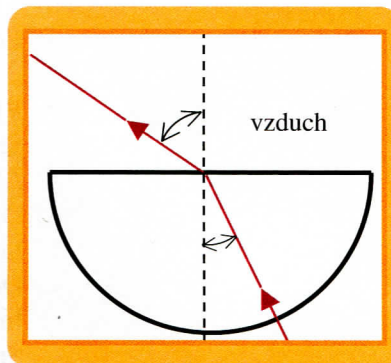


5. Termografia (niekedy nazývaná aj termovízia) je bezkontaktné meranie povrchových teplôt telies. Špeciálnym fotoaparátom sa zachytí infračervené žiarenie vyžarované týmto telesom. Pri meraní musíme zabezpečiť dostatočný rozdiel medzi teplotami zobrazovaného telesa a teplotou okolia. Budova na obrázku bola pred a po zateplení snímaná pri teplote okolia pod bodom mrazu. Jednotlivým teplotám predmetu zodpovedajú vlnové dĺžky infračerveného žiarenia, ktoré sú snímané. Týmto teplotám sa v nastavení prístroja priradia farby, napríklad tak, ako to vidíme na obrázku. Môžeme si všimnúť, že spoje medzi panelmi a niektoré okná majú teplotu okolo 5 °C a teda týmito spojmi a oknami uniká z budovy teplo. Diskutujte o tejto téme a tiež o úlohe zateplovania budov. Po zateplení uniká teplo najviac cez pootvorené okná.



1. Svetlo sa dostane na Zem zo Slnka za 8 min a 20 s. Vypočítajte z tohto údaja vzdialenosť Zeme od Slnka.

2. Lúč svetla na obrázku dopadá na rozhranie špeciálneho materiálu so vzduchom zdola pod uhlom dopadu 20° a láme sa pod uhlom lomu 50° . Rozhodli sme sa uhol dopadu zväčšovať dovtedy, kým sa bude svetlo lámať do vzduchu. Určte maximálny takýto uhol. Určte tiež index lomu tohto materiálu. Diskutujte o tom, že svetlo sa od rozhrania vždy odráža a niekedy sa aj láme do druhého prostredia. Do obrázka dokreslite odrazený lúč.



3. Na dno bazéna nám padli kľúče. Podľa údajov na stene bazéna je v ňom voda s hĺbkou 1,5 m. Kľúče sa nám však javia v menšej hĺbke. Vysvetlite tento jav.

Riešenie (kvalitatívne): Lúče odrazené od kľúčov smerom nahor sa na rozhraní voda-vzduch lámu. Uhol lomu je väčší než uhol dopadu. Do oka nám vstupujú tieto lomené lúče a nám za zdá, že vychádzajú z obrazu kľúčov, ktorý je v ich priesečníku. Tento priesečník je bližšie ku hladine.



Pomôcka na kvantitatívne riešenie: Vieme, že index lomu vody je 1,33. Uvedomme si, že v obrázku nie je zachovaná mierka. Ak sa pozeráme zhora, tak nám do oka vstupujú lúče, ktoré navzájom zvierajú veľmi malý uhol. Pre malé uhly platí, že $\sin \alpha$ sa približne rovná $\text{tg } \alpha$. Označme si vzdialenosť bodov, v ktorých lúče vystupujú z hladiny $2x$, hĺbkou bazéna h a zdanlivú hĺbkou h_z . Dostaneme:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \approx \frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \beta} = \frac{\frac{x}{h}}{\frac{x}{h_z}} = \frac{n_2}{n_1} = 1,33, \text{ teda platí, že } h_z = \frac{h}{1,33} = 1,1 \text{ m}$$

4. Navrhnete spôsob merania vlnovej dĺžky monochromatického svetla a lasera difrakčnou mriežkou. Predpokladajte, že máte k dispozícii mriežku, ktorá obsahuje 120 štrbín na 1,00 mm šírky mriežky. Vo svojom návrhu použite vzťah týkajúci sa difrakčnej mriežky, ktorý ste našli vo vašom zdroji informácií:

$\sin \varphi = \frac{k\lambda}{d}$, kde φ je uhol odklonu od priameho smeru, v ktorom nastane interferenčné maximum, λ je hľadaná vlnová dĺžka svetla, d je vzájomná vzdialenosť susedných štrbín v mriežke a k je celé číslo. Číslo k môže pri svetle z vláknovej žiarovky dosahovať hodnoty od 0 maximálne po 3, pri použití svetla z lasera môže dosahovať hodnoty od 0 po 8, niekedy aj viac.

5. Predstavte si, že v jasný slnečný deň stojíte na lúke a pozorujete jasnú modrú oblohu, zatiaľ čo slnko má žltobielu farbu. Preneste sa v čase a uvedomte si že

zapadajúce slnko má červenú farbu, podobne ako keď ráno vychádza. Pokúste sa vysvetliť tieto javy.

Pomôcka: V tejto učebnici sme sa venovali nasledovným javom:

- Vznik svetla
- Šírenie svetla v prostredí, ktoré toto svetlo neovplyvňuje
- Absorpcia svetla
- Odraz svetla na rozhraní dvoch prostredí
- Lom svetla na rozhraní dvoch prostredí
- Disperzia svetla
- Interferencia svetla
- Správanie sa svetla na difrakčnej mriežke
- Dopplerov jav v súvislosti so svetlom z hviezd

Asi je rozumné predpokladať, že obloha je osvetlená Slnkom, teda že zdrojom svetla je Slnko a nie obloha. Slnko však nie je modré. Môžete sa pokúsiť na základe niektorého z uvedených javov modrú farbu oblohy vysvetliť, ale pravdepodobne sa vám to nepodarí. Naše schopnosti spracovať vopred získané informácie nám asi v tejto úlohe nepomôžu, potrebujeme informácie nové. Odpoveď je skrytá v samotnom šírení svetla vzduchom. Svetlo interaguje s molekulami vzduchu (molekulami dusíka, kyslíka, vody a pod.). Vedci zistili, že molekuly vzduchu dokážu pohltiť a zároveň vyžiariť do rôznych smerov svetlo s istými vlnovými dĺžkami. Tento jav nazývame rozptyl svetla. Vzduch oveľa lepšie rozptyľuje modré svetlo, než červené. Vysvetlite javy z úlohy s použitím tejto pomôcky.

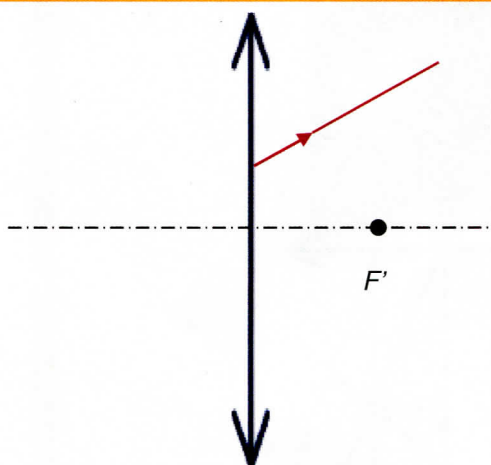
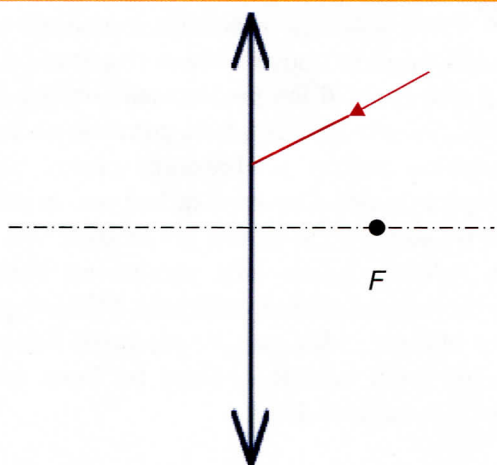
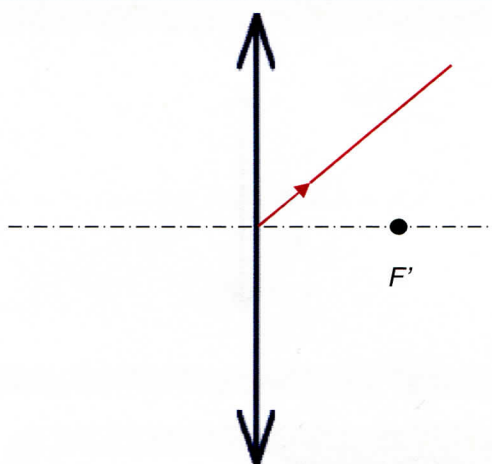
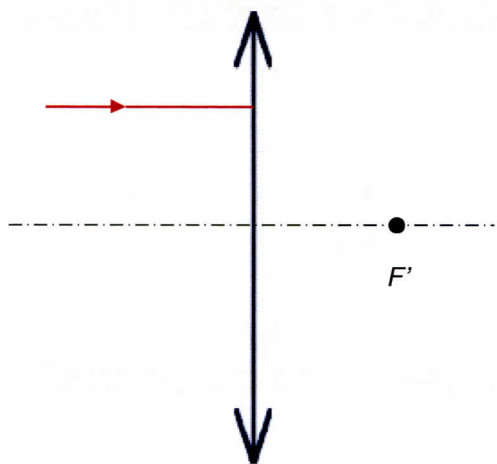
6. Vieme, že olej má menšiu hustotu ako voda, a teda že pláva na hladine vody. Tiež vieme, že olej s vodou chemicky nereaguje. Olejová škvrna na vodnej hladine má často dúhové sfarbenie. Kvalitatívne vysvetlite tento jav.

Pomôcka: Vieme, že svetlo sa od každého rozhrania dvoch prostredí čiastočne odráža. Odráža sa teda aj od rozhrania vzduch – olej a olej - voda. Tieto dve odražené svetlá za istých okolností môžu interferovať (interferencia vlnení).

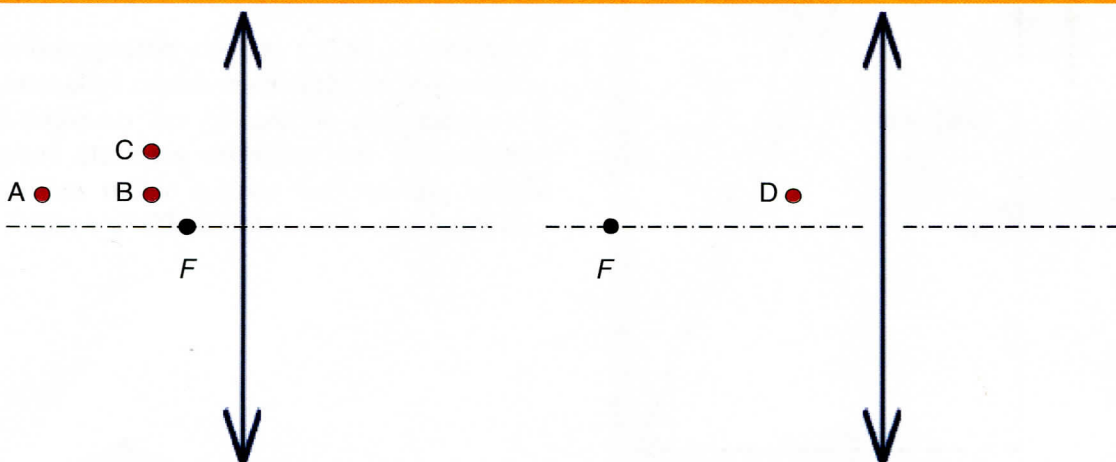
7. Ukážte, že vlnová dĺžka červeného svetla vo vode je približne rovnaká, ako je vlnová dĺžka zeleného svetla vo vzduchu. Rozhodnite, akú farbu bude vnímať človek ponorený pod vodou v bazéne, ak na hladinu dopadá zelené svetlo.

V časti 1.6 sme sa venovali aj správaniu svetla pri dopade na šošovky. Pri základnom štúdiu správania svetla pri dopade na šošovku sa venujeme iba aplikácii zákona lomu na rozhraniach šošoviek s okolitým prostredím a zanedbávame odraz svetla, interferenciu, rozptyl svetla a podobne. V nasledujúcich úlohách si môžete precvičiť vašu schopnosť aplikovať vlastnosti význačných lúčov.

V nasledujúcich schémach doplňte smer šírenia naznačeného lúča.

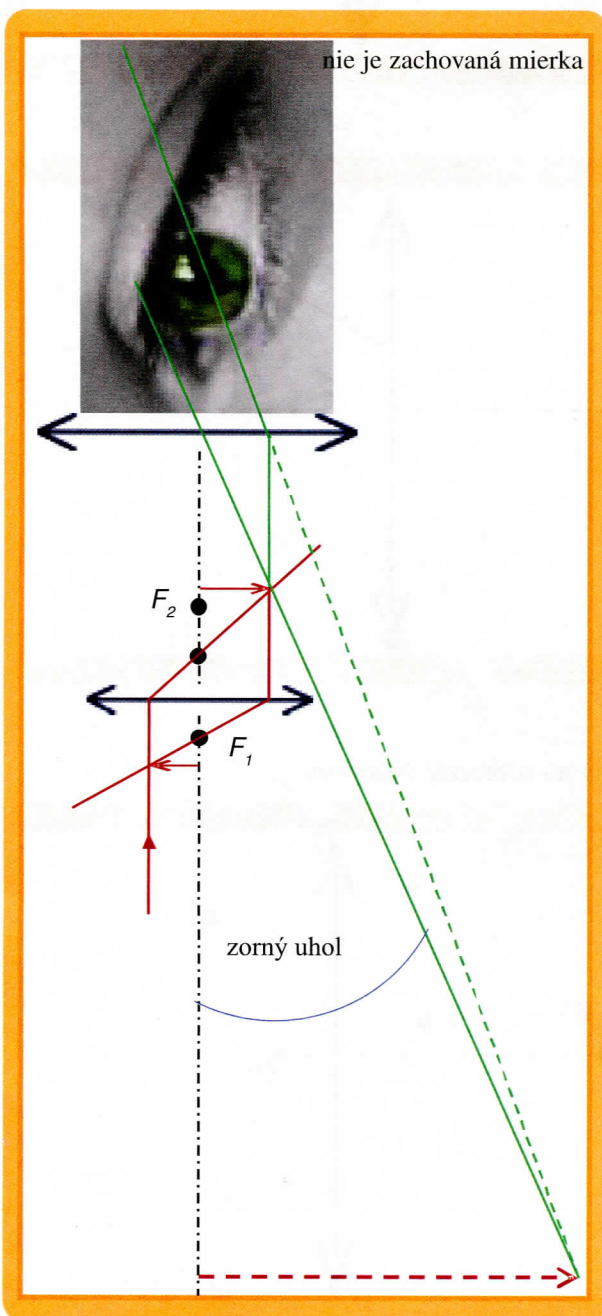
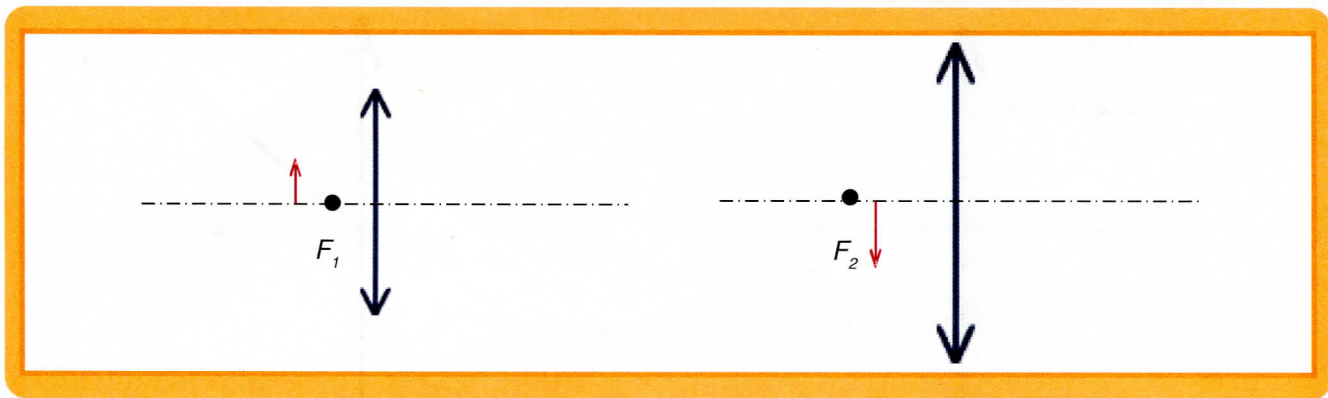


V nasledujúcich schémach nájdite polohu bodov A, B, C, D po zobrazení šošovkou.



10. V tejto úlohe sme zobrazovaný predmet znázornili šípkou kolmou na optickú os.
Zostrojíme schému mikroskopu.

a) Nájdite obraz vyznačených predmetov.



b) Schémy v bode a) nakreslite tak, že predmet schémy z pravej časti obrázka bude totožný s obrazom predmetu z ľavej časti obrázka, pričom polohy predmetov voči ohniskám ostanú približne zachované. Vznikne vám sústava dvoch šošoviek zobrazujúca predmet tak, ako sme to znázornili na obrázku vľavo. Uvedomte si, že písmenom sme označili iba predmetové ohniská. Ďalej si uvedomte, že sme zobrazili lúče potrebné na konštrukciu (nájdienie polohy a vlastností) obrazu, nie lúče vchádzajúce do oka. Červenou farbou sme označili lúče vhodné na konštrukciu obrazu prvou šošovkou (objektívom), zelenou farbou lúče vhodné na konštrukciu obrazu druhou šošovkou (okulárom). Môžeme povedať, že obraz budeme vidieť, pretože pre každý bod predmetu sa dajú nájsť také lúče, ktoré po lome na oboch šošovkách vchádzajú do oka.

c) Odôvodnite, prečo sa bod predmetu ležiaci na optickej osi zobrazí na optickú os tak, ako je to znázornené na obrázku vľavo.

d) Uvedomte si, že bez použitia prístroja môžeme vidieť predmet pod zorným uhlom daným veľkosťou predmetu a vzdialenosťou od oka 25 cm (konvenčná zraková vzdialenosť). Pri sledovaní predmetu mikroskopom vidíme predmet pod zorným uhlom znázorneným na obrázku. Tento môže byť až 2 000-krát väčší.



2. Atóm

V nasledujúcich dvoch kapitolách sa budeme zaoberať stručnou históriou objavov mikrosveta. Od objavu atómu, cez objavy elektrónu rádioaktívneho žiarenia až po súčasný základný výskum v týchto oblastiach.

Počas svojho štúdia ste sa už viackrát stretli s pojmami ako atóm, elektrón alebo protón. Teraz sa sústredíme najmä na experimenty súvisiace s objavmi týchto častíc mikrosveta. Naznačíme aj metódy práce s takýmito časticami. Ukážeme, ako je základný výskum prepojený s aplikovaným výskumom a ako využívame výsledky takéhoto výskumu.

V predchádzajúcich ročníkoch sme skúmali vlastnosti plynov. Zaviedli sme kinetický model plynu, v ktorom sme videli súvislosti medzi makroskopickými vlastnosťami plynu (ako teplota, tlak) a správaním sa častíc plynu (atómov, molekúl) na mikroskopickej úrovni. Fyzikálne skúmanie sveta na základe skúmania správania atómov a skúmania vlastností atómov je základom modernej fyziky, avšak vždy to tak nebolo. Veľkosti samostatných atómov sú tak malé, že ich nemožno vidieť ani mikroskopom, ktorý používate v biológii. O atómoch sa môžeme viac dozvedieť iba na základe ich prejavov v oveľa väčších rozmeroch, než sú ich rozmery.

Zopakujte si

2.1 Veľkosť atómu a počty atómov v látke

Jedným z významných krokov, ktoré prispeli k rozvoju atómovej teórie bola kvantitatívna atómová teória chémie, ktorú okolo roku 1803 vypracoval anglický fyzik a chemik J. Dalton. Základným postulátom tejto teórie bolo, že chemické reakcie iba oddeľujú alebo spájajú atómy. Zistilo sa tiež, že keď sa rôzne atómy spájajú, výsledná zlúčenina obsahuje atómy vždy v rovnakom pomere. Dalton a jeho nasledovníci zostavili na základe tejto teórie tabuľky atómových hmotností, pričom porovnávali hmotnosti jednotlivých atómov s atómom vodíka. Hmotnosť, ani veľkosť atómu vodíka a tým ani ďalších atómov v tomto období nebola známa. Hmotnosť atómu vodíka teda použili ako jednotku hmotnosti, ale vzťah medzi touto jednotkou a jednotkou kilogram známy ešte nebol.

Daltonova teória

Pomery hmotností atómov v zlúčeninách (podľa Daltonovej teórie) a pomery objemov jednotlivých atómov v zlúčenine priviedli talianskeho fyzika a chemika A. Avogadra k návrhu, že rovnaké množstvá plynov (pri rovnakej teplote a tlaku) obsahujú rovnaké počty molekúl. Táto hypotéza jasne rozlišovala medzi molekulami a atómami.

Na základe tejto hypotézy napríklad 1 ml vodíka pri izbovej teplote a bežnom atmosférickom tlaku obsahuje rovnaký počet molekúl H_2 ako 1 ml vodnej pary H_2O

pri rovnakej teplote a tlaku. Avšak Avogadro nemohol vedieť koľko týchto molekúl v plyne je. Vedel iba to, že tento počet je obrovský. Jeho súčasníci tieto myšlienky ignorovali. V tom období iba málo experimentov mohlo tieto myšlienky potvrdiť, alebo vyvrátiť. Ostali na okraji záujmu takmer 50 rokov. Keďže atóm je veľmi malý, v rozumnom množstve látky, napríklad v jednom grame je atómov veľmi veľa. Koľko atómov je v jednom grame látky? Toto bolo otázkou čakajúcou v časoch Avogadra na odpoveď.

Látkové množstvo,
mol

V súčasnosti na vyjadrenie množstva látky používame veličinu **látkové množstvo**. Jednotkou je **mol**. O sústave častíc hovoríme, že má látkové množstvo

Látka		Molová hmotnosť (g·mol ⁻¹)
Dusík	N	14
Hélium	He	4
Hliník	Al	27
Kremík	Si	28
Kyslík	O	16
Meď	Cu	63,5
Uhlík	C	12
Vodík	H	1
Zlato	Au	197
Vzduch		29

1 mol, ak obsahuje práve toľko častíc (atómov, molekúl), koľko je atómov uhlíka ¹²C v množstve s hmotnosťou 12 g. Pre jednotlivé prvky, alebo zlúčeniny potom zavádzame veličinu molová hmotnosť, ktorá sa rovná hmotnosti 1 molu danej látky.

Počet častíc v jednom mole nazývame Avogadrova konštanta. Označujeme ju N_A . Veľkosť tejto konštanty bola publikovaná až v roku 1908. Jej veľkosť je $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Avogadrova konštanta

Úloha

Pripravte si zdroj informácií

Akú hmotnosť má atóm medi a koľko atómov medi je v objeme 1 cm³? Aká je veľkosť atómu?

Riešenie: Na riešenie tejto úlohy potrebujeme poznať molovú hmotnosť medi a hustotu medi. Molovú hmotnosť získame napríklad z Mendelejevovej tabuľky prvkov. Nájdeme v nej hodnotu 63,6 g·mol⁻¹. Hustotu získame napríklad z fyzikálnych tabuliek je 8,96·10³ kg·m⁻³. Hmotnosť medi s objemom 1 cm³ je súčinom hustoty a objemu. Vynásobením dostaneme hodnotu 8,96 g. Látkové množstvo medi v objeme 1 cm³ je

$$n = \frac{m}{M} = \frac{8,96 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{63,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0,141 \text{ mol}$$

Počet atómov v 1 cm³ je teda

$$N = n \cdot N_A = 8,49 \cdot 10^{22}$$

Hmotnosť jedného atómu medi dostaneme ako podiel hmotnosti s objemom 1 cm³ a počtu atómov medi v tomto objeme.

$$m_a = \frac{m}{N} = \frac{8,96 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{8,49 \cdot 10^{22}} = 1,06 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

Objem jedného atómu môžeme odhadnúť tak, že objem 1 cm³ vydělíme počtom

atómov v tomto objeme. Ide iba o odhad, pretože nevieme, či celý priestor je atómami vyplnený alebo sú medzi atómami aj medzery.

Objem jedného atómu

$$V_a = \frac{1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{8,49 \cdot 10^{22}} = 1,18 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$$

Ak si atóm predstavíme ako kocku (robíme iba rádový odhad, teda nezáleží na tvare atómu), potom strana tejto kocky má dĺžku $2,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.

V predchádzajúcej úlohe sme ukázali, že atómy majú rozmer rádovo 10^{-10} m .

Veľkosť atómu

Úlohy

1. V nádobe s objemom 0,5 l je vzduch pri bežnej teplote a tlaku.
 - a) Odhadnite počet všetkých molekúl v tejto nádobe.
 - b) Odhadnite počet atómov v tejto nádobe.
2. Predpokladajme, že makromolekula istého plastu obsahuje atómy vodíka, kyslíka a uhlíka v rovnakom pomere. Odhadnite počet atómov v telese z tohto plastu s hmotnosťou 100 g.
3. Predstavme si, že každý človek na Zemi má jeden atóm zlata a prinesie ho na školský dvor vašej školy. Určte hmotnosť tohto množstva zlata. Ak by ľudia kladli „svoje zlato“ po jednom a každému by to trvalo 1 s, odhadnite čas potrebný na to, aby sa všetci vystriedali. Podľa odhadu vo februári 2010 žilo na Zemi 6 805 000 000 ľudí.

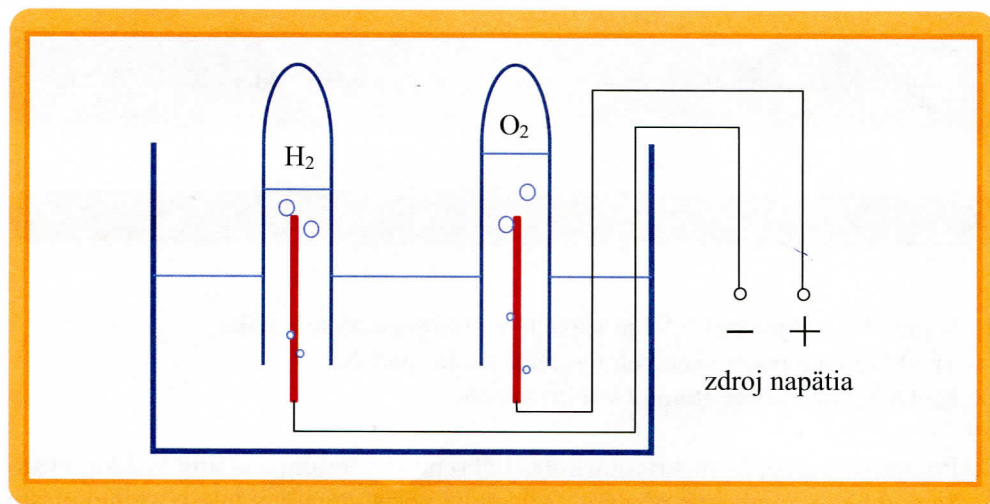
2.2 Kvantovanie elektrického náboja, elektrón

V tejto časti si ukážeme niekoľko javov a experimentov, ktoré viedli k objaveniu elektrónu. Jednotlivé experimenty nie je nevyhnutné podrobne študovať, odporúčame však túto časť prečítať a zrealizovať všetky úlohy.

Začiatkom 19. storočia bolo známe, že niektoré chemické zlúčeniny možno rozdeliť na ich zložky procesom zvaným elektrolyza. Anglický fyzik M. Faraday objavil skutočnosť, že množstvo látky vylúčenej pri elektrolyze je priamo úmerné elektrickému prúdu prechádzajúcemu roztokom a času, za ktorý elektrolyza prebehne.

M. Faraday tiež zistil, že hmotnosť látky vylúčenej na elektróde je priamo úmerná atómovej hmotnosti (presnejšie atómovej hmotnosti podelenej malým celým číslom). Napríklad pri elektrolyze jedlej soli (chlorid sodný, NaCl) sú vylúčené množstvá chlóru a sodíka priamo úmerné ich atómovej hmotnosti. Pri elektrolyze chloridu meďnatého CuCl_2 je hmotnosť vylúčenej meďi v pomere 1:2 voči hmotnosti vylúčeného chlóru.

Na základe týchto zistení bol vyslovený predpoklad, že náboj je kvantovaný – že existuje iba v diskretných, nie spojitých množstvách. Každý ión pri elektrolýze nesie iba jednu jednotku náboja (napríklad sodík z NaCl), alebo niekoľko málo jednotiek náboja (napríklad meď z CuCl_2 nesie dve jednotky náboja). M. Faraday nedokázal existenciu atómu, nezistil ich hmotnosť, ani objem. Významne však prispel k týmto myšlienkam tým, že ukázal kvantovanie elektrického náboja.



Súčasná veda
a technika

Na obrázku je schéma zariadenia na elektrolýzu vody. Počet uvoľnených molekúl vodíka sa rovná polovici počtu elektrónov, ktoré prešli obvodom. V súčasnosti sa uvažuje o využívaní vodíka ako paliva, pričom vodík je možné vytvoriť elektrolýzou vody elektrickým prúdom získaným zo solárneho článku. Na obrázku je funkčná hračka využívajúca vodík vyrobený elektrickým prúdom zo solárneho článku ako palivo.



Faradayove zákony elektrolýzy môžeme opísať vzťahom:

$$m = \frac{m_o}{ze} I \Delta t$$

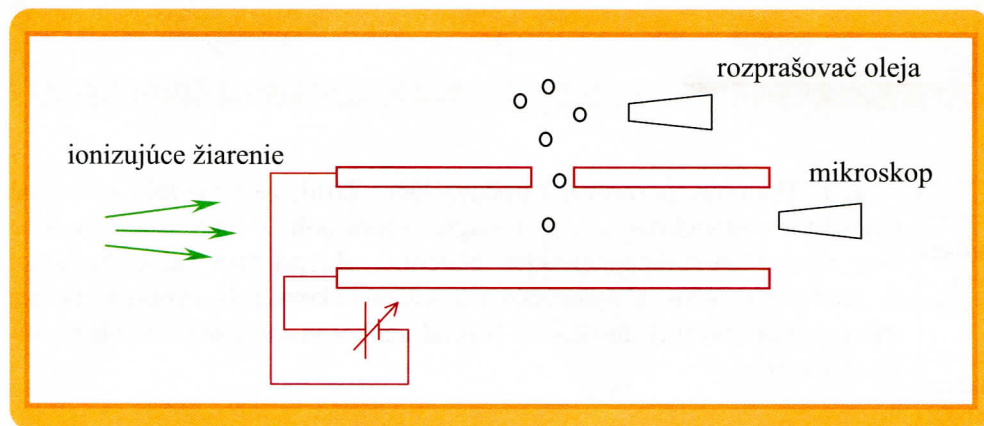
kde m je hmotnosť vylúcenej látky, m_o je hmotnosť jedného atómu vylúcenej látky, ze je náboj iónu látky, ktorá vedie elektrický prúd počas elektrolýzy, I je veľkosť prechádzajúceho prúdu, Δt je čas trvania elektrolýzy.

Úloha

Počas elektrolýzy modrej skalice (CuSO_4) sa na zápornej elektróde vylúčila meď. Vypočítajte hmotnosť tejto medi, ak počas elektrolýzy roztokom prechádzal prúd 10 A a elektrolýza prebiehala 3 h. Predpokladajte, že v roztoku bolo dostatok modrej skalice a existenciu iných nosičov elektrického prúdu v roztoku zanedbajte.

Veľičina označená vo Faradayových zákonoch elektrolýzy písmenom z má v tomto prípade hodnotu 2.

Faradayove zákony elektrolýzy pracujú s kvantovaním náboja iónov. V období M. Faradaya však nebolo známe, čo je nositeľom najmenšieho náboja, nebola známa ani veľkosť tohto náboja. Po zmeraní Avogadrovej konštanty bolo možné z Faradayových experimentov určiť veľkosť najmenšieho elektrického náboja (v súčasnej terminológii náboj elektrónu), avšak oveľa presnejšie meranie spravil R. Millikan. Schéma jeho experimentu je na obrázku.



Nobelova cena, 1923

R. Millikan rozprášil olej na veľmi malé kvapôčky (veľkosti približne rovnakej, ako je veľkosť kvapiek vody v hmle). Tieto ionizoval (nechal na ne pôsobiť žiarenie) a nechal ich padať vo vzduchu medzi dvoma vodorovnými platňami. Na vodorovné platne pripojil zdroj elektrického napätia. Kvapky pozoroval mikroskopom.

Na každú kvapku pôsobila gravitačná sila, elektrická sila a na pohybujúce sa kvapky aj odporová sila vzduchu.

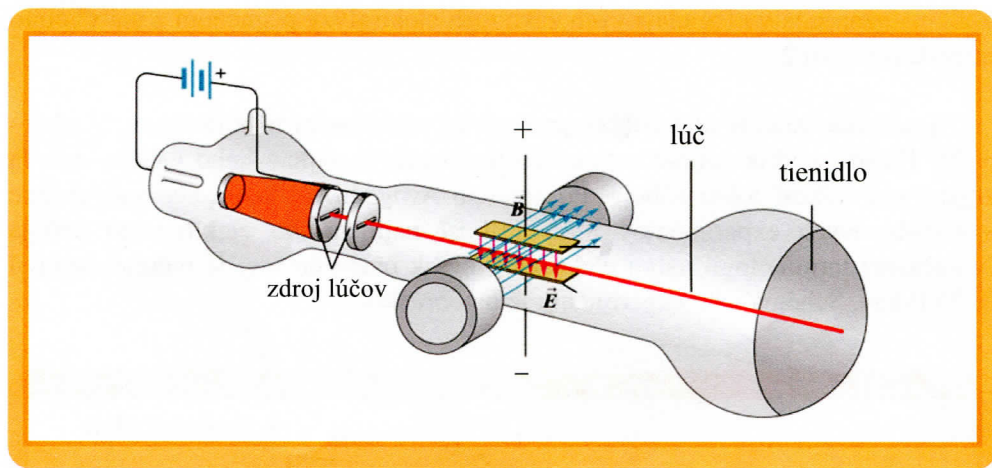
Úloha

Zakreslite si kvapku padajúcu nadol a naznačte sily pôsobiace na kvapku.

Niektoré kvapky padali nadol (vplyvom odporu vzduchu ustálenou rýchlosťou), niektoré kvapky sa pohybovali nahor (pretože elektrická sila pôsobiaca na ne bola väčšia než gravitačná sila). R. Millikan počas experimentu menil napätie medzi platňami. Pozoroval, že pri istých napätiach niektoré kvapky zastali, pri iných napätiach žiadne kvapky nezastali. Z tohto pozorovania usúdil, že náboj kvapky (vyvolávajúcej elektrickú silu) nemôže byť ľubovoľný. Zistil, že náboj kvapky sa dá zapísať ako celočíselný násobok hodnoty $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Nobelova cena,
1905, 1906

Objav elektrónu sa pripisuje anglickému experimentálnemu fyzikovi J. J. Thomsonovi. K tomuto objavu významne prispel aj rodák z Bratislavy, P. Lenard, ktorý za práce súvisiace s týmto objavom dostal v roku 1905 Nobelovu cenu. Schéma Thomsonovho experimentu je na nasledujúcom obrázku.



	Časová os
400 pred n.l.	Demokritos - atóm je nedeliteľná čiastočka hmoty oddelená prázdnom od každej inej častice (atómu)
1760	D. Diderot - atómy sú častice, z ktorých pozostáva celý svet. Každý atóm sa kvalitatívne líši od iného atómu a má päť odlišných vlastností
1803	Dalton - chemické reakcie iba oddeľujú, alebo spájajú atómy. Keď sa rôzne atómy spájajú, výsledná zlúčenina vždy obsahuje atómy v rovnakom pomere
1811	A. Avogadro - rovnaké množstvá plynov (pri rovnakej teplote a tlaku) obsahujú rovnaké počty molekúl
1850	J. Plucker – objavil katódové lúče
1895	W. Röntgen – objavil röntgenové lúče (vtedy nazývané X-lúče)
1896	H. Becquerel – ako prvý pozoroval rádioaktivitu
1897	J. J. Thomson – objavil elektrón
1897	R. A. Millikan – zmeral náboj elektrónu 1923-Nobelova cena
1908	J. Perrin určil hodnotu Avogadrovej konštanty, a tak prispel k uznaniu existencie atómov
1911	E. Rutheford – navrhol model atómu s jadrom

J. J. Thomson pozoroval katódové lúče. Zistil, že tieto lúče je možné vychýliť v elektrickom, ako aj v magnetickom poli. Z toho usúdil, že tieto lúče nie sú elektromagnetickým žiarením, ale prúdom nabitých častíc. Z vychýlenia lúčov v elektrickom a magnetickom poli vypočítal pomer náboja a hmotnosti týchto častíc. Nazval ich korpuskule, neskôr boli nazvané elektróny.

Dospel k týmto záverom:

- atóm nie je nedeliteľný, pretože záporne nabité častice boli vytrhnuté z neutrálnych atómov;
- všetky častice, z ktorých pozostávajú katódové lúče majú rovnaký náboj a rovnakú hmotnosť a sú časťou atómov;
- ak náboj častíc, z ktorých pozostávajú katódové lúče je rovnaký ako najmenší náboj z Faradayových zákonov elektrolýzy (a tiež pozorovaný Millikanom), potom hmotnosť častice je 1 800-krát menšia ako hmotnosť dovedty najľahšej známej častice, atómu vodíka.

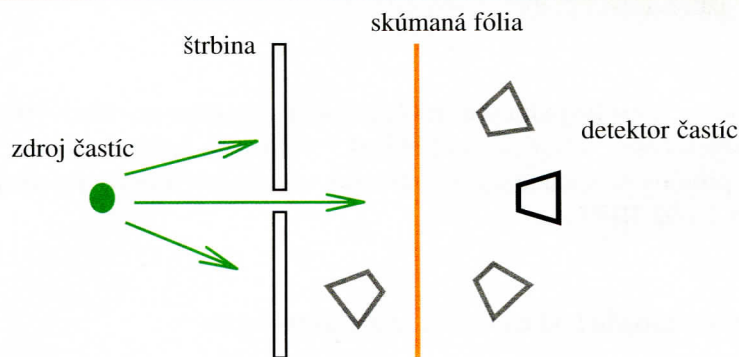
Thomson sa o elektróne vyjadril ako o niečom nedôležitom, nepraktickom. Veď ako môže byť niečo tak malé a ľahké potrebné? Dnes vieme, že využitie vlastností elektrónu je hybnou silou elektrotechniky a elektroniky. Katódové lúče ešte nedávno predstavovali základ fungovania televíznej obrazovky. Na sklonku 19. storočia však bolo dôležitejšie, že konečne niekto experimentálne rozbil predstavy o nedeliteľnosti atómu pochádzajúce z antiky. Thomson tak urobil prvý krok k objavu štruktúry atómu a k fyzike častíc.

Po objave elektrónu ako častice obsiahnutej v atóme sa predpokladalo, že atóm sa skladá z kladne nabitých hmoty, v ktorej sú rozmiestnené maličké záporne nabité elektróny tak, že atóm ako celok je elektricky neutrálny. Tento model atómu sa nazýva Thomsonov model atómu. Niekedy sa označuje aj ako pudingový model – spojíte rozložený kladný náboj predstavuje puding a elektróny predstavujú hrozienka. Tento je z hľadiska histórie objavu atómu tak dôležitý, že aj po 100 rokoch sa o ňom učíme, napriek tomu, že už po 12 rokoch bol zavrnutý a nahradil ho Ruthefordov model atómu.

Prezrite si schému Thomsonovho experimentu na predchádzajúcom obrázku. Predpokladajte, že z elektródy vľavo sa uvoľňujú elektróny. Tieto urýchľuje napätie zdroja, ktorý je zakreslený v ľavej hornej časti obrázka. Určte smer sily, ktorou na letiace elektróny pôsobia platne, z ktorých horná je kladne a dolná záporne nabitá. Určte, akým smerom na letiace elektróny pôsobí magnetické pole naznačené na obrázku. Vyhladať si vo svojom zdroji informácií interaktívnu animáciu tohto experimentu a experiment v nej zrealizujte.

2.3 Ako vyzerá atóm

Thomsonova predstava o atóme nebola jedinou. Už koncom roku 1903 prišiel japonský fyzik Nagaoka s myšlienkou, že by kladný náboj mohol byť sústredený v malom objeme v strede jadra a elektróny by sa okolo neho pohybovali po kružniciach. Model bol ale hneď podrobený kritike, pretože elektróny pohybujúce sa okolo jadra by museli vyžarovať elektromagnetické vlnenie, strácať energiu a rýchlo spadnúť k ťažkému jadrú do stredu atómu. Otázky stability neboli celkom jasné ani v Thomsonovom modeli, ale aj tak bol tento model v období od roku 1908 po rok 1913 najviac používanou predstavou. V tomto období anglický fyzik E. Rutherford so svojimi spolupracovníkmi H. Geigerom a E. Marsdenom začali so slávnymi experimentmi, ktoré zmenili našu predstavu o štruktúre atómu. Princíp experimentov je naznačený na obrázku.



Zo zdroja vyletujú všetkými smermi častice α . Prechodom niektorých z nich malým otvorom v stene vzniká úzky zväzok dopadajúci na tenkú zlatú fóliu. Po prechode fóliou sa snažíme častice detegovať v rôznych polohách okolo zlatej platne. Na obrázku sú štyri polohy detektora častíc. Väčšina častíc prešla zlatou fóliou priamo, alebo sa iba veľmi málo od priameho smeru odchyľila. Podarilo sa však zaznamenať aj častice odchylené o veľký uhol a dokonca aj častice od fólie odrazené.

Výsledky boli skutočne prekvapením. Rutherford si neskôr na najdramatickejšie chvíle spomínal takto:

„Raz ku mne prišiel veľmi vzrušený Geiger a vraví: Zdá sa, že sme videli niekoľko prípadov rozptylu častice α dozadu. Toto je najnepravdepodobnejšia udalosť v celom mojom živote. Je to takmer tak málo pravdepodobné, ako keby ste 15-palcovým delostreleckým nábojom strieľali do tenkého cigaretového papiera a náboj by sa od papiera odrazil dozadu a vletel rovno do vás. Keď sme to všetko analyzovali, pochopil som, že takýto rozptyl dozadu musí byť výsledkom jedinej zrážky a po príslušných výpočtoch som videl, že to nie je možné inak, iba ak predpokladáme, že prevažná väčšina hmotnosti atómu je sústredená v maličkom jadre, zaberajúcom iba omrvinku z celého objemu atómu. Práve vtedy sa vo mne zrodila myšlienka o atóme s maličkým jadrom, v ktorom je sústredený celý kladný náboj atómu“.

	Časová os
1901	W. Röntgen dostal Nobelovu cenu za objav röntgenových lúčov, röntgenové lúče sa veľmi rýchle stali bežným diagnostickým prostriedkom v medicíne
1905	A. Eistein vysvetlil fotoelektrický jav
1919	E. Rutherford objavil protón
1921	A. Einstein dostal Nobelovu cenu za vysvetlenie fotoelektrického javu
1932	J. Chadwick dostal Nobelovu cenu za objav neutrónu

V tomto krátkom úryvku je skrytá celá podstata problému. Pozrime sa najskôr na to, prečo sa E. Rutherford čudoval. Zo svojich predchádzajúcich pokusov dobre vedel, čo sú to častice α . Ide o atómy hélia zbavené elektrónov, ich náboj je $+2e$ a ich hmotnosť sa približne rovná štvornásobku hmotnosti atómu vodíka. Preto sú častice α približne 8 000-krát ťažšie ako elektróny a ľahučké elektróny nemôžu ich pohyb ovplyvniť. Preto je pre odklonenie častíc podstatný len kladný náboj atómu. Pri svojich výpočtoch Rutherford predpokladal, že kladný náboj jadra je rovnomerne rozdelený v guľi s polomerom R . Keď za R zobral celý polomer atómu, dostal pre typický odklon častíc rádovo $1/100$ stupňa. Preto bol Rutherford prekvapený slovami H. Geigera, že niektoré častice sa odkláňajú na niekoľko desiatok stupňov. Celkom "dozadu" sa odkláňalo len veľmi málo častíc, podstatné však bolo, že pomerne veľa častíc sa odchyľovalo o veľké uhly. Podrobná analýza výsledkov experimentov ukázala, že polomer atómového jadra musí byť menší ako 10^{-14} m.

Objav atómového jadra priniesol myšlienku, že atóm sa skladá zo záporne a kladne nabitých častíc, ktoré sa nachádzajú v odlišných častiach atómu. Kladne nabité častice protóny sa nachádzajú v jadre. Ich náboj sa veľkosťou rovná náboju elektrónu, teda $1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

Protón na rozdiel od elektrónu je ale oveľa ťažší

$$m_p = 1,67262 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 1\,837 m_e$$

Nobelova cena, 1935

V jadre sa okrem protónov nachádzajú aj neutrálne častice neutróny. Neutróny sú len o niečo ťažšie ako protóny:

$$m_n = 1,67493 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

V jadre atómu sa nachádzajú protóny a neutróny. Protóny a neutróny súhrnne nazývame **nukleóny**.

Lubovolný atóm X možno zapísať nasledovne:



kde A je nukleónové číslo, vyjadrujúce počet nukleónov v jadre a Z je protónové číslo, zároveň určuje aj počet elektrónov v atómovom obale. Atómy s rovnakým zložením jadra sa nazývajú nuklidy. Tento názov sa však v bežnej reči používa pomerne zriedkavo. Viac sme zvyknutí nazývať jednotlivé typy atómov názvami chemických prvkov. Atómy určitého chemického prvku majú rovnaké protónové číslo a tiež rovnaké chemické vlastnosti. Teda chemický prvok môžeme určiť buď názvom, alebo počtom protónov. Atómy toho istého prvku, ktoré majú rovnaký počet protónov, ale rôzny počet neutrónov nazývame **izotopy**.

Izotopy

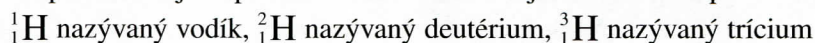
Chemický prvok môže označovať spoločne viaceré typy atómov líšiace sa počtom neutrónov. Napríklad neón sa v prírode bežne nachádza v troch rôznych izotopoch



Všetky tieto izotopy nazývame spoločným názvom neón. Väčšinou sa prvok vyskytuje v prírode iba v niekoľkých málo izotopoch, ďalšie sa dajú umelo vyrobiť v laboratóriu. Všetky izotopy určitého chemického prvku patria na to isté miesto v Mendelejevovej tabuľke, ktoré je vyhradené tomuto prvku.

Dva atómy s rovnakým protónovým číslom, ale s rôznym počtom neutrónov sa nazývajú **izotopy**. Izotopy možno odlišiť iba fyzikálnymi metódami, keďže o chemických vlastnostiach rozhoduje stavba obalu, ktorá je pri oboch izotopoch rovnaká.

Ďalším príkladom je napríklad vodík. Ten existuje v troch izotopoch:



Ak má prvok viacero izotopov, zvyčajne iba niektoré z nich sú stabilné. Väčšina je nestabilná. Nestabilným – rádioaktívnym izotopom sa venujeme v časti venovanej rádioaktivitě.

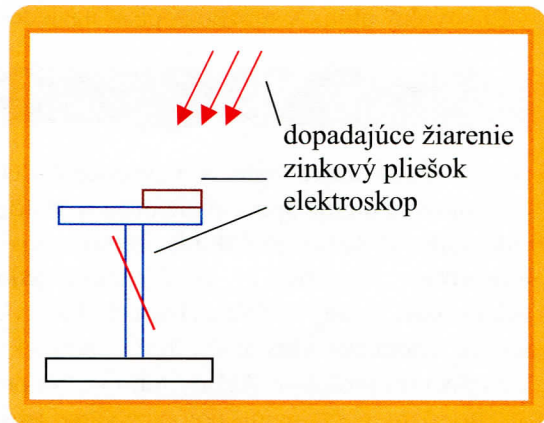
2.4 Fotoelektrický jav

Od skúmania štruktúry atómu prejdeme k zdanlivo inej téme. Vezmime si zinkový pliešok (postačuje, ak je zinok len na povrchu pliešku). Položme ho na elektroskop. Zabezpečme, aby bol v miestnosti suchý vzduch a aby do miestnosti nesvietilo priame slnečné svetlo. Vykonajme nasledovný experiment.

Nabíme elektroskop (vodivo spojený so zinkovým plieškom položeným na elektroskope) kladným elektrickým nábojom. Vezmime zdroj červeného svetla a nasmerujeme ho na zinkový pliešok. Sledujme údaj na elektroskope. Vybil sa alebo sa nevybil? Experiment realizujme podľa údajov v tabuľke a výsledky zapíšme.

Číslo pozorovania	Náboj platne	Farba svetla	Účinok na elektroskop
1.	kladný	červená	
2.	kladný	fialová	
3.	záporný	červená	
4.	záporný	fialová	

V prípade ak sa elektroskop nevybil, zvýšme intenzitu dopadajúceho svetla a príslušný krok experimentu zopakujme.



Prípravte si zdroj informácií

Experiment zopakujeme bez zinkového pliešku na hornej platni elektroskopu. Zistíme, že elektroskop sa v žiadnom prípade nevybije, teda vybitie v prvej časti experimentu bolo spôsobené práve zinkovým plieškom.

Ak tento experiment nemôžete z časových alebo materiálnych dôvodov realizovať, vypýtajte si od učiteľa výsledky skôr, než budete pokračovať v štúdiu tejto časti.

Nerozumeli ste niektorým pojmom v tejto časti? Prezrite si nasledovný prehľad.

Záporne nabité teleso – teleso, v ktorom je viac elektrónov ako protónov.

Kladne nabité teleso – teleso, v ktorom je menej elektrónov ako protónov.

Elektrické nabitie telesa – spoločný názov pre dva javy:

Nabitie telesa prenosom nabitých častíc, zvyčajne elektrónov. Napríklad pri dotyku skla s amalgánovou kožou (učebná pomôcka) sa veľké množstvo elektrónov premiestni z povrchu skla na povrch tejto kože. Po oddelení skla od kože ostane sklo nabité kladne a koža záporne. Druhý príklad sa týka elektrických vodičov. Ak vodivo spojíme elektricky nabitú vodivé teleso s iným vodičom, časť náboja prejde z nabitého telesa na nenabitú.

Nabitie telesa elektrostatickou indukciou. Vieme, že rovnaké elektrické náboje sa odpudzujú a opačné priťahujú. Ak napríklad priblížime kladne nabitú tyč k vodivej platni, potom časť elektrónov v tejto platni sa presunie bližšie k tyči. Oblasť v okolí tyče bude záporne nabitá a oblasť ďalej od tyče bude kladne nabitá.

Elektroskop – zariadenie, ktoré nám ukazuje, či teleso pripojené k tomuto elektroskopu je alebo nie je elektricky nabitú.

Aj **vlhký vzduch** a **vzduch obsahujúci ióny** je vodivý. Preto je potrebné podobné experimenty realizovať v miestnosti s nízkou relatívnou vlhkosťou a bez priameho slnečného žiarenia. Inak by sa nám nabitá platňa vybila aj inými procesmi, nielen fotoelektrickým javom.

Výsledkom experimentov podobných tomu nášmu sa venovali fyzici na rozhraní 19. a 20. storočia. Ako prvý vyslovil všeobecne prijaté vysvetlenie nemecký fyzik

A. Einstein. Bolo mu jasné, že vybijanie platne môže byť prejavom toho, že platňa opustí množstvo elektrónov (preto sa kladne nabitá platňa nevybila). Väčším problémom však bolo vysvetliť, prečo sa záporne nabitá platňa nevybila ani účinkom červeného svetla s veľkou intenzitou. Na tomto mieste musíme, rovnako ako Einstein, ešte raz na chvíľu zdanlivo zmeniť tému.

V učebnici z predchádzajúceho ročníka sme spomínali, že teplo sa prenáša tromi spôsobmi: vedením, prúdením a žiarením. Prenos tepla žiarením je spôsobe-
ný skutočnosťou, že každé teleso vyžaruje energiu vo forme elektromagnetického žiarenia. Toto žiarenie skúmal okrem iných aj Max Planck a v roku 1900 vyslovil hypotézu, že telesá nevyžarujú energiu spojite, ale po istých dávkach – „kvantách“. Jedno kvantum tejto energie predstavuje hodnotu hf , kde h sa nazýva Planckova konštanta a má veľkosť $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s a f je frekvencia príslušného elektromagnetického vlnenia. Planckova kvantová hypotéza bola sprvu prijímaná s istým podozrením. Malo to viacero dôvodov. Fyzici si uvedomili, že kvantovanie energie je niečím, čo sa zásadne protiví duchu a princípom klasickej fyziky.

Nobelova cena, 1918

A. Einstein použil hypotézu M. Plancka a vysvetlenie fotoelektrického javu bolo zrazu veľmi jednoduché. Fotoelektrický jav je prejavom zákona zachovania energie.

Monochromatické svetlo, t. j. elektromagnetické vlnenie s jedinou frekvenciou f , sa skladá z jednotlivých kvánt (dávk) energie. Tieto kvantá energie svetla nazývame **fotóny**. Svetlo sa vyžaruje aj pohlcuje po takýchto jednotlivých kvantách – jednotlivých fotónoch. Jedno takéto kvantum je pohltené jediným elektrónom materiálu katódy. Energia jednotlivých kvánt sa pri elektróne nesčítava. Keď elektrón prijme jedno kvantum energie, táto sa v podstate ihneď prerozdelí do okolia, a to skôr, ako by prijal druhé kvantum energie. V našom experimente kvantum červeného svetla nepostačovalo na uvoľnenie elektrónov z povrchu zinkovej platne, avšak kvantum fialového svetla už postačovalo. Tým je vysvetlené, že aj fialové svetlo s malou intenzitou mohlo vybiť záporne nabitú zinkovú platňu.

Fotón

A. Einstein zosumarizoval fotoelektrický jav do nasledujúcej rovnice:

$$hf = W_v + \frac{1}{2}mv^2$$

Nobelova cena, 1921

kde hf je energia fotónu pohltého elektrónom, $\frac{1}{2}mv^2$ je kinetická energia uvoľneného elektrónu a W_v je energia potrebná na uvoľnenie elektrónu z povrchu kovu.

Energia potrebná na uvoľnenie elektrónu z povrchu kovu sa nazýva **výstupná práca**. Výstupná práca je vlastnosťou kovu a dá sa nájsť vo fyzikálnych tabuľkách. Ak je energia fotónu menšia ako výstupná práca, potom sa elektrón z povrchu kovu neuvolní.

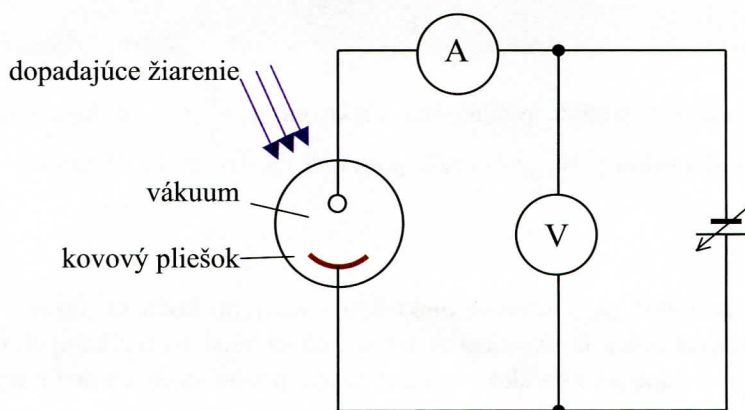
Vo fyzike sa snažíme každú teóriu testovať sériou experimentov. Na tomto mieste sa oboznámime s overením platnosti Einsteinovej rovnice fotoelektrického javu. Elektrón uvoľnený z povrchu kovového pliešku pri fotoelektrickom jave budeme brzdiť záporne nabitou elektródou. Záporne nabitý elektrón bude záporne nabitá elektróda odpudzovať, a teda jeho pohyb sa bude spomaľovať. Ak bude elektrické pole dostatočne veľké, elektrón sa zastaví a vráti sa späť na pliešok.

Pripravte si zdroj informácií

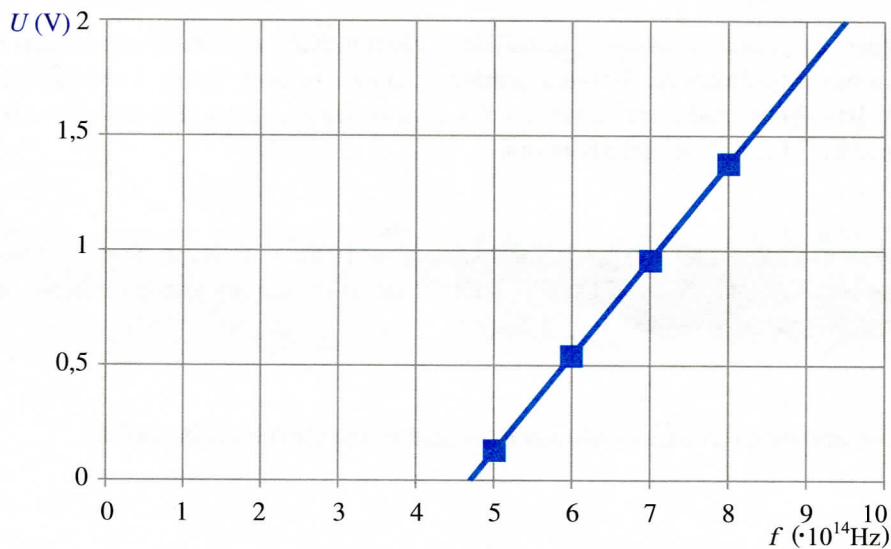
Schéma experimentu je na obrázku. Budeme pracovať s napätiami do 12 V a s prúdom rádovo 10^{-12} A. Budeme tiež potrebovať zdroje monochromatického svetla so známymi frekvenciami. V našom experimente použijeme pliešok z cézia uložený v sklenej nádobe (v elektrónke), z ktorej bol vyčerpaný vzduch. Ak tieto pomôcky nemáme, môžeme použiť model experimentu, napríklad vo forme interaktívnej animácie, ktorý si nájdete vo vašom zdroji informácií.

Na zdroji napätia nastavme nulové napätie. Na pliešok nechajme dopadať svetlo so známou frekvenciou. Na ampérmetri pozorujeme, či obvodom prechádza prúd, teda či sa z pliešku uvoľňujú elektróny. Ak prúd neprechádza zmeňme zdroj svetla tak, aby bola frekvencia svetla vyššia.

Pri vhodnej frekvencii svetla obvodom prechádza elektrický prúd niekoľko pikoampérov. Začneme pomaly zvyšovať napätie zdroja a sledujeme údaj na ampérmetri. Najskôr sa údaj na ampérmetri veľmi nemení, avšak pri istej hodnote napätia prúd prechádzajúci ampérmetrom rýchlo klesne na nulu. Práve táto hodnota napätia nás bude zaujímať. Zapíšme si jej hodnotu. Meranie opakujeme pre ďalšie vlnové dĺžky svetla, prípadne pre iné kovy.



Výsledok merania pre cézium je znázornený v grafe.



Úloha

Z výsledkov experimentu určte výstupnú prácu cézia.

Riešenie: Z grafu odčítame maximálnu vlnovú dĺžku svetla, pri ktorej je ešte brzdné napätie nulové. Táto hodnota je približne $(4,6 \pm 0,2) \cdot 10^{14}$ Hz. Tomu zodpovedá energia fotónov $hf = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \cdot (4,6 \pm 0,2) \cdot 10^{14} \text{ Hz} = (3,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

V atómovej fyzike energiu často vyjadrujeme v jednotkách eV (elektrónvolt).

Elektrónvolt

Jeden eV je energia, ktorú získa častica s elementárnym nábojom $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ pri prechode medzi dvoma miestami s potenciálovým rozdielom 1 V

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Výstupná práca cézia v jednotkách elektrónvolt je potom

$$\frac{3,0 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 1,9 \text{ eV}$$

V tabuľke sú uvedené výstupné práce niektorých kovov.

Kov	Výstupná práca (eV)
Cézium	1,9
Draslík	2,2
Vápnik	2,9
Zinok	4,3
Zlato	4,9

Einsteinove vysvetlenie fotoelektrického javu potvrdilo, že fotóny s kratšou vlnovou dĺžkou majú väčšiu energiu. Sú teda schopné vyvolať aj reakcie, na ktoré

energia fotónov s väčšou vlnovou dĺžkou nestačí. Ultrafialové žiarenie má kratšie vlnové dĺžky ako viditeľné fialové svetlo.

Slnčné žiarenie obsahuje aj ultrafialovú zložku. Našťastie pre život na Zemi väčšinu tohto ultrafialového žiarenia pohlcuje tenká ozónová vrstva v stratosfére vo výške 10 – 40 km nad Zemou. Ozónovú vrstvu tvoria molekuly skladajúce sa z troch atómov kyslíka, teda molekuly ozónu.

Ozónová diera

Jedným z ekologických problémov súčasnosti je to, že ľudskou činnosťou vyrábame radikály ako NO^\cdot , N_2O^\cdot , Cl^\cdot a Br^\cdot , ktoré pôsobia ako katalyzátor pri chemických reakciách ničiacich molekuly O_3 .

Zvýšené množstvo ultrafialového žiarenia je pre človeka nebezpečné.

Úloha

Pri meraní fotoelektrického javu sme odmerali elektrický prúd prechádzajúci obvodom. Jeho hodnota bola 2,3 pA. Určte, koľko elektrónov sa z osvetlenej elektródy uvoľnilo za jednu sekundu.

Riešenie: Vieme, že elektrický prúd je definovaný ako podiel náboja, ktorý prešiel prierezom vodiča za časový interval a tohto časového intervalu. Za jednu sekundu teda prejde prierezom vodiča elektrický náboj $2,3 \text{ pC} = 2,3 \cdot 10^{-12} \text{ C}$. Tento elektrický prúd je zapríčinený usmerneným pohybom elektrónov, z ktorých každý má náboj $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Elektrónov teda musí byť $1,4 \cdot 10^7$.

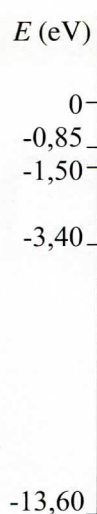
2.6 Atóm ako zdroj svetla

Nobelova cena, 1921

V učebnici z predchádzajúceho ročníku sme sa zaoberali aj vedením, prúdením a žiarením tepla. Spomenuli sme, že každé teleso vyžaruje elektromagnetické žiarenie. Pri nízkych teplotách žiarenie nevidíme, lebo je najmä v oblasti infračerveného žiarenia. Pri vyšších teplotách sa dostáva do oblasti svetla.

V tejto časti sa v krátkosti oboznámime s ďalším spôsobom vzniku elektromagnetického žiarenia. Elektromagnetické žiarenie vzniká aj v obale atómu. Elektróny v obale atómu sa môžu nachádzať iba v istých stavoch a tieto stavy sú dané hodnotami energie. Nie je jednoduché prostriedkami klasickej fyziky, teda prostriedkami dostupnými našim zmyslom, opísať existenciu elektrónov v obale atómu. V ďalšom budeme používať iba tie najjednoduchšie modely. Základom týchto modelov je hodnota energie elektrónov.

Na obrázku sú hodnoty energie elektrónu, ktoré elektrón v danom atóme môže nadobúdať. Ako príklad sme použili atóm vodíka ${}^1\text{H}$. Elektrón v obale atómu vodíka môže nadobúdať aj ďalšie stavy, avšak iba s hodnotami energie vyššími ako $-0,85$ eV. Hodnota 0 eV znamená, že elektrón prestáva byť viazaný k jadru atómu, potom môže mať akúkoľvek kladnú hodnotu energie. Ak má elektrón v obale atómu najnižšiu hodnotu energie hovoríme, že je v základnom stave.

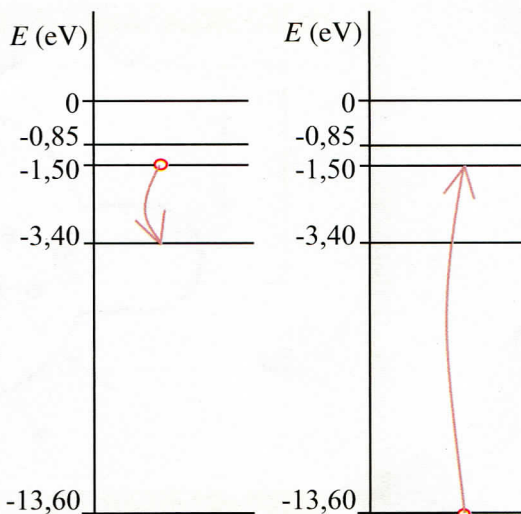


Elektrón v obale atómu môže prejsť z jedného dovoleného stavu do iného dovoleného stavu. Ak elektrón prejde zo stavu s vyššou energiou do stavu s nižšou energiou, uvoľní sa práve jeden fotón žiarenia s hodnotou energie $hf = E_2 - E_1$.

Ak sa fotón žiarenia ocitne v obale atómu, môže byť pohltý iba v tom prípade, ak v obale atómu existuje elektrón, ktorý dokáže energiu fotónu prijať. Elektrón môže prijať energiu iba vtedy, ak existuje stav s dovolenou hodnotou energie $E_2 = hf + E_1$.

Nobelova cena, 1922

Uvedené tvrdenie si ukážeme na príkladoch. Aby sme do nášho modelu mohli zakresľovať prechody elektrónu medzi dovolenými stavmi, dokreslíme v hodnotách energie dovolených stavov vodorovné čiary.



Na prvom obrázku je znázornený prechod elektrónu zo stavu s vyššou energiou do stavu s nižšou energiou. Pri tomto prechode sa uvoľní fotón s energiou

$$(3,4 - 1,5) \text{ eV} = 1,9 \text{ eV} = 1,9 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

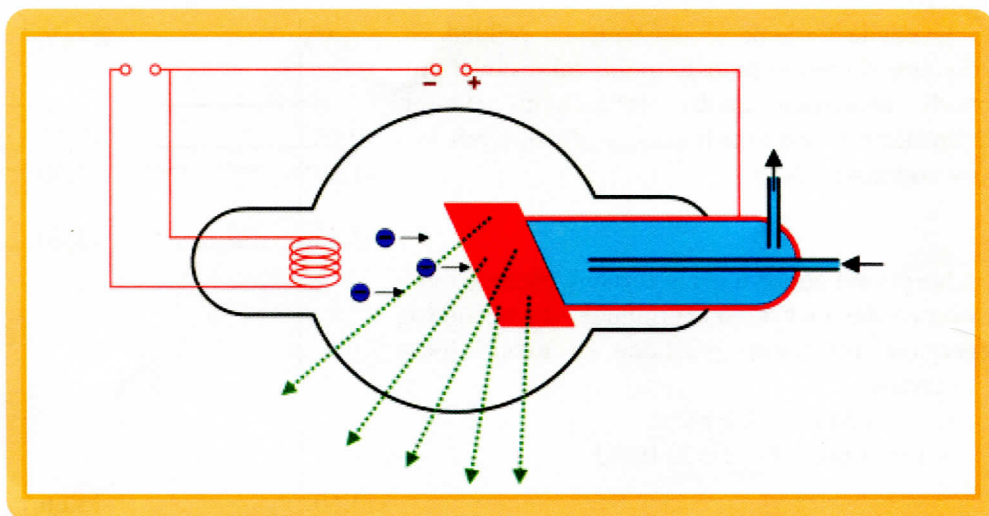
T tejto energii zodpovedá fotón s vlnovou dĺžkou $\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{3 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 660 \text{ nm}$. Tento fotón patrí do oblasti viditeľného svetla, je to fotón červeného svetla.

Na druhom obrázku je znázornený prechod elektrónu zo základného stavu do vyššieho energetického stavu. Pri tomto prechode sa absorbuje jeden fotón žiarenia. Podobným výpočtom ako vo vyššie uvedenom príklade môžeme určiť, že ide o fotón s vlnovou dĺžkou $1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 100 \text{ nm}$. Tento fotón patrí do oblasti ultrafialového žiarenia.

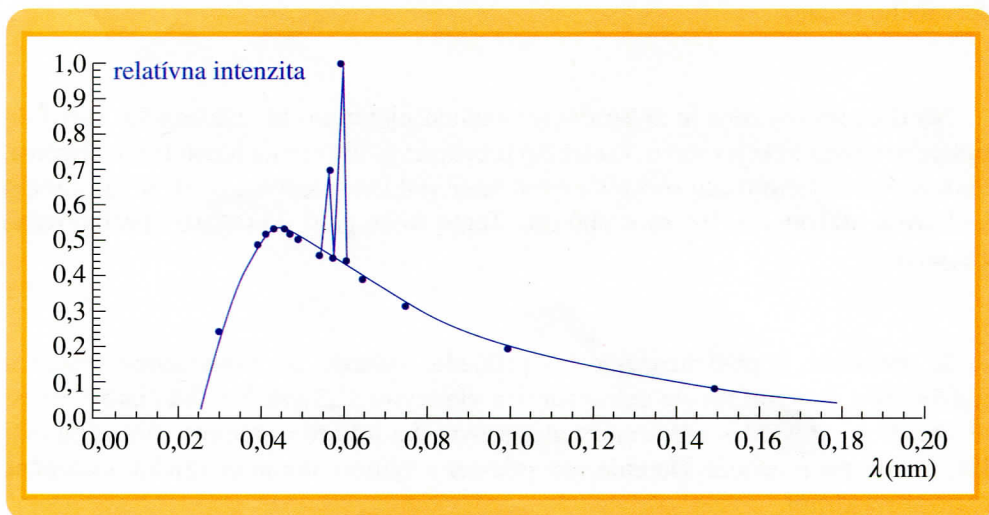
Z obrázkov z predchádzajúceho príkladu vidíme, že atóm môže emitovať iba fotóny s určitými presne definovanými vlnovými dĺžkami. Vzniká čiarové emisné spektrum. Rovnako, atóm môže absorbovať iba fotóny s určitými vlnovými dĺžkami, teda pri prechode žiarenia cez priestor s týmito atómami vzniká absorpčné čiarové spektrum.

Nobelova cena, 1901,
1914, 1915, 1917

Významné miesto v našom živote má röntgenové žiarenie. V spektre elektromagnetického žiarenia sme týmto názvom pomenovali žiarenie s vlnovými dĺžkami približne od 10^{-8} m po 10^{-12} m. Vlnové dĺžky röntgenového žiarenia sa prekrývajú s vlnovými dĺžkami ultrafialového žiarenia a žiarenia gama. Röntgenové žiarenie je charakteristické spôsobom vzniku. Vzniká dopadom elektrónov s dostatočne veľkou energiou na kovový terčik. Schéma jednoduchého zariadenia na vytváranie röntgenového žiarenia je na obrázku. Z vlákna rozžeraveného elektrickým prúdom sa uvoľňujú elektróny. Tieto sa urýchľujú vysokým napätím (niekoľko desiatok až stoviek kilovoltov) a dopadajú na kovový terčik. Tu sa letiace elektróny zabrzdia, pričom sa vyžiari elektromagnetické žiarenie. Okrem toho letiace elektróny môžu vyraziť elektróny z atómov kovu, z ktorého je terčik. Ak sa elektrón kovu, ktorý je najviac viazaný k jadrú atómu vyrazí, takmer okamžite je nahradený iným elektrónom, ktorý teda prejde z vyššieho dovoleného stavu do nižšieho a pritom vyžiari fotón so zodpovedajúcou hodnotou energie.



Uvedené dva spôsoby vzniku röntgenového žiarenia majú vplyv na jeho spektrum. Spektrum röntgenového žiarenia je spojité aj diskrétné tak, ako to vidíme z nasledujúceho grafu.



Na grafe vidíme, že spektrum röntgenového žiarenia začína od istej hodnoty vlnovej dĺžky, neobsahuje žiarenie s vlnovou dĺžkou menšou ako táto hodnota. Potom obsahuje spojite všetky vlnové dĺžky tak, že relatívna intenzita najskôr stúpa, potom dosahuje maximum a potom klesá. Spektrum vlnových dĺžok nie je zhora ohraničené. Na grafe vidíme dve ostré význačné lokálne maximá, tieto tvoria diskrétno spektrum, v niektorých spektrách röntgenového žiarenia ich môže byť viac.

Úloha

Z grafu odčítajte minimálnu vlnovú dĺžku žiarenia. Určte energiu fotónu s touto vlnovou dĺžkou. Za predpokladu, že elektrón pri svojom brzdení vyvolal vznik práve tohto jedného fotónu, určte energiu tohto elektrónu v jednotkách eV a diskutujte o tom, akým veľkým napätím bol tento elektrón urýchlený pred dopadom na kovový terčik.

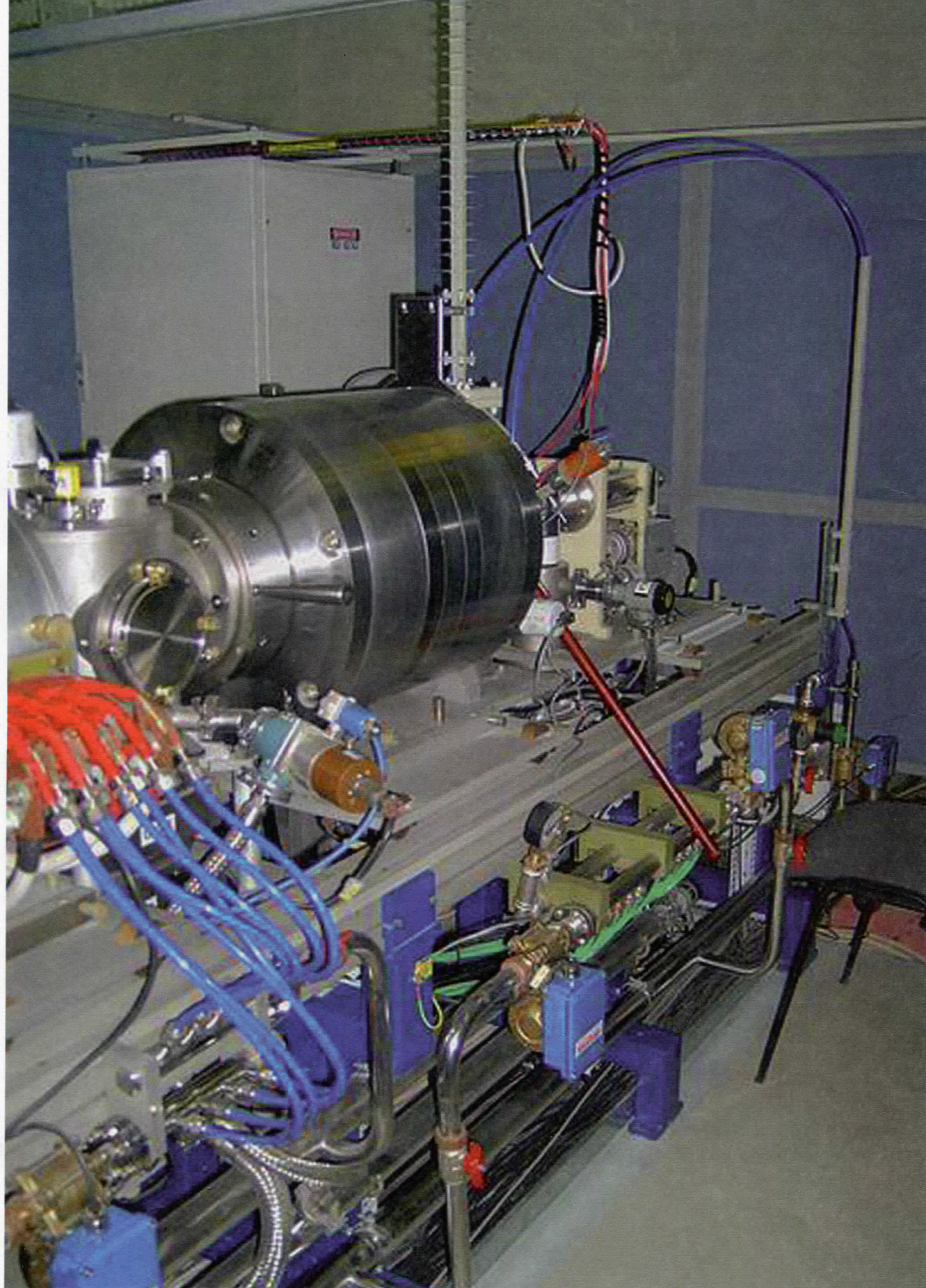
Röntgenové žiarenie bežne používame pri zobrazovaní vnútorných častí nášho tela. Žiarenie zo zdroja podobného tomu na obrázku vyššie nasmerujeme na časť tela, ktorú chceme zobrazit'. Žiarenie prejde cez mäkké tkanivá a rozptýli sa na častiach tela obsahujúcich viac atómov s vyššou atómovou hmotnosťou (napríklad na kostiach). Takéto žiarenie sa dostane na fotografickú platňu, alebo na digitálny snímač. Viac dopadnutého žiarenia sa na výslednej snímke zobrazí čiernou farbou, menej žiarenia bielou. Pred fotografickou platňou je umiestnená mriežka, ktorá zabezpečuje ostrosť obrazu. Röntgenové žiarenie, ktoré dopadá na platňu priamo mriežkou prejde a žiarenie, ktoré dopadá na platňu šikmo (rozptýlené žiarenie) mriežkou neprejde. Dávka žiarenia je optimalizovaná aj použitím fluorescenčného materiálu, ktorý absorbuje röntgenové žiarenie a emituje žiarenie s vlnovými dĺžkami, ktoré vyvolávajú na fotografickej platni väčší účinok.

Použitie digitálnych snímačov pri zobrazovaní röntgenom a objav počítačovej metódy analyzovania a zobrazovania množstva röntgenových snímok zrealizovaných z rôznych uhlov voči telu sa stali základom počítačovej tomografie. Objav počítačovej tomografie bol ocenený v roku 1978 Nobelovou cenou za medicínu. S počítačovým tomografom sa dnes môžeme stretnúť napríklad aj pri kontrole batožiny na letisku.



Viacere vlastnosti röntgenového žiarenia sú podobné vlastnostiam rádioaktívnych žiarení, a preto sa im budeme venovať až v nasledujúcej kapitole.

Nobelova cena, 1978

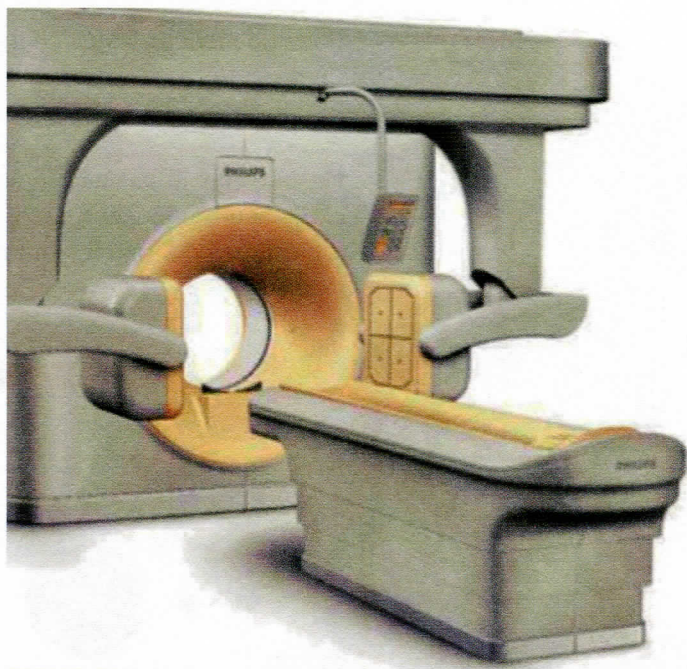




3. Jadro atómu

Jadro atómu, jadrová elektrárňa, jadrová fyzika, jadrová magnetická rezonancia, rádioaktívny žiarič. Slovné spojenia, ktoré vzbudzujú rešpekt a evokujú rôzne pocity. V tejto kapitole vysvetlíme niektoré základné vlastnosti jadier atómov a naznačíme, ako toto poznanie vedie k skvalitneniu nášho života. Nie je potrebné, aby každý z nás vedel navrhnuť a vyrobiť jadrovú elektrárňu, na to nám stačí pár profesionálov. Všetci si však môžeme uvedomovať, aké výhody majú takéto elektrárne, a prečo sa vo väčšine krajín používajú. Tiež by sme si mali uvedomovať, aké riziká sú spojené s voľne pohodeným rádioaktívnym žiaričom niekde na smetisku. Iba málokto nosí pri sebe dozimeter, všetci však veríme, že žijeme v bezpečnom prostredí, ktoré nás neohrozuje.

Na obrázku je zariadenie na pozitronovo emisnú tomografiu, zariadenie používané pri diagnostike nádorových ložísk a metastáz v organizme. Ide o jedno zo zariadení, ktoré využíva rádioaktívne látky v medicíne.



3.1 Zákony zachovania v jadre atómu

Dávnym snom alchymistov bolo premeniť jeden chemický prvok na iný, zvyčajne na zlato. Búchaním kladivom na olovenú platňu ale ani chemickými reakciami však zlato nezískame. Dnes už niektoré premeny jedného chemického prvku na iný sú známe a bežne v laboratóriách (dokonca aj v prírode) prebiehajú. Premeny jadra atómu jedného prvku na iný spoločne nazývame jadrové reakcie. Asi najbežnejšou skupinou jadrových reakcií je rádioaktivita, ďalšími skupinami sú jadrové štiepenie a jadrová syntéza. Rádioaktivite sa budeme venovať neskôr, teraz sa venujme jadrovému štiepeniu a jadrovej syntéze.

Už sme hovorili, že jadro atómu obsahuje protóny a neutróny spoločne nazývané nukleóny. Počas jadrových reakcií nie je možné zmeniť počet nukleónov, nukleóny počas jadrových reakcií nevznikajú, ani nezanikajú. Avšak neutróny sa môžu meniť na protóny a naopak.

Pri jadrových reakciách platí zákon zachovania počtu nukleónov.

Zákon zachovania počtu nukleónov

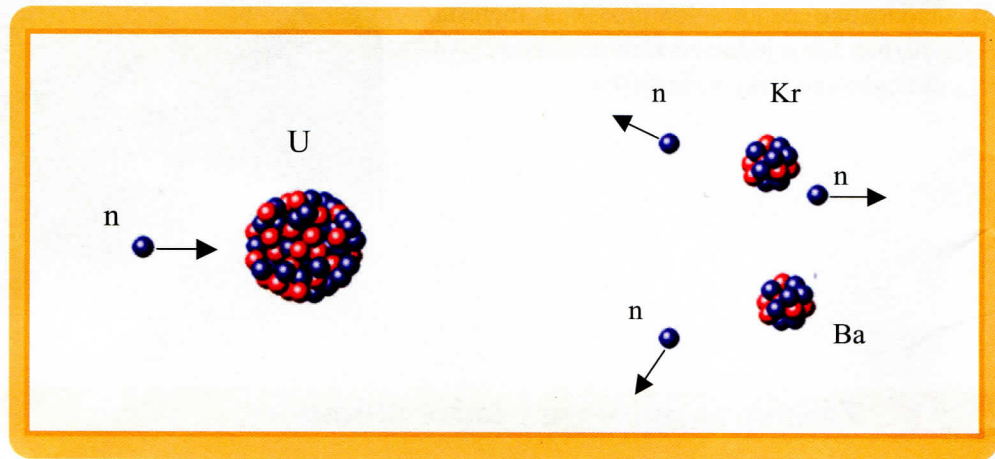
V predchádzajúcich častiach sme sa tiež dozvedeli, že elektrický náboj je nezničiteľný. Telesá je možné elektricky nabiť tak, že z nich odstránime niekoľko nabitých častíc, napríklad elektrónov, alebo že niekoľko nabitých častíc im pridáme z iných telies (z okolia). V jadrovej fyzike zákon zachovania elektrického náboja zvyčajne formulujeme tak, že protónové číslo sa počas jadrovej reakcie zachováva.

Zákon zachovania elektrického náboja

Celkové protónové číslo častíc do reakcie vstupujúcich sa rovná celkovému protónovému číslu častíc z reakcie vystupujúcich.

Použitie predchádzajúcich dvoch zákonov zachovania ukážeme na nasledujúcom príklade.

Na obrázku je naznačené štiepenie jadra uránu pri bombardovaní neutrónom. Vľavo je neutrón letiaci k jadrú uránu. Vpravo je situácia po reakcii, z telesa pozostávajúceho z neutrónu a jadra uránu vyleteli dve jadrá ľahších prvkov a tri neutróny.



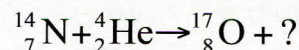
Reakciu môžeme zapísať nasledovne:



V príklade vidíme, že počet protónov do reakcie vstupujúcich je 92 a počet protónov z reakcie vystupujúcich je $36 + 56 = 92$. Počet nukleónov do reakcie vstupujúcich je $1 + 235 = 236$, z reakcie vystupuje $92 + 141 + 3 \cdot 1 = 236$ nukleónov.

Úloha

Jadro hélia narazí veľkou energiou do jadra dusíka. Výsledkom reakcie je jadro kyslíka a ešte jedna častica. Určte túto časticu. Konkrétne izotopy spomínaných prvkov sú v rovnici.



Riešenie: Počet protónov na ľavej strane je 9, na pravej strane 8, teda na pravej strane je potrebné pridať jeden protón. Počet nukleónov na ľavej strane je 18, na pravej strane 17, teda chýba jeden nukleón. Chýbajúcou časticou je teda protón ${}^1_1\text{p}$.

Vo fyzike aj v chémii sme doteraz niekedy vedome, niekedy intuitívne používali pri riešení rôznych situácií **zákon zachovania hmotnosti**. Pri chemických reakciách platí, že hmotnosť látok do reakcie vstupujúcich sa rovná hmotnosti látok z reakcie vystupujúcich. Aj vo fyzike, napríklad ak uviazne strela v guľke z plastelíny predpokladáme, že hmotnosť guľky so strelou sa bude rovnať súčtu hmotností strely a guľky pred zrážkou.

Zákon zachovania hmotnosti a energie

Vo fyzike na úrovni jadra atómu **zákon zachovania hmotnosti neplatí**. Asi každý z nás už niekedy videl slávnu rovnicu $E = mc^2$, spájajúcu sa s tvorcom teórie relativity Albertom Einsteinom. Doteraz sme sa však v učive fyziky s touto rovnicou nestretli. Veľa fyzikálnych poznatkov získavame aj z mimoškolského prostredia, práve táto rovnica je dobrým príkladom takto získaného poznatku. Začnime experimentom, ktorý fyzici v dobre vybavených laboratóriách už mnohokrát realizovali.

Experiment spočíva v meraní hmotností protónu, neutrónu a jadier niekoľkých atómov. Metóda merania teraz nie je podstatná, ale môžeme si spomenúť napríklad na pohyb nabitej častice v magnetickom poli a na rovnicu $R = \frac{mv}{Bq}$. Použitím tejto rovnice a vhodnej aparatury sa dá odmerať hmotnosť nabitých častíc. Hmotnosť neutrónu, ktorý nie je elektricky nabitý, sa dá odmerať inými spôsobmi.

Výsledky experimentu sa zadajú byť prekvapivé. Hmotnosť jadra uhlíka ${}^{12}_6\text{C}$ sa ukázala ako výrazne menšia, ako súčet hmotností šiestich protónov a šiestich neutrónov. Pokúsme sa predstaviť si túto situáciu nasledovne. Položme si „na stôl“ 6 kociek Lega jedného typu, každú s hmotnosťou m_1 a 6 kociek iného typu, každú s hmotnosťou m_2 . Spolu teda máme kocky s celkovou hmotnosťou $6m_1 + 6m_2$. Tieto kocky spolu poskladáme, vytvoríme z nich napr. vežu. Predpokladáme, že hmotnosť veže bude $6m_1 + 6m_2$ a sme si istí, že máme pravdu. Vo fyzike na úrovni jadra atómu je to však inak. Hmotnosť jadra je vždy menšia, ako je súčet hmotností jednotlivých samostatných protónov a neutrónov. Platí: $m_{\text{JX}} < Zm_p + (A - Z)m_n$. Úbytok hmotnosti sa nedá vysvetliť klasickou fyzikou, je však v priamej súvislosti s teóriou relativity. Chýbajúca hmotnosť už viac nie je hmotnosťou, premenila sa na energiu, ktorá sa uvoľnila do okolia. Experimenty ukázali, že hmotnostný úbytok sa rovná podielu uvoľnenej energie a druhej mocniny rýchlosti svetla, $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$.

Hmotnostný úbytok

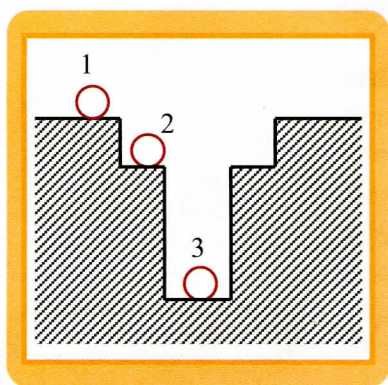
Hmotnosti objektov na úrovni jadrovej fyziky zvyčajne vyjadrujeme ako podiel hmotnosti objektu a hmotnostnej konštanty m_u . Relatívna hmotnosť objektu sa rovná jednej, ak je jeho hmotnosť rovnaká, ako jedna dvanástina hmotnosti uhlíka ${}^{12}_6\text{C}$, teda $m_u = 1,66057 \times 10^{-27}$ kg. Hmotnosť objektov v kilogramoch získame zo vzťahu $m = m_r \cdot 1,66057 \times 10^{-27}$ kg. Dostávame tak **relatívnu hmotnosť**.

Relatívne hmotnosti m_r vybraných objektov sú v tabuľke.

Objekt	m_r	$\Delta m (m_u)$	Väzbová energia na nukleón ($\cdot 10^{-13}$ J)	Väzbová energia na nukleón (MeV)
${}^1_1\text{P}$	1,007276			
${}^1_0\text{n}$	1,008665			
${}^4_2\text{He}$	4,002603	0,029279	10,924	6,82
${}^9_4\text{Be}$	9,012182	0,060247	9,990	6,24
${}^{12}_6\text{C}$	12,000000	0,095646	11,895	7,42
${}^{56}_{26}\text{Fe}$	55,934938	0,514188	13,703	8,55
${}^{206}_{82}\text{Pb}$	205,974465	1,696627	12,291	7,67
${}^{238}_{92}\text{U}$	238,050788	1,883694	11,812	7,37

Už sme povedali, že hmotnostný úbytok súvisí s energiou, ktorá sa uvoľní pri vzniku jadra. Podľa vzťahu $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$ môžeme vypočítať uvoľnenú energiu. Viac nám však povie energia pripadajúca na jeden nukleón. Hodnoty tejto veličiny sú tiež v tabuľke.

Áký význam má energia zodpovedajúca hmotnostnému úbytku? Ide o energiu, ktorá by sa pri hypotetickom vzniku jadra z jednotlivých protónov a neutrónov uvoľnila do okolia. Pomôžeme si analógiou z mechaniky.



Na obrázku je guľka predstavujúca nukleón. Táto guľka je v troch polohách. Guľka sa z polohy 1 dostane do polohy 2 tak, že spadne do jamy. Počas pádu sa zmení jej polohová energia na kinetickú a kinetická energia sa pri dopade uvoľní do okolia vo forme vnútornej energie okolia. Ak guľka padne až do polohy 3, uvoľní sa do okolia ďalšia energia. Na premiestnenie guľky z polohy 3 do polohy 2 musíme energiu dodať.

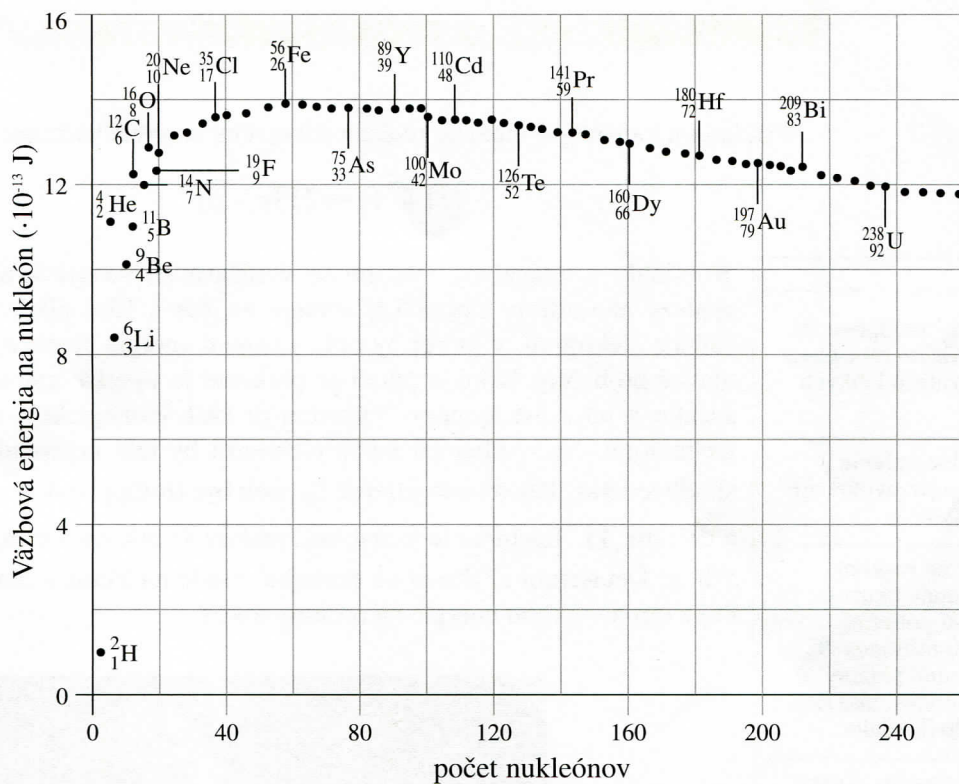
Poloha 1 predstavuje voľný nukleón. Poloha 2 predstavuje nukleón s malou hodnotou uvoľnenej energie, poloha 3 predstavuje nukleón s väčšou hodnotou uvoľnenej energie.

Môžeme hovoriť, že guľka v našom modeli je v polohe 1 voľná, môže sa odkotúľať preč. Avšak v polohách 2 a 3 je viazaná, je uväznená v jame. V jadrovej fyzike používame pojmy väzbová energia a väzbová energia pripadajúca na jeden nukleón.

Väzbová energia jadra

Väzbová energia jadra je energia, ktorú musíme jadrú dodať, aby sme ho rozdelili na samostatné nukleóny.

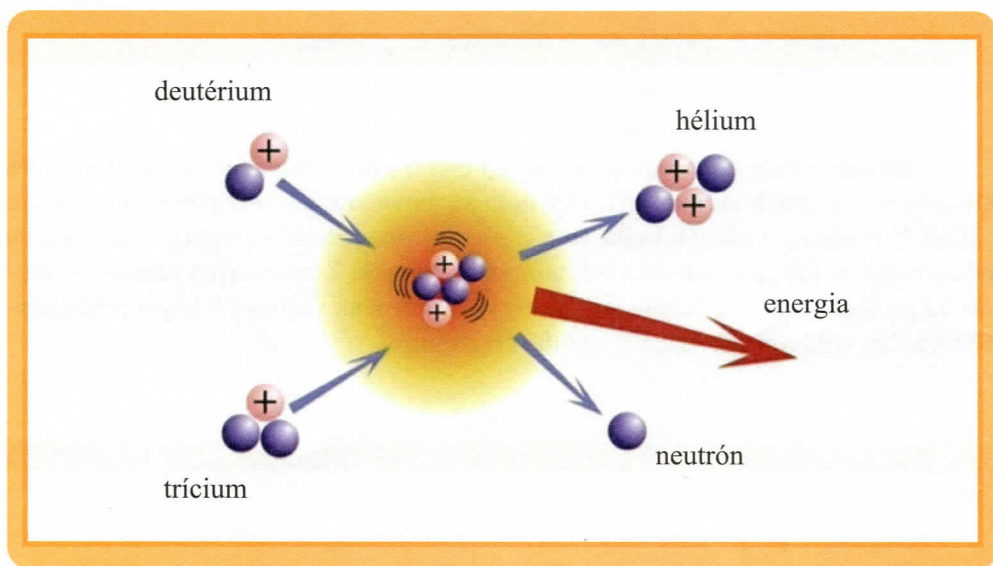
Uvoľňovanie energie z paliva jadrových elektrární je založené na preskupovaní nukleónov v jadrách atómov tak, aby bola väzbová energia nukleónov v priemere väčšia. V predchádzajúcej tabuľke sme si ukázali, že väzbová energia pripadajúca na jeden nukleón nie je v jednotlivých atómoch rovnaká. Z uvedených atómov je najväčšia pri železe. Na nasledujúcom grafe je znázornená väzbová energia pripadajúca na jeden nukleón pre viacero stabilných atómov.



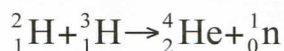
Z grafu môžeme vidieť, že energia pripadajúca na jeden nukleón je najvyššia pri jadrách prvkov v okolí železa. Prvky ľahšie ako železo, alebo ťažšie ako železo majú väzbovú energiu pripadajúcu na jeden nukleón menšiu. Ak sa spoja dve ľahké jadrá a vznikne ťažšie jadro, hovoríme o **jadrovej syntéze**. Ak sa jadro ťažkého prvku rozdelí na dve ľahšie jadrá, hovoríme o **štiepení jadra**.

Najskôr sa venujme jadrovej syntéze. Syntéza jadier je našim hlavným zdrojom energie. Samozrejme nemáme na mysli elektrickú energiu, ale energiu ako takú. Všetci vieme, že väčšina energie na Zemi pochádza zo Slnka. Na Slnku, rovnako ako aj na iných hviezdach je zdrojom energie jadrová syntéza.

Jadrová syntéza

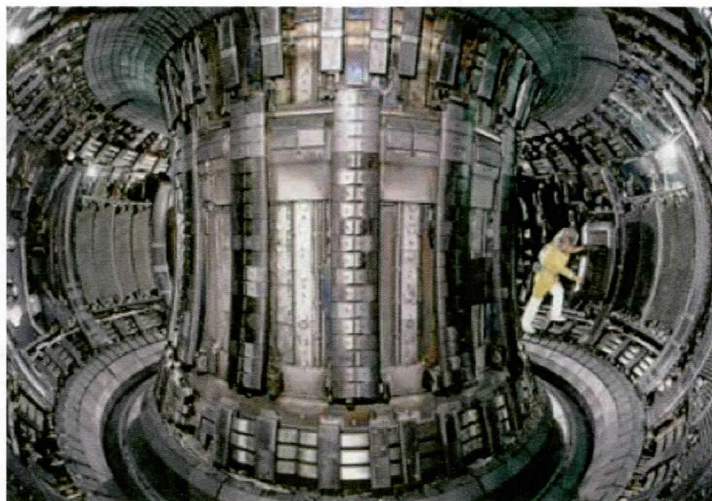


Príkladom jadrovej syntézy je reakcia zobrazená na predchádzajúcom obrázku.



	Časová os
1929	Prvé teoretické predpovede uvoľnenia veľkého množstva energie pri syntéze ľahkých jadier
1934	Experimentálne určenie množstva energie uvoľnenej pri jadrovej syntéze
1968	Experimenty na ruskom reaktore tokamak ukazujú, že pre syntézu sú potrebné teploty minimálne 10 miliónov °C s dobou udržania plazmy až 20 ms – oveľa viac, ako sa dovtedy predpokladalo
1970	V Európe, Japonsku, Rusku a v USA sa budujú tokamakové zariadenia. Výstavba v Európe bola dokončená v roku 1983
1991	Po prvýkrát sa dosiahla kontrovaná produkcia energie z jadrovej syntézy na svete
2008	Začiatok výstavby zariadenia ITER na juhu Francúzska, www.iter.org

Rozsiahly a intenzívny výskum sa v súčasnosti venuje využitiu jadrovej syntézy ako zdroja elektrickej energie na Zemi. Ešte nikde nie je v prevádzke elektrárň, v ktorej by bola zdrojom energie syntéza jadier. Medzi hlavné problémy, ktoré je potrebné prekonať je vysoká teplota potrebná na začatie a udržanie syntézy. Výhodou je však ekologickosť navrhovaných technológií. Na rozdiel od iných elektrární by táto neprodukovala žiadne škodlivé látky. Palivom elektrárne by mali byť izotopy vodíka deutérium ${}^2_1\text{H}$ a trícium ${}^3_1\text{H}$. Trícium nie je stabilný, mal by sa priamo v elektrárni vyrábať z lítia. Deutérium aj lítium sú dostupné všade na Zemi v množstve postačujúcom na výrobu energie na milióny rokov.



Výskum v oblasti využitiu jadrovej syntézy sa realizuje aj na Slovensku. Napríklad na FMFI UK sa realizuje výskum v oblasti vlastností nových materiálov na steny reaktora na syntézu jadier, reakcií elektrónov s atómami a molekulami a štúdiom interakcií plazmy so stenami.

Pri jednej z jadrových reakcií na slnku vzniká stabilný izotop uhlíka $^{12}_6\text{C}$. Tento vzniká syntézou protónu a jadra dusíka $^{15}_7\text{N}$. Zapište rovnicu tejto reakcie. Aká ďalšia častica vzniká pri tejto reakcii?

Nobelova cena, 1938

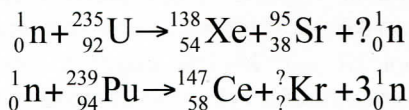
O **štiepení jadier** hovoríme vtedy, ak sa jadro ťažkého prvku rozdelí na jadrá ľahších prvkov. O štiepení zvyčajne hovoríme v súvislosti s uránom a plutóniom. Štiepenie si ukážeme na príklade s jadrom uránu $^{235}_{92}\text{U}$. Štiepenie obvykle začína nárazom neutrónu do jadra. Jadro pohltí neutrón a stane sa nestabilné. Rozdelí sa na menšie časti – na dve jadrá a niekoľko neutrónov. Keďže väzbová energia pripadajúca na jeden nukleón je pri ľahších prvkoch vyššia, pri štiepení sa energia uvoľní. Zvyčajne sa uvoľní približne $300 \cdot 10^{13} \text{ J}$ (187 MeV) energie.

Štiepenie jadier

Štiepenie jadier je podrobne preskúmané a v súčasnosti sa používa ako zdroj energie v jadrových elektrárňach. Na Slovensku sa v jadrových elektrárňach v roku 2010 vyrobilo vyše 60 % elektrickej energie.

Úlohy

- Nájdite aktuálny podiel jadrových elektrární na výrobe elektrickej energie na Slovensku a v Európe.
- V nasledujúcich reakciách doplňte chýbajúce údaje



- Odhadnite hmotnosť uránu spotrebovaného v jednom z reaktorov atómovej elektrárne v Mochovciach za jeden deň. Potrebné údaje vyhľadajte.

Riešenie: Na stránke Slovenských elektrární sa dá vyhľadať, že nainštalovaný výkon každého z reaktorov je 470 MW. Za deň sa teda vyrobí $470 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \text{ s} = 4 \cdot 10^{13} \text{ J}$.

V predchádzajúcom texte je uvedené, že jeden atóm uvoľní približne $300 \cdot 10^{13} \text{ J}$.
Za deň teda spotrebujeme $\frac{4 \cdot 10^{13} \text{ J}}{300 \cdot 10^{13} \text{ J}} = 1,4 \cdot 10^{24}$ atómov uránu.

Dá sa vyhľadať informácia, že hlavným palivom je izotop uránu ${}_{92}^{235}\text{U}$, tento má 235 nukleónov. Jeho hmotnosť je teda približne $235 \cdot 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 3,9 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$. Celkovo teda za jeden deň minieme $1,4 \cdot 10^{24} \cdot 4 \cdot 10^{-25} \text{ kg} = 0,53 \text{ kg}$ uránu.

3.3 Objav rádioaktívneho žiarenia

Nobelova cena, 1903

Za deň zrodu jadrovej fyziky môžeme považovať 2. marec 1896 keď H. Becquerel predniesol svoj prvý referát o “uránovom žiarení” na zasadnutí Akadémie vied v Paríži. Druhým rozhodujúcim príspevkom bol objav atómového jadra založený na výsledkoch pokusov H. Geigera, E. Marsdena a E. Rutherforda a na Rutherfordovej analýze týchto výsledkov. O tomto objave sme hovorili v časti 2.3.

Úloha

Prečítajte si nasledujúce dva odseky a zrealizujte aktivitu uvedenú v závere úlohy.

Becquerelov objav bol šťastí náhodný a šťastí nie. Nasledoval po tom, čo sa H. Becquerel dozvedel o Röntgenových X-lúčoch a chcel zistiť, či nesúvisia s luminiscenciou. Luminiscencia je jav, pri ktorom teleso ožiarené elektromagnetickým žiarením sa istý čas po ožiarení správa ako zdroj elektromagnetického žiarenia. Vybral si kryštál soli obsahujúcej urán, ktorý už dávnejšie pripravil so svojim otcom. Vedel, že táto soľ má luminiscenčné vlastnosti. Kryštál položil na fotografický papier dôkladne zabalený v neprievitnom čiernom papieri a celé to vystavil na niekoľko hodín na slnečné svetlo. Keď papier vyvolal, objavila sa na ňom silueta kryštálu. Predpokladal, že jeho hypotéza bola správna a že po ožiarení slnečným svetlom uránová soľ vysiela žiarenie ľahko prechádzajúce čiernym papierom. Becquerel chcel pokus zopakovať. Pripravil si nový fotografický materiál zabalený do čierneho papiera, položil naň kryštál uránu a všetko uložil do zásuvky. Nasledujúci deň to chcel len vybrať a vyložiť na slnečné žiarenie. Ale Slnko v Paríži niekoľko dní nesvietilo. Po niekoľkých dňoch sa chcel presvedčiť o tom, ako účinok klesá s časom. Predpokladal totiž, že slnečné svetlo spôsobuje to, že uránová soľ vydáva prenikavé žiarenie. Toto prenikavé žiarenie by nemuselo prestať ihneď po tom, ako skončilo pôsobenie slnečného žiarenia na kryštál soli. A tak vyvolal fotografický papier. V našom odhade sme neuvažovali o koncentrácii uránu v palive. Tiež sme zanedbali hmotnostný úbytok jadier uránu. Zistil, že sčernenie sa nielenže nezmenšilo, ale zväčšilo. Jedným z možných vysvetlení bolo, že po ožiarení slnečným svetlom vysiela uránová soľ prenikavé žiarenie dlhý čas. Becquerel ale ukázal, že intenzita prenikavého žiarenia s časom neklesá. Prenikavé žiarenie vysielať aj tie

zlúčeniny uránu, ktoré nevykazujú ani luminiscenciu ani fosforescenciu. Ukázalo sa tak, že pôsobenie slnečného žiarenia nie je potrebné na to aby uránová soľ vysiela- la prenikavé žiarenie a že za žiarenie je zodpovedná len prítomnosť uránu v látke. Becquerel nazýval preto žiarenie “uránovým”, ostatní hovorili o Becquerelovom žiarení. Ukázal tiež, že žiarenie ionizuje vzduch.

Becquerelov objav žiarenia sa často spomína ako príklad na úlohu, ktorú hrá pri objave šťastná náhoda. Otázka je ale dosť otvorená. Myšlienka hľadať možnú súvis- losť medzi luminiscenciou či fosforescenciou a novým objavom Röntgenových lúčov bola pre odborníka v týchto oblastiach celkom prirodzená. Náhoda mohla byť snád len to, že si Becquerel už pre prvý experiment vybral soľ, ktorá obsahovala urán. Ale pri systematickejšom štúdiu luminiscenčných látok by sa nejaká zlúčení- na uránu iste použila. Náhoda bolo aj to, že po prvom pokuse niekoľko dní v Paríži bolo slnko skryté za oblakmi. Ale otázka o tom, ako s časom slabne efekt zdanlivo vyvolaný v uránovej soli slnečným žiarením by sa bola objavila skôr či neskôr. Úplná náhoda to určite nebola. Pôvodné Becquerelove práce boli publikované v zborníkoch Akadémie vied v Paríži. V týchto zborníkoch sa podľa historikov nachádzala aj staršia práca, v ktorej sa hovorilo o silnom účinku slnkom ožiarených uránových solí na fotografické platne. Takmer 40 rokov pred Becquerelom za týmto javom nikto nehladal vplyv nejakého nového typu žiarenia. Na Becquerelov objav nadviazali viacerí vedeckí pracovníci. Najvýznamnejšie výsledky a objavy nových rádioaktívnych nuklidov vrátane izotopov rádia a polónia dosiahli Pierre a Mária Curieovci. Na výsledky Becquerela a manželov Curieových nadviazali viacerí vrá- tane Rutherforda. Jeho najzávažnejšie objavy v oblasti skúmania vlastností rádioak- tívneho žiarenia vošli do zlatého fondu fyziky a chémie.

Nobelova cena, 1903,
1911

Aktivita

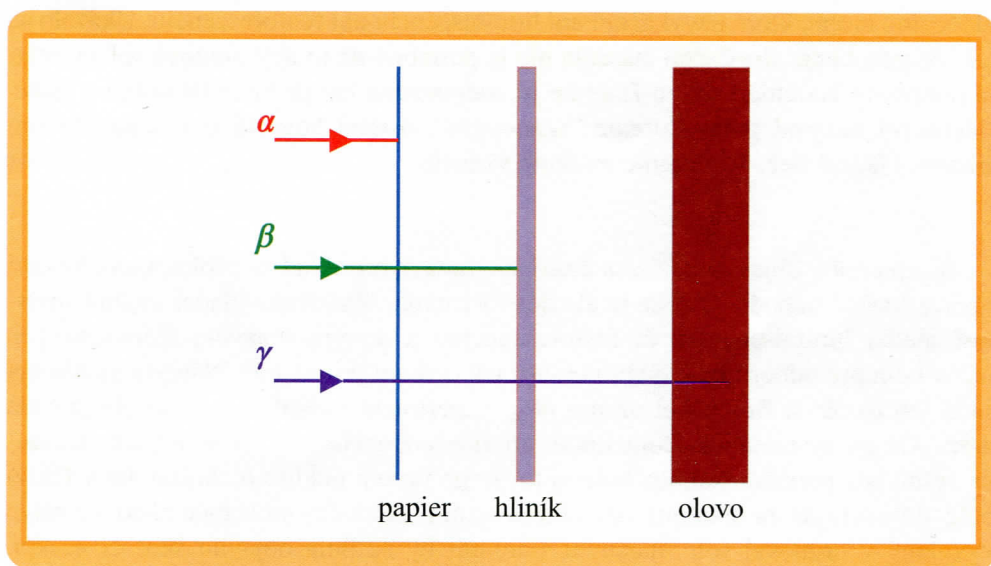
Diskutujte o dôležitosti základného výskumu. Na príklade objavu rádioaktivity opíšte počiatkovú prácu niekoľkých nadšencov a v krátkosti načrtnite súčasné vy- užitie poznatkov o rádioaktivite. Vychádzajte z poznatkov, ktoré máte momentálne k dispozícii. K aktivite sa vráťte po preštudovaní celej kapitoly venovanej rádioakti- vite.

H. Beckerel objavil nové žiarenie. Bolo odlišné od röntgenového, nevyžadovalo žiaden vonkajší podnet. Nový jav bol nazvaný **rádioaktivita**. Nebola ovplyvniteľná ani silným zohrievaním či chladením, a ani iným fyzikálnym alebo chemickým pôsobením. Bolo jasné, že zdrojom rádioaktivity muselo byť niečo ukryté hlboko v jadre atómu. Ukázalo sa, že rádioaktivita je výsledkom premeny nestabilného jadra.

Rádioaktivita

Poznáme tri druhy rádioaktívneho žiarenia a to α , β a γ . Navzájom sa líšia prenikavosťou materiálom. Žiarenie α neprenikne ani listom papiera, vo vzduchu preletí len niekoľko centimetrov. Žiarenie β zachytí hliníkový plech. Žiarenie γ nedokáže úplne pohltiť ani olovený blok. Spoločnou vlastnosťou všetkých troch žiarení je, že vznikajú v jadre atómu a že ionizujú prostredie, ktorým sa šíria. Rozdiely medzi žiareniami α , β a γ spočívajú v samotnej podstate týchto žiarení.

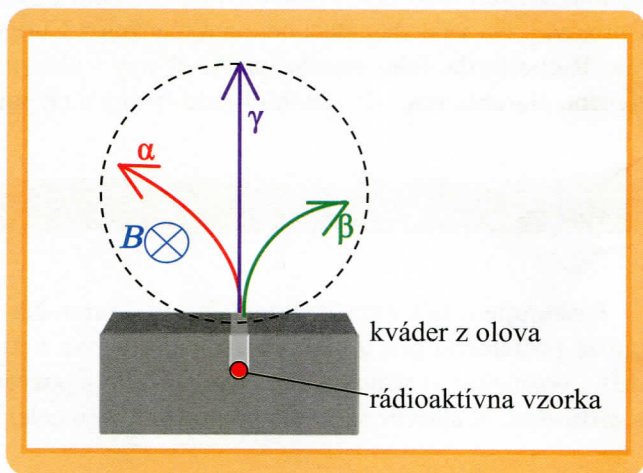
Absorpcia
rádioaktívneho žiarenia



Zistilo sa, že jednotlivé zložky rádioaktívneho žiarenia sa líšia elektrickým nábojom. Preto sa jednotlivé zložky rôzne pohybujú v magnetickom, ako aj v elektrickom poli.

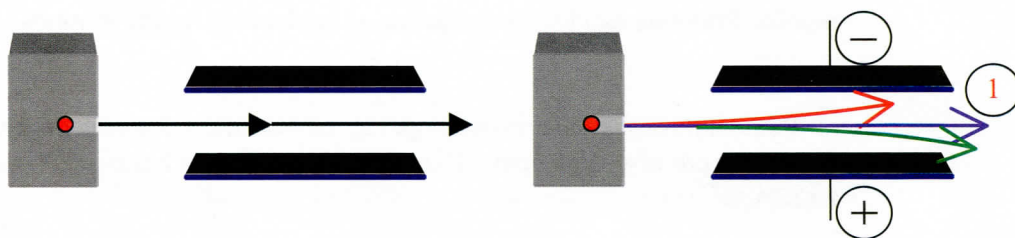
Náboj častíc rádioaktívneho žiarenia

Na zistenie typu elektrického náboja žiarení použijeme Flemigovo pravidlo ľavej ruky. Naučili sme sa ho používať v učebnici z predchádzajúceho ročníka, v učive o magnetickom poli. Položme otvorenú dlaň ľavej ruky do magnetického poľa na obrázku tak, aby magnetické indukčné čiary vstupovali do dlane. Palec nasmerujeme v smere pôsobiacej sily, teda do stredu kružnice, ktorej časť je vytvorená trajektóriou častice. Ak je častica kladná, potom vystreté prsty ukazujú smer jej pohybu. Ak je častica záporná, potom vystreté prsty ukazujú smer opačný k smeru jej pohybu.



Úlohy

1. Postupom opísaným vyššie ukážte, že častice α žiarenia sú kladné a že častice β žiarenia sú záporné.
2. Na obrázku sú znázornené dve kovové rovnobežné platne, medzi ktorými sa šíri rádioaktívne žiarenie vychádzajúce zo zdroja vľavo. Vyznačený je smer šírenia žiarenia vychádzajúceho zo zdroja rádioaktívneho žiarenia. Jednu platňu pripojíme ku kladnému a druhú k zápornému pólu zdroja. Žiarenie sa rozdelí na tri zložky. Určte, ktorá zložka je žiarenie α , ktorá je žiarenie β a ktorá zložka je žiarenie γ .



Rádioaktívnou premenou môžu vzniknúť tri typy žiarenia, a to α , β a γ . Žiarenie α je prúdom častíc totožných s jadrom hélia, ${}^4_2\text{He}$, žiarenie β je prúdom elektrónov, žiarenie γ je elektromagnetické žiarenie, hovoríme o prúde fotónov.

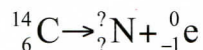
Žiarenie α , β , γ

Predchádzajúci text popisuje zaujímavú skutočnosť. Existujú atómy, ktoré nie sú stabilné a samovoľne sa premieňajú na iné atómy. Pri tejto premene z jadier niektorých atómov sa uvoľní jadro hélia, z niektorých elektrón a z niektorých fotón. Neexistujú jadrá, z ktorých by sa samovoľne uvoľnil napríklad len protón, alebo len neutrón. Výnimočne existuje niekoľko jadier, z ktorých sa môže uvoľniť častica rovnaká ako elektrón ale s kladným nábojom, tzv. pozitron.

Žiarenie	Značka	Relatívna hmotnosť	Náboj	Rýchlosť ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
alfa	α , ${}^4_2\text{He}$	4	+2e	10^6
beta	β , β^- , e	1/1 800	-e	10^8
gama	γ	0	0	$3 \cdot 10^8$

Úloha

Doplňte chýbajúce čísla v rovnici



3.4 Fyzikálne veličiny súvisiace s rádioaktivitou

Nabité častice α a β pohybujúce sa veľkými rýchlosťami dokážu ionizovať atómy prostredia, ktorým prechádzajú. V dôsledku elektrostatickej sily môžu priťahovať či odpudzovať elektróny a tým ich vytrhnúť z atómu. Podobne aj fotóny γ žiarenia ionizujú prostredie, uvoľňujú elektróny z obalu atómov a tým ovplyvňujú chemické väzby atómov. Každá častica môže pozdĺž trajektórie svojho pohybu spôsobiť až tisíce ionizácií. Častice α stratia svoju energiu na veľmi krátkej vzdialenosti (na povrchu listu papiera, po niekoľkých centimetroch letu vo vzduchu a podobne) a táto strata energie je sprevádzaná ionizáciou prostredia. Teda častice α ionizujú malý objem a hustota ionizovaných častíc je v tomto objeme veľká. Častice β majú väčší

dolet, a teda hustota ionizovaných častíc je menšia. Fotóny γ často preletia prostredím tak, že sú iba veľmi málo zoslabené, a teda hustota ionizovaných častíc je ešte menšia. Podobne ako fotóny γ žiarenia sa správajú aj fotóny röntgenového žiarenia.

Rádioaktívne žiarenie, rovnako ako aj iné ionizujúce žiarenie predstavuje nebezpečenstvo pre živé organizmy. Žiarenie môže poškodiť bunku napríklad aj jedným z troch spôsobov:

1. Žiarenie s veľkou intenzitou môže zničiť bunku tak, že celé tkanivo odumrie.
2. Jedna ionizujúca častica môže pôsobiť na DNA tak, že prestane správne pracovať.
3. Jedna ionizujúca častica môže rozbiť molekulu vody, pričom OH^\ominus reaguje s DNA a poškodí ju.

Pri rádioaktívnom žiarení nás zaujíma najmä:

- v súvislosti s rádioaktívnou vzorkou:
 - za aký čas sa rádioaktívne izotopy v rádioaktívnom materiáli premienia (charakterizujeme to veličinou polčas premeny, značka T , jednotka s),
 - ako často dochádza v telese k rádioaktívnej premene (charakterizujeme to veličinou aktivita, značka A , jednotka s^{-1}),
- v súvislosti s tkanivom, ktoré je zasiahnuté rádioaktívnym (ionizujúcim) žiarením
 - aká energia sa v tkanive spotrebuje na vytvorenie iónov (jednotka $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$),
 - aké sú účinky na organizmus (jednotka Sievert, Sv).

Najčastejšie používanou veličinou je polčas premeny.

Príklad školského zariadenia na meranie rádioaktivity v prírode je na obrázku.



Polčas premeny je čas, za ktorý sa rozpadne polovica atómov rádioaktívneho izotopu vo vzorke.

Polčas premeny označujeme písmenom T a jednotkou je jednotka času, sekunda. Už zo samotnej definície vidíme, že rádioaktívny izotop vo vzorke nikdy celkom nevyumizne, vždy za polčas premeny sa premení polovica atómov vybraného izotopu. Samozrejme, po istom počte polčasov premeny sa množstvo rádioaktívnych atómov vo vzorke stane voči rádioaktivitě okolitého prostredia zanedbateľné.

Účinky na ľudský organizmus sa vyjadrujú v jednotkách Sievert. Ide o jednotku fyzikálnej veličiny nazývanej dávkový ekvivalent ionizujúceho žiarenia. Údaje o dávkových ekvivalentoch niektorých radiačných záťaží sú v tabuľke.

Záťaž	Dávkový ekvivalent
3 hodiny letu vo výške 10 km	0,01 mSv
Hraničná dávka od kozmického žiarenia	0,3 mSv / rok
Stredná záťaž pri aplikáciách v medicíne	0,5 mSv / rok
Röntgen hrudníka	0,03 mSv
„Báriové jedlo“ (ako kontrastná látka pri röntgenovom vyšetrení čriev)	1 mSv
Stredná prírodná záťaž v SR	1,5 mSv / rok
Stredná záťaž pri bývaní	do 3 mSv / rok
Max. prípustná dávka pre profesionálov	50 mSv / rok
Klinické príznaky z choroby	250 mSv
Choroba z ožiarenia	1 000 mSv
Ťažké ochorenie (50 % smrteľné)	4 000 mSv
Smrteľná dávka	7 000 mSv

3.5 Účinky ionizujúceho žiarenia a jeho využitie

Často sa hovorí o tom, ktoré zo žiarení je pre človeka najviac nebezpečné. Odpoveď nie je jednoduchá, najlepšie je povedať, že každé žiarenie, ktorému je človek vystavený je nebezpečné. Žiarenie α sa zo zdroja, ktorý je mimo človeka, do organizmu ani nedostane. Na ochranu postačuje niekoľko centimetrov vzduchu a vrstva pokožky. Ak sa však do organizmu dostane napríklad vdýchnutím alebo v strave, je veľmi nebezpečné, pretože v malom objeme tkaniva vyvoláva veľkú hustotu ionizácie. Naopak, žiarenie γ sa do organizmu dostane aj zo zdroja umiestneného v inej miestnosti, avšak preletí organizmom a vyvolá ionizáciu iba s malou hustotou.

Na obrázku sú označenia priestorov, v ktorých sú zdroje ionizačného žiarenia.



Pri spracovaní látok v tele prebiehajú biologické a chemické procesy. Biologickými procesmi látky prijímame i vylučujeme. Biologické ani chemické procesy nerozlišujú izotopy rovnakého chemického prvku, spracovávajú ich úplne rovnako. Jedným z hlavných rádioaktívnych izotopov v mračne z nehody v elektrárni v Černobyle bol jód $^{131}_{53}\text{I}$. Jód nie je toxický. Navrhnite, akou terapiou bolo možné znižovať ožiarenie v tele ľudí zasiahnutých týmto rádioaktívnym jódom.

Rádioaktivita prostredia

Aj keď sme v predchádzajúcich odsekoch rozprávali o nebezpečnosti rádioaktívneho žiarenia, musíme si uvedomiť, že toto žiarenie je okolo nás aj v nás vždy a úplne prirodzene. Spomenieme aspoň niekoľko **prirodených zdrojov rádioaktivity**.

Trícium – izotop vodíka ^3_1H . Vodík je najrozšírenejší prvok, je súčasťou molekúl vody a nepatrné množstvo z neho tvorí rádioaktívny izotop. Polčas premeny je 12,3 rokov.

Uhlík $^{14}_6\text{C}$. Uhlík tvorí základ nášho života a opäť nepatrné množstvo z neho tvorí rádioaktívny izotop. Polčas premeny je 5 730 rokov.

Draslík $^{40}_{19}\text{K}$. Draslík sa bežne nachádza v pôde a je potrebný pre rast rastlín, 0,012 % z neho tvorí rádioaktívny izotop. Polčas premeny je 1 300 mil. rokov.

Radón $^{222}_{86}\text{Rn}$. Radón je bezfarebný plyn bez chuti a zápachu. Vzniká rádioaktívnou premenou iných izotopov pod povrchom Zeme a odtiaľ sa dostáva na povrch. Nebezpečný je najmä ak sa dostane do zle izolovaných pivníc a tam dosiahne vyššiu koncentráciu. Polčas premeny je 3,8 dňa. V prírode sa nachádzajú aj produkty premeny radónu, napr. $^{218}_{84}\text{Po}$, $^{214}_{82}\text{Pb}$, $^{214}_{83}\text{Bi}$, $^{210}_{82}\text{Pb}$.

Rádium $^{226}_{88}\text{Ra}$. Rádium sa nachádza na povrchu Zeme iba v mizivých množstvách najmä v oblastiach, kde sa nachádza aj urán. Rádium je zdrojom plynného radónu. Vo veľmi malých množstvách sa môže dostať do stavebných materiálov. Polčas premeny je 1 600 rokov.

Urán $^{238}_{92}\text{U}$. Urán je v zemskej kôre zastúpený v koncentrácii približne 0,025 %. Urán je nielen rádioaktívny, ale aj toxický. Vo veľmi malých množstvách sa výnimočne môže dostať do stavebných materiálov. Polčas premeny 4 500 mil. rokov.

Okrem týchto rádioaktívnych izotopov sa v našom okolí nachádzajú aj mnohé ďalšie. Niektoré vznikli prirodzeným vývinom vesmíru, iné sme vyrobili, alebo stále vyrábame, najmä na lekárske účely.

Rádioaktívne prvky sa bežne využívajú v mnohých oblastiach ľudskej činnosti. Spomenieme najmä ich využitie v **medicíne**. Rádioaktívne prvky, aj také, ktoré sa v prírode bežne nevyskytujú, ale sa vyrábajú v laboratóriách, sa používajú v diagnostike aj pri terapii.

V **diagnostike** je možné využiť izotopy vyžarujúce γ žiarenie. Vhodný je taký izotop, ktorý nie je toxický a biologicky sa môže dostať do orgánu alebo sústavy, ktorú chceme zobrazit'. Dôležité je aj to, aby polčas premeny takéhoto prvku bol dost' veľký na to, aby sme ho dokázali prepraviť do nemocnice, dať pacientovi a pohodlne vykonať potrebné merania. Zároveň je dobré, aby polčas premeny nebol príliš veľký, aby sme nemali problém s odstránením žiarenia z pacienta a následne s likvidáciou použitého žiariča. Príkladom takéhoto izotopu je technécium $^{99}_{43}\text{Tc}$, ktorý je γ žiaričom. Polčas premeny je 6 hodín. Používa sa v rôznych rádiofarmakách na vyšetovanie mozgu, obličiek, srdca, pľúc a iných častí tela. Ak sa tento žiarič dostane do tela, orgány a tkanivá obsahujúce tento izotop vyžarujú žiarenie, ktoré snímame zariadeniami podobnými ako zariadenia používané pri röntgenových vyšetreniach, napríklad tomografom. Na základe získaných obrázkov sú lekári schopní „vidieť“ problematické časti tkaniva alebo vyšetovaných orgánov. Miera rizika využívania takéhoto rádioaktívneho izotopu je výrazne nižšia, ako riziko vyplývajúce z choroby, o ktorej by sme nevedeli, alebo by sme sa o nej dozvedeli príliš neskoro.

V **terapii** využívame zdroj rádioaktívneho žiarenia napríklad na ničenie nádorových buniek. Vhodným výberom žiariča sa dá dosiahnuť situácia, keď sa bunky nádoru v tele zničia a zdravé bunky ostanú nepoškodené. Aj tu platí, že rádioaktívnemu žiareniu vystavujeme časť tela iba vtedy, ak miera rizika je výrazne nižšia ako je miera rizika vyplývajúca z neliečeného nádoru a ak neexistuje lepšia možnosť terapie.



Príkladom **technického využitia** rádioaktívneho izotopu v domácnostiach je detektor dymu. V detektoroch dymu sa nachádza prvok americium, ktorý je zdrojom α častíc. Pri zrážke α častice s molekulami dusíka a kyslíka, nachádzajúcimi sa vo vzduchu, dochádza k ionizácii, získavame kladne nabitú kyslíkovú a dusíkovú ióny a záporne nabitú elektróny. V detektore sú umiestnené dve opačne nabitú platne. Elektróny sú priťahované ku kladne nabitú platni, kladné

ióny sa pohybujú k záporne nabitú platni. To spôsobí vznik elektrického prúdu. Ako náhle sa vo vzduchu objavia častice dymu, elektrický prúd v obvode poklesne a spustí sa alarm. Častice dymu jednak interagujú s nabitými časticami, a jednak α častice sú absorbované časticami dymu. Keďže α častice zastaví už list papiera a vo vzduchu preletia iba niekoľko centimetrov, nie je žiarenie z tohto detektora pre človeka nebezpečné.

Odmerajte rádioaktivitu prostredia, vzduchu a iných zdrojov vo vašom okolí.

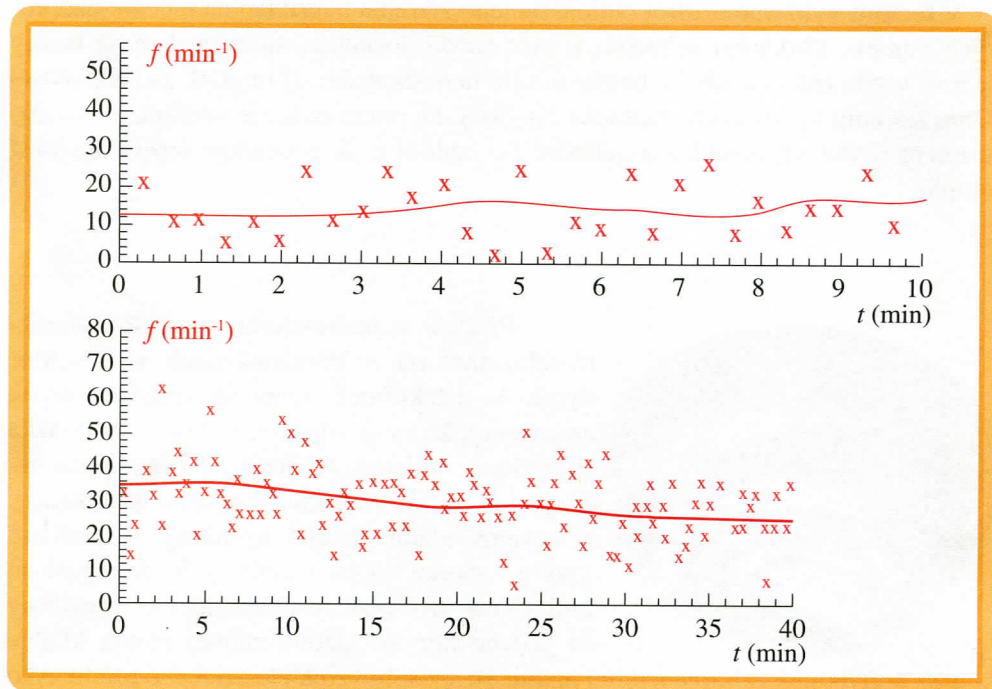
- a) Senzorom rádioaktívneho žiarenia odmerajte rádioaktivitu prostredia v triede. Preskúmajte, v akých jednotkách je táto rádioaktivita vyjadrená.



- b) Z papierového alebo z iného prachového filtra si pripravte „žiarič“ tak, že cez tento filter niekoľko desiatok minút prečerpávate vzduch. Odmerajte rádioaktivitu tohto filtra a porovnajte ju s rádioaktivitou prostredia nameranou v bode a). Na obrázku sme použili kúsok papierového vrečka do vysávača.

- c) Počas výletu v prírode zmerajte rádioaktivitu rôznych predmetov a prostredí, napr. v jaskyni, v kameňolome, pri potoku a podobne. Porovnajzte získané hodnoty s hodnotou rádioaktivity nameranej v triede.

Na nasledujúcich obrázkoch sú zábery z prípravy vzorky a z výsledkov meraní.



Na grafoch vidíme, že rádioaktívna premena je do veľkej miery náhodný proces. Rádioaktivita prostredia bola takmer konštantná a rádioaktivita vzorky zreteľne klesala. Pri meraní sme použili ako veličinu počet rádioaktívnych častíc, ktoré sa dostali do senzora za minútu.

Vysvetlite svojimi slovami – opisne – nasledujúce pojmy. V prípade potreby pojmy a slovné spojenia vyhľadajte vo svojom zdroji informácií.

- Avogadrova konštanta
- látkové množstvo, mol
- elektrón
- elektrolýza
- jadro atómu
- nukleón
- neón, izotop neónu
- fotoelektrický jav
- fotón
- výstupná práca (pri fotoelektrickom jave)
- röntgenové žiarenie
- eV ako jednotka energie
- tomograf, tomografia
- zákon zachovania počtu nukleónov,
- zákon zachovania elektrického náboja
- hmotnostný úbytok (v jadre atómu)
- väzbová energia jadra atómu
- jadrová syntéza
- štiepenie jadier
- rádioaktivita
- ionizujúce žiarenie
- žiarenie α
- žiarenie β
- žiarenie γ

Vyjadrite sa k nasledujúcim problémom

1. Lekár vyslovil podozrenie, že pacient má v čreve tesne pri žalúdku istú prekážku. Pri diagnostike tohto problému môže použiť röntgen, ultrazvuk alebo endoskopiou.
 - a) Na röntgenovej snímke zvyčajne jasne vidíme kontrast medzi kosťami a mäkkým tkanivom. Tiež môžeme vidieť kovové implantáty, alebo iné telesá obsahujúce atómy s vyššou atómovou hmotnosťou. V prípade, ak by touto prekážkou bol napríklad zjedený prsteň, tento by sme na snímke vidieť mohli. Ale ak je touto prekážkou nádor z mäkkého tkaniva, na jeho zobrazenie používame nápoj (hustú kriedovitú tekutinu) obohatenú báriom. S pomocou svojho zdroja informácií vysvetlite úlohu tejto tekutiny. Vysvetlite tiež výhody a nevýhody použitia jednej snímky v porovnaní s použitím počítačovej tomografie.
 - b) Pri vyšetrovaní ultrazvukom (sonografia) sa zobrazujú najmä rozhrania jednotlivých prostredí v tele. Túto zobrazovaciu techniku sme spomenuli v učebnici z predchádzajúceho ročníka v kapitole 2. Pri použití tejto techniky lekár najprv natrie pokožku gélom. Vysvetlite úlohu tohto gélu.
 - c) Vysvetlite úlohu optických vlákien pri zobrazovaní endoskopiou.
2. Hlavným zdrojom energie hviezd je syntéza jadier vodíka. Syntézou dvoch jadier

vodíka dostaneme deutérium a 1,19 MeV energie, syntézou jadra vodíka a deutéria dostaneme trícium a 5,49 MeV energie a syntézou dvoch jadier trícia dostaneme hélium a 12,85 MeV energie.

- a) Vysvetlite, prečo tieto jadrové reakcie musia prebiehať pri veľkom tlaku a veľkej teplote. Uvedomte si, že atómové jadrá sú kladne elektricky nabité. Tiež si spomeňte na súvis teploty a kinetickej energie častíc.
 - b) Vo hviezdach s oveľa väčšou hmotnosťou než Slnko hrá pri uvoľňovaní energie dôležitú úlohu syntéza uhlíka a vodíka. Vysvetlite, prečo táto syntéza vyžaduje oveľa vyššiu teplotu, než je teplota vnútri Slnka.
3. Lekár pacientovi navrhol podstúpiť záťažový test srdca. Na určenie diagnózy potreboval zobrazit prúdenie krvi srdcom pri fyzickej námahe. Navrhol použitie rádioaktívneho izotopu tália $^{201}_{81}\text{Tl}$, ktorý sa vstrekuje do krvi pacienta. Detektory žiarenia γ zachytávajú miesta, z ktorých vychádza žiarenie a teda miesta ktorými preteká krv srdcom. Takto dostane lekár presný trojrozmerný obraz srdca. Rizikom tohto vyšetrenia je, že pacient bude zaťažený dávkovým ekvivalentom žiarenia 21 mSv.
- a) Diskutujte, za akých okolností je podstúpenie tohto vyšetrenia pre pacienta prínosom. Diskutujte o zdravotnom stave pacienta a o veku pacienta.
 - b) Polčas premeny izotopu tália $^{201}_{81}\text{Tl}$ je 73 hodín. Diskutujte, prečo pacient ihneď po tejto procedúre nemôže ísť domov, ale musí byť ešte niekoľko dní hospitalizovaný.
 - c) Diskutujte o bezpečnosti personálu nemocnice pri takejto diagnostike.
 - d) Vysvetlite, prečo sa táto metóda používa iba vo veľmi výnimočných prípadoch.
4. V archeológii sa často určuje vek odumretých organizmov (napríklad dreva a predmetov vyrobených z dreva) pomocou rádioaktívneho izotopu uhlíka $^{14}_6\text{C}$. Tento izotop vzniká v atmosfére Zeme vplyvom kozmického žiarenia a jeho koncentrácia v atmosfére sa nemení. Izotop sa dostáva do organizmu rovnako ako bežný izotop uhlíka. Keď organizmus odumrie, prestane prijímať z okolia uhlík. Koncentrácia rádioaktívneho izotopu v organizme začne klesať. Polčas premeny uhlíka $^{14}_6\text{C}$ je 5 730 rokov.
- a) Vysvetlite, prečo touto metódou nemôžeme určiť presný vek drevených obrazov vyrobených niekedy začiatkom 19. storočia.
 - b) Vieme, že izotop uhlíka $^{14}_6\text{C}$ sa premieňa na izotop dusíka uhlíka $^{14}_7\text{N}$. Určte, či ide o rádioaktivitu α , β , alebo γ .
 - c) Egyptský faraón Sesostris III žil v rokoch 1878 – 1841 pred našim letopočtom. Určte, či koncentrácia rádioaktívneho uhlíka $^{14}_6\text{C}$ vo zvyškoch jeho dreveného pohrebného člna je v porovnaní s koncentráciou v dreve rastúceho stromu väčšia, alebo menšia. Určte, či koncentrácia už klesla na polovicu pôvodnej koncentrácie.



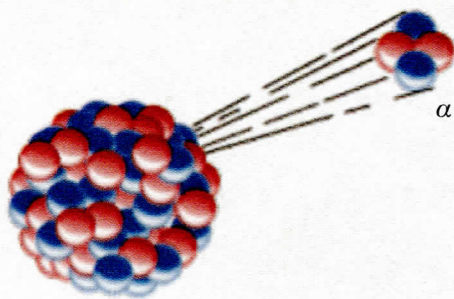
Úlohy

1. Vo fľaši s objemom 1 liter je spolu $2,4 \cdot 10^{22}$ molekúl vzduchu, teda najmä molekúl N_2 a O_2 . V rovnakej fľaši máme pri rovnakej teplote a rovnakom tlaku čistý kyslík O_2 . Určte počet molekúl kyslíka v druhej fľaši.
2. V istom röntgene používanom v medicíne sú elektróny urýchľované elektrickým

napätím 80 kV. Určte interval vlnových dĺžok elektromagnetického žiarenia vyžarovaného týmto röntgenom. Vysvetlite, prečo tento interval nezávisí od materiálu použitých elektród. Vysvetlite tiež, ktorá vlastnosť spektra röntgenového žiarenia závisí od použitých elektród.

3. V grafe v časti 3.2 vidíme, že väzbová energia pripadajúca na jeden nukleón v jadre železa je približne $14 \cdot 10^{-13}$ J. V našom zdroji informácií sme našli rovnaký graf, na zvislej osi však bola hodnota v jednotkách MeV a hodnota pre železo bola približne 8,5 MeV. Ukážte, že tieto dve hodnoty sú približne rovnaké.
4. Slnko vyžaruje energiu, ktorú získava premenou svojej hmotnosti na energiu. Z toho vyplýva, že kým dočítame zadanie tejto úlohy, Slnko bude mať hmotnosť menšiu, než pred začatím čítania. Odhadnite o koľko sa zmenší hmotnosť Slnka za sekundu ak vieme, že Slnko vyžaruje $4 \cdot 10^{26}$ J·s⁻¹.
5. Aktivita rádioaktívnej vzorky je fyzikálna veličina vyjadrujúca počet rádioaktívnych premien v tejto vzorke za sekundu. Predstavme si, že máme rádioaktívnu vzorku obsahujúcu rôzne stabilné jadrá a iba jeden rádioaktívny izotop ${}^{13}_7\text{N}$. Tento izotop sa po jednej premene premení na stabilný izotop. Polčas premeny je 10 min. V istom okamihu je aktivita vzorky $8 \cdot 10^{13}$ premien za sekundu. Nakreslite graf závislosti aktivity tejto vzorky od času pre nasledujúcu hodinu.
6. Jadro atómu polónia ${}^{210}_{84}\text{Po}$ sa rozpadá rádioaktívnou premenou na časticu alfa a na olovo ${}^{206}_{82}\text{Pb}$. Alfa častica odletí rýchlosťou $1,55 \cdot 10^8$ m·s⁻¹. Ak zanedbáme hmotnostný úbytok, tak hmotnosť jadra atómu polónia je 210 u, hmotnosť jadra atómu olova je 206 u a hmotnosť častice alfa je 4 u, kde $u = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg. Vypočítajte kinetickú energiu častice alfa, kinetickú energiu jadra olova a celkovú energiu, ktorá sa pri premene premení z jadrovej energie na mechanickú. Vyjadrite v percentách, akú časť uvoľnenej energie získa častica alfa.

Zopakujte si zákon zachovania hybnosti







4. Energia

Dostali sme sa k poslednej kapitole povinného kurzu fyziky. Zámerne ho venujeme téme, s ktorou ste sa stretávali už od začiatkov vášho školského fyzikálneho vzdelávania, dokonca ešte skôr. Vybrali sme si pojem energia. Dúfame, že máte dost energie sa tejto kapitole venovať.

4.1 Formy energie

Energii sa v tejto kapitole budeme venovať z viacerých hľadísk a určite nie vyčerpávajúco. Vybrali sme niekoľko príkladov. Niektoré z nich súvisia v veľkými výzvami, pred ktorými v súčasnosti stojí ľudstvo. Napríklad v súčasnosti prebiehajúce klimatické zmeny súvisia so životom každého z nás a venuje sa im vláda takmer každej krajiny. Venujú sa im vedci z rôznych oblastí, inžinieri, politici i ekonómovia. Vedci v súčasnosti považujú zmeny klímy na Zemi za jasný fakt. Ak neklesnú emisie skleníkových plynov, zmeny klímy tým vyvolané považujú za nezvratné a dramatické. Zaujímavým a desivým dôsledkom takýchto zmien je napríklad zhoršený prístup veľkej časti ľudstva k pitnej vode a zníženie poľnohospodárskej produkcie závislej od zavlažovania. Najnovšie správy Medzivládneho panelu o klimatických zmenách (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) hovoria napríklad aj o potrebe transformovať celý energetický sektor tak, aby miera využívania obnoviteľných zdrojov dosiahla v roku 2050 až 77%. Po získaní Nobelovej ceny sa vraj Al Gore vyjadril aj takto: „*Čelíme skutočnej planetárnej katastrofe. Klimatická kríza nie je len politickou záležitosťou, ale aj morálnou a duchovnou výzvou pre všetko ľudské.*“

Zvyšujúca intenzita spaľovania fosílnych palív zvyšuje množstvo oxidu uhličitého v atmosfére, zmenšovanie oblastí pokrytých snehom znižuje schopnosť Zeme odrážať Slnčné žiarenie, zvyšovanie teploty mora spôsobuje znižovanie schopnosti mora rozpúšťať oxid uhličitý a odlesňovanie znižuje možnosti fixovať oxid uhličitý.

Nobelova cena, 2007,
2009

Úlohy

1. Vysvetlite pojem obnoviteľné zdroje energie
2. Vysvetlite pojem skleníkové plyny, uveďte aspoň jeden príklad takéhoto plynu.
3. Vymenujte spôsoby, ako môžete vy a vaša rodina znížiť spotrebu energie.
4. Vymenujte spôsoby, ako môžeme znížiť množstvo oxidu uhličitého v atmosfére.
5. V krátkosti objasnite schopnosť lesa viazať oxid uhličitý z vzduchu.



6. Na obrázku je slnečná elektrárňa na streche Fakulty matematiky, fyziky a informatiky UK v Bratislave, ktorá bola v roku 2009 najväčšou slnečnou elektrárnou na Slovensku. Systém vyrobí za rok približne 120 MWh elektrickej energie a prispeje k zníženiu emisie oxidu uhličitého o viac ako 70 ton.
- Diskutujte o rozdieloch pri budovaní slnečných elektrární na strechách a plášťoch budov a na zelených lúčach.
 - Na internete vyhľadajte najkrajšie budovy so zabudovanou slnečnou elektrárnou.

S pojmom energia ste sa stretli už na prvom stupni v základnej škole. Veľa o energii ste sa dozvedeli pri štúdiu fyziky, chémie, biológie a ďalších predmetov. Stále však existujú formy energie, premeny energie a ďalšie súvislosti, ktoré by sme chceli v tejto učebnici načrtnúť. Vymenujte formy energie, s ktorým ste sa stretli pri štúdiu biológie, chémie a geografie.



Na obrázku je naznačené, čo sa na Zemi deje s energiou zo Slnka, nášho najväčšieho zdroja energie. Na Zem dopadá energia vo forme elektromagnetického žiarenia. Toto žiarenie sa na každom rozhraní čiastočne odráža, približne tak, ako sme o tom rozprávali pri svetle. Časť energie, ktorá sa neodráža, prejde do ďalšieho prostredia, kde sa časť z nej premení na vnútornú energiu – hovoríme, že táto časť energie sa absorbovala. Približne 50 % energie, ktorá zo Slnka smeruje k Zemi dopadne na povrch Zeme. Tu zohrieva povrchové vrstvy oceánu i pevniny a spôsobuje tiež fotosyntézu potrebnú pre rast rastlín.

Vieme, že každé teleso s istou teplotou vyžaruje elektromagnetické žiarenie. Aj povrchové vrstvy Zeme vyžarujú späť do vesmíru približne rovnaké množstvo energie, ako to, čo na Zem dopadlo. V tejto časti učebnice prinášame niekoľko námetov na rozvinutie vašich schopností pracovať s pojmom energia, pracovať s operáciami, ktoré ste si mali štúdiom fyziky rozvinúť a pracovať s informáciami, ktoré ste mali získať. Tiež prinesieme ďalšie informácie, ktoré nie je potrebné pamätať si natrvalo, ale mali by ste byť schopní ich pochopiť a spracovať.

- V nasledujúcich úlohách predpokladajte bezvetrie. Vysvetlite:
 - prečo sú dni relatívne teplejšie, ak je jasné, bezoblačné počasie,
 - prečo sú noci relatívne teplejšie, ak je zamračené,
 - prečo v zime za jasného slnečného dňa je teplejšie, ak príroda nie je zasnežená,
 - prečo v zime pokles nočnej teploty je relatívne menší, ak je príroda zasnežená.
- Vo fyzike v základnej škole ste sa mohli stretnúť s pojmom slnečná konštanta. Podľa definície je to hodnota celkovej slnečnej energie, ktorá by dopadla na plochu 1 m^2 umiestnenú kolmo na smer lúčov vo vzdialenosti Zeme od Slnka. Hodnota slnečnej konštanty je približne $1\,367 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Výrobcovia slnečných kolektorov uvádzajú, že v našich zemepisných podmienkach za jasného počasia dopadne na kolektor s plochou 1 m^2 umiestnený na poludnie kolmo na Slnko približne $3,2 \text{ kWh}$ za jeden deň. Kvantitatívne vysvetlite súvis týchto dvoch hodnôt.

Riešenie: Zo Slnka na povrch Zeme nedopadne celá energia zo Slnka, podľa predchádzajúceho obrázka dopadne približne polovica tejto energie. Teda na kolektor napoludnie za hodinu dopadá 680 W energie, čo je $0,68 \text{ kWh}$. Ak by bol kolektor nasmerovaný kolmo k Slnku celých 24 hodín, potom by naň dopadlo 16 kWh . Zem sa však točí okolo svojej osi, celú noc na kolektor žiadne slnečné žiarenie nedopadá. Môžeme odhadnúť, že vplyvom tohto otáčania na kolektor dopadne iba štvrtina energie, teda 4 kWh . Táto hodnota je blízka hodnote uvedenej v zadaní úlohy.

Napriek skutočnosti, že energia zo Slnka dopadá na našu Zem zadarmo, pomerne veľkú časť našich rozpočtov stoja platby práve za rôzne formy energie. Väčšina našich domácností platí sa dodávky **elektrickej energie** a **plynu**, niektoré domácnosti platia aj za dodávku **teplej vody** na umývanie a **tepla na kúrenie**, niektoré domácnosti kupujú **uhlie** a **drevo** na kúrenie. Okrem toho kupujeme **palivo do našich áut**.

Najbežnejšou a najpraktickejšou formou energie určenou pre domácnosti je elektrická energia. Elektrickú energiu vyrábame v elektrárňach. Presnejšie povedané, v elektrárňach premieňame iné formy energie na elektrickú energiu.

Tepelné elektrárne sú najstarším typom elektrární. Energia sa získava spaľovaním uhlia, plynu alebo mazutu. Vyrobená vodná para s vysokým tlakom roztáča turbínu generátora.

Samostatne sa zvykne hovoriť o **elektrárňach na biomasu**, v týchto sa spaľujú rozštiepané kúsky dreva, zvyčajne inak nevyužitelných konárov.

Jadrové štiepne elektrárne (niekedy nazývané aj atómové elektrárne) sú podobné tepelným s tým rozdielom, že teplo sa získava štiepením jadier uránu.

Jadrové fúzne elektrárne sa zatiaľ neprevádzkujú, avšak prebieha intenzívny výskum na prípravu takejto elektrárne.

Vo **vodných elektrárňach** voda z nádrže (z miesta s vyššou hladinou) samovoľne preteká na miesto s nižšou hladinou, a tak roztáča turbínu generátora. Niektoré vodné elektrárne sú konštruované tak, že umožňujú aj opačný chod. Vtedy sa voda prečerpáva z nádrže s nižšou hladinou do nádrže s vyššou hladinou. V tomto režime elektrárne pracuje vtedy, keď je v sieti prebytok elektrickej energie. Takéto vodné elektrárne nazývame prečerpávacie elektrárne.

Typy elektrární

V **slniečnych** (fotovoltaických) **elektrárnach** sa premieňa dopadajúce svetelné žiarenie v solárnych článkoch priamo na elektrickú energiu. Táto premena súvisí s fotoelektrickým javom, ktorému sme sa venovali v časti 2.4.

Vo **veterných elektrárnach** vietor roztáča vrtuľu spojenú s generátorom.

Výnimočne sa používajú aj prílivové elektrárne, kde sa rozdiel hladín vody na brehu mora získava z prílivu a odlivu. Tiež je možné stretnúť sa s geotermálnou elektrárnou, kde para vystupuje na povrch Zeme z veľkých hĺbok.

Úlohy

1. Diskutujte o výhodách a nevýhodách jednotlivých typov elektrární.
2. Predstavte si situáciu, že v malej obci cez deň máte veľký prebytok elektrickej energie vyrobenej v slnečnej elektrárni a večer máte nedostatok elektrickej energie. Diskutujte o možnostiach technického riešenia takejto situácie. Spomeňte si napríklad na elektrolýzu vody, na potenciálnu energiu vody v priehrade a podobne. Uvedomte si, že v olovených akumulátoroch používaných v automobiloch je možné uskladniť iba malé množstvo elektrickej energie.

Okrem elektriny je ďalším bežným zdrojom energie spaľovanie palív. Spaľovaním získavame teplo na vyhrievanie budov, ale napríklad aj mechanickú energiu na pohyb automobilu. V minulosti sa vyrábali aj chladničky s motorom na spaľovanie plynu.

V tabuľke uvádzame výhrevnosť vybraných palív, teda množstvo energie získanej spálením 1 kg daného paliva. Pri výpočtoch v konkrétnych situáciách musíme brať do úvahy aj skutočnosť, že pri spaľovaní musíme dodávať vzduch (kyslík) a splodiny, často s vysokou teplotou, musíme odvádzať do komína (alebo do výfuku). Pri premene tepelnej energie (tepla) na mechanickú energiu je potrebné si uvedomiť, že účinnosť závisí od teplôt, pri ktorých táto premena nastáva. Maximálna možná účinnosť je daná vzťahom uvedeným v nasledujúcej časti.

Palivo pri atmosférickom tlaku	Výhrevnosť (MJ·m ⁻³)
Zemný plyn	33,5
Propán	46,5
Svietiplyn	14,5

Palivo	Výhrevnosť (MJ·kg ⁻¹)	Výhrevnosť (MJ·dm ⁻³)
Motorová nafta	41,9 – 42,5	35,2 – 35,7
Benzín do automobilov	43,5	31,3

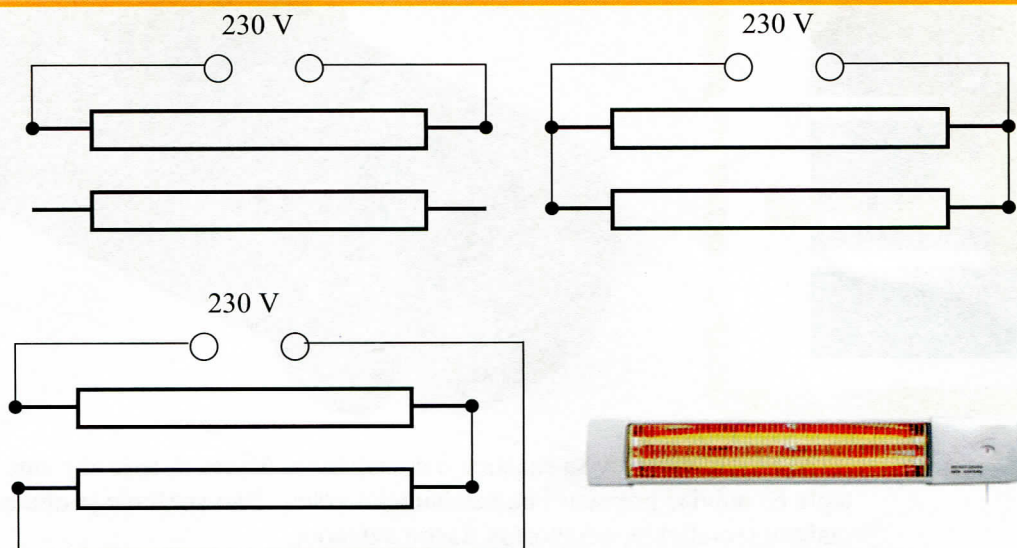
Palivo	Výhrevnosť (MJ·kg ⁻¹)
Drevo	14 – 17
Hnedé uhlie	14 – 17
Čierne uhlie	22 – 29
Slama (z obilia)	15,5
Papier	14

1. Jeden večer sme sa v miestnosti rozhodli vykurovať krbom. V krbe sme za dve hodiny spálili 4 kg dreva, účinnosť nášho krbu je 30 %. Druhý večer sme sa rozhodli miestnosť za rovnakých podmienok vykurovať elektrickým ohrievačom napájaným napätím 230 V. Odhadnite potrebný príkon ohrievača a elektrický prúd prechádzajúci ohrievačom.
2. Porovnajzte výhody a nevýhody automobilu s benzínovým motorom a elektromobilu. Venujte sa okrem iného aj rýchlosti dodávania energie do automobilu, ekológii zneškodňovania automobilu a špeciálneho použitia automobilov v uzatvorených priestoroch.

4.2 Elektrický ohrievač, motor a tepelné čerpadlo

Elektrickým ohrievačom bude v tomto prípade elektrický infražiarič, ktorý používame v zime na doplnkové vykurovanie miestností. Pojem infražiarič zvyčajne označuje elektrický ohrievač bez ventilátora. Infražiarič použitý v tejto úlohe má dve rovnaké vyhrievacie telesá. Maximálny výkon infražiariča je 2 200 W, pripája sa k zdroju 230 V.

- a) Určte elektrický prúd, ktorý prechádza infražiaričom pri maximálnom výkone.
- b) Ak máme k dispozícii dve rovnaké vyhrievacie telesá môžeme ich ku zdroju napätia pripojiť nasledujúcimi spôsobmi.



Určte, ktoré zapojenie zodpovedá maximálnemu výkonu. Vypočítajte výkon pri ďalších dvoch zapojeniach. Pri výpočte zanedbajte závislosť elektrického odporu vyhrievacieho telesa od teploty.

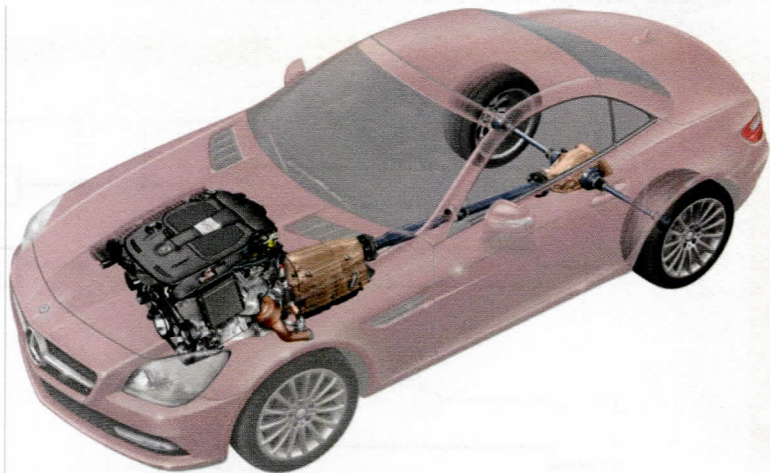
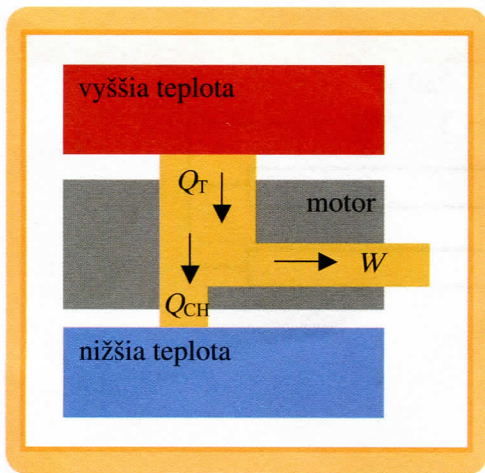


- c) V našom zdroji informácií sme našli, že vyžarovaný výkon z 1 m² povrchu telesa závisí od teploty podľa vzťahu $\frac{P}{S} = \sigma T^4$, kde σ je Stefanova-Boltzmannova konštanta, ktorej hodnota je $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$. Použite tento vzťah na odhad teploty povrchu vyhrievacích telies. Rozmery vyhrievacích telies odhadnite. Pri odhade teploty zanedbajte vedenie tepla vzduchom a prúdenie vzduchu okolo vyhrievacích telies.
- d) V inom ohrievači s rovnakým výkonom je použitý ventilátor. Vysvetlite jeho úlohu a tiež to, ako použitie ventilátora vedie k zmenšeniu plochy povrchu vyhrievacích telies a k zmenšeniu teploty povrchu vyhrievacích telies.

V predchádzajúcich úlohách sme predpokladali, že teplo sa šíri z teplejšieho telesa na chladnejšie. Tak sme zvyknutí a v skutočnosti to aj tak často je. Teplo nemôže samovoľne prechádzať z telesa chladnejšieho na teleso teplejšie. Nemôže sa stať, že by sa niektoré teleso v miestnosti samovoľne zohrialo na teplotu vyššiu, než je teplota okolia tak, že by od okolia prijalo teplo.

Avšak poznáme zariadenia ako sú chladničky a mrazničky. V týchto zariadeniach prechádza teplo z vnútorného priestoru s nízkou teplotou do zadnej časti chladničky s teplotou vyššou ako je teplota vzduchu v miestnosti. Tento proces však neprebíha samovoľne, chladnička musí konať prácu. Elektrickú energiu získava zvyčajne z elektrickej siete. Aby sme pochopili funkciu chladničky pozrime si najprv energetickú schému motora, teda zariadenia premieňajúceho teplo na mechanickú prácu.

Takýmto zariadením môže byť napríklad spalovací motor v aute. Na to, aby sa v zariadení premenila časť dodaného tepla na mechanickú prácu, vždy musí časť tepla prejsť do chladiča.

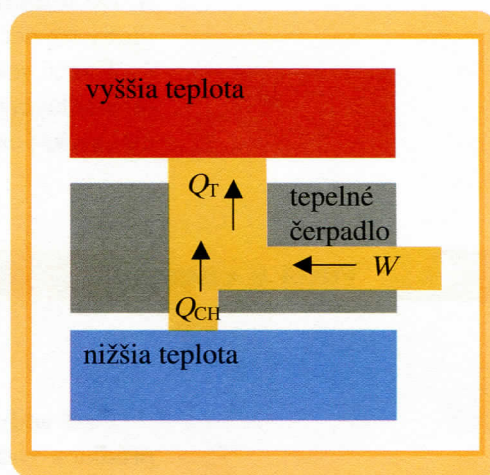
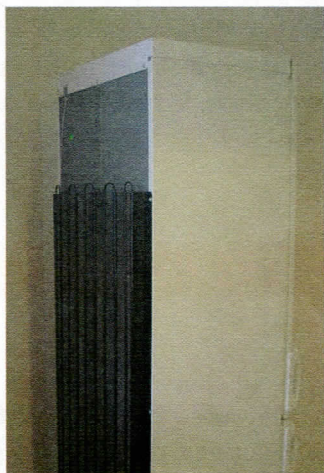


Vývojom motorov sa snažíme o čo najväčšiu účinnosť, teda aby sme z dodaného tepla čo najviac premenili na mechanickú prácu. Toto snaženie je ohraničené maximálnou teoretickou účinnosťou danou vzťahom.

$$\eta = \frac{W}{Q_T} < 1 - \frac{T_{CH}}{T_T}$$

kde η je maximálna účinnosť, W je vykonaná práca, Q_T je dodané teplo, T_{CH} je teplota chladiča a T_T je teplota plynu v motore.

Na nasledujúcom obrázku je schéma tepelnej pumpy, teda chladničky, mrazničky, alebo klimatizácie zapnutej na chladenie. Zariadenie „prečerpáva“ energiu z chladnejšej oblasti do teplejšej oblasti.



Kvalita tepelného čerpadla sa posudzuje koeficientom účinnosti COP , definovaným ako podiel tepla odvedeného z chladnejšieho priestoru a dodanej práce. Tento koeficient je zhora ohraničený maximálnou hodnotou. Platí:

$$COP = \frac{Q_{CH}}{W} < \frac{T_{CH}}{T_T - T_{CH}}$$

Úlohy

1. Na klimatizačnom zariadení je uvedená hodnota pre chladenie miestnosti $COP = 5,0$ a príkon 600 W . Vypočítajte výkon, s akým odvádza teplo z miestnosti. Rozhodnite, či tento koeficient neprekračuje maximálnu teoreticky dosiahnuteľnú hodnotu, ak je v miestnosti $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a vonku $34 \text{ }^\circ\text{C}$.

Riešenie:

$$Q_{CH} = COP \cdot W = 5 \cdot 600 \text{ W} = 3000 \text{ J}$$

$$COP_{\max} = \frac{T_{CH}}{T_T - T_{CH}} = \frac{273 + 25}{(273 + 34) - (273 + 25)} = \frac{298}{9} = 60$$

Z riešenia vidíme, že klimatizácia odvedie za jednu sekundu 3000 J energie a že koeficient účinnosti je výrazne nižší, než teoreticky dosiahnuteľná hranica.

2. V jednej z predchádzajúcich úloh sme pracovali s izbovým ohrievačom s príkonom 2200 W . Odhadnite príkon tepelného čerpadla pracujúceho s $COP = 3$, ktoré do miestnosti dodáva rovnaké teplo.

Riešenie: Izbový ohrievač premieňa elektrickú energiu na teplo, a teda do miestnosti dodáva každú sekundu 2200 W tepla.

Tepelné čerpadlo za jednu sekundu odvedie z vonkajšieho priestoru teplo $Q_{\text{CH}} = \text{COP} \cdot W = 3 W$.

Toto teplo spolu s teplom dodaným konaním práce motora sa dodá do miestnosti. Do miestnosti sa teda dostane $3W + W$ tepla. Táto hodnota sa má podľa zadania úlohy rovnať 2 200 J. Teda platí: $4W = 2\,200 \text{ J}$; $W = 550 \text{ J}$.

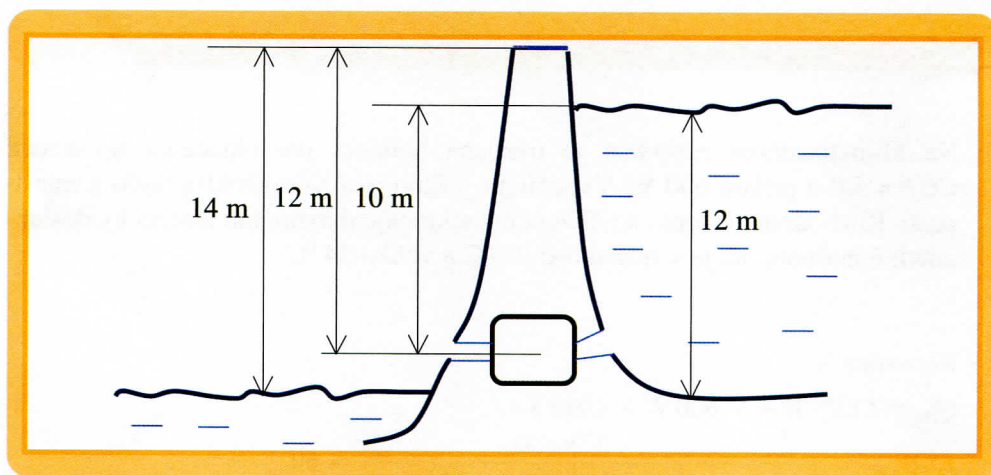
Každú sekundu musí motor tepelného čerpadla vykonať prácu 550 J, teda príkon tepelného čerpadla musí byť 550 W. V porovnaní s ohrievačom ušetríme tri štvrtiny elektrickej energie.

4.3 Voda a energia

Časť vody po daždi zachytávame v priehradách. Pri vypúšťaní vody z priehrady prúdiaca voda môže roztáčať turbíny pripojené ku generátoru elektrickej energie. V nasledujúcej úlohe si môžeme zopakovať niektoré poznatky, ktoré sme získali štúdiom fyziky.

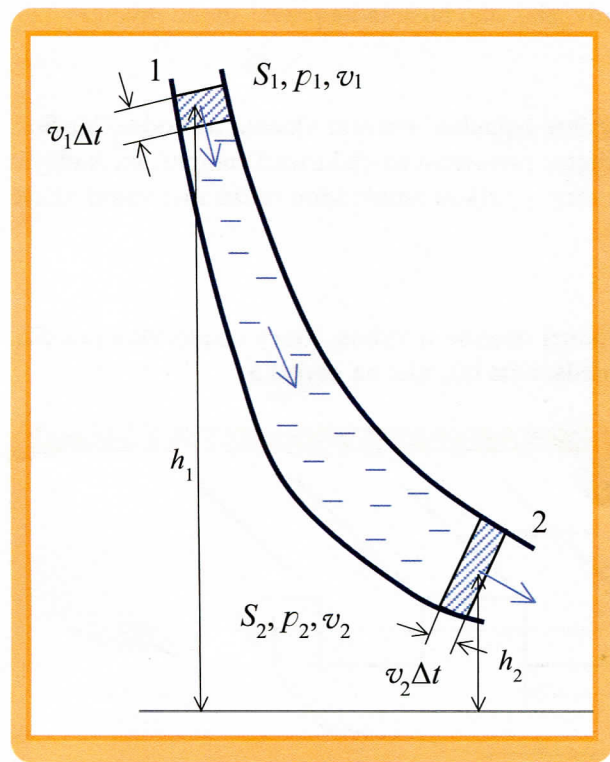
Úlohy

1. Na obrázku je rez vodnou nádržou. V spodnej časti priehrady je vodná elektrárň.



- a) Určte hydrostatický tlak pri dne tejto priehrady.
 - b) Uvažujme, že turbínou v spodnej časti múry priehrady pretečie za jednu sekundu 1000 l vody. To znamená, že polohová energia vody v priehrade za zníži o hodnotu, ktorá je rovnaká ako je polohová energia 1 000 l vody na hladine priehrady. Určte výkon generátora pripojeného k tejto turbíne. Pri odhade predpokladajte celkovú účinnosť elektrárne 100 %.
2. Vo svojom zdroji informácií vyhľadajte Bernoulliho rovnicu a odvodte ju zo zákona zachovania energie.

Riešenie: V našej encyklopédii sme našli Bernoulliho rovnicu v tvare $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = \text{konšt.}$ Bola tam tiež informácia, že táto rovnica sa týka ustáleného prúdenia kvapaliny a že je vyjadrením zákona zachovania energie pre prúdiacu kvapalinu.



Predstavme si časť ustáleného vodného prúdu v tvare znázornenom na obrázku tak, že voda neprechádza bočnými (myslenými alebo reálnymi) stenami a že nevytvára vírenie. Zaoberajme sa prúdiacou vodou v priestore ohraničenom bodmi 1 a 2. Voda priteká zhora rýchlosťou v_1 a odteká dolu rýchlosťou v_2 . Keďže hovoríme o ustálenom prúde, voda v priestore medzi bodmi 1 a 2 je vždy v rovnakom stave, teda táto voda má vždy rovnakú hmotnosť a tiež kinetickú aj polohovú energiu.

Zvoľme si ľubovoľný malý časový interval Δt . Za tento časový interval zhora pritečie

isté množstvo vody a zdola musí vyteciť rovnaké množstvo vody (lebo hovoríme o ustálenom prúde a množstvo vody v zvolenom priestore je stále rovnaké). Objem pritečenej vody sa dá vyjadriť výrazom $S_1 v_1 \Delta t$, objem vytečenej vody výrazom $S_2 v_2 \Delta t$. Voda, ktorá prierezom S_1 pritečie, má kinetickú energiu $\frac{1}{2} S_1 v_1 \Delta t \rho v_1^2$ a potenciálnu energiu $S_1 v_1 \Delta t \rho g h_1$ (tieto vzťahy si odvodte zo základných vzťahov pre kinetickú a potenciálnu energiu). Voda, ktorá prierezom S_2 vytečie, má kinetickú energiu $\frac{1}{2} S_2 v_2 \Delta t \rho v_2^2$ a potenciálnu $S_2 v_2 \Delta t \rho g h_2$. Pred samotným použitím zákona zachovania energie si musíme uvedomiť, že voda v nami vybranej oblasti nie je izolovaná. Pôsobí na ňu zhora pritekajúca voda a zdola vytekajúca voda. Voda pritekajúca z okolia vykoná na nami vybranej vzorke vody prácu $W_1 = F_1 v_1 \Delta t = p_1 S_1 v_1 \Delta t$. Vytekajúca voda vykoná na okolí prácu $W_2 = F_2 v_2 \Delta t = p_2 S_2 v_2 \Delta t$.

Zaoberajme sa celkovou energiou. Voda v našom vybranom priestore má stále rovnakú celkovú energiu, lebo hovoríme o ustálenom prúde. Do nášho priestoru pribudne energia pritekajúcej vody a tiež energia vykonaná okolím. Z nášho priestoru odбудne energia vytekajúcej vody a práca vykonaná na okolí. Toto si zapíšme.

$$\frac{1}{2} S_1 v_1 \Delta t \rho v_1^2 + S_1 v_1 \Delta t \rho g h_1 + p_1 S_1 v_1 \Delta t = \frac{1}{2} S_2 v_2 \Delta t \rho v_2^2 + S_2 v_2 \Delta t \rho g h_2 + p_2 S_2 v_2 \Delta t$$

Celú rovnicu si vykráťme objemom pritečenej vody, teda výrazom $S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t$.

Dostaneme rovnicu:

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 + p_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 + p_2$$

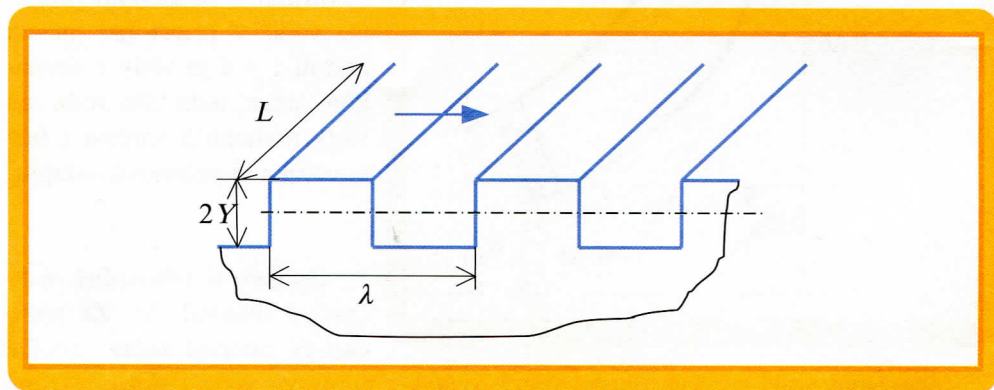
Bernoulliho rovnica

čo je **Bernoulliho rovnica**.

Bernoulliho rovnica platí aj pre prúdiaci plyn, v tom prípade však hustota na ľavej strane rovnice nemusí byť rovnaká, ako hustota na pravej strane rovnice.

V nasledujúcej úlohe sa pokúsime odhadnúť energiu vlnenia na vodnej hladine. Energiu takéhoto vlnenia nezvykneme premieňať na elektrickú energiu, ani žiadnym iným spôsobom využívať, avšak vlny s veľkou amplitúdou môžu mať veľmi ničivé dôsledky.

3. Odhadnite energiu vlny na vodnej hladine a výkon, ktorý takáto vlna prenáša. Kvôli jednoduchosti si vlnu predstavíte tak, ako na obrázku.



Vlna má v priereze obdĺžnikový tvar, dosahuje voči vyrovnanej hladine maximálnu výšku Y , má vlnovú dĺžku λ a šíri sa rýchlosťou v . Uvažujme o vlne, ktorá má šírku L .

- Ukážte, že jedna vlnová dĺžka tejto vlny má gravitačnú potenciálnu energiu, ktorá sa dá vyjadriť vzťahom $E_p = \frac{1}{2} Y^2 \lambda \rho g L$ kde ρ je hustota vody a g je gravitačné zrýchlenie.
- Ďalej ukážte, že každý meter šírky tejto vlny prenáša výkon, ktorý sa dá vyjadriť vzťahom $P = \frac{1}{2} Y^2 v g \rho$.
- Predchádzajúci vzťah použite pri odhade výkonu prenášaného jedným metrom šírky vlny na hladine mora, ak táto vlna dosahuje výšku 0,8 m. Hustota morskej vody je $1,03 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Vlna na vodnej hladine má približne harmonický tvar, teda v priereze má približne tvar sínusoidy, a nie hranatý tvar zobrazený v tejto úlohe. Určte, či reálne hodnoty sú nižšie alebo vyššie, než odhady uvedené v tejto úlohe.

5. Niektoré pojmy a vzťahy

Na tomto mieste prinášame niektoré základné pojmy a vzťahy. Prehľad slúži iba na opakovanie, preto význam použitých symbolov neuvádzame.



Sila - vyjadruje mieru vzájomného pôsobenia dvoch telies.

Účinok sily na teleso sa nezmení ak silu posunieme do ľubovoľného bodu na jej vektorovej priamke.

Ťažisko telesa je bod, vzhľadom na ktorý sa celkový moment tiažových síl pôsobiacich na časti telesa rovná nule.

Pôsobenie sily na teleso sa môže prejaviť *deformačným alebo pohybovým účinkom*.

Gravitačná sila (tiažová sila) $F_G = mg$

Gravitačná sila $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

Vztlaková sila $F_v = V\rho g$

Tretia sila $F_t = fF_n$; $F_{stmax} = f_{st} F_n$

Aerodynamická odporová sila $F = \frac{1}{2} C S \rho v^2$

Sila pružiny $F = kx$

Dostredivá sila (v súvislosti s prejavom výslednej sily pôsobiacej kolmo na smer rýchlosti telesa) $F = \frac{mv^2}{R}$

Moment sily $M = rF$

Hybnosť $p = mv$

Tlak $p = \frac{F}{S}$

Hydrostatický tlak $p_h = h\rho g$

Teleso sa *pohybuje rovnomerne*, ak v ľubovoľných navzájom rovnakých časových intervaloch prejde rovnaké dráhy.

Priemerná rýchlosť $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

Dráha pri rovnomernom pohybe $s = v(t - t_0) + s_0$

Rovnomerne zrýchlený pohyb $v = at + v_0$; $s = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + s_0$

Prvý Newtonov pohybový zákon: Teleso zotrúva v stave pokoja, alebo v rovnomernom priamočiariom pohybe dovtedy, kým nie je nútené pôsobením vonkajších síl tento pohybový stav zmeniť.

Druhý Newtonov pohybový zákon: Zrýchlenie telesa je priamo úmerné výslednej pôsobiacej sile a nepriamo úmerné hmotnosti telesa $a = \frac{F}{m}$. Smer zrýchlenia je rovnaký ako smer výslednej pôsobiacej sily. Alternatívne vyjadrenie:

$$F\Delta t = \Delta p; \quad F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Tretí Newtonov pohybový zákon: Dve telesá na seba pôsobia rovnako veľkými, opačne orientovanými silami.

Mechanická práca $W = Fs; W = F_p s = Fs \cos \alpha$

Práca silou vykonaná - práca sily pôsobiacej v smere pohybu telesa.
Práca silou „spotrebovaná“ - práca sily pôsobiacej proti smeru pohybu telesa.

Gravitačná potenciálna energia (Tiažová potenciálna energia): $E_p = mgh$

Zmena gravitačnej potenciálnej energie $\Delta E_p = GmM \left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right]$

Potenciálna energia pružnosti $E_e = \frac{1}{2} kx^2$

Kinetická energia $E_k = \frac{1}{2} mv^2$

Výkon $P = \frac{W}{t}$

Výkon pri mechanickom pohybe $P = Fv$

Výkon elektrického prúdu $P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}$

Výkon striedavého prúdu $P = UI \cos \varphi$

Výkon vyžarovaný z povrchu telesa $P = \sigma ST^4$

Účinnosť $\eta = \frac{\text{výkon}}{\text{príkion}} = \frac{E_{\text{vYUz}}}{E_{\text{DOD}}}$

Zmena teploty pri dodaní energie $\Delta t = \frac{Q}{mc}$

Účinnosť tepelného stroja $\eta = \frac{W}{Q_T} < 1 - \frac{T_{\text{CH}}}{T_T}$

Koeficient účinnosti tepelného čerpadla $COP = \frac{Q_{\text{CH}}}{W} < \frac{T_{\text{CH}}}{T_T - T_{\text{CH}}}$

Jednotky energie $1\text{kWh} = 3,6 \text{ MJ}; 1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Elektrický prúd $I = \frac{Q}{t}; I = \frac{U}{R}$

Elektrický odpor vodiča $R = \rho \frac{l}{S}$

Ideálny plyn v uzatvorenej nádobe $\frac{pV}{T} = \text{konšt}$

Jednotky teploty $\{T\} = \{t\} + 273,15$

Frekvencia $f = \frac{1}{T}$

Rovnica harmonického kmitania $y = Y \sin(2\pi ft)$

Jednotka uhla $\{\alpha_{\text{RAD}}\} = \{\alpha_{\text{ST}}\} \frac{2\pi}{360}$

Závažie kmitajúce na pružine $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

Kmitanie telesa zaveseného na niti (matematický oscilátor) $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

Vlnová dĺžka $\lambda = vT$

Rýchlosť zvuku vo vzduchu $\{v\} = 331 + 0,6 \{t\}$

Rýchlosť priečného vlnenia na napnutom vlákne $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

Dopplerov jav (zvuk) $f_p = f_z \frac{v \pm v_p}{v \pm v_z}$

Sila pôsobiaca na vodič umiestnený kolmo v magnetickom poli $F = BIl$

Sila pôsobiaca na nabitú časticu $F = Bqv$

Polomer pohybu nabitej častice $R = \frac{mv}{Bq}$

Magnetické pole vnútri dlhej jednovrstvovej cievky $B = \mu_0 \frac{N}{l} I$

Magnetické pole uprostred závitú s prúdom $B_{\text{ZAVITU}} = N \frac{\mu_0 I}{d}$

Indukované napätie $U_i = \frac{\Delta(\mathbf{B}_\perp \cdot \mathbf{S})}{t}$

Efektívne hodnoty napätia a prúdu $U = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}, I = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$

Rovnica transformátora $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$

Svetlo – elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou od 380 nm po 780 nm (vo vzduchu)

Snellov zákon lomu $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$

Optická mohutnosť $\varphi = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$

Zobrazovacia rovnica šošovky $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$

Osvetlenie (ak zdroj svieti na všetky strany rovnako) $E_o = \frac{\Phi}{4\pi r^2}$

Látkové množstvo – 1 mol látky obsahuje $6,02 \cdot 10^{23}$ častíc (atómov, molekúl)

Hmotnosť látky vylúčenej elektrolyzou $m = \frac{m_0}{ze} I \Delta t$

Fotoelektrický jav $hf = W_0 + \frac{1}{2} m v^2$

Hmotnosť jadra a jeho súčastí $m_{\frac{A}{Z}X} < Zm_p + (A - Z)m_n$

Hmotnostný úbytok $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$

Polčas premeny – čas, za ktorý sa rozpadne polovica atómov rádioaktívneho izotopu v telese

Dávkový ekvivalent – veličina vyjadrujúca vplyv ionizujúceho žiarenia na človeka (v jednotkách Sv)

Predpony násobkov jednotiek

Predpona	Značka	Hodnota	Príklad	Znamená hodnotu
tera	T	10^{12}	Každý z dvoch blokov elektrárne v Jaslovských Bohuniciach vyrobí za hodinu elektrickú energiu rádovo 1 TJ.	1 000 000 000 000 J
giga	G	10^9	30 W žiarovka svietiaci 1 rok spotrebuje energiu rádovo 1 GJ.	1 000 000 000 J
mega	M	10^6	Hydrostatický tlak v hĺbke 100 m pod hladinou vody je približne 1MPa.	1 000 000 Pa
kilo	k	10^3	Vzdialenosť, ktorú prejdeme pokojným krokom približne za 12 min je 1 km.	1 000 m
mili	m	10^{-3}	Najmenší dielik na bežnom pravítke je 1 mm.	0,001 m
mikro	μ	10^{-6}	Svetlo prejde vzdialenosť 300 m za 1 μ s.	0,000 001 s
nano	n	10^{-9}	Ak zoradíme 10 atómov do úsečky, potom dĺžka tejto úsečky sa bude rádovo rovnať 1 nm.	0,000 000 001 m
piko	p	10^{-12}	Ak prierezom vodiča prechádza usmereným pohybom každú sekundu $6 \cdot 10^6$ elektrónov, potom ním prechádza elektrický prúd 1pA.	0,000 000 000 001 A



Publikácia bola hrazená z finančných prostriedkov
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky

ISBN 978-80-89431-35-9



9 788089 431359