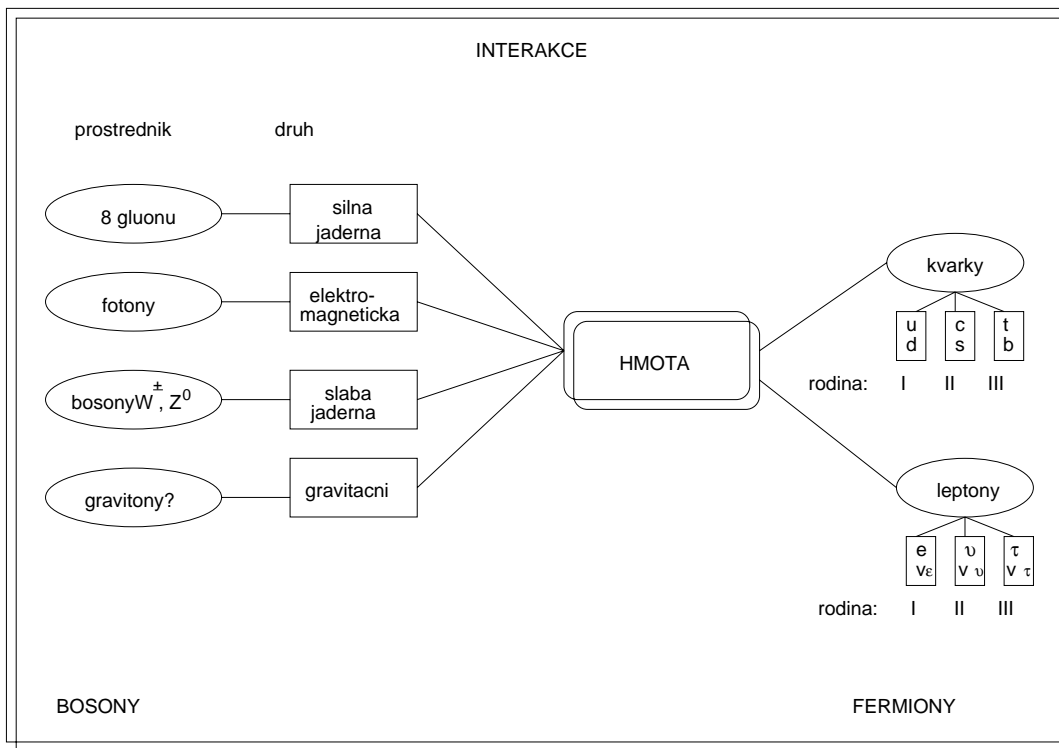


Teorie sjednocení

February 1999

1 Interakce částic

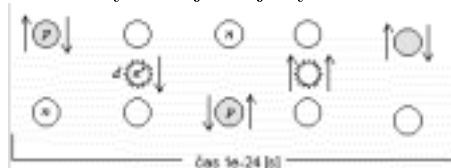


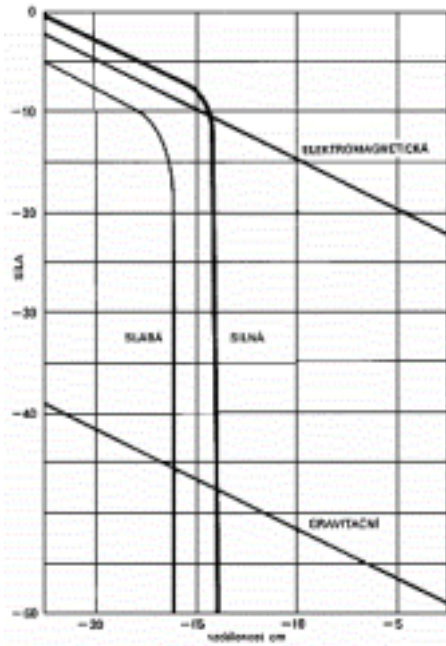
1.0.1 Silná jaderná interakce

Silná jaderná interakce je nejsilnější, ale působí jen na malé vzdálenosti; v jádrech atomů, popř. drží hadrony z kvarků. Silná jaderná interakce působí mezi hadrony, které se k sobě přiblíží velmi blízko, tj. na vzdálenost jednoho fermi ($1f = 1e-15 \text{ m} = 1e-15 \text{ A}$).

Jadernou obdobu Coulombova zákona neznáme.

Jaderné síly jsou způsobeny výměnou mezonů mezi nukleony. V atomovém jádře (!to jest v uzavřeném X-rozměrném systému) k sobě poutá neutron s neutronem či neutron s protonem stejně silně jako proton s protonem. Vysvětlujeme ji výměnou mezonů.





Obrázek 1: Interakce částic

Enrico Fermi

1901 až 1954

řízená jaderná reakce

Fermi spolu s Diracem jsou zakladateli statické fyziky fermionů. Jejich teorie se uplatňuje v teorii kovů a pevných látek vůbec, stejně jako v teorii atomového jádra a ve fyzice plazmatu.

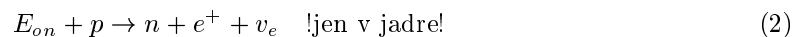
Roku 1934 usoudil, že existuje neutrino na základě rozdílných rychlostí částic beta při rozpadu jednoho a téhož atomu. Není nositelem hmoty ani náboje, proniká veškerou hmotou bez odporu, a proto jeho existenci se dá jen stěží prokázat.

Roku 1934 použil Fermi poprvé neutron jako nárazové částice. Poté vzrostl počet stabilních radioaktivních jader vyrobených umělou cestou.

Fermi experimentoval v oblasti jaderných procesů. V roce 1942 postavil první jaderný reaktor.

1.0.2 Slabá jaderná interakce

Působí v samotném středu částic a žádné systémy vytvářet nemůže. Způsobuje rozpad částic. Nejčastějším projevem slabých interakcí ve vesmíru je rozpad neutronu a protonu (!pozor: proton se rozpadá jen v jádře!).



kde E_{on} představuje energii ostatních nukleonů

V rozpadech neutronu a protonu se vyskytují celkem 4 fermiony

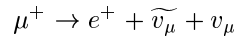
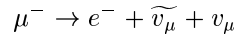
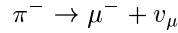
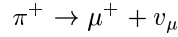


Při zániku velkých hvězd probíhá reakce (přeměna všech protonů ve hvězdě v neutrony):



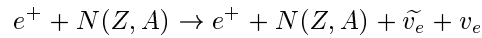
látka se pak skládá pouze z neutronů. Všechny elektrony v obalu jsou "vtlačeny" vysokým tlakem (ve hvězdě) do jádra atomu. Tím ovšem zaniká atom, protože zůstanou pouze neutrony.

neutrína tvoří se při všech procesech, kde vzniká nebo zaniká nějaký lepton, především při rozpadu některých částic (nabitých pionů a mionů) tak, že je vždy zachováno leptonové číslo, přesněji obě leptonová čísla: elektronové a mionové.



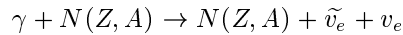
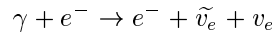
další způsob vzniku neutrin (zániky hvězdy, exploze vesmíru):

- neutrinové brzděné záření

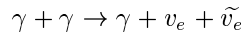


tvoří se dvojice neutrino-antineutrino z energie pozitronu, který prolétá v blízkosti atomového jádra $N(Z, A)$

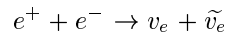
- fotoneutrína



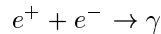
- gama-gama neutrina



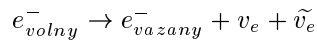
- anihilace elektron-pozitron



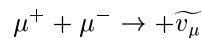
většinou ale



- rekombinace ionizovaných atomů může být provázena vysláním neutrina místo fotonů



totéž platí i pro neutretta, např.



Při všech reakcích se hybnost a energie dělí mezi vzniklé částice. Zákon zachování energie, hybnosti a momentu hybnosti.

1.0.3 Elektromagnetická interakce

Elmg interakce vytváří atomy, z atomů molekuly...

1.0.4 Gravitace

Gravitace je nejslabší interakcí, působí na obrovské vzdálenosti, nelze odstínit. Drží elementární částice do hvězd, planet, hvězdy do galaxií...

Na počátku vesmíru, za teplot $1e+32K$ a po velmi krátkou dobu (cca $1e-43$ s) byly všechny síly sjednoceny v jedinou, tzv. *supergravitaci*. V chladnucím vesmíru se rozštěpila na gravitaci a velkou sjednocenou sílu. Z ní se později odštěpila a zůstává jen síla sjednocená (zprostředkovaná těžkým bosonem W). Ta se nakonec za nízkých teplot štěpí na sílu elektromagnetickou a slabou.

To, že se dráha fotonu stáčí kolem hmotného objektu je jednak důsledkem vlastního působení gravitace na foton a jednak zakřivením časoprostoru kolem hmotného objektu.

$$\text{poloměr černé díry [km]} = 3 \cdot \text{hmotnost černé díry [Mo]} \quad \text{viz [VJJ,74]}$$

2 Fyzika elementárních částic

2.1 Přehled některých elementárních částic

kategorie	skupina(multiplety)	název	symbol	m_0	E_0	spin	el. náboj
		graviton	g	0		2	0
		foton	γ, hv	0		1	0
leptony	elektronová	neutrino	ν_e	0		1/2	0
		elektron	e^-	1	0.51	1/2	záporný
	neutrinová	neutretto	ν_μ	0		1/2	0
		mion	μ^-	206	105	1/2	záporný
mezony	piony	kladný pion	π^+	273	139	0	kladný
		neutrální pion	π^0	264	136	0	0
		záporný pion	π^-	273	139	0	záporný
	kaony	kladný kaon	K^+	966	494	0	kladný
		neutrální kaon	K^0	974	498	0	0
baryony	nukleony	proton	p	1836	938	1/2	kladný
		neutron	n	1839	939	1/2	0
	hyperony	hyperon lambda	Λ^0	2183	1115	1/2	0
		hyperon sigma +	Σ^+	2328	1189	1/2	kladný
		hyperon sigma 0	Σ^0	2334	1192	1/2	0
		hyperon sigma -	Σ^-	2343	1197	1/2	záporný
		hyperon kší 0	Ξ^0	2573	1314	1/2	0
		hyperon kší -	Ξ^-	2586	1321	1/2	záporný
		hyperon omega	Ω^-	3273	1675	1/2	záporný

symbol	podivn.	baryon.č.	lepton.č.	antičástice	poločas rozp.	typický způsob rozp.
g	0	0	0	totožná	∞	-
γ , hv	0	0	0	totožná	∞	-
ν_e	0	0	1	$\bar{\nu}_e$	∞	-
e^-	0	0	1	e^+	∞	-
ν_μ	0	0	1	$\bar{\nu}_\mu$	∞	-
μ^-	0	0	1	μ^+	2e-6	$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$
π^+	0	0	0	totožná	2.6e-8	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$
π^0	0	0	0	totožná	1e-16	$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$
π^-	0	0	0	totožná	2.6e-8	$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$
K^+	+1	0	0	K^-	1.2e-8	$K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$
K^0	+1	0	0	\bar{K}^0	1e-10	$K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$
p	0	1	0	\bar{p}	∞	-
n	0	1	0	\bar{n}	1e+3	$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$
Λ^0	-1	1	0	$\bar{\Lambda}^0$	2.5e-10	$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$
Σ^+	-1	1	0	$\bar{\Sigma}^+$	8e-11	$\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+$
Σ^0	-1	1	0	$\bar{\Sigma}^0$	asi 1e-20	$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \chi$
Σ^-	-1	1	0	$\bar{\Sigma}^-$	1.5e-10	$\Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$
Ξ^0	-2	1	0	$\bar{\Xi}^0$	3e-10	$\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$
Ξ^-	-2	1	0	$\bar{\Xi}^-$	1.7e-10	$\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$
Ω^-	-3	1	0	$\bar{\Omega}^-$	1e-10	$\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$

2.2 Typy částic

zdroj	interakce	kvantum pole	poměrná síla	dosah [cm]	příklad
baryon, mezon	silná jad.	pion, kaon	1	1e-13	jad. síly
el. náboj	elmg	foton	1e-2	∞	atomové a molekulární síly
lepton, mezon, baryon	slabá jad.	W-boson	1e-14	1e-15	beta rozpad
hmotnost	gravitační	(graviton)	1e-40	∞	stavba kosmic. sys. a těles

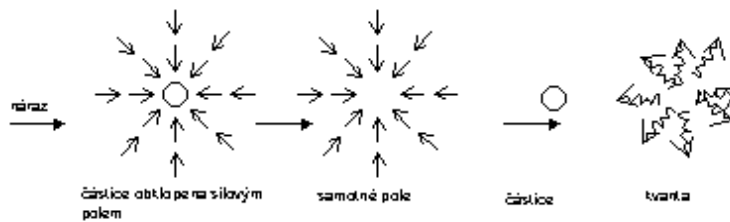
přehled elementárních částic [?, 25]

antičástice		částice	
antibosony	antifermiony	fermiony (spin 1/2)	bosony (spin 0,1,2)
W^+	Ω^+	1 672,00 Ω^-	W^-
antibaryony	Ξ^+	1 321,30 Ξ^-	baryony
	Σ^+	1 314,70 Σ^-	
	Σ^0	1 197,34 Σ^0	
	Λ^0	1 189,42 Λ^0	
	Λ^0	1 115,59 Σ^-	
antinukleony		nukleony	hadrony
\bar{p}	\bar{n}	939,55 n	938,25 p
η^0		548,80 η^0	mezony
K^0		493,71 K^0	
π^0		139,57 π^0	
antileptony		leptony	
$\bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu, \bar{\nu}_\tau$	$\bar{\mu}, \bar{e}$	105,66 μ^-	ν_e, ν_μ, ν_τ
		0,51 e^-	
		0,00 neutretto	neutrino
			graviton
			foton

2.2.1 bosony (spin 0, 1, 2)

Bosony - částice pole (nebo též kvanta pole), částice s celistvým spinem. Přenášejí síly, jimiž na sebe částice působí. Mají celistvý spin. Patří sem piony, fotony, W-bosony, gravitony.

vznik kvant pole



Zbývající pole nemůže bez zdroje existovat a šíří se ve formě samotných kvant. Např. el. pole se změnilo ve fotony atd.

2.2.2 fermiony (spin 1/2)

fermiony - částice s polovičním spinem, tj. baryony a leptony.

2.2.3 hyperony

Mezi hyperony patří baryony těžší než nukleony; jsou většinou nestabilní, rozpadá se za dobu $1e-8$ až $1e-10$.

2.2.4 nukleony

Jsou to protony a neutrony - částice, z nichž se skládá atomové jádro.

proton název dal E. Rutherford 1920 - tomu, co v té době je považováno za vodíkové jádro

neutron za normálních podmínek by byl neutron nestabilní: volný neutron se rozpadá s poločasem 15 minut na proton, elektron a antineutrino

2.2.5 leptony

Lehké fermiony: miony, elektrony, neutrino (mionové, elektronové, tauonové), neutretta, tauony. Částice, na které působí slabá interakce.

2.2.6 baryony

Částice s velkou klidovou hmotností. Dělí se na stabilní nukleony (proton, neutron) a nestabilní hyperony.

2.2.7 hadrony

Jsou to bosony, účastníci se silných interakcí. Mezi baryony a mezony působí jaderné sily, říkáme jim silně interagující částice čili hadrony.

2.2.8 mezony

Středně těžké částice; mají celistvý spin, a patří tedy do skupiny bosonů. Působí silnou interakcí, a patří tedy k hadronům. Jsou nestálé a po krátké době se rozpadají.

2.2.9 kvarky

Kvarky jsou stavební kameny hadronů.

- d - down
- u - up
- s - side
- c - charm
- b - bottom
- t - top

Tři kvarky tvoří proton, jiné tři kvarky tvoří neutron. Leptony a kvarky mají spin jako elektron a řídí se Pauliho principem.

2.2.10 gluony

Gluony zprostředkovávají silnou interakci mezi kvarky. Interakci pro změnu „barvy“.

$$m_0 = \text{null}$$

$$\text{rychlost} = c$$

- jsou nositeli „barevného náboje“
- existuje 8 typů gluonů

2.2.11 kvanta

viz. bosony - vznik kvant pole

Vzniklá kvanta jsou částice - přesněji řečeno bosony:
foton, graviton, mezon a W-boson

fotony \equiv kvanta elmg interakce
mezony \equiv kvanta silné jaderné interakce
W-bosony \equiv kvanta slabé jaderné interakce

gravitony \equiv kvanta gravit. interakce

kvanta mají spin nulový nebo celistvý (násobek veličiny \hbar).

foton vzniká při každém urychlení či zpomalení nabité částice (viz. str. 77 [VKN])

2.3 Atributy částic

2.3.1 Elektrický náboj

Částici nelze elektrický náboj vzít - přestala by být tou částicí. Sebereme-li protonu jeho náboj, přemění se v neutron. Sebereme-li neutronu záporný náboj, stane se protonem. El. náboj nelze zničit ani vytvořit z "ničeho".

zákon zachování el. náboje elektronu: elektron je stálý, protože elektrický náboj nelze zničit. Celkový náboj ve vesmíru (v systému) je neměnný.

2.3.2 Baryonový náboj (\equiv baryonové číslo)

N...baryonové číslo \equiv součet baryonů, s nimiž se něco děje \equiv celkový baryonový náboj může nabývat těchto hodnot:

- +1...každý baryon (proton, neutron, ...)
- 0...není baryon (všechny jiné částice než baryony)
- 1...antibaryony (antiproton, antineutron, ...)

pozn.: kdyby tyto dvě veličiny - je jest el. náboj a baryonový náboj nebyly zachovávány, proton a elektron by se rozpadly v lehčí částice; neexistovaly by atomy ani molekuly a vesmír by měl zcela jiný vzhled, než má vesmír náš.

neutretto \equiv mionové neutrino

zákon zachování baryonů: proton je stálý, protože počet baryonů je neměnný. Celkový baryonový náboj ve vesmíru (v systému) je neměnný.

2.3.3 Leptonový náboj (\equiv leptonové číslo)

l...leptonové číslo \equiv součet leptonových nábojů, s nimiž se něco děje \equiv celkový leptonový náboj může nabývat těchto hodnot:

- +1...je náboj leptonu
 - 0...všechny ostatní částice (ne leptony)
 - 1...náboj antileptonu
-

zákon zachování leptonového čísla: Ani leptony se nemohou ztratit ani vzniknout z "ničeho"; celkový leptonový náboj ve vesmíru (v systému) je neměnný. Součet leptonových nábojů všech částic zůstává při všech změnách stejný.

2.4 Vazebná (disociační) energie

Je energie, která se uvolní při vzniku vazby (eng. potřebná k rozštěpení vazby), je uvedena v tabulkách [kJ.m⁻¹]. Vazebná energie je energie vyzářená na úkor klidové energie částic (klidová eng. částic je jinak neměnná!). Tento úbytek energie opouští systém ve formě fotonů. (Např. neutronová hvězda uvolňuje hodně své klidové energie).

Jestliže částice (např. proton) vstoupí do nějakého systému (např. proton do atomového jádra, atom do molekuly, těleso do černé díry...), odevzdá část své klidové energie, takže její klidová eng. je menší o eng. vazebnou (ΔE).

Jak velkou část své klidové eng. "zaplatí částice jako vstupné" za to, že vstupuje do společenství s ostatními částicemi, to záleží na tom, o jaké společenství se jedná a na síle, která je váže.

Δm ...hmotnostní úbytek \equiv hmotnostní defekt

ΔE ...vazebná eng.

Vstoupí-li částice do systému, odevzdá zde vazebnou energii $E = m_0c^2 - \Delta E$.

Hmotnostní úbytek v jádru atomu:

$$\Delta m = (Z) * m_p + (A - Z) * m_n - m(Z, A)$$

subst. B \equiv počet neutronů = A-Z

$$\Delta m = Z * m_p + B * m_p + B * m_n - m(Z, A)$$

m_p ...hmotnost protonu

m_n ...hmotnost neutronu

ΔE ...vazebná eng. jádra (systému)

Δm ...rozdíl hmotnosti volných nukleonů a hmotnosti jádra ??hmotnostní úbytek

Celková hmotnost nuklidu (=jádra) $m(Z, A)$ je vždy menší než součet hmotností jeho volných nukleonů $Z * m_p$ a $B * m_n$.

A ... počet nukleonů

Z ... počet protonů

A-Z ... počet neutronů

např. jádro hélia [?, 54]

hmotnost viz. tabulky

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

Vazebná eng., připadající na 1 nukleon je $\frac{\Delta E}{A}$. Pro různá jádra je $\frac{\Delta E}{A}$ různá

Vazebná eng. nukleonu je menší pro lehká jádra. Poměr povrchu k objemu u takových jader je velký a povrchové nukleony jsou slaběji vázány než nukleony vnitřní. Jádra těžší než železo mají menší vazebnou eng., protože se vzrůstajícím počtem protonů v jádře se zvětšuje jejich elektrická odpudivost. [?, 55]

Jaderné síly jsou uvolňovány jednak skládáním (syntézou) lehkých jader nebo štěpením těžkých jader. V obou případech mají nukleony ve výsledném jádru větší vazebnou eng. než v jádru výchozím. Výsledné jádro je v obou případech blíže skupině železa než výchozí jádra (viz. stabilita nuklidů, [?, 55]).

nuklid \equiv druh atomového jádra; mírou stability nuklidu je jeho vazebná eng.

izotopy \equiv mají jiný počet neutronů než protonů, jsou nestabilní

délka vazby \equiv je vzdálenost středů atomových jader, která jsou vazbou atomových jader, která jsou vazbou spojena. Jednotky: nm, tj. 10e-9m.

vazebný úhel a prostorové uspořádání vazeb: jsou-li vazby rovnocenné a středový atom nemá volné valenční elektrony, jsou vazebné úhly a prostorové tvary molekul následující:

velikost uvolněné eng. (viz. [?, 28]):

- silou elektrickou (chem. reakce): cca $1e-8 \div 1e-9 m_0 c^2$
- jadernými silami: několik tisícín $m_0 c^2$
- gravitační silou: $\frac{1}{2} m_0 c^2$

2.5 Chemická vazba

Elektrony v molekule H_2 mají navzájem opačný spin, stejně jako elektrony v základním stavu atomu He $1s^2$, takže mohou mít stejnou prostorovou vlnovou funkci, zaujímat též orbital. Tento orbital je však rozlehlejší než orbital $1s$ v atomu H.

Podle relací neurčitosti má elektron v takovém stavu nižší hybnost, a tím i nižší kinetickou energii, než měl v izolovaném atomu H.

Přestože se změní i potenciální energie elektronu a jader, toto snížení kinetické energie převáží a způsobí, že celková energie H molekuly je asi o 4,5 eV nižší než energie dvou H atomů.

Na stejném principu je založena každá chemické vazba. Přiblížíme-li k sobě více atomů, mohou jejich elektrony přejít do nového orbitalu, jehož prostorová rozloha je větší a jehož energie je proto (díky relacím neurčitosti) nižší.

Prvky, jejichž valenční slupka je uzavřená (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn) se nazývají netečné (též inertní nebo vzácné) plyny: netvoří žádné sloučeniny (He, Ne, Ar - vůbec žádné; Kr - pouze 2 známé; Xe a Rn jen několik) a zůstávají plynné až do velmi nízkých teplot. Nejstabilnější z nich He, potřebuje ze všech látek nejnižší teplotu ke zkaplání (4K).

Naproti tomu alkalické kovy (jen jeden elektron v orbitalu s) snadno vstupují do reakcí, v nichž o něj přijdou a tím z jejich atomu vznikne kladný iont s uzavřenou slupkou. (viz. Ionizace)

2.6 Typy chemických vazeb

Jsou-li mezi dvěma atomy dva nebo tři vazebné orbitály, mluvíme o dvojně nebo trojně vazbě, např. $H-C \equiv N$, $|N \equiv N|$, $H-C \equiv C-H$ nebo $\overline{O} \equiv \overline{O}$ ap.

Protože v trojně vazbě je šest elektronů donuceno být si blíže než ve třech vazbách jednoduchých, je jejich potenciální energie vyšší, a tedy vazebná energie trojně vazby je menší než vazebná energie tří jednoduchých vazeb, i když je ovšem větší než vazebná energie jednoduché vazby.

kovalentní vazba V molekulách jako $H-H$, $\overline{O} \equiv \overline{O}$ jsou vazebné orbitály rozprostřeny stejnou měrou okolo obou atomů. Tomu říkáme kovalentní vazba.

vazba polární např. $|\overline{F}^- - H^+$ fluorovodík

Protože Fluor přitahuje vazebné elektrony skoro 7krát silněji¹, je vazebný orbital asymetrický - z větší části přiléhá k atomu fluóru. Tam je soustředováno více záporného náboje a molekula tvoří elektrický dipól.

V extrémním případě, kdy vazebný orbital přejde prakticky úplně do jednoho atomu v molekule k druhému (jeden atom elektron ztratí, druhý ho získá, vznikne kladný a záporný iont), mluvíme o **vazbě iontové**.

Za **kovalentní** považujeme nejen zcela symetrické vazby mezi stejnými atomy, ale i vazby částečně polarizované, takže mezi kovalentí a iontovou vazbou existuje spojitý přechod (H_2 , CH_4 , NH_3 , H_2O , HF , KF tvoří příklady řady, počínající vazbou zcela nepolární a posupující pozvolna až k vazbě čistě iontové; přitom všechny tyto vazby zř na KF považují chemici za kovalentní).

Molekuly H_2O jsou poměrně dost polární, existuje tedy okolo nich elektrické pole a toto pole může snadno roztrhat iontové vazby jiných molekul, jako KF , $NaCl$ nebo „skoro iontové“ silně polární vazby HF , HCl ap. Takovému rozbití molekuly se říká disociace.

¹F má v jádře pole $9e^+$, zmenšené (odstíněné) o $2e^-$ dvou vnitřních elektronů fluóru z orbitalu $1s$.

I čistá voda je z malé části disociována; jedna z deseti milionů ($1e+7$) molekul H_2O je rozbita na ionty H^+ a OH^- ; iont H^+ se však nevyskutuje osamocen, vždy je svázan s molekulou vody na iont H_3O^+ . V chemii se koncentrace těchto fiktivních H^+ nebo skutečných H_3O^+ iontů udává mocnitelem desítky a ozn. **pH**: chemik tedy řekne, že čistá voda má $pH=7$. Rozpustíme-li v H_2O chlorovodík HCl (nebo jiné látky, mající polární vazbu s vodíkem), pak se jeho disociací zvýší počet H^+ iontů např. tisíckrát, takže jeden iont H_3O^+ bude připadat na každých $1e+4$ molekul H_2O , tudíž $pH=4$.

Mocnoství (neboli valence)

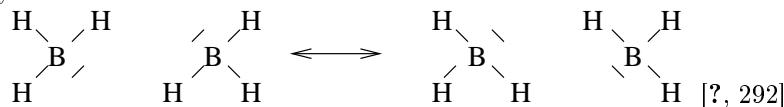
NH_3 dusík je trojmocný, ale např. v molekule

N_2O není dusík jednomocný, ale je někde mezi $\overline{N} = N = \overline{O}$ a $|N \equiv N - \overline{O}|$

Zde se vazebné orbitály rozprostírají přes víc než dva atomy. Takovým molekulám říkáme **mezomery**.

B_2H_6 (molekula diboranu)

dva z vazebných orbitalů se rozprostírají přes tři atomy BHB. Struktura mezomeru se naznačí dvěma klasickými strukturními vzorci:



Vodíková vazba, vodíkový můstek

Vodíková vazba je způsobena deformací elektronového obalu, jako všechny chem. vazby.

Není to vlastně chemická vazba ve vlastním slova smyslu, neboť nemůže sama svázat molekulu, na to je příliš slabá (eng. potřebná k jejímu rozbití je zhruba 50krát menší než eng. potřebná k rozbití normální chem. vazby vodíku, takové jako v NH_3 nebo HCl).

Váže mezi sebou sousední molekuly, např. molekuly vody. Vodíkové vazby se tvoří u chem. vazeb N-H, O-H, F-H, Cl-H ne však C-H (všudypřítomné v organ. molekulách).

Chceme-li změnit kapalinu, jejíž molekuly jsou mezi sebou vázány vodíkovou vazbou v plyn, musíme dodat každé molekule víc energie.

Proto např. H_2O , jejíž molekuly takto svázané jsou má bod varu $100^\circ C$, zatímco H_2S , jehož molekuly jsou podobné, ale vodíkovou vazbou se nespojují, má bod varu $-60^\circ C$.² Rozpustnost takových látek, jako jsou c

je možná také jen díky vodíkovým vazbám mezi molekulami vody a rozpouštěné látky (u ionizovaných sloučenin přebírá tuto funkci elektrostatické přitahování).

Fyzikální podstata vodíkové vazby nebyla zatím uspokojivě vysvětlena, i když není pochyb, že je způsobena deformací elektronového obalu stejně jako normální chemická vazba.

Molekula DNA

dvojitá šroubovice, jejíž vlákna jsou navzájem vázána vodíkovými vazbami mezi dvojicemi proti sobě postavených nukleotidů.

2.7 Spin

Atom se chová jako magnetic. dipól. Umístíme-li ho do vnějšího mg. pole, bude jeho eng. závislá na tom, je-li jeho mg. dipólový moment orientován ve směru opačném, a to se ve spektru projeví rozštěpením spektrálních čar. Studium spekter (viz. spektrum atomu) však ukázalo, že čáry bývají

²vodíkové vazbě vděčíme tedy za vznik oceánů, za vyšší viskozitu a vyšší index lomu u látek jako voda nebo glycerin

rozštěpeny, i když atom není ve vnějším mg. poli. Vše nasvědčovalo tomu, že kromě mg. pole vytvářeného elektrony při jejich "oběhu okolo jádra" existuje v atomu ještě jiné mg. pole a že eng. elektronů v atomu závisí i na tom, má-li magnetic. moment způsobený tímto oběhem stejný směr jako toto "jiné" pole nebo směr opačný. R. 1925 R. Kronig, S. Goudsmit a G. E. Uhlenbeck vyslovili domněnku, že elektron nejen "obíhá okolo jádra", ale také se "otáčí okolo své osy", a že díky tomuto "otáčení", které nazvali spin (angl. spin = víření), má moment hybnosti $\frac{1}{2}\hbar$ a magnetický moment rovný jednomu Bohrovu magnetonu $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$.

Pro odlišení od spinu nazýváme momenty spojené s "obíháním" okolo jádra orbitální moment hybnosti a orbitální magnetický moment. Jejich hypotéza byla potvrzena obdobou Sternova-Gerlachova pokusu, při němž bylo místo atomů použito elektronů. Svazek elektronů se v nehomogenním mg. poli rozdělil ve dva dílčí svazky: elektrony v jednom z nich měly vůči ose z spinový moment hybnosti $+\frac{1}{2}\hbar$, ve druhém $-\frac{1}{2}\hbar$. Právě toto rozštěpení ve dva svazky (a také to, že některé spektrální čáry jsou rozštěpeny ve dvě složky) ukazovalo, že moment hybnosti má poločíselnou velikost: protože l_z může nabývat $2l + 1$ hodnot $-l, -l + 1, \dots - 1, 0, 1, \dots, +l$ vznikne při Sternově-Gerlachově pokusu $2l + 1$ svazků, má-li být $2l + 1 = 2$, musí být $l = \frac{1}{2}$.

[?, 258]to be continue...

Spin nelze ani zpomalit ani zrychlit. Spin je neměnná vlastnost všech elementárních částic.

Podle velikosti spinu dělíme všechny elementární částice do dvou skupin:

- částice, které se neotáčejí nebo otáčejí rychle, mají nulový nebo celistvý spin: bosony
- částice, která se otáčejí středně rychle, mají poloviční spin: fermiony

Mechanická analogie mezi spinem a "rotací" elektronu kolem své osy je sice asi jediný způsob, jak si spin názorně představit, ale jinak je stejně nepřesná, jako když si orbitální pohyb elektronu představujeme jako "obíhání" bodové částice okolo jádra. Tak například u rotující klasické koule, v níž je hustota náboje úměrná hustotě hmotnosti (a jejich poměr je e/m_e), je poměr magnetického momentu k momentu hybnosti vždy $e/2m_e$, zatímco poměr mezi spinovým magnetickým momentem a spinovým momentem hybnosti je dvakrát větší, $\mu_B : \frac{1}{2}\hbar = e/m_e$. V jedné důležité věci se ale spin vymyká i elementárním kvantovým představám. Moment hybnosti musí být vždy celé číslo: jestliže atom obejdeme jednou dokola a vrátíme se na stejné místo, musíme dospět ke stejné hodnotě vlnové funkce. To si můžeme představovat i jinak: místo abychom obcházeli stojící atom, můžeme stát my a "otáčet" atom i s jeho vlnovou funkcí. Má-li atom moment hybnosti $M_z = 3\hbar$ (tedy $l_z = 3$), potom se k původní hodnotě dostaneme při otočení o $360^\circ / 3 = 120^\circ$; má-li $l_z = 2$, pak při otočení o $360^\circ / 2 = 180^\circ$; má-li $l_z = 1$, pak při otočení o $360^\circ / 1 = 360^\circ$. Kdyby měl $l_z = \frac{1}{2}$, pak by pro návrat ke stejné hodnotě vlnové funkce bylo potřeba atom otočit o $360^\circ / 0,5 = 720^\circ$, tedy dvakrát dokola, a při otočení jednou dokola (o 360°) by vlnová funkce změnila znaménko. A právě to se děje u elektronu: protože jeho moment hybnosti (ve vztažné soustavě, v níž se nepohybuje) je $\frac{1}{2}\hbar$, shledáme, že jeho vlnová funkce změnila znaménko, když ho obejdeme jednou dokola, a až když ho obejdeme dvakrát, nalezneme původní hodnotu vlnové funkce. To ukazuje, že vlnovou funkci si nemůžeme představovat jako např. teplotní pole, které má v určitém místě vždy určitou hodnotu (teplotu v tomto místě) bez ohledu na to, kolikrát jsme co "obešli dokola".

I když musíme přiznat, že tomu "co je spin" vlastně moc dobře nerozumíme, počítat se spinem umíme velice dobře.

Elektronu místo jedné vlnové funkce přiřazujeme funkce dvě: jedna popisuje tu "část" elektronu, která má spin $+\frac{1}{2}\hbar$ (orientovaný v kladném směru osy z, "nahoru"), a druhá, tu, která má spin $-\frac{1}{2}\hbar$ ("dolů").

Jako u orbitálního momentu hybnosti i zde vynecháváme Planckovu konstantu a mluvíme prostě o spinu $s_z = +\frac{1}{2}$ nebo $s_z = -\frac{1}{2}$. Maximální hodnotu s_z , tedy $\frac{1}{2}$, označujeme písmenem s ; velikost vektoru spinu je opět $\sqrt{s(s+1)}\hbar = \sqrt{\frac{3}{4}}\hbar$. Dvě funkce, které dohromady popisují stav elektronu, označujeme $\psi(x, +\frac{1}{2})$ a $\psi(x, -\frac{1}{2})$ nebo dohromady symbolicky $\psi(x, s_z)$. Jejich

pravděpodobnostní interpretace je taková: $|\psi(x, +\frac{1}{2})|^2$ je úměrná pravděpodobnosti toho, že v místě x najdeme elektron se spinem $s_z = +\frac{1}{2}$, a $|\psi(x, -\frac{1}{2})|^2$ pravděpodobnosti, že tam najdeme elektron se spinem $s_z = -\frac{1}{2}$. Není-li elektron v magnetickém poli, je Schrödingerova rovnice pro obě vlnové funkce stejná, avšak v magnetickém poli má elektron se spinem "nahoru" jinou energii než elektron se spinem "dolů" (osu z a směr "nahoru" teď volíme podél magnetického pole), a protože Schrödingerova rovnice je odvozena z výrazu pro energii, mění se každá ze složek $\psi(x, +\frac{1}{2})$ a $\psi(x, -\frac{1}{2})$ vlnové funkce a časem jinak, podle jiné rovnice.

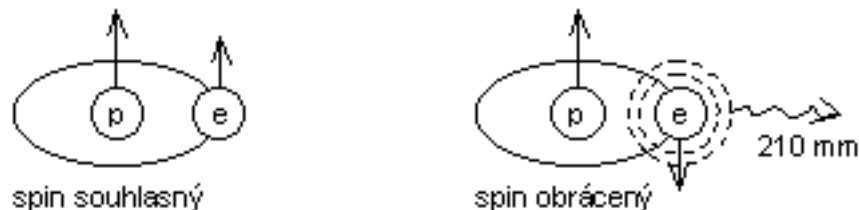
Intenzita el. pole v určitém místě má tři složky, tvoří vektor. Vlnová funkce elektronu v určitém místě má dvě složky $\psi(x, +\frac{1}{2})$ a $\psi(x, -\frac{1}{2})$. Taková dvojice se nazývá spinor, a protože vlnová funkce elektronu se místo od místa mění, tvoří spinorové pole.

[?, 259]

změna spinu elektronu

[?, 79,77]

Změní-li elektron ve vodíkovém atomu svůj spin v opačný, vyšle rádiový foton, odpovídající záření 210 mm.



při každé změně rychlosti nabitě částice vzniká foton

Foton má někdy charakter jako částice [?, 74]. Charakter jako částice, tím se rozumí, že za jeden kmit urazí vzdálenost $\frac{c}{\nu}$. Těto vzdálenosti se říká vlnová délka (λ). Chápat fotony jako pole?

"Celých těch padesát let hloubání mě nepřivedlo blíže k odpovědi na otázku, co to jsou světelná kvanta", napsal r. 1951 Einstein svému příteli Bessovi.

Atomy v molekule kmitají vzhledem k těžišti molekuly a v těchto kmitočtech je obsažena eng. vibrační. Molekuly navíc rotují, a mají tedy eng. rotační. Všechny druhy eng. molekul (elektronová, vibrační, rotační) mohou nabývat jen určitých hodnot. Ze stavu vybuzeného o vyšší eng. se molekula vrací do stavu základního a rozdíl eng. vyzáří ve formě fotonů. Eng. vyzářených fotonů je charakteristická pro druh molekuly. [?, 80]

Jaderný spin

Kromě toho, že mluvíme o spinu elementárních částic, označujeme termínem spin i celkovým momentem hybnosti atomového jádra, i když jde vlastně o součet spinu.

2.7.1 Izospin, podivnost, parita

elementární částice tvoří skupinky (multiplety) - viz. tabulka (např. skupina baryony ? má 3 členy, mezony ? má 3 členy, proton a neutron 2 členy, ...). V každé skupince jsou dvě až tři částice o stejném spinu, stejném baryonovém náboji, přibližně stejné hmotnosti, ale s různým elektrickým nábojem.

Izospin (izotopický spin) Počet částic ve skupince je určen tzv. izospinem I , a to podle výrazu $2I + 1$. např.: izospin ? baryonů je $I=1$, takže jejich počet ve skupince je $2*1+1=3$. Pro skupinku nukleonů (proton a neutron) je $I=1/2$, takže jejich počet je $2*1/2+1=2$.

Podivnost Podivnost částice je vlastnost některých baryonů a bosonů. Podivné částice vznikají nesmírně rychle za dobu mnohem kratší než trilióntina sekundy (asi $1e-23$ s) a rozpadají se biliónkrát pomaleji. [?, 33]

Parita (kvantové číslo) ve slabých interakcích se porušením parity porušuje symetrie fyzikálních zákonů. [?]

hl. kvantové č.: udává energii elektronu. Nabývá hodnot 1, 2, 3, 4, ..., elektrony se stejným n se nacházejí ve stejných vrstvách el. obalu (1=K, 2=L, 3=M, 4=N, 5=O, 6=P, 7=Q)

vedlejší kv. č.: udává kromě energie typ tvar orbitalu. Nabývá hodnot 0, 1, ..., (n-1). (0=s, 1=p, 2=d, 3=f); velikost momentu hybnosti

magnetické kv. č.: m udává polohu orbitalu v prostoru. Nabývá hodnot -1, ..., 0, ..., 1, tj. celkem $2l+1$, což je počet orbitalů v podslupce. Orbital lze vypočítat ze Schrödingerovy rovnice.

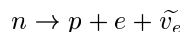
spinové č.: - udává spin („rotaci“ kolem vlastní osy); nabývá hodnot $+\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}$

2.7.2 Antičástice

Antičástice mají stejnou hmotnost jako částice, stejný spin, opačný el. náboj, opačný izospin, opačnou podivnost, stejnou velikost.

2.7.3 Stabilita nuklidů

Volný neutron se rozpadá, ale vázaný neutron v mnoha atomových jádrech se rozpadnout nemůže. Ale i neutron v některých jádrech se rozpadne na



(viz. β^- radioaktivita), při níž si jádro ponechá proton a vyšle antineutrino. [?, 54]

2.8 Urychlovače částic

Lineární urychlovač

Vyžaduje zdroj velmi vysokého stejnostměrného napětí. Atomy jsou zbaveny několika elektronů, aby získaly elektrický náboj (ionizují se obvykle zahřátím) a proto jsou silným elektrickým polem urychleny.

Cyklotron

V nejjednodušším případě se jedná o dva duté půlkruhové měděné kotouče, mezi něž se přivádí střídavé napětí. Kolmo na kotouče působí silné mg pole. Pohybuje-li se nabitá částice v tomto mg poli, působí na ni Lorentzova síla kolmo ke směru její rychlosti, takže částice obíhá po kružnici. Napětí na kotoučích měníme tak, aby el pole urychlovalo částici vždy ve směru jejího pohybu, takže při každém přechodu z jednoho kotouče do druhého získá částice energii $E = Z * U$ [eV], kde Z ... náboj [e]. Po mnoha průletech může tedy částice získat vysoké energie bez zdroje velmi vysokého napětí. Protože energie, a tedy i rychlost částice se mění, bude její skutečnou dráhou v cyklotronu spirála.

2.9 Detektory částic

elektricky nabitá částice nebo foton ionizuje jeden nebo více atomů prostředí podél své dráhy (na ionizaci jednoho atomu spotřebují energii rovnou jeho ionizačnímu potenciálu plus kinetické energii vylétávajícího elektronu (bývá okolo 30 eV)).

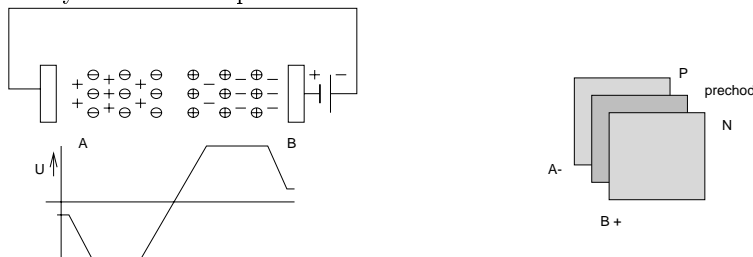
Nabitá částice prochází látkou tak dlouho, dokud všechnu svoji energii neztratí. Tím máme současně metodu na měření energie částice.

Geigerův-Müllerův počítač

skleněná nádoba se dvěma elektrodami, naplněná plynem (argon, methan, apod.). Na elektrody je přivedeno napětí. Při ionizaci atomů plynu vznikne mezi elektrodami proud. Při vyšším napětí urychlené ionty cestou od anody ke katodě srážkami ionizují další atomy a vzniká průraz (nebo jiskra - **jiskrový detektor**).

Polovodičový detektor

na přechodu mezi polovodiči P a N je přivedeno napětí v závěrném směru (+ na N, - na P). Na přechodu napětí se vytvoří silné el. pole



Potenciál např. v místech ležících mezi body A a B se pak v oblasti přechodu se rychle mění, takže je tam silné el. pole.

Jiskrová komora

anoda a často také katoda je z velkého počtu ($1e+5$) tenkých drátků.

Jiskrový detektor s prostorovým rozlišením.

Jiskra vznikne v místě průchodu částice.

Mlžná komora (Wilson, 1912)

Naplněna přesycenou vodní parou. Ion tvořený ve stopě částice přitáhne svým elektrickým polem polární molekuly H_2O , způsobí vznik zárodečné kapičky a ta se v prostředí přesycené páry sama zvětšuje. Letící částice po sobě tedy zanechá mlžnou stopu.

Bublinková komora (Glaser, 1952)

Obsahuje kapalný vodík, zahřátý těsně nad bod varu. Energie iontů podél stopy se rychle přemění v teplo a teplota tím stoupne natolik, že se vytvoří zárodečné bublinky, které opět rostou dál samy.

Prostorové rozlišení, možnost přesného proměření dráhy částice. Rozlišení je velmi dobré a hl. výhodou je že kapalný vodík vlastně je jako moře protonů, které současně slouží i jako terč pro zkoumání reakcí elementárních částic.

Ještě **přesnější určení dráhy částice** - na úkor rozlišení časového - se dosahuje ve **stopových detektorech** - buď vrstva jaderné emulze - speciální fotografická emulze se zvláště malými zrny, nebo fólie např. z polyethylénu, jejíž strukturu prolétávající částice naruší a v níž se tedy po vyleptání louhem objeví stopa.

V obou případech se tyto stopy proměřují pod mikroskopem. Velmi dobrého časového rozlišení s horším rozlišením prostorovým se dosahuje v **jiskrových detektorech**, které se přímo spojují s počítačem a v této kombinaci jsou dnes (1993) nejrozšířenějším typem detektoru.

Detektory se obvykle umísťují do silného mg. pole. To způsobuje zakřivení drah nabitých částic, které je přímoúměrné jejich náboji q a nepřímoúměrné hybnosti p . Ze stereoskopické fotografie dráhy tak můžeme zjistit poměr $\frac{p}{q}$. Sám náboj se určuje podle tloušťky stopy.

Při určování vlastností neznámé částice vycházíme z toho, že energie, hybnost, moment hybnosti, el. náboj a další se zachovávají. Známe jejich hodnoty před reakcí, spočítáme kolik si odnáší každá nová částice po reakci.

Přítomnost neutrálních částic zjišťujeme z rozpadu nabitých částic nebo jiné jejich reakce. Neutron působí jen jadernými, ne elektrickými silami, reaguje tedy s jádru atomů detektoru.

Jak poznáme vlastnosti vybuzeného stavu atomu vodíku?

Budeme-li měnit frekvenci dopadajícího světla, zjistíme, že při některých frekvencích prochází světlo vodíkem téměř bez reakce, zatímco při jiných je silně rozptylováno - prostě uvidíme **spektrální čáry**. Ze známé klidové energie atom vodíku v základ. stavu a ze známé energie fotonu do reakce vstupujícího určíme klidovou energii vybuzeného stavu. Z přirozené šířky spektrální čáry určíme dobu života vybuzeného stavu. Pomocí zákonů zachování zjistíme některé další veličiny (moment hybnosti ...).

2.10 Interpretace vlnové fce

modus nebo též vid je obecně takové vlnění (klasické i kvantové), které závisí na čase sinusově

stacionární stav je takový kvantový stav, jehož vlnová fce se s časem mění sinusově, a je tedy modem Schrödingerovy rce; tohoto termínu užíváme i pro systémy mnoha částic se spinem nebo bez něj

orbital je stacionární stav jednoho elektronu v atomu vez ohledu na spin; stacionární stav elektronu ve vodíkovém atomu tedy určíme zadáním jeho orbitalu a spinu s_z .

Každý orbital vodíkového atomu je určen trojicí čísel n, l, m , přičemž

stavy s $m = 0$ mají reálné vlnové fce Ψ_{nlm} , avšak při $m \neq 0$ je vlnová fce komplexní.

Orbital Ψ_{nlm} má $n-1$ všech uzlových ploch (bodů, v nichž má vlnová fce nulovou hodnotu) s x těch je l rovin procházejících počátkem a $n-1-l$ kulových ploch. Protože $|\psi(x)|^2$ udává "hustotu" elektronu a jeho náboje v atomu, jsou uzlové plochy místa, kde je tato hustota nulová. [?, 278]

$\psi \sim \cos(kx) + i \sin(kx)$ částice s hybností $p = \hbar k$

$\psi \sim \cos(-kx) + i \sin(-kx)$

$\psi \sim \cos(kx) - i \sin(kx)$ částice s opačnou hybností $p = -\hbar k$

superpozice: $|\psi|^2 = |\psi_A + \psi_B|^2$

$$\psi(x, t) = A_1 \cdot \cos(k_1 x - \omega t + \varphi_0) + i A_1 \cdot \sin(k_1 x - \omega t + \varphi_0) +$$

$$+ A_2 \cdot \cos(k_2 x - \omega t + \varphi_0) + i A_2 \cdot \sin(k_2 x - \omega t + \varphi_0)$$

hustota energie elmg vlnění $= \frac{1}{2} \epsilon_0 (E^2 + c^2 B^2)$

hustota fotonů (počet fotonů v objemové jednotce $\sim E^2 + c^2 B^2$ neboli pravděpodobnost, že zde najdeme foton

řešením Schrödingerovy rce je $\psi = \psi_{re} + \psi_{im}$. $|\psi|^2 = \psi_{re}^2 + \psi_{im}^2$ je analogická výrazu $I = E^2 + c^2 B^2$, kde I je stejně jako $|\psi|^2$, intenzita.

$\psi(\vec{x}) = \alpha \cdot \exp\left(\frac{i}{\hbar} \vec{p} \vec{x}\right)$ pro libovolné \vec{p} má právě jedno lineárně nezávislé řešení. Tyto fce nelze normalizovat k jednotce, avšak zvolíme-li $\alpha = \frac{1}{(2\pi\hbar)^{\frac{3}{2}}}$, budou normalizovány k δ -funkci, neboť $\langle \vec{p} | \vec{p}' \rangle = \frac{1}{(2\pi\hbar)^{\frac{3}{2}}} \int \exp\left(-\frac{i}{\hbar} \vec{p} \vec{x}\right) \exp\left(\frac{i}{\hbar} \vec{p}' \vec{x}\right) d^3 \vec{x} = \delta(\vec{p} - \vec{p}')$. Tedy spektrum jednotlivých komponent impulsu je nedegenerované, spojitě a probíhá celý interval $(-\infty; +\infty)$. V dalším budeme pod vlastní funkcí impulsu v x -reprezentaci vždy rozumět $\psi_p(\vec{x}) \equiv \frac{1}{(2\pi\hbar)^{\frac{3}{2}}} \cdot \exp\left(\frac{i}{\hbar} \vec{p} \vec{x}\right)$. Stav částice s daným impulsem je v x -reprezentaci popisován rovinnou vlnou s vlnovým vektorem $\vec{k} = \frac{\vec{p}}{\hbar}$.

$$\frac{\psi'(x)}{\psi(x)} = \frac{(x_0 - x)}{2(\Delta x)^2} + \frac{ip_0}{\hbar}$$

$$\psi(x) = N \cdot \exp \left\{ -\frac{(x_0 - x)^2}{4(\Delta x)^2} + i\frac{p_0 x}{\hbar} \right\}$$

$$|N| = (2\pi(\Delta x)^2)^{-\frac{1}{4}}$$

dostaneme z normalizační podmínky, neboť Gaussův integrál $\int_{-\infty}^{\infty} \exp(-\alpha x^2) dx = \left(\frac{\pi}{\alpha}\right)^{\frac{1}{2}}$.

Elektron má dualistickou povahu, platí pro něj Heisenbergův princip neurčitosti, tj. nelze s přesností určit současně jeho polohu a hybnost (klasic. mech. $p = mv$). Proto se zavádí pojem orbital, což je oblast nejpravděpodobnějšího výskytu elektronu kolem jádra (lze vypočítat ze Schrödingera (ψ^2)).

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2m}{h^2}(E - U)\psi = 0$$

E ... kinetic. energie částice

U ... potenciální energie částice

Δ ... Laplaceův operátor, vyjadřující vztah mezi souřadnicemi částice

$$\Delta = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial^2}{\partial x_j^2}$$

ψ ... vlnová funkce

2.11 Vstup částice do systému

[?, 57][?, 281][VJJ] - průběhy jaderných interakcí - graf

Zatímco energie vázaných stavů elektronů jsou kvantované, energie volných stavů může být libovolná. To platí obecně: každý atom má jednak stavy volné, jednak vázané. Energie vázaných stavů může nabývat jen určitých hodnot - jejich spektrum je diskrétní (\equiv nespojité). Energie volných stavů naproti tomu kvantovaná není, spektrum je spojitě.

2.11.1 Tunelový jev

Pečlivá měření přitažlivých vazebných sil a elektrostatických odpuzivých sil působících na částici unikající z jádra byla provedena Rutherfordem, jež užil takzvané metody „atomového ostřelování“. Ve svém proslaveném experimentu v Cavendish Laboratory vytvořil Rutherford svazek rychle se pohybujících částic alfa vystřelovaných některou radioaktivní látkou a pozoroval odchyly (rozptyl) těchto atomových projektilů v důsledku jejich srážek s jádry ostřelovaného materiálu. Tyto experimenty potvrdili skutečnost, že zatímco ve velké vzdálenosti od jádra jsou projektily silně odpuzovány elektrickými silami jádra, mění se toto odpuzování v silné přitahování, jestliže se projektilům podaří přiblížit se až k samé hranici jádra. Mohli bychom říci, že *jádro* připomíná poněkud pevnost, která je ze všech stran obklopena vysokým příkrým opevněním, které brání částicím, aby se dostaly jak dovnitř, tak ven. Avšak nejpozoruhodnějším výsledkem Rutherfordových pokusů byla zjištění, že *částice alfa, které z jádra unikají při procesu jaderného rozpadu, stejně tak jako projektily, které pronikají do jádra zvenku, mají ve skutečnosti menší energii, než odpovídá vrcholku opevnění čili „potenciálovému valu“*, jak je obvykle nazýváno.

Pokud se nalétávajícím protonům podaří zdolat tuhle jadernou pevnost, je to jenom proto že používají cosi jako taktiku trojského koně; proniknou skrz stěny jádra, ne jako částice, ale jako vlny.

2.12 Částice za velmi vysokých teplot, závislost na hustotě

Atomy s plným počtem elektronů mohou existovat jen za nízkých teplot a hustot.

Při jistých teplotách se stává slabá jaderná síla a elektromagnetická totožnou. Za ještě vyšších teplot je stejná i silná jaderná. Teorie sjednocení gravitační a jiné síly ještě vymyšlena nebyla.

2.13 Elektromagnetismus

Mění-li se počet siločar magnetického pole B , které procházejí vodivou smyčkou, vzniká podél vodiče el. pole. Toto pole se projeví jako napětí mezi body konce smyčky a způsobí el. proud v obvodu s měřicím přístrojem. Změny počtu siločar (magnetického toku smyčkou) můžeme dosáhnout těmito způsoby:

- pohyby magnetu blízko smyčky
- změnou el. proudu v blízké smyčce

2.13.1 Maxwellovy rce elektromagnetizmu

Podle Maxwellových rcí existuje jakési vlnění ve vakuu a světlo je zvláštní případ tohoto vlnění. Rychlost tohoto vlnění je, podle Maxwellových rovnic, konstantou.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

c ... rychlost šíření světla ve vakuu, rychlost šíření vln ve vakuu
tato rychlost není relativní, je konstanta (z Maxwellových rovnic tak plyne).

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

kde f ... frekvence
 c ... rychlost vln
 λ ... vlnová délka

B \equiv velikost magnetického pole

E \equiv velikost elektrického pole, intenzita

H \equiv udává část magnetického pole vyvolávanou „volnými proudy“, intenzita magnetického pole

1. $\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ svazuje rychlost časových změn magnetického pole \vec{B} s rychlostí prostorových změn elektrického pole \vec{E} . Je to diferenciální rce.
2. $\text{rot } \vec{H} = \vec{j}_{vol.} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ svazuje rychlost prostorových změn magnetického pole s rychlostí časových změn pole elektrického a s hustotou elektrického proudu j .
3. $\text{div } \vec{B} = 0$ [?, 149]
4. $\text{div } \vec{D} = \rho_{vol.}$

člen $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ se nazývá **Maxwellův (posuvný) proud**

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

ve vakuu
ve vakuu

$$H = \frac{1}{\mu} B$$

$$\epsilon = \frac{1}{\mu}$$

μ \equiv permeabilita (průchodnost)

permitivita

rot \equiv rotace = práce, kterou pole vykoná přenesením náboje malou uzavřenou smyčkou okolo bodu X, dělená obsahem plochy omezené touto smyčkou. Faradayovu zákonu lze pomocí pojmu rotace dát i tento tvar: *rotace elektrického pole v každém bodě je rovna rychlosti, jako ubývá magnetické pole v tomto bodě*, $\text{rot } \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$. Jako divergace, i rotace se vyjadřuje pomocí derivací složek E_x, E_y, E_z podle souřadnic x, y, z (ale samozřejmě jinak). [?, 162]

2.13.2 Řešení Maxwellových rovnic

2.13.3 Hlavní důsledky: Z těchto rovnic

1. plyne princip superpozice ve vakuu, protože jsou lineární; v látkách platí princip superpozice jen potud, pokud také platí lineární vztahy $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$, $\vec{B} = \mu \vec{H}$
2. plyne zákon zachování náboje (lze jej matematicky odvodit)
3. neplyne zákon kvantování náboje (existence elementárního náboje e)
4. plyne Coulumbův zákon a Biotův-Savartův zákon
5. neplyne výraz pro Lorentzovu sílu
6. neplyne, jak se v poli chovají látky (jsou-li dielektrické, parametrické apod.), to je třeba vypočítat pomocí kvantové a statistické mechaniky

vyskytuje se tu $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = c$, neboli rychlost, stejné velikosti jako rychlosti šíření světla ve vakuu. Podle Maxwellových rovnic existuje jakési vlnění ve vakuu a světlo je zvláštní případ tohoto vlnění. Rychlost tohoto vlnění je, podle Maxwellových rovnic konstantou. [OTR.DOC]

2.13.4 Elmg záření

c ... fázová rychlost; $c = \frac{\omega}{k}$

Maxwellovy rce, z nichž jsme vlnovou rci pro složky elmg pole ($\vec{E} = \vec{E}_0 \cdot \sin(\vec{k}\vec{x} - \omega t + \varphi_0)$, $\vec{B} = \vec{B}_0 \cdot \sin(\vec{k}\vec{x} - \omega t - \varphi_0)$) dostali však kladou ještě jedno omezení na tyto mody:

v každém z nich musí být vektory \vec{E}_0 , \vec{B}_0 , \vec{k} navzájem kolmé a velikost amplitudy mg pole \vec{B}_0 musí být c -krát menší než velikost amplitudy elektrického pole \vec{E}_0 . Protože oba vektory \vec{E} a \vec{B} jsou kolmé na směr šíření, elmg vlnění není nikdy podélné.

polarizátor filtr propouštějící vlnění pouze určité polarizace. Při odrazu světla od lesklých předmětů (skla, vody) je potlačeno vlnění, jehož směr polarizace je kolmý k odrazující ploše a proto odražené světlo je polarizováno převážně ve směru rovnoběžném s touto plochou. Polarizátor na focení tedy rovnoběžnou polarizaci nepropouští.

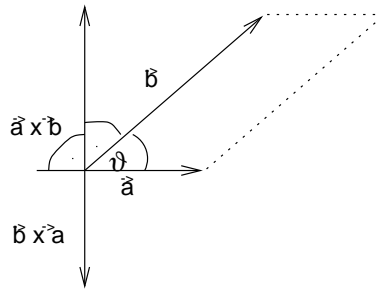
viditelné záření když na látku dopadne viditelné světlo (jeho frekvence je dostatečná na to, aby došlo k excitaci, narozdíl od fotonů nižších frekvencí, které jen hřeje), pak jeho fotony excitují atomy látky a ty při zpětném přechodu do základního stavu opět viditelné fotony vyzáří; proto látky většinou odrážejí světlo. (V „černých“ látkách se energie excitace získaná pohlcením světelného fotonu přemění na energii tepelného pohybu a ta se pak vyzáří v podobě infračerveného záření - jeden foton viditelného světla o energii okolo 0.01 eV.)

Jiným způsobem jak atom může dostat energii je srážka s rychlou částicí (s částicí urychlenou na energii podstatně vyšší než kT). Tak svítí např. televizní obrazovka (princip CRT). [?, 341]

Lorentzova síla neplyne z Maxwellových rovnic

$$\vec{F} = Q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

$\vec{v} \times \vec{B}$... vektorový součin



[?, 153]

Vektorový součin $\vec{v} \times \vec{B}$ má směr kolmý na oba vektory \vec{a} i \vec{b} a jeho velikost, $ab \sin(\vartheta)$, je rovna obsahu vyšrafovaného rovnoběžníku. Orientaci součinu určíme podle pravidla pravé ruky: palec ukazuje směr prvního činitele, ukazováček druhého, prostředníček směr součinu. Povšimněme si, že odtud plyne $\vec{a} \times \vec{b} = -\vec{b} \times \vec{a}$. Jsou-li dva vektory rovnoběžné, nebo dokonce stejné, pak je jejich vektorový součin roven nule.

2.14 Zeemanův jev

Vložíme-li atom do mg pole, změní se energie stavů podle toho, jak je jejich mg moment natočen vůči směru pole. Takovému rozštěpení hladin na podhladiny se říká *Zeemanův jev*.

2.15 Starkův jev

Obdobné rozštěpení hladin na podhladiny elektrickým polem. Energie stavů se změní podle toho, jak je jejich mg moment natočen vůči směru pole.