

FYZIKA MIKROSVĚTA

KVANTOVÁ FYZIKA se zabývá mikrofyzikálními objekty.

- 1. Atomová fyzika** (fyzika elektronového obalu)
 - popisuje stavbu atomu a chemické vazby,
 - zařazuje prvky do periodické soustavy,
 - vysvětluje spektra prvků, emisi a absorpci světla.
- 2. Jaderná fyzika** se zabývá
 - stavbou atomových jader,
 - jadernými reakcemi,
 - radioaktivitou.
- 3. Fyzika elementárních částic**
 - studuje stavbu a reakce mikroobjektů.
- 4. Fyzika pevných látek**
 - se zabývá strukturou a vlastnostmi PL, které lze vysvětlit jen za pomoci kvantové fyziky.

1. ATOMY A MOLEKULY

Látky se jeví jako spojité, ale jsou dělitelné.

Atomisté – antičtí filozofové \approx 400 př. n. l. – Demokritos, Epikuros, Leukippos...
pouze spekulace – látky jsou dělitelné až na atomy (ty již nejsou dělitelné...)

Chemický atomismus (1803 J. Dalton – atomová teorie)

1. Prvky se skládají z nedělitelných atomů.
Atomy téhož prvku jsou stejné. Atomy různých prvků mají odlišné vlastnosti.
2. Při chemických reakcích se atomy přeskupují, ale nemění se, nevznikají ani nezanikají.
3. Při slučování atomů vznikají molekuly chemických sloučenin a v dané sloučenině připadá na atom jednoho prvku vždy stejný počet atomů jiného prvku.

Proust Joseph Louis

zákon stálých poměrů slučovacích

Dalton John

zákon násobných poměrů slučovacích

Gay-Lussac Louis

v reakci stejné nebo násobné objemy

Avogadro Amadeo

ve stejných objemech různých plynů je při stejném tlaku a teplotě vždy stejný

počet molekul - Avogadrova konstanta – určena experimentálně $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

- **látkové množství** $[n] = 1 \text{ mol}$.
- Vzorek stejnorodé látky má látkové množství 1 mol, obsahuje-li právě tolik částic (atomů, molekul, iontů aj.), kolik je atomů ve vzorku nuklidu ^{12}C o hmotnosti 12 g.
(1 mol látky obsahuje vždy přesně $6,023 \cdot 10^{23}$ částic)
- **atomová hmotnostní jednotka u, (konstanta.)** $m(u) = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1 \text{ u}$
hmotnost m_u je definována jako dvanáctina atomu nuklidu ^{12}C :
- **relativní atomová (resp. molekulová) hmotnost** udává, kolikrát je hmotnost dané částice větší než 1/12 hmotnosti nuklidu ^{12}C .
- **A_r relativní atomová hmotnost, M_r relativní molekulová hmotnost** $A_r(X) = \frac{m_X}{m_u}$ $M_r(Y) = \frac{m_Y}{m_u}$
bezrozměrná čísla, která udávají kolikrát je hmotnost částice (molekuly) větší než atomová hmotnostní konstanta.
- Všechny veličiny vztažené na jednotkové látkové množství se nazývají **molární veličiny**

Molární hmotnost

Molární objem

$$M_m = \frac{m}{n} \quad V_m = \frac{V}{n}$$

STAVBA ATOMU

Pozorované jevy v 19. stol.: katodové paprsky

- ionizují plyny
- vyvolávají světélkování
- zahřívají látky
- pronikají Al plíškem
- odchylují se v el. a mag. poli
- při dopadu na anodu vyvolávají RTG záření

Objev elektronu

1897 – hypotéza o elektronu **Thomson Joseph John**

- určil měrný elektrický náboj, q_e/m_e (záporný el. náboj)
- uvolňují se z katody, záporně nabitě zinkové destičky po dopadu světla, z rozžhaveného kovového drátu, při radioaktivním rozpadu beta

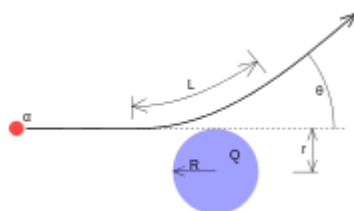
1910 **Millikan Robert** – millikanův pokus - kapičky oleje nesoucí elektrický náboj se vznášejí mezi deskami nabitého kondenzátoru → elektrický náboj je kvantován

MODELY ATOMU

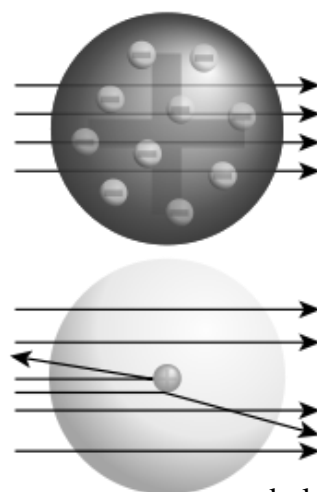
1. Thomsonův model (puďinkový)

kladný náboj je rozložen rovnoměrně v celém objemu atomu, záporné elektrony jsou rozmístěny jako rozinky.

2. Rutherfordův model (planetární) Ernest (1871 – 1937)



založený na experimentu: rozptyl radioaktivních α částic při průchodu zlatou fólií



kolem

1. téměř veškerá hmotnost je soustředěna v jádře (ve středu atomu), jako planety krouží elektrony v elektronovém obalu
2. kladný náboj jádra = zápornému náboji elektronového obalu; atom je neutrální

Předpokládal i existenci neutrálních částic. (Neutrony objeveny 1932. James Chadwick – NC 1935)

$Z \geq 1$ protonové (atomové) číslo, pořadové číslo v periodické tabulce

$N \geq 0$ neutronové číslo

A – nukleonové (hmotnostní) číslo

X – chemický prvek (tvořen atomy s tímž nábojem jádra Z , e bez ohledu na hmotnost)

Izotopy – atomy téhož prvku, liší se počtem N neutronů (hmotností). Stejně Z .

Nuklidy – stejné A i Z . (Př. lehký a těžký vodík.)

2 nuklidy stejného prvku nelze chemicky odlišit, jen fyzikálně na základě rozdílných hmotností.

$$A = Z + N$$



Porovnání hmotností | Náboj

$$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

–

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

(hmotnostní spektrometry – k určování hmotnosti nuklidů)

KVARKY

- elektron je dále nedělitelný, protony a neutrony jsou složeny z kvarků

1961 NC Robert **Hofstadter** – ostřeloval svazkem elektronů protony a neutrony

- uvnitř protonu a neutronu jsou tři shluky elektrického náboje + i - takové, že výsledný náboj
 - protonu je kladný
 - neutronu nulový

Kvarková hypotéza předpověděla existenci dalších částic. Zatím se nepodařilo kvarky z nukleonů uvolnit. Asi nemohou samostatně existovat. (Jako jeden konec provázku...)

VAZEBNÁ ENERGIE

- Jádru a elektrony jsou v atomu vázány přitažlivými elektrickými silami.
- Nukleony jsou v jádře vázány jadernými silami.

Vazebná energie E_v = práci, kterou bychom museli vykonat, abychom soustavu rozložili na jednotlivé části.

- měříme v elektronvoltech $1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{J}$
- každé změně energie odpovídá změna hmotnosti

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

Je-li vazebná energie soustavy

A. kladná, soustava je stabilní

- k rozložení na části musíme dodat energii
- po rozložení bude klidová hmotnost větší, než původní klidová hmotnost soustavy
- složením poklesne hmotnost a uvolní se energie

$$\sum_k m_{0k} > m_{\text{soustavy}}$$

B. záporná, soustava je nestabilní

- rozpadem se uvolní energie
- součet klidových hmotností částí je menší než hmotnost soustavy
- chceme-li opět složit, musíme dodat energii

$$\sum_k m_{0k} < m_{\text{soustavy}}$$

hmotnostní úbytek – úbytek klidové hmotnosti

- soustava je tvořená k částicemi o hmotnostech m_i
- soustava jako celek má hmotnost m

$$\sum_{i=1}^k m_i = m_1 + m_2 + \dots + m_k$$

B při chemických reakcích je neměřitelně malý $\approx 10^{-36}\text{kg}$.

$$E_v = B \cdot c^2$$
$$B = (m_1 + m_2 + \dots + m_k) - m$$

$$E_r = [(m_1 + m_2 + \dots + m_n) - (m'_1 + m'_2 + \dots + m'_m)]c^2$$

n částic, které do reakce vstupují m částic, které z reakce vystupují

Energetická bilance se vyjadřuje **energií reakce** E_r

- **exoenergetická reakce** - E_r je kladná, energie se uvolňuje
- **endoenergetická reakce** - E_r je záporná, (disociační) energie se váže do struktur

Vazebná energie nukleonů (jaderná energie) je řádově 10^6 větší než energie chemická

Vazebná energie kvarků je v řádech GeV.

$$m_e c^2 = 0,511\text{MeV}$$
$$m_p c^2 = 938,28\text{MeV}$$
$$m_n c^2 = 939,57\text{MeV}$$

2. POHYB V MIKROSVĚTĚ

Elektromagnetické záření vydávají všechna tělesa. Při dopadu na jiná tělesa se záření pohltí nebo odrazí.

Rovnovážné záření – záření černého tělesa

- rovnováha mezi vyzařováním a pohlcováním záření
- vzniká v uzavřené dutině se zahřátými stěnami – peci
- př. Slunce vyzařuje rovnovážné záření o teplotě 6000 K
- spektrum
 - závisí na teplotě (červené, oranžové, bílé), ne na chemickém složení
 - je spojité
 - má různou intenzitu (která roste s T^4 – Stefanův-Boltzmanův zákon)
 - maximální energie je vyzařována na určité vlnové délce (s rostoucí T klesá λ – Wienův posunovací zákon)
 - experimentálně ověřeno

• PLANCKOVA KVANTOVÁ HYPOTÉZA (NC 1918)

Elmg. vlnění je vyzařováno nebo pohlcováno atomy vždy po celistvých dávkách – (kvantech) energie.
 ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J Planckova konstanta)

$$E = h \cdot f$$

Energie je úměrná frekvenci.

• FOTOELEKTRICKÝ JEV - FOTOEFEKT

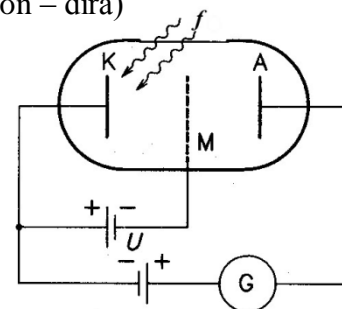
Vnitřní fotoelektrický jev

elektrony uvolněné z vazeb zůstávají uvnitř látky (polovodiče) – generace elektron – díra

Vnější fotoelektrický jev

uvolňování elektronů z látky působením elektromagnetického záření.

Záření dopadá na kovovou katodu, uvolňují se elektrony, které dopadají na anodu. Obvodem protéká el. proud.



Zákony fotoefektu

1. Rychlost emitovaných elektronů (tedy i E_k)
 - **nezávisí na intenzitě** dopadajícího záření,
 - **závisí na frekvenci a materiálu katody.**
2. Pro každý kov existuje **mezní frekvence f_0** dopadajícího záření. (Mezní vlnová délka λ_0 .) **Elektron se uvolní, je-li $f \geq f_0$.**
3. Je-li $f > f_0$, pak proud protékající obvodem je přímo úměrný intenzitě dopadajícího záření.

Einsteinova teorie fotoefektu (1921 NC)

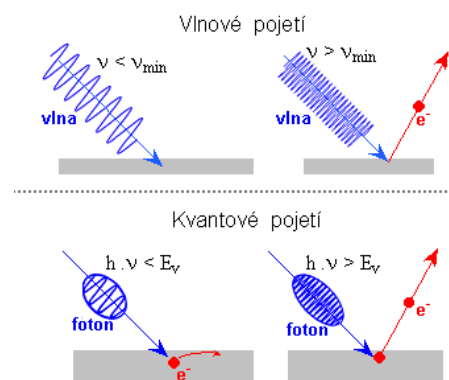
Elmg. vlna se chová jako proud částic – světelných kvant – fotonů.

Fotony

- ve vakuu se pohybují rychlostí c
- klidová hmotnost je nulová
- mají energii
- mají hybnost

$$E = h \cdot f = h \frac{c}{\lambda}$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = h \frac{f}{c} = m \cdot c$$



Při fotoefektu foton odevzdá celou svou energii jedinému elektronu v kovu.

Zbytek je jeho kinetická energie.

E energie fotonu

$$E = W_v + E_k$$

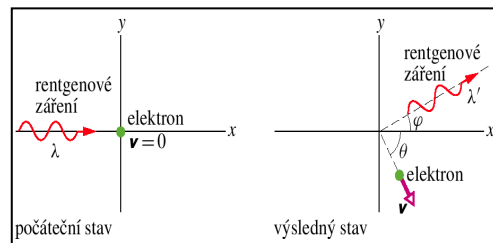
W_v výstupní práce nutná k uvolnění elektronu

E_k kinetická energie elektronu

$$h \cdot f = h \cdot f_0 + \frac{1}{2} m_e v^2$$

Počet uvolněných elektronů (velikost proudu) závisí na počtu kvant, tedy na intenzitě záření.

- **COMPTONŮV JEV** (potvrdil existenci fotonů.)
je pružný rozptyl fotonů RTG záření na volných elektronech
Rozptyl fotonu lze pokládat za pružnou srážku dvou částic
a ze zákona zachování energie plyne: $h \cdot f = h \cdot f' + E_k$
Platí tedy $f' < f$, $\lambda' > \lambda$.



Využití fotoefektu

- optoelektrické zařízení,
- snímací elektronky televizních kamer,
- sluneční baterie,
- expozimetry,
- počítání výrobků

2 TEORIE PODSTATY SVĚTLA

Huygensova vlnová – světlo je vlnění

vlnová povaha – záření je elektromagnetické vlnění

- ohyb
- interference
- lom

Newtonova korpuskulární – světlo je proud částic

částicová povaha – záření má charakter částic, fotonů

- Planckova kvantová teorie
- Einsteinův fotoefekt
- Comptonův jev

Tento rozpor se nazývá korpuskulárně vlnový dualismus.

VLNOVÉ VLASTNOSTI ČÁSTIC

- **Faraday** – proměnné magnetické pole vytváří pole elektrické
- **Maxwell** předpokládal – proměnné elektrické pole vytváří pole magnetické

Světlo je vlna, má energii a hybnost, přenáší se pomocí částic.

Louis de Broglie předpokládal (1924) – částice látky (elektrony, atomy, molekuly)

s nenulovou klidovou hmotností mají vlnové vlastnosti, tedy λ .

Vlnění částic s nenulovou klidovou hmotností

se označuje jako **de Broglieho vlny**.

$$f = \frac{E}{h} = \frac{m \cdot c^2}{h}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Experimentální potvrzení de Broglieho hypotézy:

G. Davisson, L. Germer (1927) při rozptylu elektronů na monokrystalu niklu. Pomocí de Broglieho vln se dá určit pravděpodobnost, se kterou se částice bude nacházet v určitém místě prostoru.

KVANTOVÁ MECHANIKA

Popisuje stav mikročástic pomocí vlnové funkce $\Psi(x, z, y, t)$ (Ne polohou a hybností).

Schrodingerova rovnice (hustota pravděpodobnosti výskytu) druhá mocnina vlnové fce. – pravděpodobnost, že se částice v čase t nachází na místě xyz .

Vlnové vlastnosti způsobují, že pohyb částic má pravděpodobnostní charakter.

- Částice se nepohybují po určitých trajektoriích určitými rychlostmi.
- Výsledek jejich pohybu můžeme pouze předvídat.

Heisenbergova relace (princip) neurčitosti

- mikročástici nelze současně přiřadit polohu a hybnost.
(Je-li hybnost určená přesně, nelze určit polohu a naopak.)
- Oblast s největší pravděpodobností výskytu je tzv. atomový orbital.
- Pohybuje-li se částice v omezeném prostoru, vedou její vlnové vlastnosti ke kvantování energie.
- Stavů s danou hodnotou energie říkáme kvantový stacionární stav.

3. ATOMOVÁ FYZIKA

- planetární model odporoval zákonům klasické fyziky.
 - Elektron pohybující se po kružnici kolem jádra by vyzařoval spojité spektrum elektromagnetického záření, tím by ztrácel energii, přibližoval by se k jádru a měl by s ním splynout.
 - Atom by byl nestabilní!
- Závěr - atomy jsou stabilní a mají čárové spektrum.

ATOM VODÍKU

Bohrův model

1. Atom se může nacházet pouze v jistých kvantových stavech. Každý kvantový stav má přesně určenou hodnotu energie.
2. Při přechodu atomu ze stavu s energií E_n do stavu s nižší energií E_m vyzařuje atom záření s frekvencí f_{nm} .

$$hf_{nm} = E_n - E_m$$

(Při pohlcení takového záření přejde atom ze stavu o energii E_m do stavu s E_n .)

Základní stav $n = 1$ $E_1 = -13,53 \text{ eV}$ ($1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)

Excitovaný stav $n > 1$

Bohrův model je přechodem mezi mechanickým a kvantovým modelem.

Bohrův model (opravený na eliptické dráhy elektronů) →

Kvantový stacionární stav je popsán **kvantovými čísly**.

1. **hlavní kvantové číslo n** – určuje energii a velikost atomového orbitálu
 $n = 1, 2, 3, \dots$ slupky K L M N
(oblast s vysokou 90% - 99% pravděpodobností výskytu elektronů)
2. **vedlejší kvantové číslo l** – určuje tvar atomového orbitálu
 $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$ podslupky s p d f g h (vyjadřuje orbitální moment hybnosti)
3. **magnetické kvantové číslo m** – určuje prostorovou orientaci orbitálu
 $m = 0, +1, +2, \dots, +l$ ($2l+1$) hodnot (vyjadřuje magnetický dipólový moment)
4. **spinové magnetické kvantové číslo m_s** – zdvojnásobuje počet kv. stavů
 $m_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ (vyjadřuje moment hybnosti elektronu v orbitálu)

PERIODICKÁ SOUSTAVA PRVKŮ

Princip nerozlišitelnosti částic

Elektrony nelze odlišit. Kvantová čísla popisují stavy, ne elektrony.

Pauliho vylučovací princip - v daném systému nemohou existovat současně 2 elektrony ve stejném kvantovém stavu, tzn. se stejnými kvantovými čísly.

- platí pro fermiony = elektrony, protony, neutrony
- neplatí pro bosony = fotony (nelze u nich vytvářet struktury)

Vysvětluje zákonitosti periodické soustavy prvků.

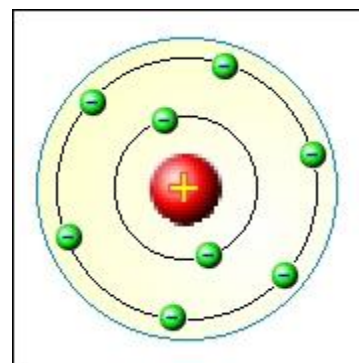
Princip minimální energie (pro stavbu el. obalu)

Energetické hladiny s nižší energií se obsazují dříve než hladiny s vyšší energií.

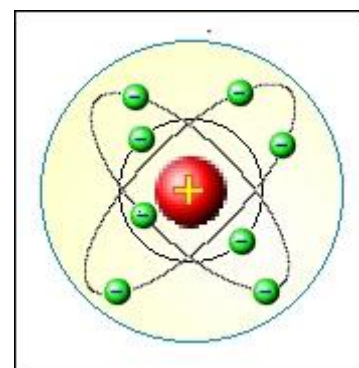
Valenční vrstva – poslední vrstva, kde jsou tzv. valenční elektrony, které určují chemické vlastnosti prvku.

Hladina s vyšším n může mít menší energii než s nižším n .

Elektronová konfigurace - je celková soustava elektronů, které vytvářejí elektronový obal. Znázorňuje se rámečkovými diagramy.



$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$



LASER

Při vzájemné interakci světla s látkou může nastat:

1. absorpce světla

Látka pohlcuje dopadající fotony světla a elektrony v atomech látky přecházejí na vyšší energetické hladiny.

2. spontánní (samovolná) emise světla

Elektrony samovolně přecházejí z vyšší energetické hladiny na nižší.
Tento děj není vyvolán vnějším působením.

3. stimulovaná (vynucená) emise světla

Nastává u excitovaných atomů látky vnějším působením.

Přechod z excitovaného stavu do stavu s nižší energií je vyvolán působením elektromagnetického pole.

- Má rezonanční charakter, může ji vyvolat jenom foton se stejnou frekvencí, jakou má vznikající foton.
- Stimulující foton a vznikající foton mají stejný směr, frekvenci a fázi, jsou koherentní.
- Dopadající záření se procesem stimulované emise záření zesiluje.

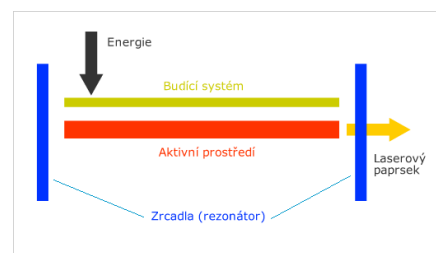
$$E_{\text{stimulujícího fotonu}} = E_{\text{vznikajícího fotonu}}$$

LASER - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

- pracuje na principu stimulované emise záření

Princip:

- zdroj energie - výbojka, která svítí do tzv.
- aktivního prostředí - látka, která má oddělené kvantové energetické hladiny elektronů.
- Bývá umístěná v rezonátoru, prostoru mezi dvojicí zrcadel.
- Jedno z nich odráží veškeré světlo a druhé bývá polopropustné
- Energie zdroje vybudí elektrony v aktivním prostředí, které přejdou do vyšší energetické hladiny.
- Při přechodu na nižší energetickou hladinu dochází k uvolnění fotonů. Tok fotonů je díky rezonátoru stále zesilován, stimulován zdrojem energie a vzniká výsledný laserový paprsek.



Rozdělení laserů podle různých hledisek

1. podle aktivního prostředí

- plynový laser – plyn nebo směs plynů
- pevnolátkový laser – monokrystal
- diodový laser – polovodič (1962)
- kapalinový laser
- plazmatický laser

2. podle vlnových délek optického záření, které vysílají

- infračervené lasery
- lasery viditelného pásma
- ultrafialové lasery
- rentgenové lasery

3. podle délky impulsu

- lasery s dlouhými impulsy, krátkými, s velmi krátkými impulsy (pikosekundové, femtosekundové)

Parametry laseru

1. **Vlnová délka** - termální (IR), lasery pracující ve viditelném světle, v UV oblasti
2. **Výkon** laseru je množství vyzářené energie za určitý čas, označuje se ve wattch (W).
Množství vyzářené energie se udává v joulech (J).
3. **Účinnost** je poměr mezi množstvím energie dodané do zařízení a množstvím energie, které z něho vystupuje. Do laseru musíme přivádět více energie, než jí získáme, ale vyplatí se to. Laser opouští paprsek zvláštních a pro nás výhodných vlastností.

Jsou to monochromaticnost, koherence (uspořádanost), malá divergence (rozbíhavost).

LASERY - uplatnění

- v **průmyslu** (např. řezání, svařování, obrábění materiálů)
- **geodézii** (přesné měření), 1969 měření vzdálenosti Měsíce od Země
- **lékařství** (lечение očních vad, léčba problematické pleti, řezání a vypalování v chirurgii), 1961 jím byl poprvé zničen nádor
- **armádě** Vietnam 1967 (navádění raket –1991 v Perském zálivu.)
- při ochraně soukromí (snímání otisků prstů, sítnice nebo při zabezpečení důležitých objektů).
- světelné efekty – laserová show - 1971
- holografie – 1971
- v obchodech při čtení čárových kódů – 1974
- laserové tiskárny – 1975 IBM
- optické mechaniky CD 1984, DVD 1996, Blu-ray 2008
- přenos informací - 1988 je Severní Amerika spojena s Evropou optickým kabelem
- při přednáškách a prezentacích (ukazovátka)
- optické myši

4. JADERNÁ FYZIKA

$Z \geq 1$ protonové (atomové) číslo, pořadové číslo v periodické tabulce, $Q = Z \cdot e$

$A > 1$ nukleonové (hmotnostní) číslo

$N \geq 0$ neutronové číslo

X – chemický prvek tvořen atomy s tímž nábojem jádra ($Z \cdot e$) bez ohledu na hmotnost

$$A = Z + N$$



1. VLASTNOSTI ATOMOVÝCH JADER

$$R = R_0 \cdot A^{1/3}$$

$$R_0 = 1,3 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

- **rozměry** – zanedbatelné ve srovnání s atomem (10^{-15} m),
 - pro poloměr R atomového jádra s nukleonovým číslem A na základě Rutherfordova pokusu vychází závislost \rightarrow
 - objem jádra je přímo úměrný A – hustota všech jader je srovnatelná tzv. – kapkový model jádra (hustá kapalina) navržený Bohrem

- **jaderné síly**

- pouze přitažlivé, krátkodosahové (10^{-15} m),
- působí mezi nukleony
- projevují „nasycení“ - působí jen na malý počet okolních nukleonů

- **vazebná energie jádra** – E_j – je energie, kterou je třeba jádru dodat, aby se rozdělilo na jednotlivé nukleony = energii, která by se uvolnila při vzniku jádra z jednotlivých nukleonů m_j – skutečná, exp. zjištěná hmotnost

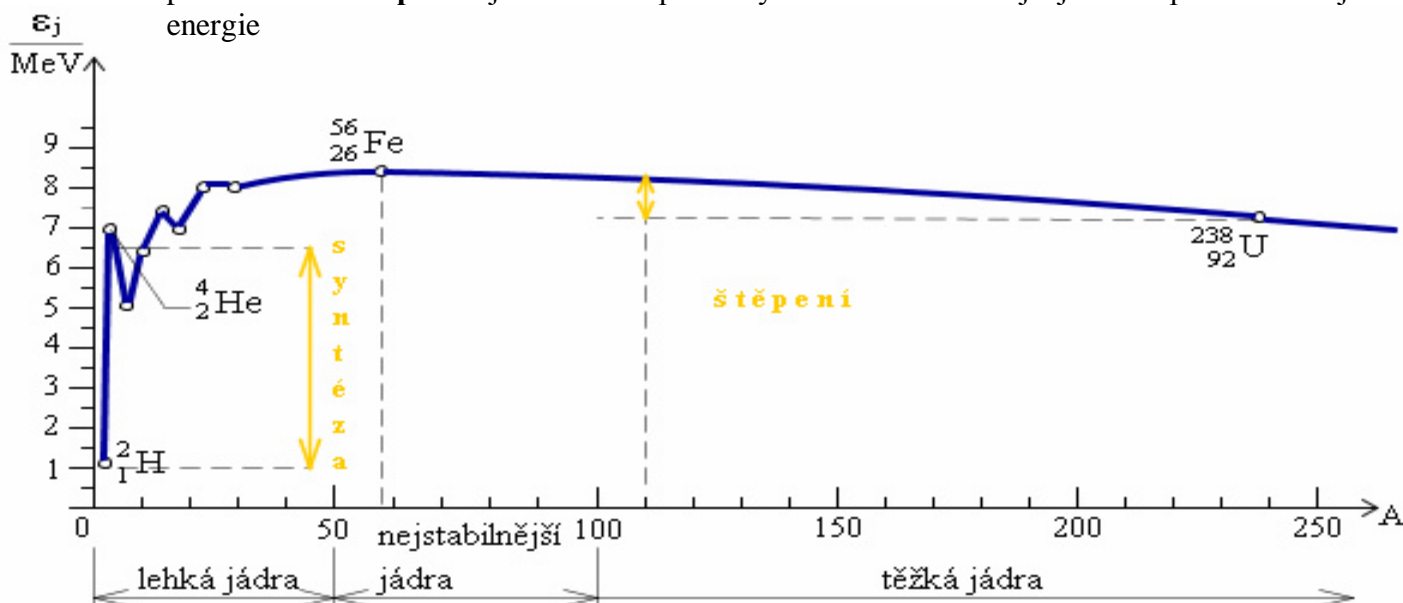
$$E_v = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_j) c^2$$

$$\varepsilon_j = \frac{E_v}{A}$$

- **ε_j - vazebná energie na jeden nukleon**

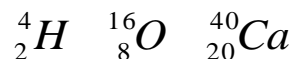
- **závislost ε_j na nukleonovém čísle**

- maximální pro $A=56$ – jádro železa
- pro $A < 56$ lze **spojením** lehčích jader vytvořit jádra těžší (stabilnější) a uvolnit energii
- pro $A > 56$ lze **štěpením** jader těžších prvků vytvořit lehčí stabilnější jádra a opět se uvolňuje energie



- známe kolem 2000 nuklidů, v přírodě 264 stabilních, 50 nestabilních

- **stabilní jádra** mají určitý poměr Z a N , tzv. magická čísla 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126



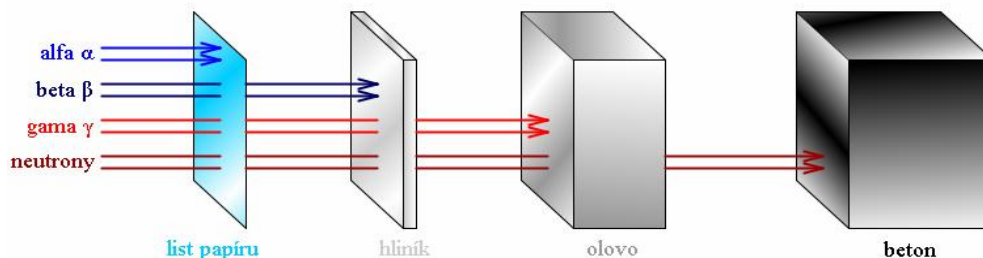
- **slupkový model jádra** – nukleony mohou být jen v určitých kvantových stavech (stejně jako elektrony) a při přechodu mezi nimi vyzařují fotony záření γ

2. RADIOAKTIVITA

- schopnost atomových jader vysílat záření, přeměňovat se na jádra jiného prvku či ztrácet svou energii
V přírodě existují stabilní nuklidy a radionuklidy – nestabilní nuklidy, které vyzařují záření α , β , γ .

- přirozené radionuklidy (v přírodě asi 50)
 - A. H. Becquerel 1896, Marie a Pierre Curieovi 1898
- umělé radionuklidy (připravené člověkem pomocí jaderných reakcí – asi 1500)

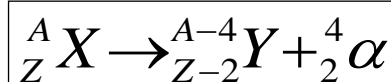
Rozlišujeme přirozenou a umělou radioaktivitu.



Druhy radioaktivního záření

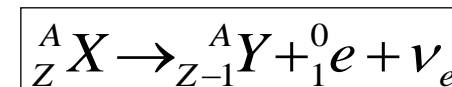
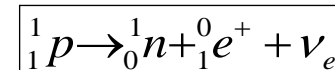
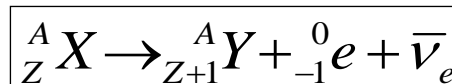
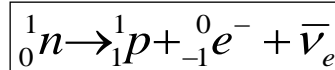
1. Záření α

- tok jader hélia (částic α) $\boxed{{}_2^4\text{He}}$
- pohybují se rychlostí $0,1c$ - mají velkou kinetickou energii, ionizační účinky
- vychylují se v el. a mag. poli
- jsou pohlcovány listem papíru nebo pár centimetry vzduchu
- záření α je nebezpečný při vdechnutí nebo požití
- při vyzáření α částice z jádra dojde k přeměně:



2. Záření β

- tok elektronů β^- nebo pozitronů β^+ z jádra
- β^- vzniká přeměnou neutronu na proton uvnitř jádra elektronové antineutrino
- β^+ vzniká přeměnou protonu na neutron uvnitř jádra elektronové neutrino
- rychlost se blíží c
- vychylují se v el. a mag. poli
- jsou pohlcovány tenkým plechem (Al)



3. Záření γ

- je nejpronikavější, má ionizační účinky
- elektromagnetické záření s velmi krátkou vlnovou délkou $< 10^{-10}$ m
- lze jej oslabit silnou vrstvou materiálu obsahujícího jádra těžkých prvků
- uvolňuje z látek nabitě částice (důsledek fotoefektu)
- neexistuje samostatně, je doprovázeno zářením α a β
- nemá elektrický náboj, a proto nereaguje na elektrické pole

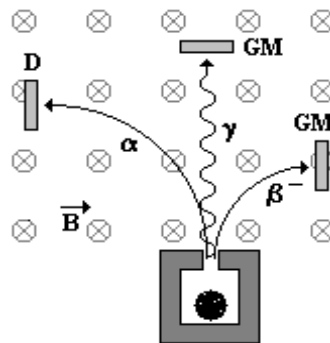
4. Neutronové záření

- je proud letících neutronů (nenese náboj, je velmi pronikavé)
- vzniká v jaderných reaktorech nebo při jaderné explozi
- reaguje pouze s atomovými jádry
- k ochraně používáme materiály obsahující jádra H a atomů lehkých prvků – vodu, těžkou vodu, parafin, beton

Vychylování v magnetickém poli

D – fotografická deska

GM – Geigerův-Mullerův počítač
(Flemingovo pravidlo levé ruky...)



Zákony radioaktivních přeměn

Radioaktivní nuklid se mění na stabilní nuklid a vysílá při tom záření α nebo β .

Aktivita A – počet radioaktivních přeměn za 1 s

$$[A] = \text{Bq becquerel} \quad 1 \text{ Bc} = 1 \text{ přeměna} / 1 \text{ s}$$

Experimentálně bylo zjištěno, že aktivita vzorku klesne po určité době T na polovinu.

$A(0)$ aktivita v $t = 0$

$A(t)$ aktivita v t

$$t = T \quad A(T) = A(0) \cdot \frac{1}{2}$$

$$t = 2T \quad A(2T) = A(0) \cdot \frac{1}{4}$$

$$A(t) = A(0) \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

$$A(t) = A(0) e^{-\lambda t}$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

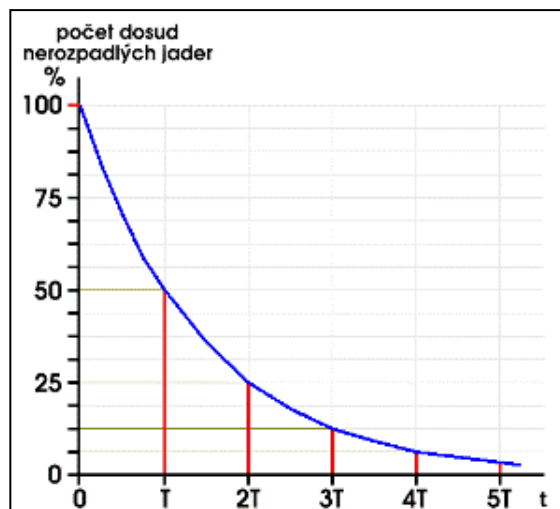
Počet jader klesá jako aktivita.

Zákon radioaktivní přeměny

N – klesá exponenciálně s časem

λ – přeměnová konstanta $\frac{1}{2} = e^{-\ln 2}$

$e = 2,718$ základ přirozených logaritmů



T – poločas rozpadu (přeměny) je doba,

za kterou se rozpadne polovina původního počtu jader N_0 . (ms až 10^8 let)

Radioaktivní přeměny mohou probíhat řetězovitě – až vznikne nuklid stabilní.

Rozpadové řady – posloupnosti radioaktivních přeměn

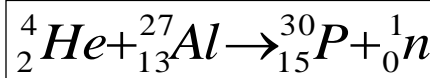
- **Uranová**, začínající ^{238}U a končící ^{206}Pb
- **Aktinuranová**, začínající ^{235}U a končící ^{207}Pb
- **Thoriová**, začínající thoriem ^{232}Th a končící ^{208}Pb
- **Neptuniová**, (umělá) začínající plutoniem ^{241}Pu a končící bismutem ^{209}Bi

UMĚLÁ RADIOAKTIVITA (1934)

při přeměně vznikají v přírodě neexistující nuklidy

- manželé Curieovi s dcerou: NC 1935
ostřelováním hliníku částicemi α vznikne v přírodě
neexistující nuklid fosforu a neutron

P – umělý radionuklid, poločas rozpadu 130 s \rightarrow vznikne stabilní izotop křemíku



Využití radionuklidů:

Zdravotnictví

- radiační diagnostika (zobrazení funkce orgánů),
- léčení nádorů (zářiče gama),
- sterilizace (zdravotní materiál)
- vyšetření CT - počítačová tomografie (radiodiagnostický přístroj, který za pomoci rentgenového záření a výpočetní techniky zobrazuje struktury ve vyšetřované oblasti pacienta),

Zemědělství

- záření ničí škůdce (25 – 30% znehodnotí hniloba a plísň),
 - mutace rostlin (ozářují se semena – může vzniknout nová odrůda),
 - likvidace škodlivého hmyzu (ozáří se samečci – ti jsou pak sterilní a pustí se do přírody – nic neoplodní),
- lze sledovat koloběh látek v živých organismech

- hnojiva se označí (pak lze zjistit, kde se hnojivo ztrácí a jaká je jeho účinnost),
- lesnictví (sazenice se obalují do ozářeného polypropylenu (snadněji se rozloží v přírodě))

Průmysl

- válcovny, průtoky, směsi, filtrace, úniky, koroze,
- kontrola opotřebení (porušení stěny),
- tloušťkoměry a hladinoměry,
- radiografie (podobně jako rentgen odhalí dutiny a slabá místa),
- radiační polymerace (mění vlastnosti materiálů – pevný pružný, odolný, tvrdost, leštitelnost, nasákavost, nemačkvost, barva),
- vodohospodářství (prosakování),

Geologie – z vrtu se určí obsahy prvků,

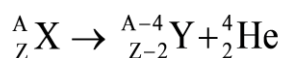
Archeologie – stáří hornin (dřeva, kostí, textilií, barev na obrazech, mincí),

Elektrárny – samostatně, lodě, ponorky, rakety,

Jaderné zbraně

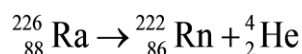
Přeměna prvků při radioaktivním rozpadu

Při rozpadu α emituje radioaktivní jádro částici, která obsahuje dva protony a dva neutrony.



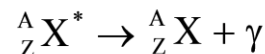
Nové jádro má o dva protony a dva neutrony méně.

Příkladem zářiče α je rádium:



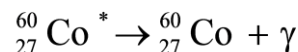
Přeměna prvků při radioaktivním rozpadu

Při rozpadu γ emituje radioaktivní jádro vysokoenergetický foton γ .



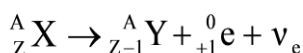
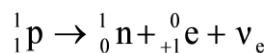
V jádře se nezmění počet nukleonů a protonů.

Příkladem zářiče γ je nestabilní kobalt:



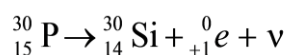
Přeměna prvků při radioaktivním rozpadu

Při rozpadu β^+ emituje radioaktivní jádro pozitron. V jádře nastává rozpad protonu na neutron a elektronové neutrino.



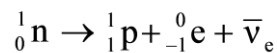
Nové jádro má o jeden proton méně.

Příkladem zářiče β^+ je nestabilní fosfor:



Přeměna prvků při radioaktivním rozpadu

Při rozpadu β^- emituje radioaktivní jádro elektron. V jádře nastává rozpad neutronu na elektron a elektronové antineutrino.



Nové jádro má o jeden proton víc.

Příkladem zářiče β^- je nestabilní uhlík:



3. JADERNÁ REAKCE

je přeměna jádra vyvolaná vzájemným působením s jinými jádry nebo částicemi.

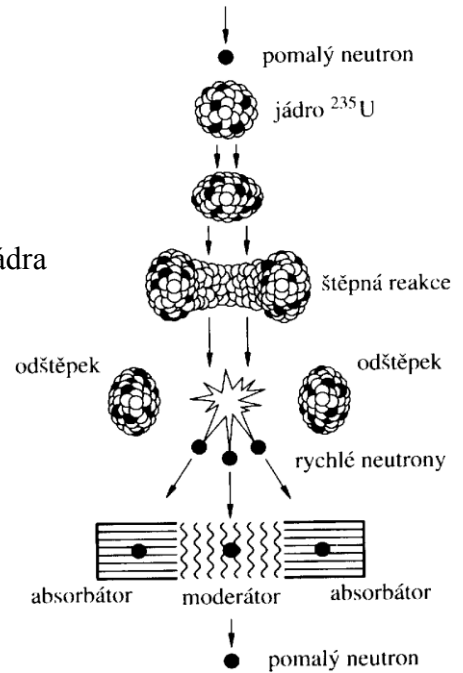
Endoenergetické reakce – jsou JR při kterých je třeba dodat energii

Exoenergetické reakce – jsou JR při kterých se energie uvolňuje (v energetice)

Rozdělení

1. **Jaderné štěpení** – dochází k rozštěpení atomového jádra na nová lehčí jádra, tzv. fragmenty.

- zpomalený neutron může rozštěpit jádro na dvě stejně těžká jádra
- látka, která zpomaluje neutrony, musí obsahovat lehká atomová jádra (voda, těžká voda, parafín, grafit) = moderátor
- uvolňované neutrony mohou po zpomalení štěpit další jádra: vzniká **řetězová JR**, podmínkou je dostatek štěpného materiálu tzv. kritické množství (uran – 50 kg, plutonium 10 kg)
- existují jen 4 nuklidy, u nichž je možné spustit řetězovou JR: uran 233, **uran 235** – vyskytuje se v přírodě, plutonium 239, plutonium 241
- **neřízená řetězová reakce** – nastává při nadkritickém množství (na principu spojení dvou podkritických hmotností v nadkritickou je založena konstrukce jaderné bomby)



2. **Jaderná syntéza (fúze)** – dochází ke slučování lehčích jader na jádra těžší

- je třeba překonat elektrostatické síly mezi jádry a sblížit jádra na jadernou vzdálenost
- to se může stát, pokud jádra urychlíme a dodáme jim tzv. aktivační energii, např. zahřejeme je na 10^8 K tzv. **termojaderná (termonukleární fúze)**

Při jaderných reakcích platí zákon zachování

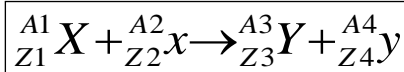
- energie
- hmotnosti
- náboje
- počtu nukleonů

Schématický zápis JR

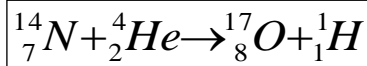
X – jádro vstupující do reakce

x – částice nebo 2. jádro vstupující do reakce

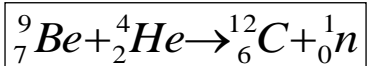
Y,y – produkty reakce



První JR – Rutherford 1919



Objev neutronu (1930)



4. JADERNÁ ENERGETIKA

1. jaderný reaktor – 1942 – Chicago – Enrico Fermi \approx přirovnání: ovládnutí ohně v historii

1. jaderná elektrárna – 1954 - Obninsk u Moskvy – výkon 5 MW

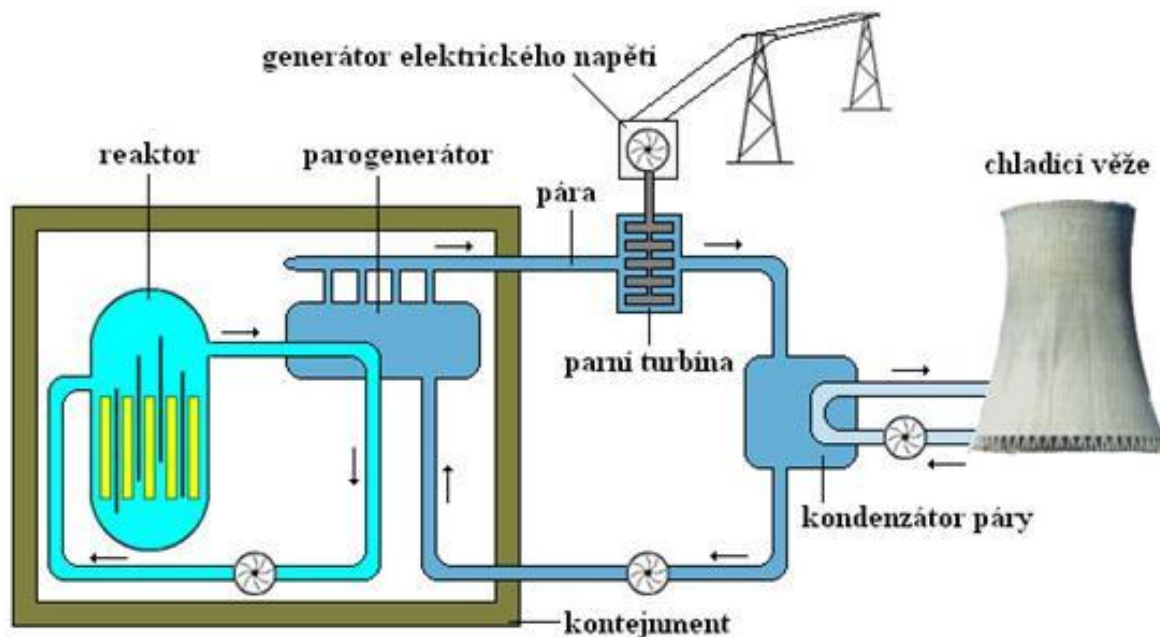
ČSSR

- Jaslovské Bohunice – 100 MW
- Dukovany – 1760 MW – 20% celkové produkce 2000
- Temelín – 1000MW

Jaderná elektrárna

- V jaderném reaktoru je palivo (obohacený uran) umístěno v **aktivní zóně**.
- Neutrony zprostředkující reakci jsou zpomalovány v **moderátorech** (voda, grafit,..)
- Uvolněná energie je odváděna **chladičem** (voda, těžká voda, helium) a použita k výrobě páry pro turbínu a elektrické energie.
- Řízení probíhá díky **regulačním tyčím** vyrobených z materiálů pohlcujících neutrony. (kadmium, borová ocel)

-
- V reaktoru se štěpením jader uranu uvolňuje energie.
 - Primární okruh - odvádí teplo vyrobené v reaktoru a odevzdává ho sekundárnímu okruhu.
 - Parní generátor – vyrábí se v něm pára pro turbínu.
 - Sekundární okruh – slouží k přenosu energie páry a k její přeměně na otáčivý pohyb turbíny.
-



Tokamak – využití jaderné fúze – prstencová komora tvořící sekundární závit transformátoru
Anglie, USA, Japonsko, Francie, Rusko

Ochrana

- odstínění vrstvou materiálu
- měření povolených hodnot dozimetrem

Jaderná elektrárna Dukovany

1. provozovaná jadernou elektrárnou na území Česka.

V roce 2006 vyrobila 14 TWh elektrické energie, asi 20 % z celkové spotřeby elektřiny v České Republice, Pro potřeby elektrárny byla vybudována Vodní nádrž Dalešice.

Jaderná elektrárna Temelín,

elektrárna s největším instalovaným výkonem v Česku.

má instalované dva bloky z původně plánovaných čtyř, každý s elektrickým výkonem 1000 MW.

V roce 2006 vyrobila 12 TWh elektrické energie, přibližně 14 % výroby elektřiny v Česku

5. ČÁSTICOVÁ FYZIKA

Lidské smysly nevnímají jaderné záření ani letící částice.

detektory částic - přístroje schopné zachytit, odhalit a zaznamenat jaderné záření

Rozdělení:

detektory plynové – naplněné plynem a v něm dochází k ionizaci nebo excitaci

1. **zobrazující trajektorii částice** dráhová komora - např. mlžná komora, bublinová

2. **počítající částice**

- plynový ionizační detektor,
- Geigerův - Müllerův počítač.

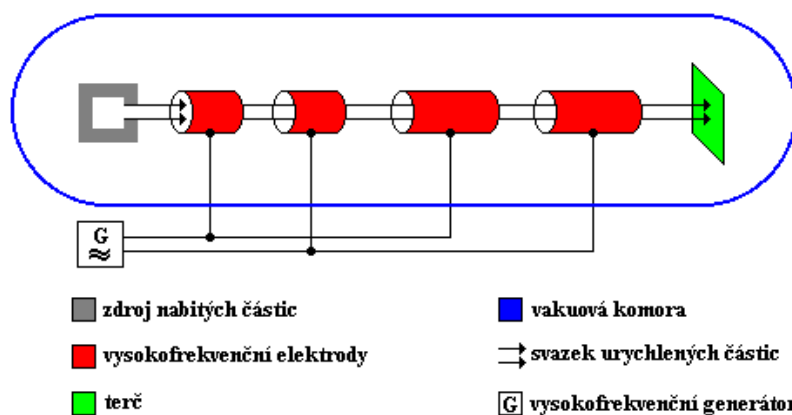
3. **kalorimetry** - detektory měřící energii částic.

detektory scintilační - dopadající částice vyvolá záblesk scintilátoru a ten je pak zesílen pomocí fotonásobiče (Rutherford pomocí nich provedl experiment vedoucí k objevu atomového jádra).

Pro zkoumání složení a zákonitosti přeměn částic musíme částice urychlit v urychlovačích

- **lineární** – 3 km

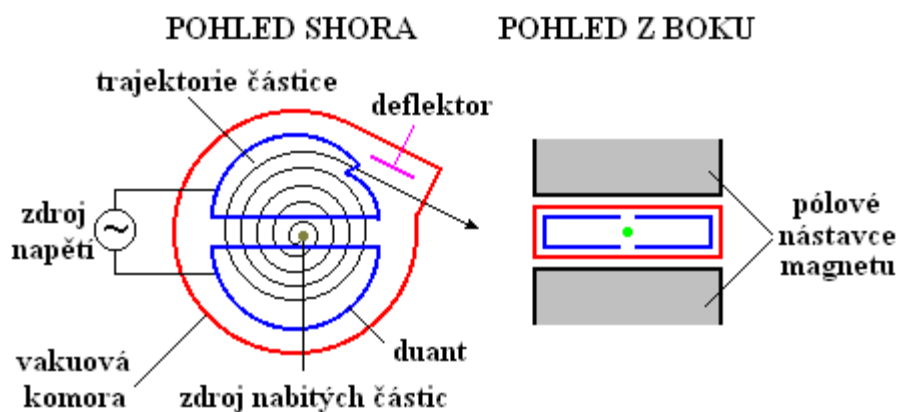
- Částice je urychlována elektrostatickým polem mezi elektrodami.
- Ty jsou přepólovány v okamžiku, kdy je částice uvnitř elektrody a tudíž na ní elektrostatické pole nepůsobí.
- Délka jednotlivých elektrod je volena tak, aby se při průletu částice vnitřkem elektrod stihla změnit jejich polarita.



- **kruhové** - Fermiho laboratoř USA $d = 2$ km, CERN 8,5 km

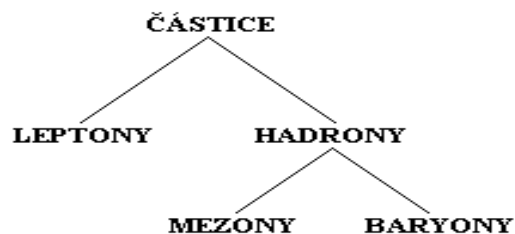
- nabité částice se pohybují v magnetickém poli po zakřivené trajektorii.
- magnetické pole neurychluje, ale zakřivuje

cyklotron



SYSTÉM ČÁSTIC

Existuje symetrie mezi částicemi a antičásticemi.



Rozdělení podle působících sil

leptony – hadrony

Rozdělení podle spinu (orientace ve vnějším magnetickém poli)

bosony fermiony

Většina částic je nestabilních s různou dobou života.

| Skupina částic | Název částice | Symbol | Náboj | |
|---|---|--|---------------|---|
| leptony <ul style="list-style-type: none"> • (leptos = tenký, drobný) • působí mezi nimi slabé síly • jsou elementární • bez vnitřní struktury | neutrino elektronové - stabilní | ν_e | 0 | |
| | neutrino mionové - stabilní | ν_μ | 0 | |
| | neutrino taunové - stabilní | ν_τ | 0 | |
| | elektron - stabilní | e^- | -1 | |
| | mion (těžký elektron) nestabilní | μ^- | -1 | |
| | tauon (supertěžký elektron) nestabilní | τ^- | -1 | |
| hadrony <ul style="list-style-type: none"> • (hadros = bujarý, silný), • působí silné jaderné síly, • jsou složeny z kvarků | mezony nestabilní <ul style="list-style-type: none"> • (mezos = střední), • mají charakter bosonů • tvořeny jedním kvarkem a jedním antikvarkem | piony | π^+ | 1 |
| | | | π^0 | 0 |
| | kaony | K^+ | 1 | |
| | | K^0 | 0 | |
| | éta <ul style="list-style-type: none"> • celočíselný spin, • nepodřizují se Pauliho principu | η | 0 | |
| | | baryony <ul style="list-style-type: none"> • (barys = těžký), • mají charakter fermionů • tvořeny třemi kvarky | proton | p |
| | neutron | | n | 0 |
| | hyperony | | ... | |

Další vlastnosti částic

Vůně kvarků

1. **d** - down (dolů)
2. **u** - up (nahoru)
3. **s** - strange (podivný)
4. **c** - charm (půvabný)
5. **b** - beauty (krásný)
6. **t** - truth (pravdivý)

Barvy kvarků

- červená
- žlutá
- modrá

Barvy antikvarků – doplňkové

- azurová (modrozelená);
- modrá;
- žlutá

INTERAKCE MEZI ČÁSTICEMI

Interakce - vzájemné působení (částic, těles...)

S – strong

- je zodpovědná za hmotnost (objekty jsou těžké)
- je zodpovědná za jaderné síly, které drží pohromadě jádro atomu.
- silná interakce je "silnější" než odpuzivá elektrická síla působící mezi kladně nabitými protony.
- Síla působí na vzdálenost odpovídající rozměrům atomového jádra, tedy v řádu 10^{-15} m. Tato vzdálenost se v jaderné fyzice označuje jako 1 Fm (čti jeden Fermi).

E – elektromagnetická

- vysvětluje objem – vazby mezi elektronem a jádrem, strukturu pevné látky
- působí mezi všemi nabitými částicemi

W – slabá

- způsobuje β rozpad – podléhají jí nenabitě částice – neutrína
- Slabá interakce, stejně jako silná, působí na omezenou vzdálenost, a to 10^{-15} m

G - gravitační

- nejde odstínit - působí na všechna tělesa s nenulovou hmotností,
- účinek „zanedbatelně“ malý, ale důležitý
- popsáno Newtonovým gravitačním zákonem, kvantovou teorií pole a pomocí Obecné teorie relativity.
 - Obecná teorie relativity využívá k popisu gravitace zakřivení prostoru – model- mějme pružnou desku, na níž umístíme několik těles, které způsobí prohnutí desky, přičemž míra prohnutí bude úměrná hmotnosti tělesa.
 - Nyní si představme, že se po této desce pohybuje další těleso, jehož hmotnost je mnohem menší než těles, která jsme na desku umístili před tím. Při pohybu tohoto tělesa se jeho dráha bude zakřivovat díky prohnutí desky.
 - A právě toto prohnutí (zakřivení) způsobuje onu "záhadnou" gravitační sílu.
 - V zakřiveném prostoru není součet úhlu v trojúhelníku 180 stupňů (zkuste např. nakreslit trojúhelník na kouli, také součet velikostí úhlů nebude 180 st. a strany trojúhelníka budou navíc zakřivené