Fy2 – Okruhy látky a základní otázky (test 1)

1. Co je to termodynamická soustava? Jaké rozlišujeme?

- Prostorově vymezený systém se skutečnou/pomyslnou hranicí, oddělujícího od okolí

a) izolovaná: ani energii, ani látku si nevyměňuje s okolím (termoska)

b) otevřená: vyměňuje energii i látku (živý organismus)

c) uzavřená: vyměňuje energii, ne látku (válec s pístem)

- c_1) adiabatická: jediná energie, jež se vyměňuje je v podobě práce W (izolovaný píst)
- c_2) diatermická: jediná energie, jež se vyměňuje je teplo Q (konzerva)

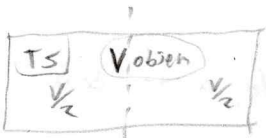
2. Co musí splňovat stavová veličina soustavy?

- musí jít vyjádřit úplným diferenciálem d, tedy při jejím integraci nezáleží na cestě ale pouze na poč. a konc. bodech T_1, T_2
- (P, T, V, Entropie, U...)

Pozn: dějové veličiny (Q, W) nejdou vyjádřit úplným diferenciálem
- nevyčíslíme stav, ale změnu Δ

3. Co jsou intenzivní a extenzivní veličiny?

- Jsou to stavové veličiny
  - intenzivní: Při půlení TS se její hodnota zachová (P, T, ρ)
  - extenzivní: Při půlení TS se její hodnota půlí (V, U, S)



4. První dva postuláty termodynamiky?

I) setrvačnost: if TS izolujeme od okolí, po čase samovolně přejde do TD rovnováhy ve které setrvává, dokud do ní nezasáhneme z vnějšku

5. II) Jakákoliv vnitřní stavová veličina je funkcí jedné vnitřní a několika vnějších stavových veličin. např $P = f(T, V)$ (vnitřní, vnější)

Vnitřní S. veličiny
- co se děje uvnitř soustavy

Vnější S. veličiny
- Popis hranice (objem V)

6. Definice kvazistatického děje?

Kvazistatický ≡ rovnovážný: děj při kterém soustava zůstává nekonečně blízko rovnovážného stavu – např přecházíme z 1 do 2 dostatečně pomalu (nebo super rychle)

↳ tj. děj je reversibilní (vratný děj)

- izobarický $p = konst$
- izotermický $T = konst$
- izochorický $V = konst$
- adiabatický $\Delta Q = 0$ bez výměny tepla – rychlý děj

7. Co je Nevratný TD děj?

– Původního TD stavu nelze dosáhnout přesně stejným postupem v obráceném pořadí. Nevratné totiž probíhají bez vnějšího působení pouze v jednom směru. K dosažení pův. stavu je nutno vynaložit energii, která soustavě nepatří!

8. Nultý zákon TD

– tranzitivita tepelné rovnováhy ⊙ mezi systémy: $A \odot C \wedge B \odot C \Rightarrow A \odot B$

15. První zákon TD (diferenciální tvar)

$\delta Q = dU + \delta W$ iff dodáme soustavě teplo – projeví se to přírůstkem U vnitř. energie a konáním práce W

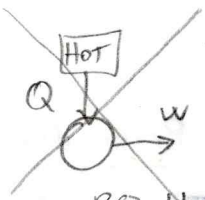
$Q = \Delta U + W$

δ závisí na cestě

$\delta W = p\,dV$

22. Druhý zákon TD

Thomsonova formulace: Není možné žádným cyklickým dějem tělesu odnímat teplo, a to beze zbytku přeměnit na práci



diferenc. tvar: $dS \geq \frac{\delta Q}{T}$ (entropie)

integrál. tvar: $0 \geq \oint \frac{\delta Q}{T}$

Pro rovnovážné děje $dS = \frac{\delta Q}{T}$

Protože $\oint dS = 0$ (úplný diferenciál)

} Clausiova nerovnost 2. TD. zákona

30. Třetí zákon TD

Nemůžeme konečným počtem tepelných dějů dosáhnout teploty absolutní nuly $T = 0$ (K)

– nelze čistou látku ochladit na 0K

9. Převodní vztah mezi Celsiovou a TD (kelvinovou) stupnicí teploty:

$$t = \left(\frac{T}{1K} - 273{,}15\right)°C$$

10. Jaké rozlišujeme způsoby přenosu energie mezi TS? ΔU

1. Přenos tepla Q – v důsledku rozdílných teplot – vedení, proudění, sálání
   – více aktivní atomy předávají energii méně aktivním.
2. konáním práce W – např. kl. V důsledku rozdílných tlaků soustava koná práci – posun pístu
   $W > 0$ – TS koná práci, $W < 0$ my konáme práci na soustavě.
3. tokem částic (hmoty) – neuvažujeme

11. Definice objemové práce:

$$\delta W = F\,ds = p\,A\,ds = p\,dV \quad \rightarrow \quad W_{1,2(c)} = \int_{1c}^{2} \delta W = \int_{V_1}^{V_2} p(V)\,dV$$

$F \cdot s$ ← pA ← plocha

W ← dráha

12. Jakými předpoklady se definován ideální plyn?

$U = U(T)$ – pouze funkcí teploty

1. Rozměry molekul jsou zanedbatelné vůči jejich vzdálenosti od sebe
2. Molekuly na sebe vzájemně nepůsobí, až na dokonale pružné srážky
3. Vzájemné srážky molekul a se stěnami nádoby jsou pouze dokonale pružné

13. Stavová rovnice ideálního plynu:

$$pV = nRT \qquad pV = NK_BT$$

R: $8{,}315$ $(J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1})$

K_B: Boltz. konst. $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ $(J \cdot K^{-1})$

16. Jak se změní rovnice 1. TD zákona, pokud se jedná o kruhový děj?

– vrátíme se do původního stavu → $\Delta U = U_2 - U_1 = U_1 - U_1 = 0$

U_2 = poč. bod = konc. bod

$$Q = \cancel{\Delta U}^{\,0} + W$$

$$Q = W$$

17. Definice tepelné kapacity:

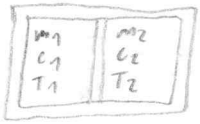
$$C = \frac{\delta Q}{dT}\ [J/K]$$

Množství dodaného tepla Q na ohřátí soust. o 1 stupeň teploty

18. Napište kalorimetrickou (směšovací) rovnici

$m_1 c_1 (T - T_1) = m_2 c_2 (T_2 - T)$,

T ... ustálená teplota



$Q_1 = Q_2$ dokonalý přenos tepla $T_2 \to T_1$, $T_2 > T > T_1$

19. Napište Mayerův vztah

$C_p - C_V = nR$ kde C_p je tepelná kapacita při konstantním tlaku (C_V objemu)

$\Rightarrow$ obecně u plynů $C_V < C_p$

20. Poissonova konstanta Definice

$$\varkappa = \frac{C_p}{C_V} = \frac{c_p}{c_V} = \frac{C_{mp}}{C_{mV}}$$

C_{mp}, C_{mV} ... molární t.k. $= \frac{C}{n}$

c_p, c_V ... měrná tep.k. $= \frac{C}{m}$

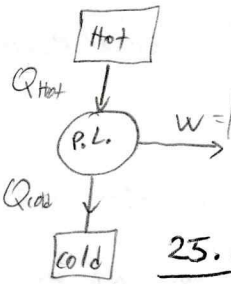
$\varkappa \geq 1$

21. Matematická formulace Poissonova zákona

Při adiabatickém ději (tj. $\delta Q = 0$) platí $pV^{\varkappa} = \text{konst} \Leftrightarrow p_1 V_1^{\varkappa} = p_2 V_2^{\varkappa}$

23. Tepelná účinnost + obrázek

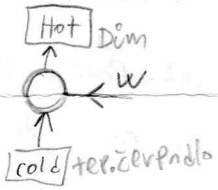
$$\eta = \frac{W}{|Q_{Hot}|} = \frac{|Q_{Hot}| - |Q_{cold}|}{|Q_{Hot}|} = 1 - \frac{|Q_{cold}|}{|Q_{Hot}|}$$



$\eta = \frac{\text{výkon}}{\text{příkon}}$

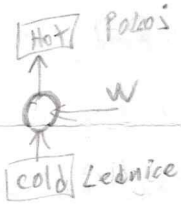
24. Topný faktor + obrázek

$$\alpha = \frac{|Q_H|}{W} = \frac{|Q_{cold}| + W}{W}$$

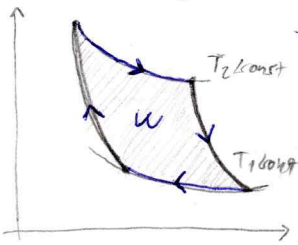


25. Chladící faktor

$$\alpha = \frac{|Q_{cold}|}{W}$$



26. P-V diagram pro ideální Carnotův cyklus a popište děje



1. izoterm. expanze $\Rightarrow Q_{12}$ na tlakovou práci W, $\Delta U = \text{konst}$ $W > 0$
2. adiabatická expan. $\Rightarrow W$ na úkor vnitřní energie U která klesá $W > 0$
3. izoterm. compress. $\Rightarrow$ odevzdání Q_{34} při konání práce W (my konáme práci) $W < 0$
4. adiabatická compress $\Rightarrow$ U roste $W < 0$

27. Účinnost ideálního Carnotova cyklu

$$1 > \eta = 1 - \frac{|Q_{12}|}{|Q_{34}|} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

28. Carnotovy věty

1. Mám dva Carnotovy cykly/stroje. Pokud jejich rezervoáry (teplot. lázně) pracují na stejných teplotách T_{hot} T_{cold} Pak mají stejnou účinnost.

"Účinnost Carnot. cyklů je dána pouze teplotami lázní"

2. Účinnost ideálního vratného tep. stroje je vždy vyšší než účinnost nevratných strojů mezi stejnými lázněmi

29. Clausiova nerovnost

tj. matematické vyjádření 2. TD. zákona

integr. tvar:

$$0 \geq \oint \frac{\delta Q}{T}$$

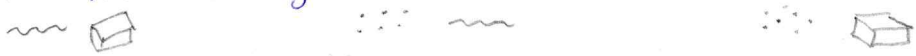
diferenc. tvar:

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

S ... entropie

31. Skupenské přeměny, fázové přechody

SP) tání ⇔ tuhnutí vypařování ⇔ kondenzace sublimace ⇔ de-sublimace



FP) Fázový přechod označuje skokovou změnu makroskopických vlastností TS při změně veličiny (např. T ← $\rho, c, \varepsilon, \dots$)

1. druhu) Entropie a měrný objem ($v = \frac{1}{\rho}$) se mění skokem (změna skupenství)

2. druhu) Entropie S a měrný objem v se mění spojitě

32. Clausiova-Clapeyronova rovnice

- vztah mezi velikostí tepla fázov. přechodu a změny objemu pro přechody 1. druhu

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)}$$

L ... teplo fáz. přechodu

33. Gibbsovo pravidlo fází. Popište význam symbolů

$$v = s - f + 2$$

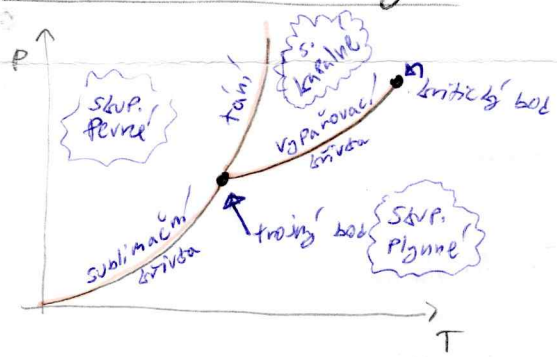
v ... stupně volnosti, f ... počet nezávislých složek, s ... počet fází soustavy

Pozn: Podle počtu stupňů volnosti soustavy jsou fázové diagramy rovinné nebo prostorové

Např. soustava složena z vody a její syté páry má 1 st. volnosti protože $s=1$, $f=2 \rightarrow v=1$

jedno-složková ($s=1$) soustava má max $v=2$ stupně volnosti a lze ji tak zobrazit pomocí 2D-fázového diagramu

34. Nakreslit p-T diagram pro jednosložkovou soustavu ($s=1$) Popište jeho části a body.



35. Vztah pro délkovou teplotní roztažnost

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta t)$$

l ... délka při teplotě t

$$\alpha = \frac{1}{l_0}\frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{l - l_0}{l_0 \Delta t}$$

α ... součinitel teplotní délkové roztažnosti

36. Vztah pro objemovou teplotní roztažnost

$$V = V_0(1 + \beta \Delta t) \qquad \beta = \frac{1}{V_0}\cdot\frac{\Delta V}{\Delta t} \qquad \beta \approx 3\alpha$$

37. Maxwellovy předpoklady, za kterých vybudoval kinetickou teorii plynů

1) Jestliže máme izolovanou TS, tak všechny dosažitelné mikrostavy mají stejnou pravděpodobnost.

- Mikrostavem chápeme určení stavu všech elementů (molekul) uvažované TS. Ω = součet dosažitelných mikrostavů

38. Pomocí TD teploty (T) napiš vztah pro střední kinetickou energii molekul ideálního plynu

$$\langle E \rangle = \left\langle \frac{1}{2} m v^2 \right\rangle = \frac{3}{2} k_B T$$

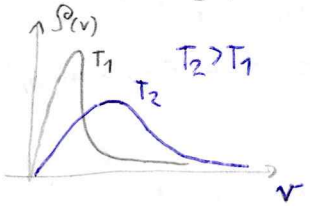
$\langle E \rangle$ ... střední kinetická energie

$k_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K ... Boltzmannova konstanta

39. Vztah pro Maxwell-Boltzmannovo rozdělení rychlostí ideálního plynu

$$S(v) = 4\pi\left(\frac{m}{2\pi \cdot k_B T}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot v^2 \cdot e^{\left(\frac{-m}{2 \cdot k_B T} v^2\right)}$$

hustota pstí rychlostí pro v = rychlost částice, m = hmotnost částice při teplotě T



40. Určete nejpravděpodobnostnější rychlost molekul ideál. plynu pro danou teplotu

$$v_p = \sqrt{\frac{2k_BT}{m}}$$

Pozn: střední $= \sqrt{\frac{8}{\pi}\frac{k_BT}{m}}$

střední kvadratická $= \sqrt{\frac{3k_BT}{m}}$

41. Napiš Ekvipartiční teorém:

Obecně platí, že pokud má částice (molekula, atom) stupeň volnosti ν, pro jeho energii platí

$$E = \frac{\nu}{2}k_BT$$

42. Napiš na základě Ekvipartičního teorému molární tepelnou kapacitu při V=konst, ideálního jedno-atomového p

$$C_V = \frac{\delta Q}{n\,dT} = \frac{dU}{n\,dT} = \frac{d(\frac{3}{2}nRT)}{n\,dT} = \frac{3}{2}R$$

$\delta Q = dU + \delta W$

$\delta Q = dU + p\,dV$ ($dV = 0$)

$\delta Q = dU$

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

~~43. Daltonův zákon o parciálním tlaku~~

44. Napiš kanonický tvar vlnové rovnice

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2}$$

Platí pro všechny typy vlnění 1D

u značí výchylku / vlnu

c = rychlost šíření v daném prostředí

x = poloha

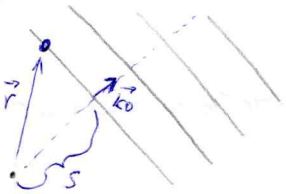
→ Pro 3D

$$\nabla^2 u(\vec{r},t) = \frac{n}{c^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

45. Vlnová rovnice pro rovinné vlny

$$\frac{\partial^2 u(s,t)}{\partial s^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 u(s,t)}{\partial t^2}$$

$s = \vec{k_0}\cdot\vec{r}$ = vzdálenost od počátku



46. Vlnová rovnice pro kulové vlny

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\cdot\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

u = výchylka

r = poloměr vlnoplochy = vzdálenost od zdroje

c = rychlost šíření

47. Obecné řešení vlnové rovnice = obecná d'Alembertovo řešení 1D vln. rce

$$u(x,t) = f(x-ct) + g(x+ct)$$ Pro daný čas

$$u(x,t) = F\left(t - \frac{x}{c}\right) + G\left(t + \frac{x}{c}\right)$$ V daném místě

49. Obecné řešení vlnové rovnice pro kulové vlny

$$u(\vec{r},t) = \frac{f(\vec{r}-ct)}{r} + \frac{g(r+ct)}{r}$$

50. Definice vlnového čísla. směr?

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$$

λ = vlnová délka

ω = úhlová frekvence

c = rychlost šíření

směr je totožný se směrem šíření, tj kolmý k vlnoploše $\vec{k} = \vec{\nabla}\varphi(\vec{r},t)$

rovnice vlnoplochy

$\varphi(r, t=t_0) = konst$ "udává body vlny se stejnou fází. Množina těchto bodů se vlnoplocha"

52. Co je to Disperze?

Disperze nastává pokud úhlová frekvence vlny závisí na vlnovém čísle. Tvar vlny se tak postupně mění, jak se vlna šíří. Jinak rychle prostupují prostředím vlny s různou frekvencí, a tak pokud je obecná vlna tvořena fourierovou řadou harmonických vln o různých frekvencích, její tvar se postupně mění jak se poměr a rychlost těchto podvln mění

Disperzní relace $\omega = \omega(k)$ nebo $k = k(\omega)$

fázová rychlost c_f pak také závisí na k nebo ω

Pozn. iff $c_f = c_g$ jedná se o bezdisperzní prostředí

53.54. Výpočet fázové a grupové rychlosti

$$c_f = \frac{\omega}{k} \qquad c_g = \frac{d\omega}{dk}$$

55. Vztah $c_f \sim c_g$ v bezdisperzním prostředí

V bezdisperzním prostředí platí $c_f = c_g$

Pozn. Disperze normální: $c_f > c_g$

anomální: $c_f < c_g$

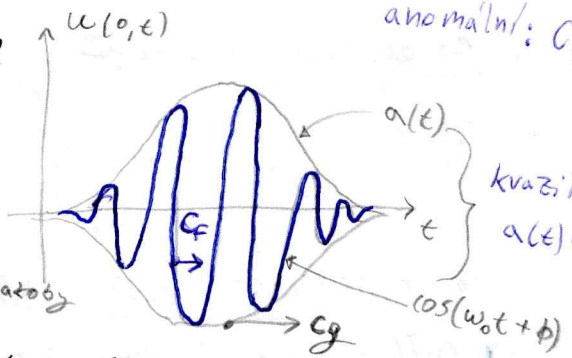
hranol

DVD

56. Jak definujeme vlnovou obálku (balík)?

$$u(x,t) = \underbrace{a\left(t - \frac{x}{c_{go}}\right)}_{\text{obálka}} \cdot \cos(k_0 x - \omega_0 t + \phi)$$

Obálka se pohybuje rychlostí c_g, vlna uvnitř c_f jakoby



kvazi harmonická vlna

$a(t)\cos(\omega_0 t + \phi)$

57. Vztah mezi grupovou a fázovou rychlostí obecně

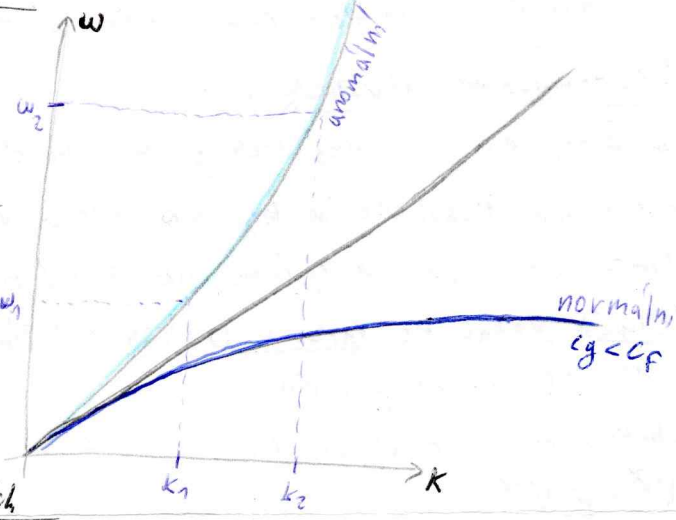
$$c_g = c_f + k \cdot \frac{dc_f}{dk}$$

58. Normální a anomální disperze + obrázek

Anomální disperze nastává pokud $c_f < c_g$

Normální disperze zase pokud $c_f > c_g$

– pokud $c_g = c_f$ disperze nenastává



59. Napište obecnou (nelineární) soustavu rovnic popisující akustické vlny v ideálních tekutinách

tj 2 rovnice z FY1 + stavová rce

1) $\rho\left[\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v}\cdot\vec{\nabla})\cdot\vec{v}\right] = -\vec{\nabla}p + \vec{f}$ (Eulerova pohyb. rce pro ideál. tekutiny)

2) $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho\cdot\vec{v}) = 0$ (rovnice kontinuity, dif. tvar)

3) $p = p(\rho)$ (stavová rce ideál plynu) např $p = \frac{p_0}{\rho_0^{\alpha}}\rho^{\alpha}$

60. Napište soustavu linearizovaných rovnic –II–.

1) $\rho_0 \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\vec{\nabla}p'$

2) $\frac{\partial \rho'}{\partial t} + \rho_0 \vec{\nabla}\cdot\vec{v} = 0$

3) $p' = c_0^2 \rho'$

p', ρ' nejsou derivace!

ρ' = akustická hustota (není to derivace!)

ρ_0 = klidová hustota

p' = akustický tlak

$\vec{v}$ = akustická rychlost

61. Odvoďte vlnovou rovnici pro akustický tlak p'

dosadíme (3) do (2) za ρ' → $\frac{1}{c_0^2}\frac{\partial p'}{\partial t} + \rho_0 \vec{\nabla}\cdot\vec{v} = 0$ → $\vec{\nabla}\cdot\vec{v} = -\frac{1}{\rho_0 c_0^2}\cdot\frac{\partial p'}{\partial t}$

Použijí divergenci na obě strany rovnice (1) → $\rho_0 \frac{\partial \vec{\nabla}\cdot\vec{v}}{\partial t} = -\vec{\nabla}\cdot\vec{\nabla}p'$

$$\nabla^2 p' = \rho_0 \frac{1}{\rho_0 c_0^2}\frac{\partial^2 p'}{\partial t^2}$$

$$\boxed{\nabla^2 p' = \frac{1}{c_0^2}\cdot\frac{\partial^2 p'}{\partial t^2}}$$

62. Odvoďte vlnovou rci pro akustickou rychlost $\vec{v}$

dosadím (3) do (2) za ρ' → $\frac{1}{c_0^2}\frac{\partial p'}{\partial t} + \rho_0\vec{\nabla}\cdot\vec{v} = 0$ → $\frac{\partial p'}{\partial t} = -\rho_0 c_0^2 \vec{\nabla}\cdot\vec{v}$

zderivuji (1) podle času → $\rho_0\frac{\partial^2\vec{v}}{\partial t^2} = -\vec{\nabla}\frac{\partial p'}{\partial t}$

$$\rho_0\frac{\partial^2\vec{v}}{\partial t^2} = \rho_0 c_0^2\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{v}) \rightarrow \boxed{\nabla^2\vec{v} = \frac{1}{c_0^2}\frac{\partial^2\vec{v}}{\partial t^2}}$$

63. Rozdíl mezi akustickou rychlostí $\vec{v}$ a rychlostí šíření akustické vlny c

Akustická rychlost $\vec{v}$ je rychlost kmitavého pohybu částic kolem rovnovážné polohy

Rychlost šíření c je rychlost přenosu vlnění prostředím

64. Jak definujeme akustický tlak p'

Během šíření akustické vlny dochází ke zhušťování a zřeďování tekutiny (jedná se o jakési poruchy atmosférického tlaku) což je též doprovázeno v daném místě změnou klidového tlaku a velikost této změny nazýváme akustický tlak p'. $p = p' + p_0$

p celkový, p_0 atmosférický klidový

65. Odvoďte vztah pro výpočet rychlosti (c_0) šíření lineárních akustických vln

adiabatický děj (vzduch $\varkappa = 1{,}4$)

$$pV^\varkappa = p_0 V_0^\varkappa \quad /\cdot\frac{1}{m}$$

$$\frac{p}{\rho} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^\varkappa \rightarrow \frac{dp}{d\rho} = \frac{p_0\varkappa}{\rho_0^\varkappa}\rho^{\varkappa-1} = \frac{p_0\varkappa}{\rho_0}\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^{\varkappa-1}$$

$$\frac{p_0\varkappa}{\rho_0}\left(\frac{\rho_0}{\rho_0}\right)^{\varkappa-1}$$

$$p = \frac{p_0}{\rho_0^\varkappa}\rho^\varkappa \rightarrow p(\rho) = p(\rho_0+\rho') = p(\rho_0) + \left.\frac{dp}{d\rho}\right|_{\rho=\rho_0}\cdot\rho'$$

$$\left.\frac{dp}{d\rho}\right|_{\rho=\rho_0} = \frac{p_0\varkappa}{\rho_0} = c_0^2 \rightarrow \boxed{c_0 = \sqrt{\frac{p_0\varkappa}{\rho_0}}}$$

66. Definice podélné a příčné akustické vlny

podélná: částice prostředí se pohybují ve směru šíření vlny

příčná: kmitající částice je kolmé na směr šíření vlny v prostředí

67. Jakým vlněním se šíří v tekutinách? podélné vlnění

70. Výpočet hladiny akustického tlaku

Hladina akustického tlaku L_p je dána vztahem $L_p = 20\log\frac{p'}{p_{ref}}$ (p' akustický tlak, p_{ref} referenční tlak – práh lidského sluchu, $p_{ref} = 2\cdot10^{-5}$)

$p \rightarrow L$: $20\log\frac{p}{p_{ref}}$ $\quad L \rightarrow p$: $10^{\frac{L}{20}}$

71. Napište řešení vlnové rce pro tlumené rovinné vlny ???

řešení pro rovinné neharmonické vlny: ~~$u(\vec{r},t) = f(\vec{n}\cdot\vec{r} - ct) + g(\vec{n}\cdot\vec{r} + ct)$~~

tlumená rovinná vlna je neharmonická tj toto řešení by mělo platit.

spíš něco jako $\boxed{u(\vec{r},t) = \left(f(x-ct) + g(x+ct)\right)\cdot e^{-\alpha t}}$

72. Ukažte, že ve vodivém prostředí můžeme položit objemovou hustotu el. náboje rovnu nule

1. Maxwellova = Gaussův zákon: $\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}$ OHM dif. tvar $\vec{j} = \vec{E}\gamma$

2Z. elmag. náboje dif. tvar: $\frac{\partial\rho}{\partial t} + \vec{\nabla}\cdot\vec{j} = 0 \rightarrow \frac{\partial\rho}{\partial t} + \gamma\vec{\nabla}\cdot\vec{E} \rightarrow \frac{\partial\rho}{\partial t} + \gamma\frac{\rho}{\varepsilon} \rightarrow \ldots \rightarrow \rho(t) = \rho_0 e^{-\frac{\gamma}{\varepsilon}t}$

kde $\rho_0 = \rho(t=0)$ – vidíme že objemová hustota klesá exponenciálně s časem, a jelikož $\gamma \gg 1$ pro vodivé prostředí – stane se tak velmi rychle že ρ skonverguje k nule.

73. Odvoďte zobecněnou vlnovou rovnici (telegrafní rci) pro elektrickou intenzitu

1. Maxwellova: $\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \frac{\rho_{free}}{\varepsilon} = \frac{0}{\varepsilon} = 0 \rightarrow \vec{\nabla}\cdot\vec{E} = 0$ (vodivé prostředí)

$A\times B\times C = B(A\cdot C) - C(A\cdot B)$

$\vec{\nabla}\times\vec{\nabla}\times\vec{E} = \vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{E}) - \nabla^2\vec{E}$ (0 = $\vec{\nabla}\cdot\vec{E}$)

2. Maxwellova: $\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \rightarrow$ rotace $\rightarrow \vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}\times\vec{E}) = \frac{-\partial\vec{\nabla}\times\vec{B}}{\partial t} \rightarrow \vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{E}) - \nabla^2\vec{E} = -\frac{\partial\vec{\nabla}\times\vec{B}}{\partial t}$

4. Maxwellova: $\vec{\nabla}\times\vec{B} = \mu\gamma\vec{E} + \mu\varepsilon\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}$ (původně $\vec{\nabla}\times\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$) $\rightarrow$ $\boxed{\nabla^2\vec{E} = \mu\gamma\frac{\partial\vec{E}}{\partial t} + \mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}}$ telegrafní rovnice pro $\vec{E}$ (pro $\vec{B}$ podobně)

51. Odvoďte vztah pro stojaté vlnění, které vznikne složením dvou – proti sobě jdoucích – harmonic. vln.

$$u(x,t) = A\cos\left[\omega\left(t+\tfrac{x}{c}\right)+\delta'\right] - A\cos\left[\omega\left(t-\tfrac{x}{c}\right)\right] = 2A\cos\left(\tfrac{\omega}{c}x\right)\sin(\omega t+\delta')$$

$$= \underbrace{2A\cos(kx)}_{A(x)}\sin(\omega t+\delta') = A(x)\sin(\omega t+\delta')$$

74. Odvoďte disperzní relaci pro elmag. vlnu ve vodivém prostředí.

3. ~~Maxwellova~~ $\vec{\nabla}\times\hat{\vec{E}} = -\frac{\partial\hat{\vec{B}}}{\partial t} \rightarrow j\hat{k}\times\hat{\vec{E}} = j\omega\hat{\vec{B}} \rightarrow \hat{k}\cdot\vec{k}_0\times\hat{\vec{E}}_0 = \omega\hat{\vec{B}}_0$ vidíme že $\vec{k}_0 \perp \vec{E}_0 \perp \vec{B}_0$

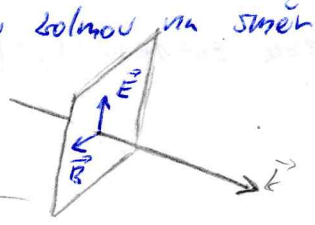
$\rightarrow \hat{k} = \alpha + j\beta = \sqrt{\alpha^2+\beta^2}\cdot e^{j\phi}$ $\phi = \arctg\frac{\beta}{\alpha}$ $\rightarrow \sqrt{\alpha^2+\beta^2}\,e^{j\phi}\cdot\vec{k}_0\times\hat{\vec{E}}_0 = \omega\hat{\vec{B}}_0$

$\rightarrow$ velmi dobrý vodič $\alpha = \beta \rightarrow \phi = \arctg 1 = \frac{\pi}{4}$

75. Geometrický vztah mezi vektory ele. intenzity – mag. indukce – vlnovým vektorem

Jsou na sebe všechny vzájemně kolmé, kdy $\vec{E}$ a $\vec{B}$ tvoří rovinu kolmou na směr šíření totožným s vektorem $\vec{k}$.

$$\frac{\vec{k}}{\omega}\times\vec{E} = \vec{B}$$



76. Je elmag vlna v izotrop. prostředí vlnou podélnou či příčnou?

Příčnou, protože vektory $\vec{E}$ a $\vec{B}$ jsou kolmé jak vzájemně na sebe, tak i na směr šíření a tvoří tak rovinu kmitání kolmou na směr šíření

77. Napište vztah pro Poytingův vektor

$$\vec{S}(\vec{r},t) = \vec{E}(\vec{r},t)\times\vec{H}(\vec{r},t)$$

elek. a mag. intenzita $\vec{E}, \vec{H}$ směr totožný se směrem šíření $\vec{k}$

78. Napište Poytingovu bilanční rovnici v dif. tvaru = ZZ elmg. energie

$$\vec{j}\cdot\vec{E} = -\frac{\partial w}{\partial t} - \vec{\nabla}\cdot\vec{S}$$

$\vec{j}$ = objemová hustota proudu

$\vec{E}$ = el. intenzita

w = objemová hustota energie elmag. pole

$\vec{S}$ = [illegible]

Dopplerův jev

$$\omega_p = \omega_z\left(1 - \frac{\vec{k_0}\cdot\vec{v_p}}{c}\right)$$ zdroj – prostředí

$$\omega_p = \omega_z\cdot\left(1 - \frac{\vec{k_0}\cdot\vec{v_z}}{c}\right)^{-1} = \frac{\omega_z}{1 - \frac{\vec{k_0}\cdot\vec{v_z}}{c}}$$ pozorovatel – prostředí

$$\omega_p = \omega_z\,\frac{1-(\vec{k_0}\cdot\vec{v_p})/c}{1-(\vec{k_0}\cdot\vec{v_z})/c} = \frac{c-\vec{k_0}\cdot\vec{v_p}}{c-\vec{k_0}\cdot\vec{v_z}}$$

ω_p = kmitočet vnímaný pozorovatelem v soustavě S'

ω_z = kmitočet zdroje

zdroj – prostředí: zdroj se vždy vůči prostředí, pozorovatel se pohybuje

pozorov – prostř: zdroj se vůči prostředí pohybuje, pozorovatel ale ne

v posledním vzorci: zdroj i pozorovatel se pohybují vůči prostředí

platí $v_p \ll c$

= nerelativistická rychlost

Vlnová rovnice elmag. pole

1) Nevodivé – Dielektrikum: $\nabla^2\vec{E} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$ $\quad$ $\nabla^2\vec{B} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2}$

2) vodivé prostředí: $\nabla^2\vec{E} = \mu\gamma\frac{\partial\vec{E}}{\partial t} + \mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$ ← telegrafní rovnice → $\nabla^2\vec{B} = \mu\gamma\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} + \mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2}$

→ řešení telegraf: $\hat{\vec{E}}(s,t) = \hat{\vec{E}}_0\, e^{-\beta s}\cdot e^{j(\alpha s - \omega t)}$ kde $s = \vec{k_0}\cdot\vec{r}$

Intenzita světla: $I = \langle |\vec{S}(\vec{r},t)| \rangle_T$ – středováno po dobu detekce, nebo periody T

Objemová hustota elmag. energie: $w = \varepsilon E^2$ → $I = c\cdot\langle w\rangle_T$

charakteristická impedance prostředí: $Z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\ (\Omega)$

frekvence záznějů: $f_z = |f_0 - f'|$

easy Doppler $f = f_0\frac{c+v_p}{c-v_z}$ pro přibližování

77. Napište vztah pro Poytingův vektor $\vec{S}$

$$\vec{S}(\vec{r},t) = \vec{E}(\vec{r},t) \times \vec{H}(\vec{r},t)$$

vektorový součin intenzit

- v homo, izotropním prostředí má směr jako $\vec{k}$ = směr šíření elmag. vlny

78. Napiš Poytingovu bilanční rovnici v diferenc. tvaru

$$\vec{j}\cdot\vec{E} = -\frac{\partial w}{\partial t} - \vec{\nabla}\cdot\vec{S}$$

- w objemová hustota elmag energie $w = \frac{1}{2}\vec{E}\cdot\vec{D} + \frac{1}{2}\vec{H}\cdot\vec{B}$
- $\vec{j}$ proudová hustota
- E intenzita el. pole

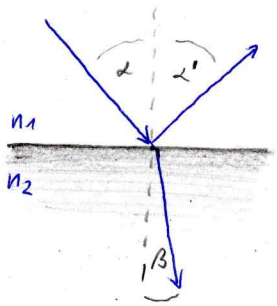
79. Jak je zaveden index lomu pro nemagnetická prostředí? Vyjádři pomocí ε (relativní permitivity).

$$n = \frac{c_0}{c} = \frac{\sqrt{\mu_0\cdot\mu\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon}}{\sqrt{\mu_0\cdot\varepsilon_0}} = \sqrt{\mu\varepsilon} \xrightarrow{\text{dielektrika } \mu=1} n = \sqrt{\varepsilon}$$

Pozn. $c_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$ ve vakuu ; $c = \frac{c_0}{\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\mu\varepsilon}}$ v prostředí

80. Napiš Zákon odrazu pro elmag. vlny

Úhel dopadu je roven úhlu odrazu $\alpha = \alpha'$



81. Napiš zákon lomu (snellův zákon) pro elmag. vlny

$$n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta$$

82. Co vyjadřují Fresnelovy vzorce? (čti "Frenelovy")

Popisují koeficienty odrazivosti $r_\perp$, $r_\parallel$ a propustnosti $t_\perp$, $t_\parallel$ elmag. záření na rozhraní dvou prostředí. Závisí na úhlu dopadu α, indexu lomu n, permeabilitě μ

83. Odvoďte Brewstrův úhel α_B, co znamená?

- Dopadající nepolarizované světlo se skládá obecně z T_E a T_M složek polarizací. Při dopadu na sklo pod Brewsterovým úhlem se odrazí světlo lineárně polarizované, pouze s T_E složkou
- Paprsek prošlý skrz sklo je částečně polarizovaný

Odvození $\alpha_B = \operatorname{arctg}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$:

chci najít takový úhel dopadu α, pro který bude koef. odrazivosti složky T_M nulový $\rightarrow r_\parallel \overset{!}{=} 0 \rightarrow r_\parallel = \frac{\operatorname{tg}(\alpha-\beta)}{\operatorname{tg}(\alpha+\beta)} \overset{!}{=} \infty$

$$\rightarrow \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos(\alpha+\beta)} = \infty \rightarrow \cos(\alpha+\beta) = 0 \rightarrow \alpha+\beta = \frac{\pi}{2} \rightarrow \beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$$

$\rightarrow$ Dosadím do Snellova zákona: $n_1 \sin\alpha_B = n_2 \sin\beta = n_2 \sin\left(\frac{\pi}{2}-\alpha_B\right) = n_2 \cos(-\alpha_B) = n_2 \cos\alpha_B$

$$\rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{\cos\alpha_B}{\sin\alpha_B} \rightarrow \operatorname{tg}\alpha_B = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \boxed{\alpha_B = \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)}$$

84. Co znamená polarizace elmag. vlny?

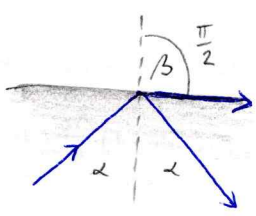
- Uspořádání pohybu vektorů $\vec{E}$ a $\vec{B}$, aby šel nějak pevně definovat, určit analytickým vzorcem
- Jakkoliv polarizované světlo lze složit z T_E a T_M polarizací: $T_E = \vec{E} \perp$ tabule, $\vec{B} \parallel$ tabule; $T_M = \vec{B} \perp$ tabule, $\vec{E} \parallel$ tabule

tabule = rovina dopadu

85. Odvoďte podmínku pro totální odraz. $\alpha_m = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$

Platí pouze pro prostředí $n_1 > n_2$ (voda $\rightarrow$ vzduch). Chci $\beta = \frac{\pi}{2}$!

$$n_1 \sin\alpha_m = n_2 \sin\beta \rightarrow n_1 \sin\alpha_m = n_2 \rightarrow \sin\alpha_m = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \alpha_m = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$



86. Napište vztah pro obecnou eliptickou polarizaci:

$$\left(\frac{E_x}{E_{ox}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{oy}}\right)^2 - \frac{2E_xE_y}{E_{ox}E_{oy}}\cos\Delta = \sin^2\Delta$$

$\Delta = \delta_y - \delta_x$ fázový rozdíl mezi složkami E_x, E_y vektoru $\vec{E} = (E_x, E_y)$

$E_x = E_{ox}\cos\Phi$

$E_y = E_{oy}\cos(\Phi + \Delta)$

87. Jaká je podmínka pro lineární polarizaci elmag. vlny?

fázový rozdíl mezi složkami E_x, E_y je celočíselný násobek π $\Delta = m\pi \rightarrow \sin^2\Delta = 0$, $\cos\Delta = (-1)^m$

$$E_y = (-1)^m \frac{E_{oy}}{E_{ox}} E_x$$

Protože $\frac{E_x^2}{E_{ox}^2} + \frac{E_y^2}{E_{oy}^2} - \frac{2E_xE_y}{E_{ox}E_{oy}}(-1)^m = 0 \xrightarrow{A^2-2AB+B^2} \left(\frac{E_x}{E_{ox}}(-1)^m - \frac{E_y}{E_{oy}}\right)^2 = 0 \rightarrow \frac{E_y}{E_{oy}} = (-1)^m \frac{1}{E_{ox}} E_x \rightarrow E_y = (-1)^m \frac{E_{oy}}{E_{ox}} E_x$

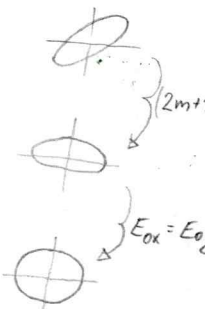
88. Podmínky pro kruhovou polarizaci elmag. vlny

Nejdříve zrušíme natočení elipsy podmínkou $\Delta = (2m+1)\frac{\pi}{2}$

A délky jejích os položíme sobě rovné $E_{ox} = E_{oy} := E_o$

$$\frac{E_x^2}{E_o^2} + \frac{E_y^2}{E_o^2} - 0 = 1 \rightarrow E_x^2 + E_y^2 = E_o^2$$

(cos, sin)

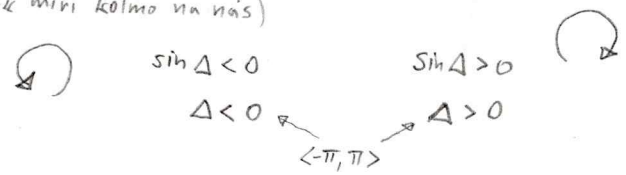


89. Jak definujeme polarizaci pravotočivou, levotočivou?

levotočivá = proti směru hodin

pravotočivá = po směru hodin

(když paprsek míří kolmo na nás)



90. Definice intenzity elmag vlny (není myšlena elektrická intenzita $\vec{E}$)

$$I = \frac{1}{2z}\langle \vec{E}\cdot\vec{E}^* \rangle \qquad z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\,\Omega$$

z ... impedance prostředí

nebo též $I = \langle |\vec{S}(\vec{r},t)| \rangle$

Napište intenzitu dvou interferujících elmag vln o intenzitách I_1, I_2

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cdot\cos\alpha\cdot\cos(k\cdot\Delta s)$$

$\Delta s = |s_1 - s_2|$ dráhy od zdroje

91. Co chápeme pod pojmem koherence elmag. vln?

koherentní jsou vlnění o stejné frekvenci a fázi.

Světlu se v čase velmi rychle nahodile mění fáze a to vždy po uražení cca S_c - koherenční dráže

Fázový rozdíl vln se tedy během pokusu nesmí nahodile měnit - laser má např velikost S_c

92. Jakých hodnot může nabývat komplexní stupeň koherence $\gamma(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \tau) \equiv \gamma_{12}(\tau)$? - Nebrali jsme

0 - 1

Vyjadřuje paměť systému

93. Jak se mění fáze elmag. vlny při odrazu na opticky hustším prostředí? vzduch → sklo

Fáze bude při vnějším odrazu opačná, změní se o π (180°)

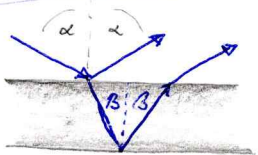
- vnější odraz = $n_1 < n_2$
- vnitřní odraz = $n_1 > n_2$

94. Napište podm. pro pozorovaný maxim/minim při dvousvazkové interferenci na tenké vrstvě

Podmínka maxima intenzity $n_2 d\cos\beta = (2m+1)\frac{\lambda_0}{4}$

$m \in \mathbb{N}^0$

Podmínka minima intenzity $n_2 d\cos\beta = 2m\frac{\lambda_0}{4}$



96. Co je to difrakce vlny?

- ohyb vlny na překážce do místa geometrického stínu. Paprsek se odchýlí od přímočarého pohybu, kdy tato výchylka není způsobena odrazem či lomem.

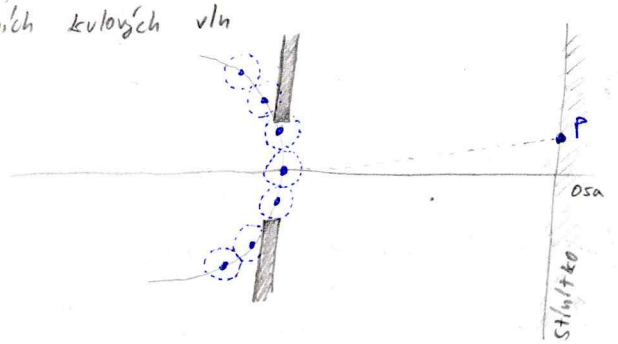
97. Huygensův - Fresnellův princip

Vychází z exaktnějšího Helmholtzova vzorce $\nabla^2\hat{\mathcal{E}}(\vec{r}) + k^2\hat{\mathcal{E}}(\vec{r}) = 0$, který je ale příliš abstraktní a nic-neříkající

→ Uvažujeme, že každý bod na vlně se stává zdrojem sekundárních kulových vln

$$\hat{\mathcal{E}}(P) = \frac{-jk}{2\pi}\hat{\mathcal{E}}_0 \iint_{S_A} K(\theta)\frac{e^{jkr}}{r}\,dS$$

- S_A plocha otvoru
- k vlnové číslo
- $K(\theta)$ je faktor sklonu $\doteq 1$
- $\hat{\mathcal{E}}_0$ ~ amplituda primární vlny



~~98~~

99. Napište Fraunhoferovu aproximaci difrakce

- Je to aproximace H-F Principu, kdy je zdroj i stínítko dostatečně daleko od otvoru aparatury $\ell > \frac{a^2}{\lambda}$ ← větší rozměr otvoru; ℓ ← vzdálenost
- Pohybujeme se v okolí osy → $K(\theta) \doteq 1$

$$\hat{\mathcal{E}}(P) = \frac{-jk}{2\pi}\hat{\mathcal{E}}_0 \cdot \frac{S_A e^{jkr_0}}{r_0} \cdot \frac{\sin\alpha}{\alpha} \cdot \frac{\sin\beta}{\beta}$$

- S_A = plocha otvoru (a × b)
- α a β nejsou úhly! $\alpha = \frac{k a y_0}{2r_0}$, $\beta = \frac{k b z_0}{2r_0}$; $r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}$

Potom na stínítku pozorujeme intenzitu světla v bodě P $I(P) = \frac{\hat{\mathcal{E}}(P)\cdot\hat{\mathcal{E}}^*(P)}{2z} = I_0\left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2\cdot\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2$

101. Napiš za jakých podmínek je možné použít

optickou (paprskovou) optiku: Rozměry překážek se kterými světlo interaguje musí být $\gg \lambda$ - vln. délka svět

$a \gg \lambda$

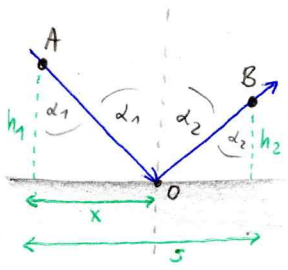
102. Definice optické dráhy: $\ell = ns$

- n index lomu
- s uražená geometrická (reálná) dráha

103. Jak zní Fermatův princip?

Světlo se mezi dvěma místy A, B šíří po nejkratší optické dráze ℓ, tj šíří se po takové trajektorii, aby vzdálenost urazil v nejkratším možném čase

104. Pomocí Fermatova principu odvoďte Zákon odrazu pro světelné paprsky



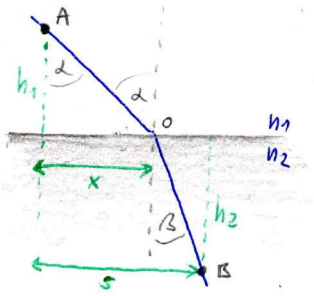
Jediná proměnná je zde X, která ovlivňuje úhly α_1, α_2

$t = \frac{\overrightarrow{AO}}{c} + \frac{\overrightarrow{OB}}{c}$ $\quad \overrightarrow{AO} = \sqrt{h_1^2 + x^2}$ $\quad \overrightarrow{OB} = \sqrt{h_2^2 + (s-x)^2}$ – Pythagoras

$t = \frac{\sqrt{h_1^2+x^2}}{c} + \frac{\sqrt{h_2^2+(s-x)^2}}{c} \rightarrow \frac{dt(x)}{dx} \overset{!}{=} 0$ hledáme minimum

$$\frac{dt}{dx} = \frac{x}{c\sqrt{h_1^2+x^2}} - \frac{s-x}{c\sqrt{h_2^2+(s-x)^2}} = \frac{x}{|\overrightarrow{AO}|} - \frac{s-x}{|\overrightarrow{OB}|} = \sin\alpha_1 - \sin\alpha_2 \overset{!}{=} 0 \rightarrow \boxed{\alpha_1 = \alpha_2}$$

105. Pomocí Fermatova principu odvoď zákon lomu



$t = \frac{\overrightarrow{AO}}{c_1} + \frac{\overrightarrow{OB}}{c_2}$ zde jsou paprsky v různých prostředí s různou rychlostí šíření c

$t = \frac{\sqrt{h_1^2+x^2}}{c_1} + \frac{\sqrt{h_2^2+(s-x)^2}}{c_2} \rightarrow \frac{dt(x)}{dx} \overset{!}{=} 0$

ve vakuu $\frac{c_0}{c_1} = n_1$

$$\frac{x}{c_1\sqrt{h_1^2+x^2}} = \frac{s-x}{c_2\sqrt{h_2^2+(s-x)^2}} \rightarrow \frac{1}{c_1}\sin\alpha = \frac{1}{c_2}\sin\beta \,/\cdot c_0 \quad \boxed{n_1\sin\alpha = n_2\sin\beta}$$

107. Co je to zobrazovací rovnice?

Definuje polohu obrazu v závislosti na poloze vzoru a parametrech optické soustavy

$$\frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{F}$$

např. tato pro kulové zrcadlo

$$\frac{n_1}{s_0} + \frac{n_2}{s_i} = \frac{(n_2 - n_1)}{n_1}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Pro tenkou čočku

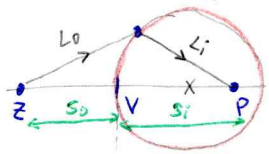
108. Co je to paraxiální aproximace?

- Aproximujeme vzdálenost bodu P od bodu na kulové ploše zrcadla jako vzdálenost k vrcholu zrcadla V
- toto platí, pokud jsou paprsky blízko optické osy

$L_o \approx s_o$ $L_i \approx s_i$

L_o ↳ objektová vzdálenost

s_o ↳ geometrická objektová vzdálenost



111. Napište obrazovou rovnici pro tenkou spojnou čočku (spojku)

$$\frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_i} = \frac{n_2 - n_1}{n_1}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \rightarrow \frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}$$

Pro $n_1 = 1$

112. Stefan-Boltzmannův zákon

$M^e = \varepsilon \sigma T^4$

$M^{eo} = \sigma T^4$

- M^e = intenzita vyzařování
- ε = emisivita ($\varepsilon = \alpha$) α = pohltivost
- σ = Stefan-Boltz. konstanta $\doteq 5{,}7 \cdot 10^{-8}$
- T = TD teplota

M^{eo} je intenzita vyzařování pro AČT

Pro něj je $\varepsilon = 1$

113. Definice Absolutně černého tělesa AČT: Je to těleso, jež pohltí veškeré záření které na něj dopadá, má tedy koeficient pohltivosti $\alpha = 1$ ($\Rightarrow \varepsilon = 1$). V experimentech realizováno dutou nádobou zevnitř natřenou černým pohlcujícím materiálem. Samotný výstup z této nádoby je téměř AČT. V realitě přísně vzato neexistuje.

120. Planckův vyzařovací zákon

$$W_\nu(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c_0^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

- W_ν = spektrální hustota energie záření
- ν = kmitočet
- h = Planckova konstanta
- c_0 = rychlost světla ve vakuu

114. Rayleighův-Jeansův vyzař. zákon

- je aproximací Planckova zákona pro nižší kmitočty $h\nu \ll k_B T$

$$W_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c_0^3} k_B T$$

$e^{\frac{h\nu}{k_B T}} \approx 1 + \frac{h\nu}{k_B T} \rightarrow \frac{8\pi\nu^2}{c_0^3} \cdot \frac{h\nu}{h\nu} = \frac{8\pi\nu^2}{c_0^3} \cdot k_B T$

121. Wienův vyzařovací zákon

- je aproximací Planckova pro vyšší kmitočty $h\nu \gg k_B T$

$$W_\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c_0^3} \cdot e^{-\frac{h\nu}{k_B T}}$$

Aproximace $e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1 \approx e^{\frac{h\nu}{k_B T}}$

122. Co je to fotoelektrický jev?

- Jev kdy látka emituje elektrony v důsledku absorpce elmag záření
- Pokud na povrch (např kovu) dopadá elmag. záření o dostatečné frekvenci fotonů (tím se ovlivněna hybnost a energie fotonu) pak dochází k emisi elektronu z povrchu kovu, z důsledku absorpce energie fotonu, jež se předá a použije na výstupní práci elektronu z kovu

123. Kinetická energie emitovaných e⁻ při Fotoel. jevu

$$E_k = h(\nu - \nu_m)$$

- ν_m je mezní kmitočet daného materiálu který souvisí s minimální nutnou energií potřebnou na odprošťění elektronu z vazeb materiálu

124. Napiš vztahy pro hybnost a energii fotonu:

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{2\pi}\frac{2\pi\nu}{c} = \frac{\hbar\omega}{c} = \hbar k = \hbar\frac{2\pi}{\lambda} = \frac{h}{2\pi}\frac{2\pi}{\lambda} = \frac{h}{\lambda} \qquad (k = \frac{2\pi}{\lambda})$$

$$p = \frac{h\nu}{c} \quad p = \hbar k \quad p = \frac{h}{\lambda} \quad E = h\nu \quad p = \frac{E}{c}$$

125. Vysvětli Comptonův jev

- Jev při kterém foton předá volné částici část své hybnosti, vychýlí se o úhel θ a sníží se mu tak kmitočet ν
- Uplatňuje se zde ZZE, ZZH, relativistická hmotnost apod.

126. Napište Comptonovu rovnici

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta)$$

127. Vysvětli: Podstatu produkce páru elektron - pozitron (e^- e^+)

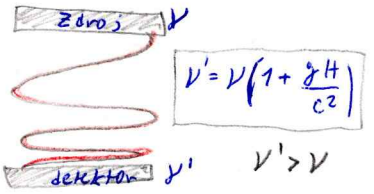
128. Uveď příklady demostrující vlnový a částicový charakter světla

Vlnový: Youngův pokus interference, difrakce (ohyb)

Částicový: Fotoefekt, Comptonův jev

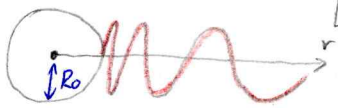
Foton v gravitačním poli

a) tíhové pole Země



$\nu' = \nu\left(1 + \frac{gH}{c^2}\right)$ $\quad \nu' > \nu$

b) velmi hmotná hvězda = Gravitační Rudý posuv



$\nu' = \nu\left(1 - \frac{\varkappa M}{R_0 c^2}\right)$ $\quad \nu' < \nu$

129. Rutherfordův model atomu

= Planetární model. Jako první přišel s malým kladně nabitým jádrem ~ Slunce, a zápornými elektrony které jádro obíhají, jako planety.

- Nevračoval stabilní orbity, což by znamenalo hroucení a nestabilitu všech atomů, což nepozorujeme.

130. Bohrův model atomu, vztah pro hladiny energie atomu vodíku.

= Planetární model + zavedení orbitů

Postuláty: 1) Existence orbitů = stabilních drah na kterých e^- nevyzařuje energii

2) Atom vyzařuje energii pouze při přechodu e^- mezi orbitami

$$E_i - E_f = h\nu$$

Bohrova podmínka:

$$2\pi r m v = nh$$

$$\downarrow \quad v = \frac{nh}{2\pi r m}$$

- r poloměr orbity
- m hmotnost e^-
- v rychlost e^-
- n číslo orbity = hlavní kvantové číslo

131. Co jsou to částicové, resp de Broglieho vlny? Pomocí těchto vln přepište Bohrovu podmínku

Částici o hybnosti p přisoudíme vlnovou délku $\boxed{\lambda = \frac{h}{p}}$

Bohr: $2\pi r \overbrace{mv}^{p} = nh$

$2\pi r p = nh$

$2\pi r \frac{h}{\lambda} = nh$

$\boxed{2\pi r = n\lambda}$

132. Čemu se rovná fázová a grupová rychlost částicových vln?

$\boxed{v_f = \frac{c^2}{v} > c}$ $\boxed{v_g = v \leq c}$

132. b) Napište Heisenbergovy relace neurčitosti, vysvětlete důsledky jejich platnosti

$\boxed{\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}}$ Platí i pro y, z

$\boxed{\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}}$

- Čím přesněji známe polohu částice, tím nepřesněji musíme znát její hybnost
- Přesnost, se kterou můžeme znát energii částice je omezena dobou měření této energie

133. Napište nestacionární Schrödingerovu rovnici

$$\boxed{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} + U(x,t)\Psi(x,t) = j\hbar\frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t}}$$

134. Napište stacionární schrödinger. rovnici

$$\boxed{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2 \Phi(x)}{\partial x^2} + U(x)\Phi(x) = E\Phi(x)}$$

135. Napište operátor hybnosti a energie

$\boxed{\hat{\vec{p}} = -j\hbar\vec{\nabla}}$ $\hat{\vec{p}} = -j\hbar\left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}\right)$ $\boxed{\hat{E}_k = \frac{-\hbar^2}{2m}\nabla^2}$ $\hat{U} = U$ $\hat{H} = \hat{E}_k + \hat{U} \rightarrow \boxed{\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + U(\vec{r})}$

136. V čem spočívá interpretace vlnové funkce Ψ? Napište kalibrační podmínku pro vlnovou funkci

$\Psi(x,t)$ je obecně komplexní, ale $|\Psi(x,t)|^2$ souvisí s hustotou pravděpodobnosti, že se daná částice nachází v místě x

normalizační/kalibrační podmínka $\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(x,t)|^2 dx = 1$

137. Co je to tunelový jev?

Jev, kdy částice o energii E překoná bariéru s $U_0 > E$, protože její vlnová funkce skrz bariéru exp. klesá, ale je za ní nenulová → pst protunelování je nenulová a závisí na tloušťce překážky a U_0

138. Co chápeme komutátorem dvou operátorů? - Definičním vztah

$[\hat{A}, \hat{B}] = \hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A} = 0$ iff operátory komutují

139. Napište kanonické komutátorové vztahy.

$[\hat{x}, \hat{p}_x] = j\hbar$?

140. Ukažte, že operátory složek momentu hybnosti jsou nekomutativní:

$$\hat{L} = \hat{r} \times \hat{p} = \begin{vmatrix} x & y & z \\ -j\hbar\frac{\partial}{\partial x} & -j\hbar\frac{\partial}{\partial y} & -j\hbar\frac{\partial}{\partial z} \\ \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \end{vmatrix} = (\hat{L}_x, \hat{L}_y, \hat{L}_z)$$

$$\rightarrow \hat{L}_x = \begin{vmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \vec{e}_x & \cdot & \cdot \end{vmatrix} = -j\hbar\left(y\frac{\partial}{\partial z} - z\frac{\partial}{\partial y}\right)$$

$$\hat{L}_y = \begin{vmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \vec{e}_y & \cdot \end{vmatrix} = -j\hbar\left(x\frac{\partial}{\partial z} - z\frac{\partial}{\partial x}\right)$$

$$\rightarrow [\hat{L}_x, \hat{L}_y] = \hat{L}_x\hat{L}_y - \hat{L}_y\hat{L}_x =$$

$$-j\hbar\left(y\frac{\partial L_z}{\partial z} - z\frac{\partial L_z}{\partial y}\right) + j\hbar\left(x\frac{\partial L_x}{\partial z} - z\frac{\partial L_x}{\partial x}\right) = j\hbar\left(-j\hbar\left(x\frac{\partial}{\partial y} - y\frac{\partial}{\partial x}\right)\right) = j\hbar\hat{L}_z$$

($\frac{\partial L_z}{\partial y} = 0$, $\frac{\partial L_x}{\partial x} = 0$)

141. Dokažte, že dva komutativní operátory mají společnou vlastní fu

142. Dokaž, že $[\hat{L}^2, \hat{L}_x] = 0$

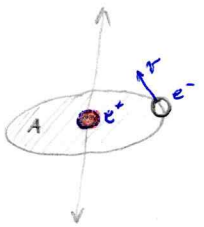
143. Napište vztah pro kvadrát velikosti momentu hybnosti $\hat{L}^2$ a jeho z-ové složky L_z

$$L_z = m_\ell \hbar, \quad m_\ell = 0, \pm 1, \pm 2 \quad |m_\ell| \leq \ell$$

$$L^2 = \hbar^2 \ell(\ell+1), \quad \ell = 0, 1, 2 \ldots \quad \ell < n$$

n – hlavní kvant. č.
ℓ – vedlejší
m_ℓ – magnetické kv. číslo

144. Odvoďte vztah pro orbitální magnetický moment μ



Elektron obíhající kolem protonu = proudová smyčka $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{-e}{\frac{2\pi r}{v}} = -\frac{ev}{2\pi r}$

$\mu = IA = -\frac{ev}{2\pi r}\pi r^2 = -\frac{evr}{2} \rightarrow L = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m_e \vec{v}$

(A = plocha)

$$\mu = \frac{-eL}{2m_e} = -\frac{e\hbar}{2m_e}\sqrt{\ell(\ell+1)} \rightarrow \boxed{\mu = -\mu_B \sqrt{\ell(\ell+1)}}$$

μ_B Bohrův magneton

L... orbitální moment hybnosti
S... vlastní moment hybnosti (spin)
μ... orbitální magnetický moment
μ_s... vlastní magnetický moment

145. Napište, jak se kvantován kvadrát velikosti a z-ová složka orbitálního (L^2) a vlastního (S^2) momentu elektronu

$$S^2 = \hbar^2 s(s+1)$$ kde $s = \frac{1}{2}$ = spinové kvantové číslo

Vlastní moment hybnosti (spin) $\vec{S}$

$$S_z = \hbar m_s$$ kde $m_s = \pm\frac{1}{2}$ = magnetické spinové číslo

$$L^2 = \hbar^2 \ell(\ell+1)$$ ℓ = vedlejší kvant. číslo

orbitální moment hybnosti $\vec{L}$

$$L_z = \hbar m_\ell$$ m_ℓ = magnet. kvantové číslo

146. Pomocí Bohrova magnetonu μ_B vyjádřete z-ovou složku magnetického momentu orbitálního (μ) a vlastního (μ_s)

$$\mu_z = -\mu_B m_\ell$$

$$\mu_{Sz} = 2r S_z = 2r \hbar m_s = -2\mu_B m_s \rightarrow \boxed{\mu_{sz} = -2\mu_B m_s}$$

147. Napište základní kvantová čísla elektronu spolu s podmínkami stanovujícími hodnoty, kterých mohou nabývat

hlavní kvantové číslo $n = 1, 2, 3 \ldots$

vedlejší (orbitální) kvantové číslo $\ell = 0, 1, 2 \ldots n-1$

magnetické kvantové číslo $m_\ell = -\ell, -\ell+1, \ldots 0 \ldots \ell-1, \ell$

spinové magnetické kvantové číslo $m_s = -s, -s+1, \ldots, s-1, s$

Kvantové spinové číslo $s = 0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2} \ldots$

148. Jak zní Pauliho vylučovací princip?

Máme soustavu N-částic (identických), kdy každá je popsána souborem kvantových čísel (n, ℓ, m_ℓ, m_s). Když bychom chtěli v takové soustavě nalézt 2 částice, které se v daný čas nacházejí na stejném místě, se stejným spinem, tak zjistíme že to není možné. (Platí pouze pro Anti-symetrické Ψ – fermiony)

"V soustavách identických fermionů nelze nalézt dvě částice, jež mají současně stejný soubor kvant. čísel"

$q_i = q_k$ a prohodíme je

$$\Psi(q_1 \ldots q_k \ldots q_k \ldots q_N, t) = -\Psi(q_1 \ldots q_k, \ldots q_k \ldots q_N, t) \Rightarrow \Psi = 0$$ což neplatí ↯

Symetrická a antisymetrická vlnová fce

Máme soustavu N identických částic (elektronů, protonů, fotonů...) - v kvantovce jsou nerozlišitelné, protože Ψ splňují

Při prohození i-té a k-té částice se změní Ψ:

$$\Psi(q_1, \dots q_k, \dots q_i, \dots q_N, t) = \pm \Psi(q_1, \dots q_i \dots q_k \dots q_N, t)$$

$+ \Rightarrow$ symetrická vlnová fce $\rightarrow$ bosony (Foton)

$- \Rightarrow$ antisymetrická vln. fce $\rightarrow$ fermiony (elektron, proton)

149. Jaké se používá aproximace pro popis atomů s více elektrony

- Zanedbáváme vzájemné působení elektronů = Jednoelektronová aproximace - e^- se navzájem nevidí

Elektronové struktury atomů s více elektrony se řídí dvěma základními pravidly:

1. Soustava elektronů je stabilní, jestliže je její celková energie minimální
2. V každém jednotlivém kvantovém stavu může v atomu existovat jen jeden elektron (Pauliho vylučovací princip)

150. Jak je definována slupka a podslupka atomu? Jaká se používá notace pro jejich značení? Dále napište kolik e^- se může nacházet ve slupkách a jednotlivých podslupkách

Slupka = elektrony se stejným n - hlavní kv.č.

Podslupka = elektrony se stejným ℓ a n

$N_n = 2n^2$ - Výsledný počet e^- ve slupce n

$N_\ell = 2(2\ell + 1)$ - počet e^- pro podslupku ℓ

n =	1	2	3	4	5
	K	L	M	N	O ...
max e^-	2	8	18	32	50

ℓ =	0	1	2	3	4
	S	P	D	F	G ...
max e^-	2	6	10	14	18

151. Jaké rozlišujeme chemické vazby

Kovalenční, iontová

152. Vysvětlete vznik energetických pásů

Při přiblížení velkého množství atomů (10^{23})

se energie rozštěpí na téměř spojité hladiny - energetické pásy

- jednotlivé atomy mají vlastní energetické hladiny pro krystalickou látku

153. Napište Fermiho-Diracovo rozdělení energií

$$f_{FD}(E) = \frac{1}{e^{\frac{E - E_F}{k_B T}} + 1}$$

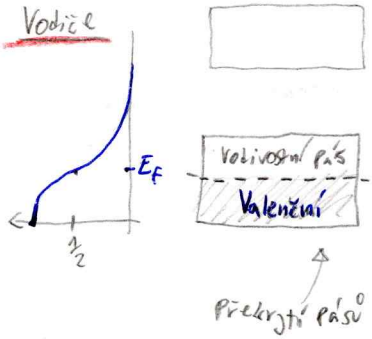
= pst s jakou může být fermion ve stavu s energií E

$E_F \sim$ pst $\frac{1}{2}$ (je to vlastně kvantil $\frac{1}{2}$ = medián)

E_F Fermiho energie

154. Pomocí pásové teorie vysvětlete rozdílné chování vodičů, izolantů, polovodičů

Vodiče

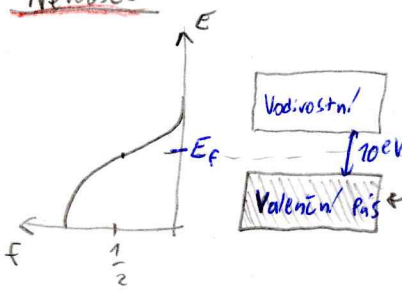


- Při vyšší teplotě, se mění $f_{FD}(E)$ a více e^- přeskočí do vodivostního pásu čímž je tam méně místa a zhoršuje se vodivost G. Bylo by jich tam příliš

$T \uparrow \Rightarrow G \downarrow$

154. Polovodiče

Nevodiče

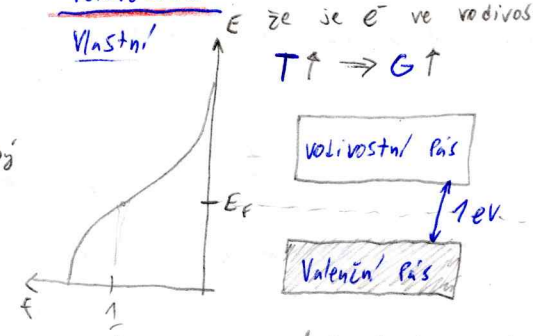


- existuje jen nepatrná pst, že pro $T>0$ může e^- obsadit hladinu ve vodivostním pásu
- elektron nemůže překonat zakázaný pás

Polovodiče

Při rostoucí teplotě je větší pst že se e^- ve vodivostním pásu

$T\uparrow \Rightarrow G\uparrow$



- Jsou poté i polovodiče nevlastní, které mají příměs jiného prvku.

155. Co je to spontánní a stimulovaná emise?

Kapitola Laseru: **Spontánní emise**: Atom s jistou pst A_{ji} $E_j > E_i$

Přejde z vyšší energetické hladiny do nižší

$A^* \longrightarrow A + h\nu$, vyzáří při tom foton o kmitočtu $\nu = \frac{E_j - E_i}{h}$ protože $E = h\nu$

z vyšší energ. stav

Stimulovaná emise: Světlo o kmitočtu ν ozařující atom ve vyšším energ. stavu nějak vyvolá přechod $E_j \to E_i$

$A^* + h\nu \longrightarrow A + 2h\nu$ Dopadající foton vyvolá tento přechod, a vyzářený foton je **koherentní** s dopadajícím fotonem.

156. Vysvětli princip laseru

- skládá se z média (krystal, plyn) v rezonanční komoře a z budícího zdroje energie
- je nutná **inverzní populace** v médiu ($N_j > N_i$ = více atomů excitováno) = aktivní médium
- samovolné vyzáření fotonu spustí lavinovou (řetězovou) emisi, kdy se atomy dostávají z vyššího energetického metastavu do nižšího energetického stavu
  - U 4-hladinového laseru je tento nižší stav nestabilní a atomy tam tak nezůstávají, čímž je zajištěna spojitá inverzní populace.
  - 3-hladinový laser je pulzní, protože se čeká na obnovení inverzní populace

157. Co jsou Fermiony a Bosony?

= částice popsané schrödinger. vlnovou rovnicí ψ

Fermiony: mají Antisymetrickou vln. funkci $\psi^{(a)}$

mají neceločíselné spinové číslo

leptony, kvarky = $e^-, e^+, n^0, \dots$

nukleony

Bosony: Symetrická vln. funkce $\psi^{(s)}$ → nespňují tak Pauliho vylouč. princip

mají celočíselné spinové číslo

foton

158. Jaké základní interakce mezi částicemi můžeme pozorovat? Porovnejte je dosahem, relativní silou

Název	dosah	Relativní síla
Elmag.	∞	10^{-2}
Gravitač.	∞	10^{-38}
Slabá	$\sim 10^{-18}$ m	10^{-13}
Silná	$\sim 10^{-15}$ m	1

159. Napište, co jsou Leptony a jaké rozlišujeme

- Neinteragují silnou jadernou silou
- nemají vnitřní strukturu (nejdou už dělit)

Elektron	Elektr. neutrino	Mion	Mionové neutrino	Tauon	Tauonové neutrino	Název
e^-	ν_e	μ^-	ν_μ	τ^-	ν_τ	Symbol
-1	0	-1	0	-1	0	Náboj [e]
e^+	$\overline{\nu_e}$					Anti částice
Pozitron	Elektronové Anti-neutrino					

160. Co jsou hadrony, jak se dělíme, z jakých částic se dále skládají?

- interagují silnou jadernou silou
- mají vnitřní strukturu, ti skládají se z kvarků - těch je 6 druhů
- dělíme se na baryony (fermiony) a mezony (bosony)
  - baryony → nukleony e^+, n^0
  - mezony → pion...

Co je to Standartní model?

teorie, že "veškerá hmota ve vesmíru se skládá ze šesti druhů kvarků, šesti leptonů a všechny jevy dovedeme vysvětlit pomocí čtyř druhů interakcí" 6 kvarků, 6 leptonů, 4 interakce

161. Co je to nuklid, izotop, nukleonové (hmotnostní) číslo, neutronové a protonové číslo? Jakou používáme notaci při popisu nuklidů?

- nuklid = Atomy s daným (specifickým) nukleonovým číslem A a protonovým číslem Z
- izotop = Atomy se stejným Z a libovolným A - mění se počet neutronů, ale počet protonů (a tím i elektronů) je stejný

Značíme: $^{A}_{Z}X$

A... nukleonové číslo $A = Z + N$
Z... protonové číslo
N... neutronové číslo

162. Napište empirický zjištěný vztah pro poloměr atomu - jádra

$r_j \approx 1{,}3 \cdot 10^{-15} \cdot A^{\frac{1}{3}}\ (m) \approx 1{,}3 \cdot A^{\frac{1}{3}}\ (fm)$

↳ jednotka délky "fermi"

Pozn: celý atom je asi 10^5 x větší než samotné jádro = Poměrně prázdný systém

163. Napište hmotnost uhlíku $^{12}_{6}C$ v hmotnostních jednotkách:

$m = 12\ m_u$ Protože $\boxed{m_u := \frac{1}{12} m\left(^{12}_{6}C\right)} \approx 1{,}66 \cdot 10^{-27}\ kg$

164. Definice vazebné energie nuklidu

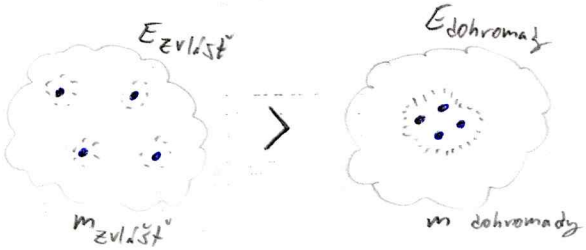
$\boxed{E_v = \Delta m\, c^2}$ Přímý důsledek Einsteinova vzorce $E = mc^2$

$E_v = E_{zvlášť} - E_{dohromady} > 0$

$\Delta m = m_{zvlášť} - m_{dohromady} > 0$

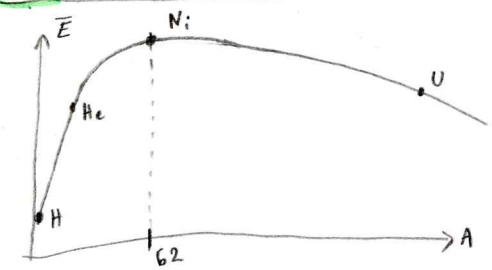
$\boxed{\Delta m = Z m_p + N m_n - m_j > 0}$

$N = (A - Z)$



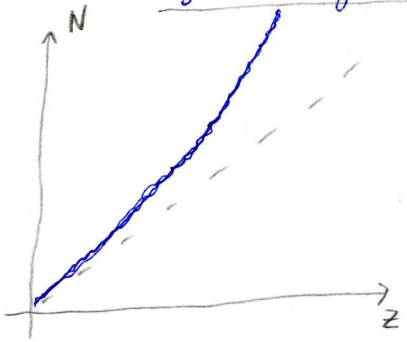
Energie, která by se uvolnila při vzniku jádra z volných nukleonů daleko od sebe
=
Energie potřebná k rozbití nukleonů jádra od sebe

165. Nakresli průběh závislosti vazebné energie na nukleonovém čísle



$$\bar{E} = \frac{E_v}{A}$$

166. Nakresli závislost N ~ Z jednotlivých nuklidů. Vysvětli odchylky od lineární závislosti

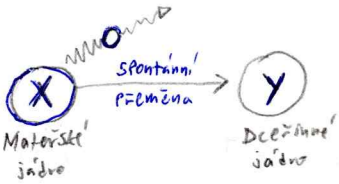


Při velkém počtu protonů mezi nimi začnou působit Coulombovy síly s větším dosahem. Mezi neutrony coulombova síla nepůsobí a fungují jako lepidlo, které drží protony stabilně v jádře.
Silná interakce působí mezi všem

167. Co je radioaktivní přeměna (rozpad) a co jsou radionuklidy?

nestabilní nuklidy → které se samovolně rozpadají

- Jaderná přeměna doprovázená emisí radioaktivního záření $\alpha, \beta^-, \beta^+, \gamma$, záchyt
- dochází ke změně ve složení jádra



168. Co je to radioaktivita a jaké radioaktivní přeměny rozlišujeme?

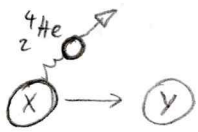
spontánní jaderná přeměna radionuklidů, doprovázená emisí záření $\alpha, \beta^-, \beta^+, \gamma$, záchyt e^-

- α, β^-, β^+, γ, elektronový záchyt

169. Vysvětli a popiš α- přeměnu (rozpad)

$$^{A}_{Z}X \longrightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + \alpha\,(^{4}_{2}He)$$

- pozorujeme u těžších jader $^{238}_{92}U$
- velmi slabé záření zastavitelné listem papíru, kůží a není tak nebezpečné



170. Vysvětli a popiš β- přeměnu (rozpad)

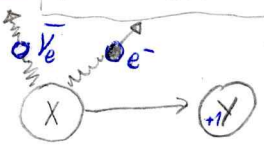
β^- ..... • Pozorujeme u jader s přebytkem neutronů $n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$

β^+ ..... • Pozorujeme u jader s přebytkem protonů $p^+ \rightarrow n^0 + e^+ + \nu_e$

záchyt elektronu .... • Pozorujeme, protože se nenulová pst výskytu e^- v jádře Ψ splývá s jádrem $p^+ + e^- \rightarrow n^0 + \nu_e$

β^-

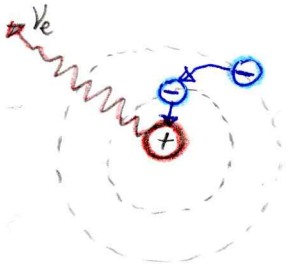
$$^{A}_{Z}X \longrightarrow ^{A}_{Z+1}Y + e^- + \bar{\nu}_e$$



β^+

$$^{A}_{Z}X \longrightarrow ^{A}_{Z-1}Y + e^+ + \nu_e$$

záchyt elektronu



$$^{A}_{Z}X + e^- \longrightarrow ^{A}_{Z-1}Y + \nu_e$$

Ψ zasahuje s nenulovou pst i do jádra, a tak se toto občas stane

- druhý e^- zavíme místo blíž jádru tj stabilnější stav

171. Popište γ přeměnu a vnitřní konverzi

- γ přeměna je vedlejší jev při přeměnách $\alpha, \beta^{\pm}$, po kterém je jádro často v excitovaném mezistavu atom tak vyzáří foton - γ záření čímž se deexcituje. Tyto fotony jsou vysoko-energické

- Vnitřní konverze je deexcitace jádra pomocí předání energie elektronu, který odletí

172. Popište záchyt elektronu, emisi nukleonů, spontánní štěpení.

- záchyt elektronu: popsán v ot. 170
- emise nukleonů: jev kdy se nukleon tunelovým jevem dostane ven z jádra – často jako stabilnější ^4_2He než zvlášť n^0 a p^+
- spontánní štěpení: štěpení velmi těžkých jader na dvě menší + uvolnění energie. Je to tedy exo-energetická reakce (E vzniká, nemusíme jí dodávat)

$$^A_Z X \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y_1 + {}^{A_2}_{Z_2}Y_2 + k\,n^0$$

Za podmínek: $A = A_1 + A_2 + k$, $Z = Z_1 + Z_2$

173. Co je radioaktivní rozpadová (přeměnová) řada a jaké takové řady rozlišujeme?

- Řada zachycující jak se těžké nestabilní izotopy rozpadají (samovolně), dokud nedosáhne stabilního izotopu
- Taková přeměna probíhá vyzařováním $\alpha, \beta^{\pm}$

Rozlišujeme:
- Uran-radiová . . . . $^{238}U \rightarrow {}^{206}Pb$
- Uran-aktinová . . . $^{235}U \rightarrow {}^{207}Pb$
- Thoriová . . . . . $^{232}Th \rightarrow {}^{208}Pb$
- Neptuniová . . . . $^{237}Np \rightarrow {}^{205}Tl$

174. Co je to jaderná reakce, řetězová reakce, štěpná jaderná reakce, štěpná řetězová reakce?

1) Jaderná reakce = Přeměna vyvolaná vnějším zásahem, zpravidla interakcí s další částicí či jádrem

2) Řetězová reakce = reakce, jejíž produkty (n^0) interagují s dalšími jádry, čímž počet reakcí roste geometrickou řadou. Též lavinová reakce.
   - Nemusí jít o neutrony, mluvíme o řetězové reakci i u principu laseru s fotony

3) Štěpná jaderná reakce = reakce při které se jádro rozdělí na dvě lehčí jádra, kvůli zachycení neutronu. Tato reakce je exo-energetická, tj. E vzniká

4) Štěpná řetězová reakce = Řetězová reakce kdy mluvíme o štěpení jader díky n^0, již sem nepatří řetězové reakce s fotony apod.

175. Popište štěpnou reakci nuklidů používaných v energetice

Používá se $^{235}_{92}U$
- Vysoký účinný průřez
- Štěpení pomalými neutrony

- chceme zachovat multiplikační faktor $k_n = 1$ což je poměr počtu neutronů následující generace ku počtu neutronů v minulé generaci v celém objemu generátoru
- → k tomu slouží zpomalovací moderátor (těžká voda či grafit, který i část pohlcuje
- → absorbce nadbytečných neutronů pomocí kadmiových tyčí

176. Řízená a neřízená štěpná reakce

- $k = 1$ ← multiplikační faktor
- $k > 1$ Atomovka

177. Co ovlivňuje účinnost (výtěžnost) štěpné reakce? Co se multiplikační faktor?

multiplikační faktor $k = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\text{počet } n^0 \text{ v následující generaci}}{\text{počet } n^0 \text{ v minulé generaci}}$

- Účinný průřez = pst že ostřelující částice interagují s jádrem uranu
- k
- Využití neutronů = Odrážení reflektorem zpátky do aktivní zóny grafitem

178. Co chápeme pod pojmem termojaderná fúze? např $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + n^{0}$ (Deuterium + Tritium)

sloučení dvou lehkých atomových jader do těžšího. Jde opět o exo-energickou reakci - uvolní se energie. Probíhá za vysokých teplot, např ve slunci

Lawsonovo kritérium: **180.** "fúzní Palivo musí na dostatečně dlouhou dobu dosáhnout takové hustoty a teploty, aby četnost fúzních reakcí zajistila celkový energetický zisk, tj větší množství energie než je potřebné k ohřevu a ztrátám v zařízení"

Je tedy potřeba dosažení určité teploty T a hustoty · času výboje

179. Zapište fúzi pro deuterium a tritium:

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + n^{0}$$

Otázky a úkoly k probrané látce z Fyziky 2 pro KyR

Červeně elementární otázky, jejichž neznalost je bezprostředně hodnocena známkou F

1. Co je to termodynamická soustava a jaké základní termodynamické soustavy rozlišujeme a čím se vyznačují.
2. Jaké vlastnosti musí parametry soustavy splňovat, aby mohly být považovány za stavové? Uveďte příklad.
3. Co jsou to extenzivní a intenzivní veličiny. Uveďte příklady.
4. Jak zní I. postulát termodynamiky?
5. Jak zní II. postulát termodynamiky?
6. Jak je definován kvazistatický neboli rovnovážný děj?
7. Jak je definován vratný termodynamický děj?
8. Jak zní Nultý zákon termodynamiky?
9. Napište převodní vztah mezi Celsiovou a termodynamickou (Kelvinovou) stupnicí.
10. Jaké rozlišujeme způsoby přenosu energie do či ze soustavy? Popište je.
11. Jak je definována objemová práce. Uveďte příklad.
12. Jakými předpoklady je definován ideální plyn.
13. Napište stavovou rovnici ideálního plynu.
14. Napište vztah mezi tlakem a teplotou pro izochorický děj.
15. Napište První zákon termodynamiky v diferenciálním tvaru a popište veličiny, které se ve vztahu vyskytují.
16. Jak se změní rovnice vyjadřující První termodynamický zákon v případě, že se jedná o kruhový děj.
17. Napište vztah definující tepelnou kapacitu.
18. Napište kalorimetrickou (směšovací) rovnici.
19. Napište Mayerův vztah.
20. Jak je definována Poissonova konstanta?
21. Napište matematickou formulaci Poissonova zákona.
22. Napište jednu z formulací Druhého zákona termodynamiky.
23. Napište vztah pro tepelnou účinnost spolu s vysvětlujícím obrázkem.
24. Napište vztah pro topný faktor spolu s vysvětlujícím obrázkem.
25. Napište vztah pro chladící faktor spolu s vysvětlujícím obrázkem.
26. Nakreslete p-V digram pro ideální Carnotův cyklus a popište jednotlivé děje, ze kterých se sestává.
27. Napište vztah pro tepelnou účinnost ideálního Carnotova cyklu.
28. Napište znění první a druhé Carnotovy věty.
29. Napište Clausiovu nerovnost.
30. Jak zní Třetí termodynamický zákon.
31. Jaké skupenské přeměny rozlišujeme?
32. Napište Clausiovu-Clapeyronovu rovnici.
33. Napište vztah vyjadřující Gibbsovo pravidlo fází. Popište význam jednotlivých symbolů.
34. Nakreslete fázový p-T diagram pro pro jednosložkovou soustavu. Popište jednotlivé části diagramu spolu s významnými body.
35. Napište vztah pro délkovou teplotní roztažnost.
36. Napište vztah pro objemovou teplotní roztažnost.
37. Napište Maxwellovy předpoklady, za kterých vybudoval kinetickou teorii plynu.
38. Napište vztah vyjadřující pomocí termodynamické teploty střední kinetickou energii molekul ideálního plynu.
39. Napište vztah vyjadřující Maxwellovo-Boltzmannovo rozdělení rychlostí ideálního plynu.
40. Určete nejpravděpodobnější rychlost molekul ideálního plynu pro danou teplotu.
41. Napište znění Ekvipartičního teorému.
42. Napište na základě Ekvipartičního teorému molární tepelnou kapacitu při konstantním objemu ideálního jednoatomového plynu.
43. Jak zní Daltonův zákon o parciálním tlaku?
44. Napište kanonický tvar vlnové rovnice.
45. Napište vlnovou rovnici pro rovinné vlny.
46. Napište vlnovou rovnici pro kulové vlny.
47. Napište obecné řešení vlnové rovnice.
48. Napište vlnovou rovnici pro rovinnou vlnu postupující pouze jedním směrem.
49. Napište obecné řešení vlnové rovnice pro kulové vlny.
50. Jak je definováno vlnové číslo pomocí kruhového kmitočtu? Jak je definované vlnové číslo pomocí vlnové délky? Co nám udává směr vlnového vektoru?
51. Odvoďte vztah popisující vlnění (stojaté vlnění), které vznikne složením dvou proti sobě postupujících harmonických vln.
52. Co chápeme pod pojmem disperze? Jak vypadá obecný zápis disperzní relace?
53. Napište vztah pro výpočet grupové rychlosti.

54. Napište vztah pro výpočet fázové rychlosti.
55. Jaký je vztah mezi grupovou a fázovou rychlostí pro bezdisperzní prostředí?
56. Jak definujeme vlnový balík? (vyjádřete pomocí vztahu).
57. Napište obecný vztah mezi grupovou a fázovou rychlostí.
58. Co je to normální a anomální disperze. Nakreslete vysvětlující obrázek.
59. Napište obecnou (nelineární) soustavu rovnic popisující akustické vlny v ideálních tekutinách.
60. Napište soustavu linearizovaných rovnici popisující akustické vlny v ideální tekutině.
61. Odvoďte vlnovou rovnici pro akustický tlak.
62. Odvoďte vlnovou rovnici pro akustickou rychlost.
63. Jaký je rozdíl mezi akustickou rychlostí a rychlostí šíření akustické vlny.
64. Jak definujeme akustický tlak.
65. Odvoďte vztah pro výpočet rychlosti šíření lineárních akustických vln.
66. Jak je definována podélná akustická vlna?
67. Šíří se v tekutinách vlna podélná či příčná?
68. Odvoďte vlastní kmitočty pro rezonátor délky L řešením vlnové rovnice pro rovinné akustické vlny při znalosti okrajových podmínek: $v(x = 0) = 0$, $v(x = L) = 0$.
69. Jak závisí činitel útlumu akustických vln na kmitočtu?
70. Napište vztah pro výpočet hladiny akustického tlaku.
71. Napište řešení vlnové rovnice pro tlumené rovinné vlny.
72. Ukažte, že ve vodivém prostředí můžeme položit objemovou hustotu elektrického náboje rovnu nule.
73. Odvoďte zobecněnou vlnovou rovnici (telegrafní rovnici) pro elektrickou intenzitu.
74. Odvoďte disperzní relaci pro elektromagnetickou vlnu ve vodivém prostředí.
75. Jaký je geometrický vztah mezi mezi vektory elektrické intenzity, magnetické intenzity a vlnového vektoru.
76. Je elektromagnetická vlna v izotropním prostředí vlnou podélnou či příčnou? Zdůvodněte.
77. Napište vztah pro Poyntingův vektor.
78. Napište Poyntingovu bilanční rovnici v diferenciálním tvaru.
79. Jak je zaveden index lomu pro nemagnetická prostředí? Vyjádřete index lomu pomocí relativní permitivity.
80. Napište zákon odrazu pro elektromagnetické vlny.
81. Napište vztah pro zákon lomu (Snellův zákon) elektromagnetické vlny.
82. Co nám vyjadřují Fresnelovy vzorce?
83. Odvoďte vztah pro Brewsterův úhel.
84. Co chápeme pod pojmem polarizace elektromagnetické vlny.
85. Odvoďte podmínku pro totální odraz.
86. Napište vztah pro obecnou eliptickou polarizaci.
87. Jaká je podmínka pro lineární polarizaci elektromagnetické vlny.
88. Jaké musí být splněny podmínky pro kruhovou polarizaci elektromagnetické vlny.
89. Jak definujeme polarizaci pravou (pravotočivou), resp. levou (levotočivou).
90. Jak definujeme intenzitu elektromagnetické vlny (není myšlena elektrická intenzita).
91. Co chápeme pod pojmem koherence elektromagnetických vln?
92. Jakých hodnot může nabývat komplexní stupeň koherence $\gamma(r1, r2, \tau) \equiv \gamma 12(\tau)$? Co nám vyjadřuje?
93. Jak se mění fáze elektromagnetické vlny při odrazu na opticky hustším prostředí?
94. Napište podmínku pro pozorování maxim při dvousvazkové interferenci na tenké vrstvě.
95. Napište podmínku pro pozorování minim při dvousvazkové interferenci na tenké vrstvě.
96. Co chápeme pod pojmem difrakce vlny?
97. Napište Huygensův-Fresnelův princip.
98. Napište difrakční integrál v obecném tvaru pro Fresnelovu aproximaci (Fresnelovu difrakci).
99. Napište difrakční integrál v obecném tvaru pro Fraunhoferovu difrakci (Fraunhoferovu aproximaci).
100. Napište difrakční integrál pro Fraunhoferovu difrakci pro případ kolmého dopadu rovinné vlny na stínítko s obdélníkovým otvorem o stranách a, b.
101. Napište, za jakých podmínek je možné použít optickou (paprskovou) optiku.
102. Jak je definována optická dráha?
103. Jak zní Fermatův princip.
104. Pomocí Fermatova principu odvoďte zákon odrazu pro světelné paprsky.
105. Pomocí Fermatova principu odvoďte zákon lomu pro světelné paprsky.
106. Jaké vlastnosti má splňovat ideální optická soustava?
107. Co je to zobrazovací rovnice?
108. Co je to paraxiální aproximace?
109. Co jsou to kardinální body optické soustavy? Jak jsou definovány?

110. Odvoďte přenosovou matici pro volné šíření paprsku homogenním prostředím.
111. Napište obrazovou rovnici pro tenkou spojnou čočku, tedy spojku.
112. Napište vztah vyjadřující Stefanův-Boltzmannův zákon.
113. Jak je definováno absolutně černé těleso a jakým způsobem se při experimentech realizuje.
114. Napište Rayleighův-Jeansův zákon vyzařování černého tělesa.
115. Napište vztah vyjadřující Gibbsovo kanonické rozdělení spolu s definicí partiční sumy.
116. Odvoďte vztah pro výpočet střední energie pomocí partiční sumy.
117. Jak zní princip maximální entropie?
118. Napište vztah pro statistickou entropii.
119. Napište vztah pro Boltzmannovo rozdělení.
120. Napište Planckův vyzařovací zákon.
121. Z Planckova vyzařovacího zákona odvoďte Rayleighův-Jeansův a Wienův vyzařovací zákon.
122. Co je to fotoelektrický jev?
123. Napište vztah pro kinetickou energii emitovaných elektronů při fotoelektrickém jevu.
124. Napište vztahy pro hybnost a energii fotonu.
125. Vysvětlete Comptonův jev.
126. Napište Comptonovu rovnici.
127. Vysvětlete podstatu produkce páru elektron-pozitron.
128. Uveďte příkladu demonstrující jak vlnový, tak korpuskulární charakter světla.
129. Popište Rutherfordův model atomu a vysvětlete jeho nedostatek.
130. Popište Bohrův model atomu a odvoďte vztah pro hladiny energie atomu vodíku na základě tohoto modelu.
131. Co jsou to částicové, resp. de Broglieho vlny. Pomocí těchto vln přepište Bohrovu podmínku.
132. Čemu se rovná fázová a grupová rychlost částicových (de Broglieho) vln? Napište Heisenbergovy relace neurčitosti a vysvětlete důsledky jejich platnosti.
133. Napište nestacionární Schrödingerovu rovnici.
134. Napište stacionární Scrödingerovu rovnici.
135. Napište operátor hybnosti a energie.
136. V čem spočívá interpretace vlnové funkce, která je řešením Schrödingerovy rovnice? Napište kalibrační podmínku pro vlnovou funkci.
137. Co je to tunelový jev?
138. Co chápeme komutátorem dvou operátorů? (napište definiční vztah)
139. Napište kanonické komutátorové vztahy.
140. Ukažte, že operátory jednotlivých složek momentu hybnosti jsou nekomutativní.
141. Dokažte, že dva komutativní operátory mají společnou vlastní funkci.
142. Dokažte, že komutátory kvadrátu velikosti hybnosti a složek momentů hybnosti jsou komutativní.
143. Napište vztah pro kvadrát velikosti momentu hybnosti a jeho z-ové složky.
144. Odvoďte vztah pro orbitální magnetický moment.
145. Napište jak je kvantován kvadrát velikosti a z-ová složka orbitálního a vlastního momentu elektronu.
146. Pomocí Bohrova magnetonu vyjádřete z-ovou složku magnetického momentu orbitálního a vlastního.
147. Napište základní kvantová čísla elektronu spolu s podmínkami stanovujícími hodnoty, kterých mohou nabývat.
148. Jak zní Pauliho vylučovací princip?
149. Jaké se používá aproximace pro popis atomů s více elektrony?
150. Jak je definována slupka a podslupka atomu. Jaká se používá notace pro jejich značení? Dále nepište kolik může elektronů se může nacházet ve slupkách a jednotlivých podslupkách.
151. Jaké rozlišujeme chemické vazby?
152. Vysvětlete vznik energetických pásů.
153. Napište Fermiho-Diracovo rozdělení energií.
154. Pomocí pásové teorie vysvětlete rozdílné chování vodičů, izolantů a polovodičů.
155. Co je to spontánní a stimulovaná emise?
156. Vysvětlete principiální funkci laseru.
157. Co jsou to fermiony a bosony?
158. Jaké základní interakce mezi částicemi můžeme pozorovat? Porovnejte je co dosahu a relativní síly.
159. Napište co jsou to leptony a jaké leptony rozlišujeme?
160. Napište co jsou to hadrony, jak je dělíme a z jakých částic se dále skládají?
161. Co je to nuklid, izotop, nukleonové (hmotnostní) číslo, neutronové a protonové číslo. Jakou používáme notaci při popisu nuklidů?
162. Napište empiricky zjištěný vztah pro poloměr atomu.
163. Napište hmotnost uhlíku 12C v hmotnostních jednotkách.
164. Jak je definována vazebná energie nuklidu?

165. Nakreslete průběh závislosti vazebné energie na nukleonovém čísle.
166. Nakreslete závislost neutronového čísla na protonovém čísle jednotlivých nuklidů. Vysvětlete odchylku od lineární závislosti.
167. Co je to radioaktivní přeměna (rozpad) a co jsou to radionuklidy?
168. Co je to radioaktivita a jaké radioaktivní přeměny rozlišujeme?
169. Vysvětlete a popište α-přeměnu (rozpad).
170. Vysvětlete a popište β-přeměnu (rozpad).
171. Popište a vysvětlete γ-přeměnu a vnitřní konverzi.
172. Popište elektronu, emisi nukleonů a spontánní štěpení.
173. Co je to radioaktivní rozpadová (přeměnová) řada, a jaké takovéto řady rozlišujeme.
174. Co je to jaderná reakce? Co je to řetězová reakce? Co je to štěpná jaderná reakce? Co je to štěpná řetězová reakce?
175. Popište štěpnou reakci nuklidů používaných v energetice.
176. Co je to řízená a neřízená štěpná reakce?
177. Co ovlivňuje účinnost (výtěžnost) štěpné reakce? Co je to multiplikační faktor?
178. Co chápeme pod pojmem termojaderná fúze?
179. Zapište fúzi pro deuterium a tritium.
180. Co je to Lawsonovo kritérium?

Bez ohledu na počet získaných bodů student také neuspěje u zkoušky také v případě, že nebude znát bezchybnou odpověď na otázky týkající se následujících znalostí z Fyziky 2:

1. Základní zákony termodynamiky.
2. Maxwellovo-Boltzmannovo rozdělení rychlostí ideálního plynu.
3. Kanonický tvar vlnové rovnice.
4. Planckův vyzařovací zákon.
5. Stefanův-Boltzmannův zákon.
6. Heisenbergovy relace neurčitosti.
7. Schroedingerova rovnice.
8. Kvantová čísla a hodnoty, kterých mohou nabývat.
9. Pauliho vylučovací princip.