# Jaderná fyzika

Jádro atomu se skládá z protonů a neutronů. Protony a neutrony se označují společným názvem nukleony.
Počet nukleonů udává nukleové (hmotnostní) číslo *A*.
Počet protonů udává protonové (atomové) číslo *Z*.

Počet neutronů *N* lze dopočítat *N = A –Z*.

K zápisu jader se používá schéma , kde *X* je chemické označení daného prvku.

Nukleony drží v jádře pohromadě díky silným jaderným silám, které poprvé popsal japonský fyzik Yukawa. Jsou to intenzivní síly krátkého dosahu (cca 10-15 m), které jsou na těchto malých vzdálenostech mnohem silnější než síly elektrostatické odpuzování protonů.

Izotopy jsou jádra se stejným protonovým číslem *Z* a různým nukleovým číslem *A*.
Například izotop polonia je stabilní, ale izotop je přirozeně radioaktivní, tj. samovolně se přeměňuje v olovo reakcí . Radioaktivita je schopnost jader měnit svoji strukturu.

Při jaderných reakcích se zachovává počet nukleonů (211 = 207 + 4) a součet protonových čísel (84 = 82 +2). Jiným příkladem reakce, na které se můžete přesvědčit o zachovávání součtu čísel A a Z je štěpení uranu v důsledku zachycení neutronu: .

### Hmotnostní úbytek a vazební energie

Hmotnost jader *mj* složených z více nukleonů je vždy menší než součet hmotností protonů *mp* a neutronů *mn*, které jádro tvoří . Rozdíl se nazývá hmotnostní úbytek (někdy též schodek nebo defekt). Značí se písmenem a odpovídá energii vazby mezi nukleony podle relativistického vztahu , zde tedy . To je energie, které by se uvolnila, pokud by jádro z jednotlivých nukleonů vzniklo, a je to též energie, kterou bychom museli jádru dodat, pokud bychom ho chtěli na jednotlivé nukleony rozbít.

U izotopu uranu je *B* = 1,908 mu (atomové hmotnostní jednotky) = 3,1681.10-27kg. Tomu odpovídá energie *E* = 2,8513.10-10J. Na jeden nukleon připadá .

Vazební energie připadající na jeden nukleon u různých izotopů je uvedena v následujícím grafu. Z grafu vyplývá, že nejlépe jsou vázány izotopy v okolí železa , méně jsou vázány nukleony v jádrech těžkých prvků (na konci grafu) a vůbec nejméně některé lehké izotopy (na začátku grafu). Z toho vychází dvě cesty, jakými lze získat energii přeměnou určitých izotopů v jiné.



<https://www.researchgate.net/figure/Nuclear-binding-energy-per-nucleon_tbl1_226295927>

### Štěpná reakce

První cesta je rozdělení (rozštěpení) jádra těžkého prvku (například uranu) na dvě lépe vázaná jádra (ve středu grafu). Příkladem jsou reakce nebo . To je klasická cesta využívaná v současných jaderných elektrárnách. Jejím největším problémem je, že produkty probíhajících reakcí jsou značně radioaktivní a je třeba je po extrémně dlouhou dobu skladovat odděleně od životního prostředí.



### Termonukleární reakce

Druhá cesta je tzv. termonukleární reakce. Jde o sloučení (syntézu) vhodných lehkých jader (např. deuteria a tritia ) a vytvoření dobře vázaného jádra hélia. Příklady nebo nebo . K zahájení takových reakcí je však třeba vytvořit mimořádné podmínky (extrémní teplota a tlak) pro překonání odpudivých elektrických sil působících mezi jádry. Takové podmínky existují v nitru Slunce a ostatních hvězd, kde termonukleární reakce probíhají. Na Zemi se termonukleární rekci v plné síle podařilo uskutečnit jen ve formě výbuchu vodíkové bomby. Počáteční podmínky zde byly zajištěny výbuchem klasické atomové bomby pracující na principu štěpné reakce. Již mnoho let, avšak zatím jen s malými úspěchy, probíhá výzkum směřující k ovládnutí termonukleární reakce a jejího využití k výrobě energie. Termonukleární reakce je ve srovnání se štěpnou reakcí efektivnější (z jednoho kilogramu paliva se uvolní více energie). Získání paliva (např. z mořské vody) by bylo jednodušší než současná těžba a obohacování uranu. Samotná reakce je provázena jaderným zářením, které by muselo být odstíněno, podobně jako v současných jaderných elektrárnách. Produkty reakcí však radioaktivní nejsou, což představuje oproti štěpení další obrovskou výhodu.

### Hlavní druhy jaderného záření

Záření alfa α je proud heliových jader . Příkladem je rozpad radia a následně radonu .

Záření beta β je proud elektronů . Příkladem je reakce nebo produkce plutonia .

Záření beta β+ je proud pozitronů . Příkladem je rozpad protonu .

Záření gama γ je proud vysoce energetických fotonů nesoucích energii, kterou jádro uvolnilo při přechodu z excitovaného stavu do stavu s nižší energií.

Neutronové záření je proud neutronů . Objevuje se například u štěpných reakcí.

Záření α, β a γ jsou záření radioaktivní, doprovázejí samovolné přeměny jader. Neutronové záření a záření β+ nepatří mezi radioaktivní. Objevují se pouze u reakcí, které byly uměle vyvolány.

### Časový průběh radioaktivní přeměny

Radioaktivita je samovolná přeměna jader v jiná jádra (jádra s jiným počtem protonů a neutronů, nebo jádra s jinou energií). Příkladem je přeměna . Za čas, který se nazývá poločas přeměny a značí se *T*, se přemění právě polovina jader. Tento proces může být popsán vztahem nebo vztahem . *N0* je počet původních jader, *N* je počet jader v čase *t*, *T* je poločas přeměny a *λ* je přeměnová konstanta. Snadno se dá dokázat vztah mezi poločasem přeměny *T* a přeměnovou konstantou . Protože počet je přímo úměrný jejich hmotnosti lze uvedené vztahy přepsat i pro hmotnost ve tvaru respektive . Zde je *m0* původní hmotnost jader a *m* hmotnost jader v čase *t*.

**Úlohy**

1. Polonium se rozpadá α rozpadem na olovo s poločasem přeměny 139 dní. Jaká část jeho jader se přemění za 50 dní?

Výsledek: Rozpadne se 22% jader (78% zůstane)
2. Izotop má poločas přeměny 6,7 let. Jak dlouho trvá, než se rozpadne 99 % jeho jader?

Výsledek: 44,5 roku
3. Bylo zjištěno, že z původního množství izotopu se za 24 hodin rozpadlo 17 % jader. Určete poločas přeměny.

Výsledek: 3,72 dne = 89,3 hodiny

### Aktivita zářiče

Aktivita zářiče *A* je počet jader přeměněných za jednotkový čas. Základní jednotkou aktivity je becquerel, značka Bq (1 přeměna za sekundu). Aktivita radioaktivních látek je přímo úměrná přeměnové konstantě *λ* a počtu jader *N.* Platí . Tento vztah lze odvodit ze vztahu pro časový průběh radioaktivní přeměny derivováním.

### Užití radioaktivních látek

Radioaktivní látky nacházejí použití v celé řadě oblastí. Příkladem je medicína (ozařování nádorů), průmysl (defektoskopie), přírodní vědy (značené prvky ve výzkumu koloběhu látek), restaurátorství (ničení škůdců), archeologie (určování stáří předmětů).

Příklad: Při studiu starověkého dřevěného předmětu se zjistilo, že specifická radioaktivita izotopu představuje tři pětiny hodnoty obvyklé u čerstvě pokáceného dřeva. Poločas rozpadu je 5730let. Určete stáří předmětu. [Odpověď: Předmět je starý cca 4223 let].

### Veličiny a jednotky pro měření radioaktivity

Aktivita *A* becquerel Bq = 1 přeměna za 1 sekundu

 curie Ci = 3,7.1010 Bq (norma pro radon 200 Bq/m3)

Absorbovaná energie – gray Gy – Gy = 1 J energie v 1 kg látky

Dávka D, jednotka je sievert Sv, je absorbovaná energie vynásobená koeficientem podle účinnost záření na organizmus.

|  |  |
| --- | --- |
| Záření | koeficient |
| X, γ | 1 |
| elektrony, miony | 1 |
| Protony | 5 |
| α, těžké částice | 20 |
| neutrony < 10 keV | 5 |
| neutrony 10-100 keV | 10 |
| neutrony 100 keV – 2 MeV  | 20 |
| neutrony 2 – 20 MeV | 10 |
| neutrony >20 MeV | 5 |

Přirozená radioaktivita je u nás do 0,3 μSv za hodinu, to představuje do 2,6 mSv ročně. Z lékařských vyšetření dostává obyvatelstvo průměrně 0,5 mSv ročně, ze stavebních hmot 1,2 mSv, ostatní 0,2 mSv. Celkem 3 mSv ročně. Limit pro obyvatelstvo je 5 mSv/rok, pro pracovníky se zářením 50 mSv/rok. Smrtelná je dávka 4000-5000 mSv.

Ozáření je další veličinou. Jde o celkový náboj iontů vzniklých v tělese po dopadu záření. Jednotkou je C·kg-1. Starší jednotkou je rentgen R = 2,6.10-4 C.kg-1.

Vojenská norma přípustných dávek ozáření

|  |  |
| --- | --- |
| jednorázově nebo do 4 dnů | 50 R |
| do 30 dnů | 100 R |
| do 3 měsíců | 200 R |
| do 1 roku | 300 R |
| do 1R za hodinu | lze konzumovat stravu |
| do 5R za hodinu | pobyt ve stanech, použití ochranných prostředků  |
| více než 5 R za hodinu | nutný pobyt v hermeticky uzavřených prostorech |

### Principy přístrojů pro registraci radioaktivity

Geiger-Műllerův počítač – radioaktivní částice ionizují plyn a přístrojem prochází proud.

Mlžné a bublinkové komory – radioaktivní částice vyvolávají lokálně změnu skupenství. V mlžných komorách plyn kapalní, v bublinkových kapalina vytváří bublinky.

Scintilační (zábleskové metody) – některé sloučeniny při dopadu radioaktivních částic vydávají záblesk.

Polovodičové detektory – dopad částic mění vodivost polovodiče.

<https://www.google.com/search?q=bubble+chamber+photo>

 



## Antihmota a antičástice

Termínem antihmota označujeme látku, která se skládá z antičástic. Antičástice jsou částice, které mají naprosto stejnou hmotnost jako nějaká obyčejná částice, ale opačný elektrický náboj.

Pozitron je antičástice elektronu. Její existenci předpověděl v roce 1928 Paul Dirac. V roce 1932 byl pozitron opravdu pozorován. Antiproton je antičástice protonu, objeven byl v roce 1955.

Antičástice se ve světě kolem nás téměř nevyskytují, ale někdy mohou na chvíli vzniknout. Pokud foton s vhodnou energií narazí na nějakou překážku, může z jeho energie vzniknout pár elektron + pozitron. Pokud se vniklý pozitron po čase setká s nějakým elektronem, tak zase zanikne. Říká se tomu anihilace. Ve výzkumném zařízení CERN dokáží dokonce vyrobit antivodík, tj. atom, v jehož jádru je anti proton a v obalu pozitron. Složitější antihmotu lidé vyrobit neumí.

Podle některých teorií byla antihmota významněji zastoupena ve vesmíru v jeho raných stádiích vývoje. Bylo jí však méně než běžné hmoty a antihmota anihilací s běžnou hmotou postupně zanikla.



## Přehled elementárních částic

Částice můžeme rozdělit do tří skupin:

1. leptony,
2. kvarky a částice z kvarků složené,
3. intermediální částice, tj. částice zprostředkující interakce.

Leptony jsou lehké částice. Je jich šest: elektron, lepton μ (mion), lepton τ (tauron), elektronové neutrino, mionové neutrino, tauronové neutrino. Ke každému z těchto 6 leptonů existuje příslušná antičástice. Antičástice elektronu se nazývá pozitron.

Kvarků je také šest. Označujíc se písmeny u, d, c, s, t, b. Označení vychází z anglických slov up, down, charm, strange, top, bottom. Ke každému kvarku existuje příslušný antikvark. Kvarky nikdy neexistují samostatně. Existují ale částice, které jsou z kvarků složené. Takovým částicím se říká hadrony. Existují dva druhy hadronů: mezony a baryony. Mezony jsou složené z dvojice kvark-antikvark. Baryony se skládají z trojice kvarků. Protony a neutrony patří mezi baryony. Proton je složeninou (u, u, d) a neutron (u, d, d)

Částice zprostředkující interakce (intermediální částice) jsou:

* foton – pro elektromagnetickou interakci,
* Z0, W+, W– – pro slabou jadernou interakci,
* gluony – pro silnou jadernou interakci (teorie pracuje s 8 gluony),
* graviton – předpokládají některé teorie gravitační interakce, nebyl však ještě experimentálně potvrzen,
* Higgsův boson – částice související s gravitací

Kromě tohoto členění se setkáme i s dělením podle jiných hledisek. Dost důležité je rozdělení částic na bozony a fermiony. Bozony jsou částice s celočíselným spinem. V daném systému mohou být ve větším počtu ve stejném energetickém stavu. V extrémním případě mohou tedy být všechny ve stavu nejnižším, s nejmenší energií. Fermiony jsou částice s poločíselným spinem (např. elektron). Podléhají vylučovacímu principu. V daném systému se nemohou nalézat dvě částice ve stavu popsaném stejnými kvantovými čísly. Příkladem pro elektrony je známý Pauliho vylučovací princip. V elektronovém obalu atomu mohou být v energetickém stavu popsaném stejnými kvantovými čísly (*n, l, m*) jen dva elektrony lišící se svým spinem, tj. spinovým kvantovým číslem *s*. Fermiony v určitém systému nemohou ve větším počtu obsadit stejnou energetickou hladinu. Díky tomu je chování fermionů v mnoha ohledech odlišné od chování bozonů. Rozdíly, se projevují hlavně při nižších teplotách, kdy je celková energie systému nízká.

|  |  |
| --- | --- |
| Obsah obrázku text, snímek obrazovky, Písmo, číslo  Popis byl vytvořen automaticky | Obsah obrázku snímek obrazovky, text, Barevnost, design  Popis byl vytvořen automaticky |