

AJFY 2013/14  
otázky na zkoušku

- 1 Atomy – Od Leukippa po Bernoulliho (vč. kinetické teorie)
- 2 Atomy – Od Daltona po Bohra
- 3 Struktura kvantové teorie
- 4 Nekonečná a parabolická jáma, bariéra
- 5 Moment hybnosti, magnetická rezonance
- 6 Atom vodíku a víceelektronové atomy
- 7 Přechody v atomech, lasery
- 8 Molekuly a pevná látka
- 9 Vlastnosti jádra
- 10 Kapkový a slupkový model, silná interakce
- 11 Radioaktivita, slabá interakce, datování
- 12 Základní částice dnes
- 13 Energie a lidstvo
- 14 Vodní, větrná a sluneční energie
- 15 Štěpení jader
- 16 Slučování jader

1

Atomy - jsou v neustálém pohybu,  
když jsou od sebe trochu vzdálené, přitahují se,  
když jsou těsně u sebe, odpuzují se

Řecký atomismus - svět složen z nedělitelných,  
neměnných, věčných částíček pohybujících se  
v prázdnu (5. stol. př. n. l.)

hlavní představitelé: Leukippos, Demokritos

fyzikální - Bernoulliho cesta

Boyleův - Mariottův zákon  $\frac{p}{p} = \frac{1}{s} = \frac{V}{V}$

Tlak je střední výsledek nárazů molekul na stěnu

$$pV = \frac{1}{3} m N v^2$$

$$pV = \frac{2}{3} E$$

$$pV = RT \quad (\text{stavová rovnice})$$

$\Rightarrow$  Teplota je úměrná střední kinetické energii

Difuze  $\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$

$$D = \frac{1}{3} v \lambda$$

2

chemická - Daltonova cesta k atomární teorii

- atomy stejného prvku stejné, sloučeniny vznik spojením atomů

Poměry hmotností prvků v sloučenině dány malými celými čísly

Avogadro - stejné objemy plynů + stejné podmínky = stejné množ. molekul

Mendělejev - uspořádání prvků podle molární hmotnosti

Maxwell - statistický popis  $P(v^2) = A^3 \cdot e^{-\alpha v^2}$

Einstein - teorie Brownova pohybu

J. Perrin - zkoumal Brownův pohyb, potvrdil existenci atomů  
určil rozměr atomu a Avogadrovo č.  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$

Becquerel - objevil radioaktivitu

Při radioaktivních procesech se prvek změnil na nový

J.J. Thomson - plum pudding model

Rutherfordův model - vysvětluje rozptyl alfa částic na zlaté fólii

Bohrův model

$$W = \frac{eE}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{2}r$$

$$\omega = \frac{4\pi\epsilon_0}{eE} \cdot \frac{\sqrt{2W}}{\sqrt{m}}$$

kvantovací podmínka  $W = \frac{1}{2}n\hbar\omega$   $mvr = n\hbar$

podmínka vyzařování  $\hbar\Omega = W(n_1) - W(n_2)$

3

částice se projevují lokálními stopami  
výskyt částic popsán vlnovými funkcemi

$$\Psi(r, t) = A \cdot e^{\frac{i}{\hbar}(pr - Et)}$$

$$E = \hbar \omega$$

$$p = \hbar k = \frac{\hbar 2\pi}{\lambda} n$$

vlnové chování se projeví pokud je vln. délka dostatečně dlouhá  
světlo je proud fotonů

energie pro fotoefekt  $A + \frac{1}{2}mv^2$

elektrony se chovají jako vlny

operátory kvantové mechaniky

$$\hat{r} = (\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$$

$$\hat{p} = -i\hbar \nabla$$

$$p_x = \frac{-i\hbar \partial}{\partial x}$$

Heisenberg:  $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{1}{2}\hbar$

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + V(\hat{r})$$

Schrödingerova rovnice

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \hat{H} \Psi$$

energetické stavy jsou stacionární

4. vázané stavy mají diskrétní hodnoty energie  
nekonečná jáma

$$p = \frac{2\pi\hbar}{\lambda}$$

$$L = \frac{n\lambda}{2}$$

$$E = \frac{p^2}{2m} = \frac{4\pi^2\hbar^2}{2m\lambda^2} = \frac{(n\pi\hbar)^2}{2mL^2}$$

$$\psi(x) = A \sin\left(\frac{p}{\hbar} \cdot x\right) = A \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

parabolická jáma = harmonický oscilátor

$$V(x) = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 x^2$$

$$E_n = \hbar\omega\left(n + \frac{1}{2}\right)$$

$$m\omega^2 l^2 = \hbar\omega \Rightarrow l = \sqrt{\frac{\hbar}{m\omega}}$$

$$\psi = H_n(\xi) e^{-\frac{1}{2}\xi^2}$$

potenciálová bariéra

- tunelový jev

pravděpodobnost průchodu

$$D = e^{-\frac{2}{\hbar} \int \sqrt{2m(V-E)} dx}$$

5.

orbitální moment hybnosti

def.  $\hat{L} = \hat{r} \times \hat{p}$

$$\hat{L}^2 \psi_{lm} = l(l+1)\hbar^2 \psi_{lm}, \quad \hat{L}_z \psi_{lm} = m\hbar \psi_{lm}$$

vlastní moment hybnosti = spin

nejjednodušší spin  $\frac{1}{2}$  např. elektron

stavy  $|\uparrow\rangle$   $|\downarrow\rangle$  obecně  $\alpha|\uparrow\rangle + \beta|\downarrow\rangle$

částice má orbitální moment hybnosti  $\Rightarrow$  má mag. moment

$$\mu = -\frac{e}{2m} L$$

$$E = -\mu B$$

vzdál. dvou hladin =  $2\mu B$  = energie fotonu  $h\nu$

mag. rezonance

dva typy

EPR 28 B GHz radikály, přenos náboje

NMR 42,5 B GHz chemie, struktura

absorpce úměrná koncentraci jader

Zobrazování pomocí mag. rezonance

6.

atom vodíku

stojící bodové jádro a elektron vzdj. elstat. integrující

Schrödingerova rovnice

$$\hat{H}\Psi = E\Psi$$

$$\hat{V} = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$\Psi = R(r)Y_{lm}(\theta, \varphi)$$

$$E_n = -\frac{mZ^2e^4}{2(4\pi\epsilon_0\hbar)^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

orbital = prostorové rozložení ppsti výskytu  $e^-$  v atomu

víceelektronové atomy

model nezávislých elektronů v efektivním potenciálu

$$\Psi(r_1, r_2) = \Psi_a(r_1)\Psi_b(r_2) - \Psi_a(r_2)\Psi_b(r_1)$$

Pauliho princip: v daném stavu max. 1 fermion

$$V = -\frac{(Z-\sigma)e^2}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{\beta\hbar^2}{2mr^2}$$

~~$$E_n = -\frac{(Z-\sigma)^2 m e^4}{2(4\pi\epsilon_0\hbar)^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$~~

$$E_n = -\frac{m(Z-\sigma)^2 e^4}{2(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

7.

- při přechodu elektronu z vyšší hladiny na nižší je emitován foton, jeho energie odpovídá rozdílu energií horní a dolní hladiny
- při absorpci fotonu je elektron excitován do vyšší hladiny, nebo dochází k ionizaci

přechody elektronu mezi dvěma hladinami

$$\frac{dn_1}{dt} = -\frac{dn_2}{dt} = -B_{12}n_1u(\omega) + A_{21}n_2 + B_{21}n_2u(\omega)$$

v rovnováze:  $\frac{dn_1}{dt} = -\frac{dn_2}{dt} = 0$

$$B_{12}n_1u(\omega) = A_{21}n_2 + B_{21}n_2u(\omega) \Rightarrow u(\omega) = \frac{A_{21}}{B_{12}\frac{n_1}{n_2} + B_{21}}$$

v rovnováze Boltzmann:  $\frac{n_1}{n_2} = e^{\frac{\hbar\omega}{k_B T}}$

$$u(\omega) = \frac{A_{21}}{B_{12}e^{\frac{\hbar\omega}{k_B T}} + B_{21}}$$

při  $B_{12} = B_{21}$ ,  $A_{21} = B_{21} \frac{\hbar\omega^3}{\pi^2 c^3}$  Planckovo rozdělení

lasery - využívají nucenou emisi

metody čerpaní

- el. náboj - Ar, CO<sub>2</sub>

- absorpce světla

- chemická reakce

- el. proud - polovodičový AlGaAs

maser = mikrovlnný laser



8.

molekuly

složitější Schrödingerova rovnice  
polohy jader bereme jako parametry,  
hledáme minimum energie systému  
atomové orbitaly nahrazeny molekulárními

pevná látka

potenciál má tzv. Blochův tvar  $\Psi_k = e^{ikx} u_k(x)$

energie tvoří pásy

$$E = E_n(k)$$

v každém pásu je  $N$  stavů, v každ. mohou být 2  $e^-$   
pásy se zaplňují od spoda až po Fermiho mez  
úplně zaplněné a prázdné pásy nepřispívají k vodivosti  
obsazení pásů určuje, zda je látka kov, izolant,  
nebo polovodič

9.

složení jádra:  $N = A - Z$

hmotnost jádra  $= A \cdot u$

$$M(A, Z) = ZM_p + NM_n - \frac{W(A, Z)}{c^2}$$

rozložení nukleonů,  $\rho = \frac{\rho_0}{e^{\frac{r-R}{a}} + 1}$

váznobná energie  $= 8 \text{ MeV}$  na nukleon

lichá-lichá jádra  $\rightarrow$  nestabilní

lichá-sudá, sudá-lichá  $\rightarrow$  stabilnější

sudá-sudá  $\rightarrow$  nejstabilnější

neutronů víc než protonů

protony se odpuzují

přebytek neutronů  $\rightarrow \beta^-$  rozpad

přebytek protonů  $\rightarrow \beta^+$  rozpad, nebo zachyt  $e^-$

těžká jádra  $\rightarrow$  dochází k  $\alpha$  rozpadu

moment hybnosti jádra  $=$  spin jádra  $I$

$=$  vektorový součet orbitálních a spinových momentů nukleonů

protony i neutrony - tendence k párování

magnetický moment  $=$  vektorový součet orbitálního

momentu nukleonů a vlastních momentů

protonu a neutronu

10.

## kapkový model

jádro jako nabitá kapka - vazba nukleonů v jádře konst  
nukleony na povrchu vázány méně  
elektrostatické odpuzování protonů  
symetrizační člen

žubový člen

$$W(A, Z) = a_1 A - a_2 A^{\frac{2}{3}} - a_3 \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}} - a_4 \frac{(A - 2Z)^2}{A} + D$$

## slupkový model

nezávislé nukleony v efektivní potenciálové jámě

Woodsův - Saxonův potenciál

$$V = - \frac{V_0}{e^{\frac{r-R}{a} + 1}}$$

+ elstat. odpuzování pro protony  
+ spin orbitální člen úměrný  $L \cdot S$ .

model umožňuje určit energetické stavy a jejich spin

11.

radioaktivita

počet rozpadů je úměrný množství látky

$$\frac{dn}{dt} = -\lambda n$$

$$n = n_0 e^{-\lambda t}$$

$$T_{\frac{1}{2}} = \ln \frac{2}{\lambda}$$

alfa rozpad

$$\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0 T}$$

$$\tau_0 = \sqrt{\frac{2R}{v}} = \text{konst}$$

4-9 MeV, poločasy rozpadů  $10^{10} - 10^{-7}$  s

beta rozpad

potřeba neutrino a slabá interakce

$\beta^-$  rozpad  $\rightarrow$  rozpad neutronu  $n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}$

$\beta^+$  rozpad  $\rightarrow$  rozpad protonu  $p^+ + e^- \rightarrow n + \nu$

slabá interakce

cca o 12 řádů slabší než silná

intenzita roste s energií

bodová, univerzální

rozlišují mezi pravou a levou stranou

a mezi částicemi a antičásticemi

datování

za života mají organismy  $^{14}\text{C}$ , po smrti klesá

$\rightarrow$  lze určit stáří

poločas rozpadu 5730

$$-t = 8267 \ln \frac{{}^{14}\text{C}(\text{vzorek})}{{}^{14}\text{C}(\text{sr})}$$

chyba metody 25-100 let

použitelné do cca 50 000 let

## 12. Zdkl. částice dnes

ldr: elektron a elektronové neutrino

leptony: ~~minormion~~ a jeho neutrino, tau a jeho neutrino  
neutrína vzájemně oscilují

leptony jsou elementární

leptonové číslo se zachovává

baryony (podobně nukleonům): 4 baryony, podivné b,  
přívabné b., spodní b.

částice s nejnižší energií žijí dlouho, částice  
s vyšší energií kratce

baryony nejsou elementární

mezony - podobně pionům

m, bez vůně, podivné, přívabné, spodní  
nejsou elementární

hadrony složeny z kvarků

tvorí baryony + mezony  
silně integrující částice  
elementární

kvarků je 6, tvoří tři páry:

up a down

charm a strange

top a bottom

13.

1 BTU = 1,055 kJ

1 toe = ekvivalent ropné tuny

populace roste a poroste      o 1,3% / rok

spotřeba poroste       $430 \cdot 10^{15}$  BTU

výroba elektřiny      16 TWh

energetické zdroje

ropa

zemní plyn

uhlí

uran

fosilní paliva produkují  $\text{CO}_2$  - nárůst teploty

14

vodní elny

velké negativně ovlivňují živ. prostředí  
přehrady zdrojem  $\text{CO}_2$  a  $\text{CH}_4$   
male jsou málo účinné

větrné elny

problém - malá hustota větru  
- nepravidelnost foukání  
- malá účinnost 15 %

fotovoltaika

dopadající fotony vytvářejí pár elektron-díra  
to vytváří proud

- Si články reaguje jen na energii  $> 1,1 \text{ eV}$
- malá hustota toku sluneční energie
- problém cena

jádro

vhodné je štěpení těžkých a slučování lehkých jader

jaderné reakce - interakce jádra s částicí  
nebo jiným jádrem, vzniká nové jádro

15.

uvolní se 2-3 neutrony, kt. vyvolají další štěpení → řetězová reakce  
uvolní se energie 200 MeV

$$\sigma \frac{Z^2}{A^3} > \beta A^{\frac{2}{3}} \quad \text{podmínka štěpení}$$

účinný průřez  $\sigma$  - střední počet reakcí za jednotku času  
na 1 reakčním centru při jednotkovém toku dopadajících  
částic

počet reakcí za čas  $Nj\sigma$

$$\eta = \frac{\nu \sigma(n, f)}{\sigma(n, f) + \sigma(n, \gamma)} \quad \text{balance neutronů}$$

$^{235}\text{U}$  rychle neutrony 2-3 MeV

při kritickém objemu dochází k samovolnému štěpení

$^{238}\text{U}$  před dostatečnou energií pro štěpení má 60% neutronů

každý pátý vyvolá štěpení

k samovolnému štěpení nedochází

přirozený uran = 99,3 %  $^{238}\text{U}$  + 0,7 %  $^{235}\text{U}$

samovolně se neštěpí

musíme obohatit, nebo zpomalit neutrony

obohacuje se  $^{235}\text{U}$  nebo plutoniem

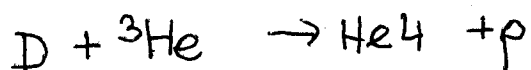
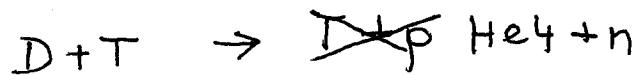
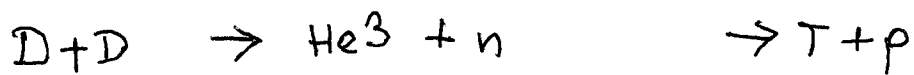
moderování - snížení energie neutronů

vhodné moderátory - těžká voda, grafit



16

dobré reakce



problém je odpuzování - potřebná energie  $E = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R}$

podmínka štěpení - Lawson

při teplotě  $T$  je energie  $E = 2\frac{3}{2} n_e k_B T$

energie > ztráty

3 metody udržení:

gravitační - hvězdy

v magnetickém poli - tokamaky

inerciálně s ohřátím - lasery