

10. STRUKTURA HMOTY

Hmota je základní fyzikální pojem. Rozlišují se dva *projevy* hmoty: látka, skládající se z „hmotných“ částic (částic s hmotností) a pole, které se podle klasické fyziky nemělo skládat z částic, ale projevovat se jako kontinuum ve svých vlastnostech. V moderní fyzice jsou látka a pole, přinejmenším v mikrosvětě, dva navzájem spjaté „projevy“ či „strukturní formy“ hmoty

- Nejmenší a nejzákladnější částičky, ze kterých se skládá hmota jsou tzv. fundamentální částice. Máme čtyři druhy.
- 1. Leptony
- patří mezi ně elektron, elektronové neutrino, pozitron
- 2. Kvarky
- částice z nich vytvořené se nazývají hadrony, spojení dvou kvarků tvoří mezony, spojení tří kvarků baryony – proton, neutron
- 3. Intermediální částice
- zprostředkovávají interakce, každou sílu přenáší určitá částice
- *Elektromagnetickou* – fotony
- *Slabá* – W, Z
- *Silná* – gluony, jsou částice zprostředkující kvanta silné interakce mezi kvarky
- *Gravitační* – graviton, nebyl experimentálně potvrzen, je to hypotetická částice v kvantové teorii pole, která by měla zprostředkovávat gravitační sílu mezi tělesy (nosič pole). Měla by být podobně jako foton nehmotná, pohybovat se rychlostí světla
- 4. Higgsovy částice
- Nebyly zatím experimentálně potvrzeny, někteří fyzikové tvrdí, že se skládají ze známých elektroslabých částic, jiní věří, že jde o nové elementární objekty.

- Veškerou hmotu můžeme popsat pomocí šesti kvarků a šesti leptonů seskupených do tří rodin či generací. První generace vytváří veškerou běžnou hmotu, zatímco druhá a třetí přichází v úvahu pouze při vysokých energiích – v kosmickém záření nebo při laboratorních experimentech.
- Na kvarky působí všechny tři druhy sil – silná, elektromagnetická a slabá. Všechny leptony „cítí“ slabou interakci, pokud jsou elektricky nabitě, působí na ně i elektromagnetická síla. Neutrína jsou však elektricky neutrální a interagují pouze slabě.

- Kvarky jsou doživotně uvězněny – nikdy nemohou uniknout z částic, v nichž je drží nesmírně mohutná síla vznikající z jejich „barevného“ náboje. Tato síla se nepodobá žádné z těch, které známe. Barevná síla mezi kvarky je přenášena osmi částicemi – nosiči, které se nazývají gluony a slepují kvarky dohromady. Vlastnosti odpovídající elektrickému náboji v kvatnové chromodynamice výrazně závisí na prostoru a času – čím menší objem, tím slabší se interakce stává. Naopak, čím je objem větší, tím je interakce silnější, takže je nemožné kvarky od sebe oddělit. Barevné síly mezi kvarky si můžeme představit jako pružinu, když leží volně na stole, můžeme s jejími konci volně pohybovat. Teprve když pružinu pořádně natáhneme, cítíme odpor, s kvarky je to podobné.

STRUKTURA ATOMU

- Každá látka je složena z mikroskopických částic zvaných atomy. Atomy se skládají z kladně nabitého jádra a záporně nabitého obalu.

Jádro atomu tvoří kladně nabitě protony a neutrony bez náboje. Hmotnost protonu $1,6725 \cdot 10^{-27}$ kg a neutronu $1,6748 \cdot 10^{-27}$ kg je přibližně stejná. Počet protonů v jádře bývá označován jako protonové (atomové) číslo Z , počet neutronů v jádře značí neutronové číslo N . Protony a neutrony se souhlasně označují jako nukleony, jejich počet udává tzv. nukleonové (hmotnostní) číslo. Atomová jádra se stejným počtem protonů a neutronů jsou stabilnější ve srovnání s jádru, která mají počet nukleonů různý. Nukleony jsou udržovány v jádře působením *jaderných sil*, které jsou mnohem větší než síly elektrostatické, ale existují pouze v atomovém jádře.

- Množina atomů tvořená pouze atomy se stejným protonovým číslem se nazývá prvek. Všechny atomy daného prvku mohou mít stejné protonové číslo, mohou se ale lišit hodnotou čísla nukleonového. Atomy prvků, které se od sebe liší počtem neutronů v jádře se nazývají izotopy. Protium, deuterium, tritium.

Obal atomu

- Obal atomu je tvořen částicemi se záporným nábojem – elektrony.
- Rutherford – planetární model, objevil proton, formuluje teorii, kde kolem kladně nabitého jádra obíhají elektrony, jejichž celkový záporný náboj kompenzuje kladný náboj jádra. Elektrony obíhají kolem jádra po kruhových drahách. Poloměr drah v tomto modelu mohl být libovolný, nemohl tedy vysvětlit čárový charakter atomových spekter.

- Bohr 1913 a jeho postuláty:
- Elektrony se mohou pohybovat jen po zcela určitých drahách, pro které platí $2\pi r m v = n h$.
- Elektron na každé dráze má zcela určitou energii, je na určité energetické hladině, pokud se pohybuje po této dráze, pak energii nevyzařuje ani nepřijímá.
- Při přechodu z dráhy o energii E_1 na dráhu s energií E_2 atom vyzáří nebo přijme energii $E = E_2 - E_1 = h \cdot c / \lambda$, což je vlnová délka čáry v příslušném atomovém spektru.
- Model ale platil přesně jen pro atomy a ionty s jedním elektronem.

- Na stavbě elektronového obalu závisí chemické vlastnosti prvku. Při různých pokusech se elektron chová různě, má buď částicovou povahu nebo vlnovou – dualistická povaha. Na začátku 20. století vypracovali W. Heisenberg, L. Broglie a E. Schrodinger vlnovou (kvantovou) mechaniku – vlnově-mechanický model atomu, která umožňuje vypočítat pravděpodobnost ze Schrodingerovy rovnice, s jakou se elektron vyskytuje v určité oblasti atomu. Prostor s pravděpodobností výskytu nazýváme orbital. Atomové orbitaly – místa s největší pravděpodobností výskytu elektronu v jednotlivém atomu netvořícím vazbu. Molekulové orbitaly – nejpravděpodobnější oblast výskytu elektronu v chemické vazbě.

- Orbitaly se liší svojí velikostí a tvarem. Podle tvaru rozeznáváme několik typů orbitalů, které označujeme s, p, d, f. Elektrony se v elektronovém obalu atomu nacházejí v několika hladinách, jejichž energie roste se vzdáleností od jádra.
- Hlavní kvantové číslo n popisuje hladinu, ve které se atom nachází, odpovídá periodě ($n=1,2,3\dots$), čím větší je vzdálenost elektronu od jádra, tím má vyšší energii a tím je větší hodnota hlavního kvantového čísla.
- Vedlejší kvantové číslo l určuje tvar orbitalu
- Magnetické číslo m udává orientaci orbitalu v prostoru

Chemická vazba

- Vazebné síly, které působí mezi atomy, se označují jako chemické vazby. Základ všech vazeb spočívá ve společném sdílení nebo předávání vazebných elektronů. Podmínkou pro vznik chemické vazby je vhodné uspořádání valenčních elektronů a atomy musí mít dostatek energie, která se nazývá vazebná energie. Splněním těchto předpokladů dochází k překrývání orbitalů a vytvoření vazebných elektronových párů.
- Pevnost vazby se hodnotí podle síly potřebné k jejímu rozštěpení, čím je vazba delší tím je energie nižší a čím násobnější vazba, tím je pevnější a energie větší.
- Chemická vazba je specifický druh interakce mezi částicemi vedoucí ke snížení energie systému.

Kovalentní vazba je společné sdílení jednoho nebo více valenčních elektronů s jiným atomem – Cl₂, H₂

- Je buď nepolární, rozdíl elektronegativity je menší než 0,4 – fluor, kyslík, dusík
- Nebo polární a rozdíl elektronegativity je mezi 0,4 až 1,7 – voda, kyselina chlorovodíková

Iontová vazba je extrémní případ polární kovalentní vazby, rozdíl elektronegativity je větší než 1,7, je to předání jednoho nebo více elektronů jinému atomu – LiF, NaCl

Koordinačně-kovalentní (donor – akceptorová) vazba je zvláštní typ kovalentní vazby. Oba elektrony zprostředkovávající vazbu poskytuje jeden z vázících se atomů. Je to možné pouze u atomů, které mají volný elektronový pár, který se neúčastní vazby. Atom poskytující volný el. pár se nazývá donor – dárce a ten který ho přijímá je akceptor – příjemce.

Kovová vazba, je to vazba typická pro kovy a jejich slitiny, spočívající ve společném sdílení všech vazebných elektronů, které tvoří tzv. elektronový plyn. Je to přitažlivá síla mezi mřížkou kladných iontů a vodivostními elektrony.

Slabé vazebné interakce

- Van der Waalsovy síly -grafit
- Vodíková vazba – zaujímá střední postavení mezi vazbou kovalentní a silami vdW. Vzniká u molekul obsahujících atom H vázaný k silně elektronegativnímu prvku s volným el.párem. HF – dochází k posunu vazebných elektronů . Kladně nabitý ion vodíkového atomu může na sebe vázat záporně nabitý ion z druhé molekuly fluorovodíku. Vznikají shluky molekul, které mají vyšší teplotu varu. Tímto způsobem vysvětlujeme, že voda je za běžných teplot kapalinou, protože jinak by jsem se vypařily.

Radioaktivita

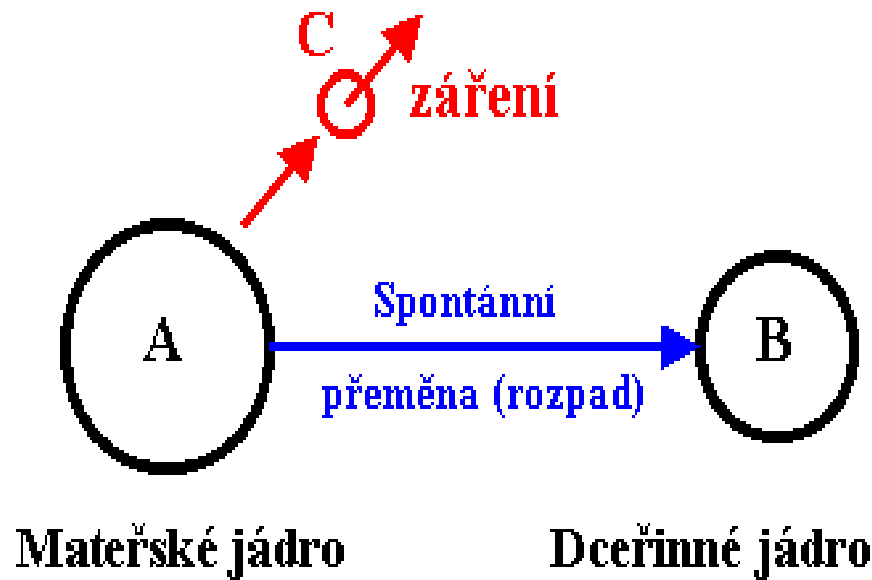


Radioaktivita je jev, kdy se jádra atomů určitého prvku samovolně přeměňují na jádra jiného prvku, přičemž je emitováno vysokoenergetické záření. Jádra vykazující tuto vlastnost se nazývají radionuklidy.

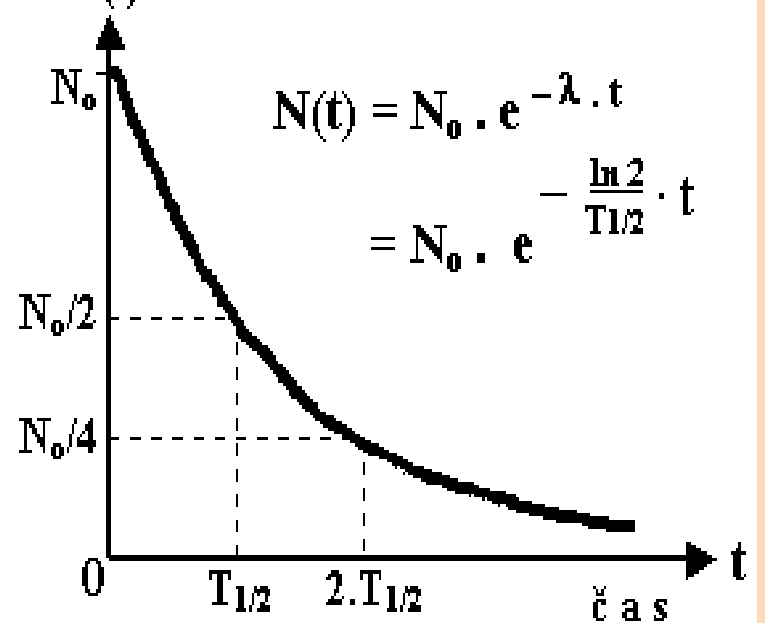
Přirozená radioaktivita – samovolné přeměny přírodních jader

Umělá radioaktivita – samovolné přeměny nestabilních jader, která vznikla ozařováním původně neradioaktivních jader.

Radioaktivita



Exponenciální zákon radioaktivního rozpadu



- **aktivita – počet přeměn za 1s.** (zářiče, preparátu či obecně množiny jader) a je definována jako **počet jader**, který se **přeměňuje za jednotku času**, Okamžitá hodnota $A(t)$ aktivity v čase t je tedy:

$$A(t) = dN(t) / dt ,$$

kde $N(t)$ je počet dosud nepřeměněných jader v daném čase t . Této aktivitě je pak úměrný i počet emitovaných částic za jednotku času, tj. intenzita radioaktivního záření.

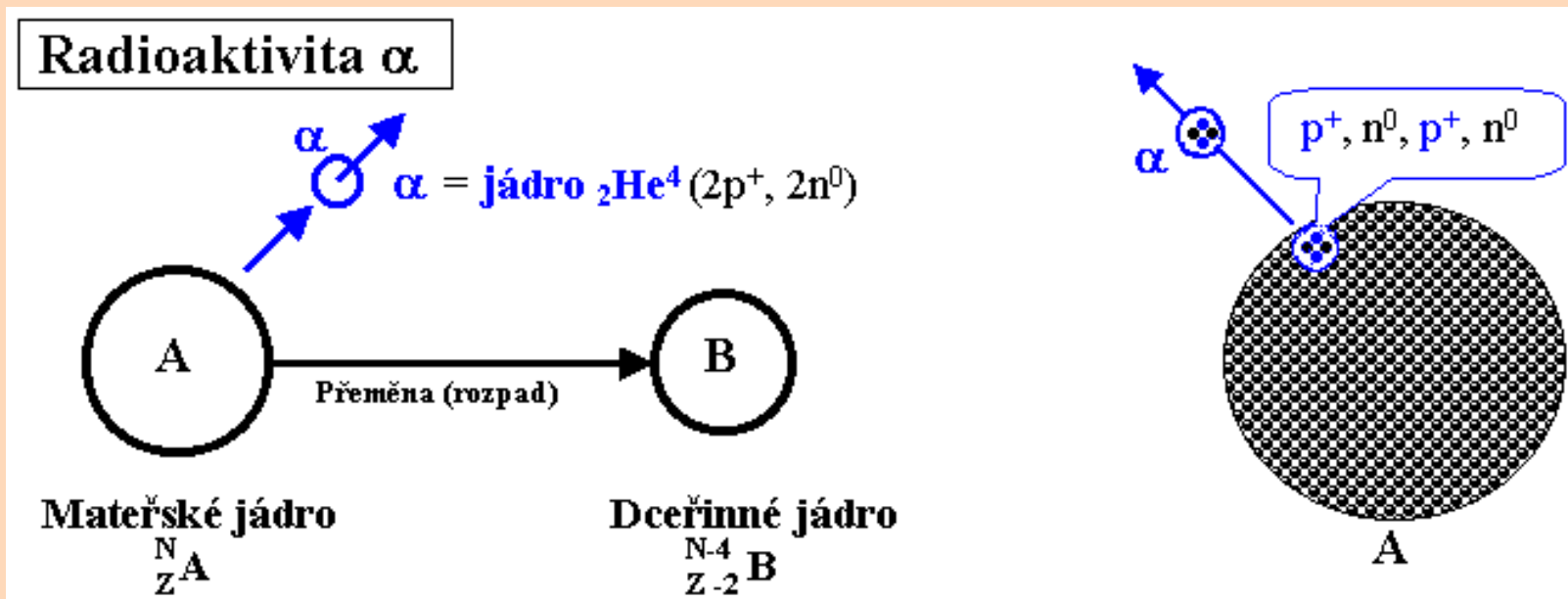
Jelikož radioaktivita je jev, kdy se nám v čase přeměňují atomová jádra jednoho prvku na jádra jiného prvku, přičemž čas měříme v *sekundách*, je **jednotkou aktivity 1 rozpad za 1 sekundu**. Tato jednotka byla na počest francouzského průkopníka v oblasti radioaktivity Henri Becquerela nazvána **1 Becquerel : 1 Bq = 1rozpad/1sekundu (v průměru*)**.

- **Exponenciální zákon radioaktivního rozpadu:**
- **$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$**

- **N_0 ...počet nerozpadlých atomů v čase $t=0$, na počátku měření**
- **N Počet rozpadlých atomů v libovolném čase**
- **λ ...rozpadová konstanta**
- **T ...čas**
- Místo rozpadové konstanty se mnohem častěji používá tzv. poločas rozpadu τ , což je doba, za kterou se rozpadne polovina původního počtu radioaktivních jader. Po dosazení do exponenciálního zákona dostaneme vztah

• Radioaktivita alfa

Základní schéma radioaktivity a je znázorněno na obr. Při této jaderné přeměně se vyzařuje částice α , která je jádrem hélia ${}^4_2\text{He}$ - obsahuje tedy 2 protony p^+ a 2 neutrony n^0 .



- Z mateřského jádra s N nukleony a Z protony částice a odnáší 2 protony a 2 neutrony, takže vzniklé dceřinné jádro bude mít $N-4$ nukleony a $Z-2$ protony - v Mendělejevově periodické tabulce prvků bude posunuto o **2 místa doleva** směrem k jednodušším prvkům.
- Radioaktivita a se vyskytuje pouze u **nejtěžších jader** ze samého konce Mendělejevovy tabulky v oblasti uranů a transuranů (lehká jádra prostě "nemají na to" aby vyžářila tak těžkou částici jakou je α).
Žáření α , díky svému dvojnásobnému kladnému náboji, při vniknutí do látky velmi účinně vytrhává elektrony z obalu atomů, čímž rychle ztrácí energii a **zabrzdí se** asi po 0,1 mm v látkách hustoty vody nebo tkáně. Díky této své **malé pronikavosti** jej nelze využít k diagnostice ani k terapii. Využívá se jen sporadicky v některých detekčních přístrojích (např. detektory hustoty plynů, požární hlásiče).

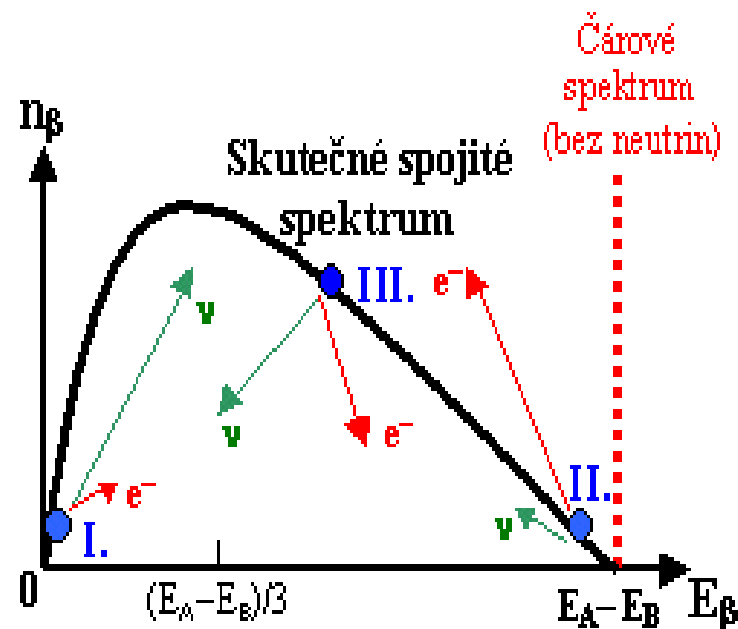
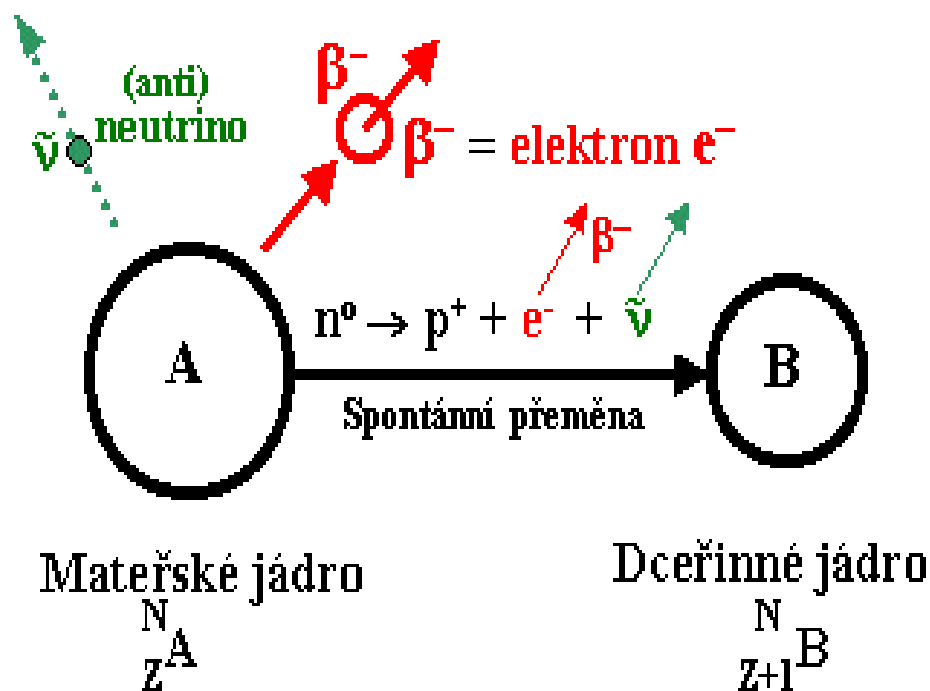
- **Radioaktivita beta**

Naopak nejčastějším a nejdůležitějším druhem radioaktivity je radioaktivita β . Existují dva druhy radioaktivity β

- **Radioaktivita β^-**

Základní schéma radioaktivity β^- je na obr.1.2.3. Při této jaderné přeměně je z mateřského jádra vysokou rychlostí emitována **částice β^-** -, což není nic jiného než obyčejný **elektron e^-** - stejný jako je v atomovém obalu.

Radioaktivita β^-

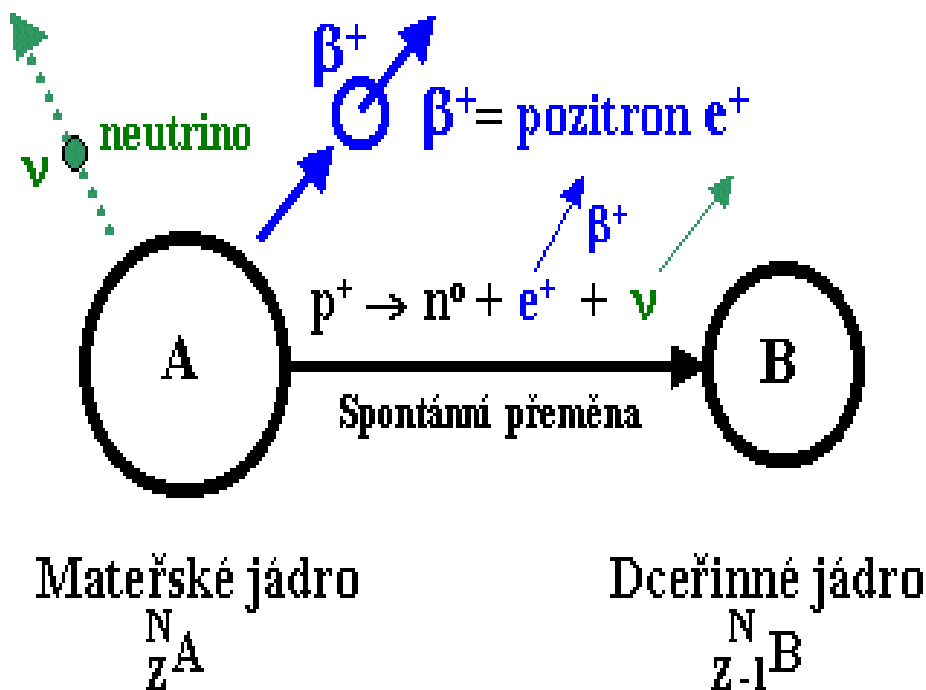


- Vzpomeneme-li si na složení jádra, hned vidíme zjevný paradox: jak mohou z (kladných) jader vylétat (záporné) elektrony, když tam jsou jen kladné protony a nenabitě neutrony, ale žádné elektrony? Pozn.: Nějakou dobu se fyzikové domnívali, že elektrony β^- pocházejí z obalu, avšak u plně ionizovaných atomů zbavených elektronových obalů se elektrony β^- beze změny vyzařují dál. Elektrony β^- tedy opravdu vylétají z atomového jádra.

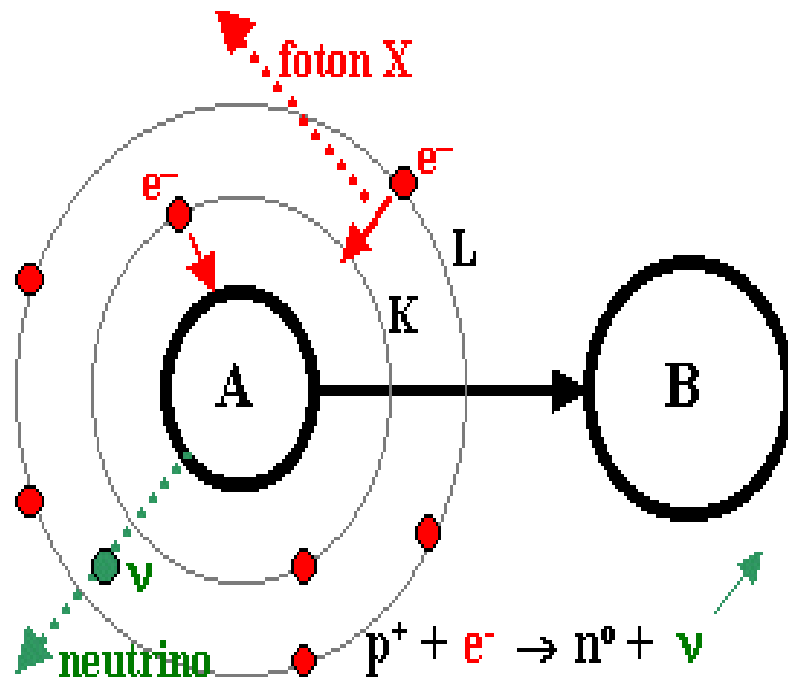
Radioaktivita β^+

Dalším druhem radioaktivity beta je radioaktivita β^+

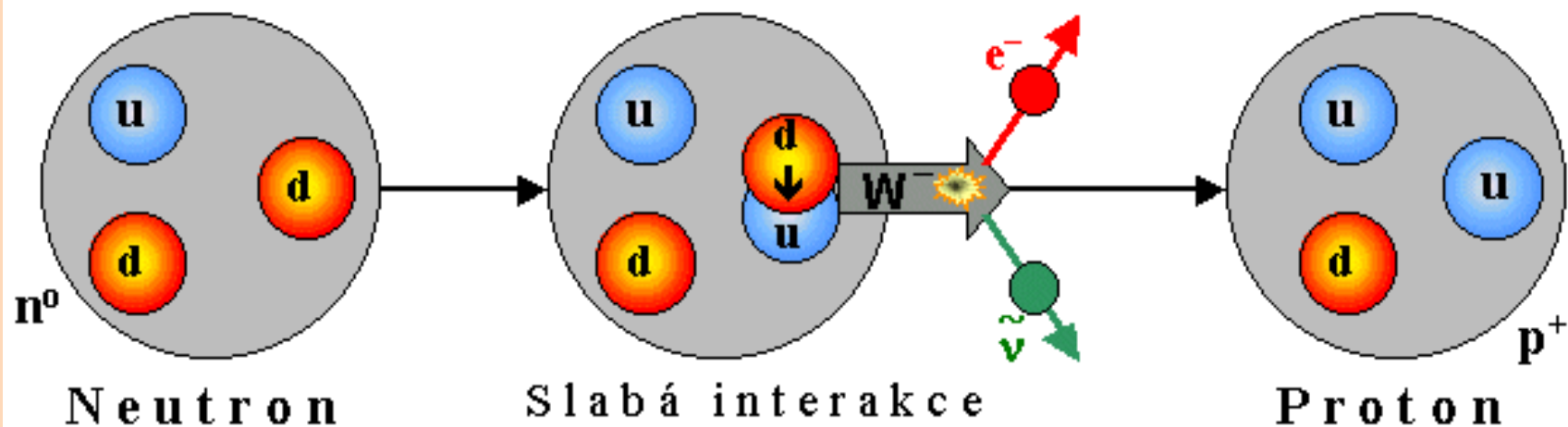
Radioaktivita β^+



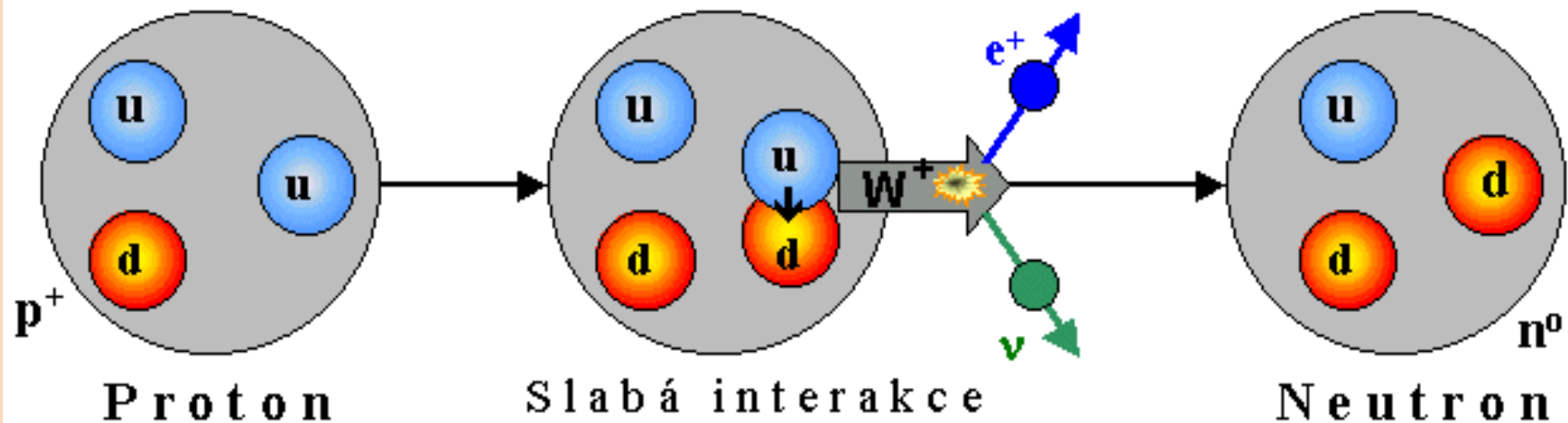
Elektronový záchyt



Beta⁻ - rozpad neutronu : $n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}$



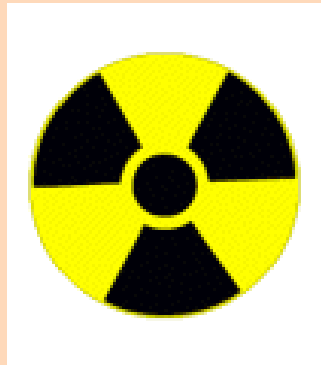
Beta⁺ - přeměna protonu : $p^+ \rightarrow n^0 + e^+ + \nu$



Radioaktivita gama

- Je elektromagnetické záření – tedy proud fotonů jaderného původu. Vzniká při radioaktivní přeměně řady radionuklidů, často současně se zářením alfa nebo beta. K nejčastějším zářičům gama patří Co a Cs. Záření gama má čárové spektrum – daný radionuklid emituje pouze fotony s určitými energiemi, které jsou pro jeho přeměnu charakteristické. Zářením gama se složení jádra nemění.

- Radioaktivita je schopnost atomu samovolně se dříve nebo později přeměnit v jiný atom za současného vysílání radioaktivního záření, to způsobuje ionizaci (tj. zvýšený vznik iontů) prostředí, kterým prochází. Proto je také označováno jako záření ionizující.
- **Ionizujícím zářením nazýváme takové záření, jehož kvanta mají natolik vysokou energii, že jsou schopna vyrážet elektrony z atomového obalu a tím látku ionizovat.**



- Ionizační účinky jsou tedy společnou vlastností všech druhů ionizujícího záření. Konkrétní mechanismy interakce záření s hmotou jsou však pro každý druh záření specifické. Z tohoto hlediska se ionizující záření rozděluje na dvě skupiny:
- Záření **přímo ionizující** - je to záření, jehož kvanta nesou **elektrický náboj** a proto **přímo** vyrážejí či vytrhávají Coulombickými elektrickými silami elektrony z atomů. Patří sem záření α , β^- a β^+ , protonové záření p^+ atd.
- Záření **nepřímo ionizující** - jeho kvanta nejsou elektricky nabitá; svou kinetickou energii předávají v látce nejprve nabitým částicím (většinou elektronům) a ty teprve přímými účinky na atomy látku ionizují. Do této skupiny patří především záření rentgenové a záření gama, dále též záření neutronové.

Využití radioaktivity

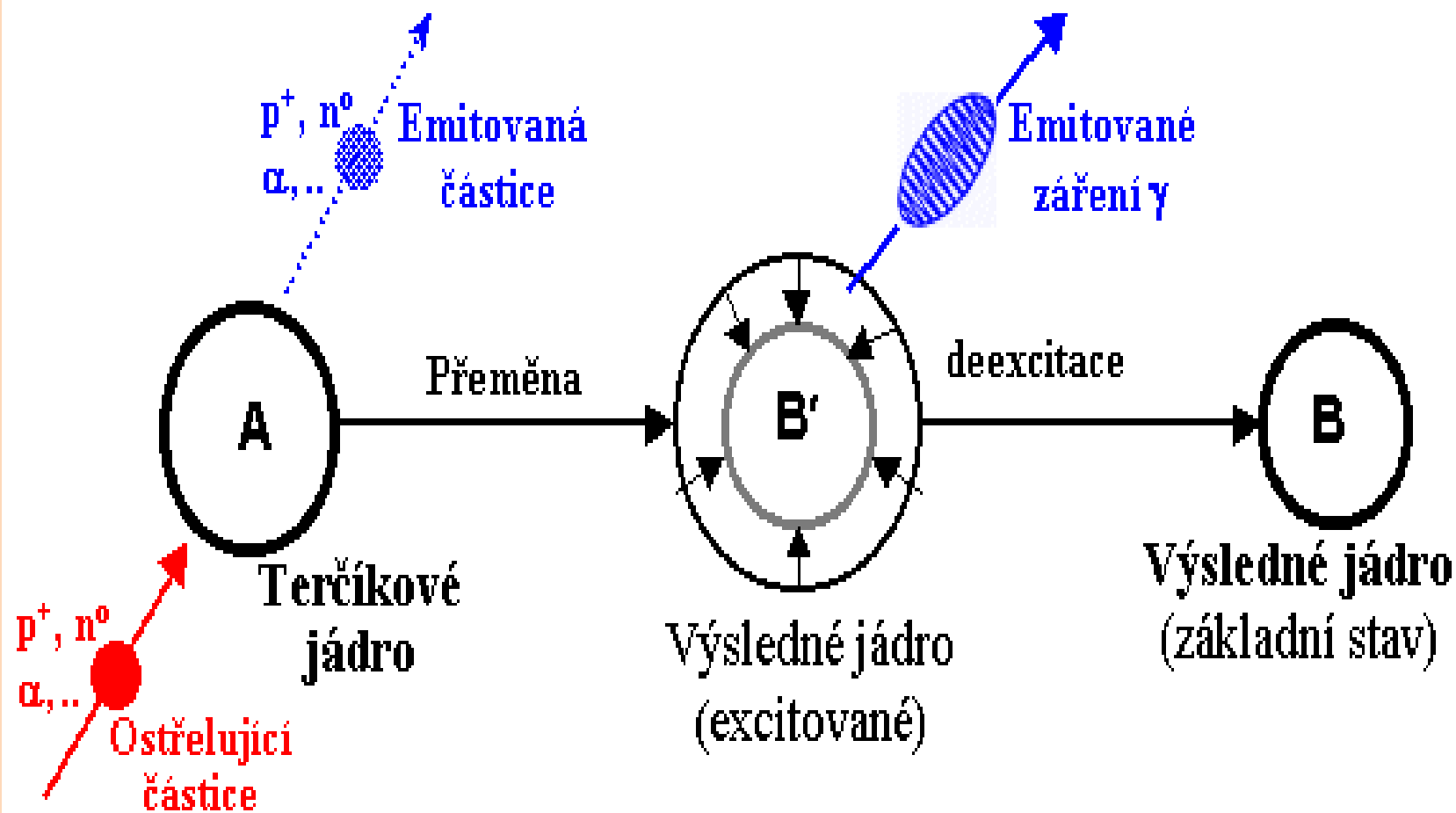
- Intenzita radioaktivního záření klesá s časem podle exponenciálního zákona, což využívá jaderná chronologie
- A)uhlíková metoda – z poměru obsahu ^{12}C : ^{14}C ve zkoumaném objektu se určí stáří různých archeologických a paleontologických objektů mladších než 60 000 let
- B)tritiová metoda – z poměru obsahu tritia a protonia ve zkoumaném objektu se určí stáří spodních vod a vín mladších než 60 let.

- záření beta a gama prostupuje materiálem a je tedy detegovatelné i za neprůhlednou překážkou – diagnostická gamagrafie – vyšetření srdce
- Záření které prostupuje materiálem, prostupuje různými druhy materiálu různě intenzivně – defektoskopie (hledání závad materiálu)
- Velká dávka radioaktivního záření způsobuje vážné poškození až smrt živých organismů, gama záření se využívá pro sterilizaci obvazového materiálu
- Nemocné buňky bývají radioaktivním zářením více poškozovány než buňky zdravé, léčba zhoubných nádorů ozařováním.

Jaderné reakce

Je to přeměna atomového jádra vyvolaná ostřelujícími částicemi – pochází z urychlovače částic

- a) Prostá přeměna – z jednoho velkého jádra vznikne jiné velké jádra
- b) Štěpná reakce – z jednoho jádra vznikne více menších jader
- c) Termonukleární reakce – zdroj zářivé energie hvězd



- Většina jaderných reakcí spočívá v tom, že terčíkové jádro je **ostřelováno** určitou částicí, která svou interakcí vyvolá změnu jádra a vyzáření nové částice; takovou reakci je možno zapsat jednoduchým schématem



kde **a** značí nalétající částici, **X** terčíkové jádro, **Y** jádro vzniklé v reakci, **b** emitovanou částici (může to být i foton), **Q** vyjadřuje energetickou bilanci, tj. uvolněnou energii při exotermické reakci nebo dodanou energii u endotermické reakce. Toto schéma se zkráceně zapisuje jako **X(a, b)Y**

- **Reakce vyvolané neutrony**

Vůbec nejsnadněji lze jaderné reakce vyvolat neutrony, které nemají elektrický náboj, nejsou jádru odpuzovány a proto většinou ochotně vstupují do jader i tehdy, když jsou pomalé (nejsou urychleny). Nejjednodušší neutronovou reakcí je prostý záchyt neutronu jádrem X, který již v jádře zůstane:



- **Reakce vyvolané protony**

K tomu, aby proton p^+ vnikl do jádra a mohl tam vyvolat jadernou reakci, musí být urychlen na poměrně vysokou kinetickou energii (řádově stovky keV), aby překonal odpudivé elektrické (Coulombovské) síly kladně nabitého jádra. Podle energie protonů může probíhat řada reakcí. Nejjednodušší z nich je radiační záchyt protonu (p, g):



Interakce záření při průchodu hmotou

- Při průletu různých druhů ionizujícího záření látkou dochází obecně k interakcím kvant záření s obalovými elektrony a s atomovými jádry. Mohou se přitom v principu uplatnit všechny tři interakce, které zde připadají v úvahu - silná, slabá a elektromagnetická interakce.
- **Čtyři základní fyzikální interakce**
Vzájemné působení mezi částicemi látky lze vysvětlit čtyřmi **základními fyzikálními interakcemi**. Na úrovni atomových jader a elementárních částic se dominantně projevují dvě interakce **krátkého dosahu**:
Silná interakce, důležitá zejména tím, že udržuje pohromadě atomová jádra.

- **Slabá interakce**, která se uplatňuje při vzájemných přeměnách neutronů a protonů za účasti neutrin, v praxi hlavně při radioaktivitě b. Určité druhy částic, které nazýváme **elektricky nabitě**, vykazují vzájemné silové působení popsané **interakcí elektromagnetickou**. Jsou-li tyto elektricky nabitě částice v klidu, působí mezi nimi přitažlivá nebo odpuzivá **elektrická síla** podle Coulombova zákona, jsou-li v pohybu, přistupuje ještě síla **magnetická**. Elektromagnetická interakce má **dlouhý dosah** (přesněji řečeno, dosah je nekonečný).
- Čtvrtá interakce, rovněž dlouhého dosahu, je **gravitační interakce**, která působí **univerzálně** mezi všemi částicemi, je **přitažlivá** a výrazně se projevuje u těles velké hmotnosti. Její silové projevy jsou v klasické fyzice popsány Newtonovým gravitačním zákonem, v relativistické fyzice Einsteinovými rovnicemi gravitačního pole.

- Snaha o sjednocení interakcí – první sjednocení úspěšně provedl Maxwell v roce 1864, kdy dokázal, že elektřina a magnetismus jsou jenom různými projevy elektromagnetické síly. V současnosti se fyzikové snaží o „teorii velkého sjednocení“, která by zahrnula elektroslabé i silné interakce a doufají, že dospějí až k „teorii všeho“, která pokryje všechny síly včetně gravitační.