

Meno a priezvisko:

Škola:

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

Predmet:

Fyzika

Školský rok/blok:

/

Skupina:

Trieda:

Dátum:

Teória

Fyzika mikrosveta

8 Fyzika atómového jadra

1.8.1 Stavba atómového jadra

Pojem atómového jadra zaviedol do fyziky v roku 1911 Rutherford. Na základe experimentálnych výsledkov dospel k záverom:

- hmota nie je v atóme rozložená rovnomerne. Každý atóm má **jadro** s priemerom rádovo 10^{-15} m , v ktorom je sústredená skoro všetka hmota atómu,
- jadro atómu má kladný náboj $Z.e$, kde Z je poradové číslo atómu v periodickej tabuľke, e je elementárny elektrický náboj.

Rádioaktivita niektorých prvkov naznačovala, že jadro nie je jednoduchý útvar, ale má vnútornú štruktúru. Rutherford a Soddy v roku 1904 zistili, že rádioaktivita je spojená s premenou prvkov. Keďže bolo zrejmé, že rádioaktivita je vlastnosťou jadier, začalo sa intenzívne skúmanie jadier.

Atómové jadro sa skladá z **protónov** a **neutrónov**, ktoré nazývame spoločným názvom **nukleóny**. Počet protónov v jadre udáva **protónové číslo** Z (tiež **atómové číslo**). Protónové číslo určuje kladný elektrický náboj jadra $Q = Z.e$ a súčasne je to poradové číslo chemického prvku v periodickej sústave prvkov ($e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ je elementárny náboj).

Počet neutrónov v jadre udáva **neutrónové číslo** N , celkový počet nukleónov vyjadruje **nukleónové číslo** A (nazýva sa aj **hmotnostné číslo**), platí: $A = Z + N$

Protónové a nukleónové číslo sú charakteristikami jadra atómu a používame pre ne symbol prvku v tvare ${}_Z^AX$, alebo v tvare $X(A)$, kde X je značka prvku.

Rozlišujeme názvy:

- **chemický prvok** je látka tvorená atómami, ktorých jadrá majú rovnaké protónové číslo Z , môžu mať však rôzny počet neutrónov. Pre prvok používame symbol ${}_ZX$.
- **nuklid** je tvorený atómami, ktorých jadrá majú rovnaké protónové číslo Z i rovnaké nukleónové číslo A . Pre nuklid používame symbol ${}_Z^AX$, kde X je značka prvku.
- **izotopy** sú rôzne nuklidy jedného prvku. Dva rôzne izotopy ${}_Z^AX$ a ${}_Z^{A'}X$ prvku ${}_ZX$ majú rovnaké protónové číslo Z a rôzne nukleové čísla, $A \neq A'$, teda aj odlišnú hmotnosť.

1.8.2 Jadrové sily

Jadrá atómov sú stabilné sústavy napriek tomu, že medzi protónmi pôsobia odpudivé elektrické sily. To znamená, že v jadrách musia pôsobiť príťažlivé sily oveľa väčšie ako elektrické sily. Sily, ktoré pôsobia medzi nukleónmi v jadre atómu, sa nazývajú **jadrové sily**.

Ich vlastnosti sú:

- jadrové sily sú príťažlivé,
- jadrové sily sú krátkodosahové – pôsobia do vzdialenosti rádovo $10^{-15} m$,
- jadrové sily sú nezávislé od veľkosti elektrického náboja – sú rovnaké medzi dvomi protónmi, medzi dvomi neutrónmi aj medzi protónom a neutrónom,
- jadrové sily sú nasýtené – každý nukleón pôsobí iba na istý počet najbližších nukleónov a nie na všetky nukleóny v jadre.

V roku 1932 Heisenberg vyslovil hypotézu, že jadrové sily sú výmenné - uskutočňujú sa tak, že nukleóny si vymieňajú isté častice. V roku 1935 japonský fyzik Yukawa vyslovil hypotézu, že jadrové sily sa uskutočňujú prostredníctvom častíc, ktorých hmotnosť je aspoň 200 krát väčšia ako hmotnosť elektrónu. Tieto častice nazval **mezóny**. Dnes poznáme niekoľko mezónov a vieme, že za jadrové sily sú zodpovedné mezóny π^+ , π^- , ktorých pokojová hmotnosť je $273.m_e$ a π^0 , ktorého pokojová hmotnosť je $264.m_e$.

1.8.3 Jadrové reakcie

Proces, pri ktorom nastáva samovoľne alebo vonkajším zásahom zmena v jadre, sa nazýva **jadrová premena**. Jadrová premena vyvolaná interakciou jadier navzájom alebo inými mikročasticami, sa nazýva **jadrová reakcia**. Jadrová reakcia sa spravidla uskutočňuje tak, že jadro sa ostreľuje urýchlenými mikročasticami. Jadrová reakcia nastane vtedy, keď sa mikročastica priblíži k terčovému jadru natoľko, že začnú pôsobiť jadrové sily.

Pri jadrových reakciách platia zákony zachovania:

1. **Zákon zachovania hmotnosti a energie:** Celková relativistická energia všetkých častíc zúčastňujúcich sa jadrovej reakcie sa zachováva.
2. **Zákon zachovania elektrického náboja:** Algebraický súčet elektrických nábojov všetkých častíc zúčastňujúcich sa jadrovej reakcie sa zachováva.
3. **Zákon zachovania počtu nukleónov:** Počet nukleónov sa pri jadrovej reakcii zachováva.
4. **Zákon zachovania hybnosti:** Výsledný vektor relativistickej hybnosti všetkých častíc zúčastňujúcich sa jadrovej reakcie sa zachováva.

Jadrové reakcie možno rozdeliť (z pohľadu energie):

- **endoenergetické reakcie** sú jadrové reakcie, pri ktorých je potrebné dodávať energiu,
- **exoenergetické reakcie** sú jadrové reakcie, pri ktorých sa energia uvoľňuje. Majú praktický význam v jadrovej energetike.

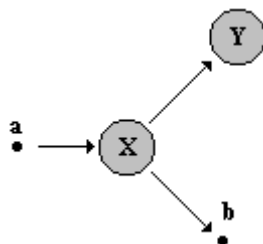
Jadrové reakcie možno rozdeliť (podľa priebehu):

- **štiepenie jadier** je štiepna jadrová reakcia, pri ktorej dochádza k rozštiepeniu atómového jadra na nové, ľahšie jadrá, tzv. fragmenty.
- **jadrová syntéza** je jadrová reakcia, pri ktorej dochádza k zlučovaniu ľahších jadier na jadrá ťažšie.

Exoenergetické štiepenie jadier môže prebiehať len pre jadrá ťažšie ako jadrá železa. Z praktického hľadiska existujú štyri nuklidy, tzv. štiepne materiály, pri ktorých sa uvoľňuje vysoká energia a je možné ich využiť v jadrovej energetike: dva izotopy uránu: $U(235)$, $U(233)$ a dva izotopy plutónia: $Pu(239)$ a $Pu(241)$.

1.8.4 Jadrová energia

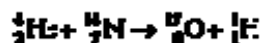
Z praktického hľadiska je pochopiteľne záujem o **exoenergetické reakcie**. Uvoľnená energia pri jadrovej reakcii má podobu jednak kinetickej energie rozlietavajúcich sa častíc, jednak ju môžu „unášať“ častice s nulovou pokojovou hmotnosťou pohybujúce sa rýchlosťou svetla (fotóny). Energetickú bilanciu reakcie je možné vyjadriť ako rozdiel energie do reakcie dodanej a energie, ktorá sa pri reakcii uvoľní.



Typická jadrová reakcia prebieha tak ako je znázornené na obrázku. Rýchlo letiaca častica a , resp. zväzok častíc (protóny, neutróny, deuteróny, častice α , niektoré ťažké jadrá, napríklad urán, fotóny, elektróny, neutrína, ...) tiež nazývaný **projektil** ostreľuje ťažké jadro X , ktoré je v pokoji a nazýva sa **terč**. Produkty reakcie sú potom uvoľnená častica b a premenené jadro Y . Túto reakciu možno stručne zapísať vzťahom $a + X \rightarrow b + Y$.

1.8.5 Príklady jadrových reakcií

Prvá umelo vyvolaná jadrová reakcia bola uskutočnená v roku 1919 Rutherfordom pri ostreľovaní dusíku časticami α .



Podaril sa tak dávny sen alchymistov: záměna jedného prvku na druhý. Pomocou jadrových reakcií by bolo možné vyrábať zlato z ortute tak, ako o tom snívali celé generácie panovníkov a ich alchymistov. Táto výroba by však bola príliš nákladná a nerentabilná.

1.8.6 Jadrové reakcie uvoľňujúce energiu

Reakcie, ktoré slúžia na uvoľňovanie energie sú:

1. Jadrová fúzia (fusion) – pri nich dochádza k spájaniu ľahkých jadier do jadier ťažších,
2. Jadrové štiepenie (fission) – dochádza k štiepeniu ťažkých jadier na jadrá ľahšie.

Skutočnosť, či sa daný prvok bude štiepiť alebo zlučovať záleží na jeho separačnej energii.

1.8.7 Jadrová energetika

Existencia reťazovej jadrovej reakcie v uráne ${}^{235}_{92}\text{U}$ umožnila využitie jadrovej energie k premene na elektrickú energiu (resp. na teplo) v jadrových reaktoroch (resp. teplárňach). Prvý jadrový reaktor bol uvedený do prevádzky 2.12. 1942 na univerzite v Chicagu E. Fermim a jeho spolupracovníkmi. Ako palivo v ňom slúžil čistý urán s obsahom nuklidu ${}^{235}_{92}\text{U}$, ako moderátor (spomalovač) nautrónov grafit. Reťazová reakcia bola ovládaná zasúvaním kadmiových tyčí, ktoré pohlcujú neutróny. Bol to priekopnícky a odvážny čin, pretože navzdory všetkým výpočtom si neboli celkom istí výsledkom tak riskantného experimentu.

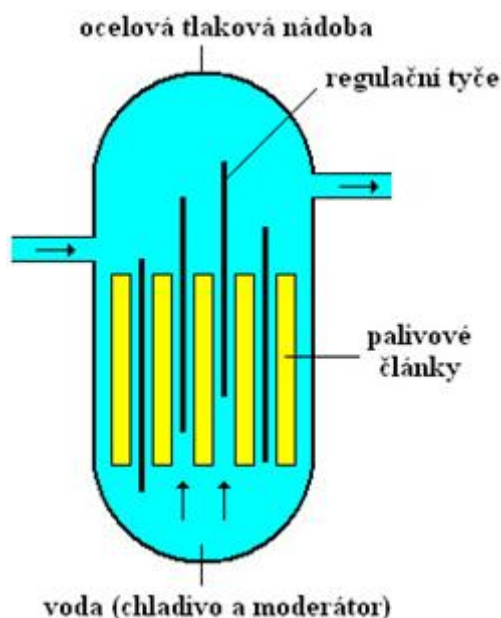
Dnes existuje veľké množstvo rôznych typov jadrových reaktorov, ktoré sa líšia svojim technickým usporiadaním, druhom paliva, moderátorom i chladivom, výkonom a určením. V prevažnej väčšine sú to reaktory využívajúce spomalených neutrónov, ktoré sú v tepelnej rovnováhe s látkou.

1.8.8 Jadrový reaktor

Ako palivo sa v tepelných reaktoroch najčastejšie používa obohatený urán, ktorý obsahuje vyššie percento nuklidu $^{235}_{92}\text{U}$ ako urán prírodný. Výroba tohoto paliva obohacovaním uránu vyžaduje náročnú technológiu a rieši ju len niekoľko štátov na svete. Ako moderátor k spomalovaniu neutrónov, sa používa najčastejšie voda, grafit alebo ťažká voda, ... , t.j. látky, ktoré obsahujú ľahké jadrá.

Ľahké jadrá ľahšie pohlcujú neutróny. Ťažké jadrá majú už takú energiu, že ďalšie neutróny nie sú schopné pojať.

Chladivo slúži na odvádzanie tepla z reaktoru, ak sa jedná o reaktor energetický i k tvorbe pary na pohon turbíny. Najčastejšie je to voda, CO_2 , ťažká voda, Vysokoteplotné reaktory pre priemyselné účely bývajú chladené héliom. Reaktory chladené vodou sa ďalej delia na tlakovodné (voda je uzatvorená v tlakovej nádobe) a varné. Kombináciou týchto komponentov vzniká určitý typ reaktoru s medzinárodným znakovým označením. Napríklad. PWR (pressurized water reactor) je vo svete najrozšírenejší reaktor, moderovaný a chladený obyčajnou vodou s tlakovou nádobou.



Prevádzka jadrového reaktoru je založená na možnosti ovládať a regulovať reťazovú reakciu. Ich základným ukazovateľom je tzv. multiplikačný faktor k , ktorý vyjadruje nárast počtu neutrónov po jednotlivých krokoch (generáciách) reťazovej reakcie a berie do úvahy všetky možné nevyhnutné straty a únik neutrónov:

1. $k > 1$ - počet neutrónov v priebehu reakcie neustále narastá a proces má charakter explózie,
2. $k = 1$ - kritický stav, počet neutrónov zostáva vyrovnaný, reťazová reakcia prebieha so stále rovnakou intenzitou,
3. $k < 1$ - počet neutrónov klesá a reakcie sa zastavia.

