

ATOMOVÁ FYZIKA

1. Kvantování energie elektromagnetického záření

opakování – téma Elektromagnetické záření

Planck (1900):

Energie elektromagnetického záření může být vyzářena nebo pohlcena jen jako násobek určitého nejmenšího množství energie = kvantum energie E_q

$$E_q = h \cdot f \quad h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad \text{Planckova konstanta}$$

<http://www.mhhe.com/physsci/astronomy/applets/Blackbody/frame.html>

<http://www.astro.ufl.edu/~oliver/ast3722/lectures/BasicDetectors/DetectorBasics.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Black_body

2. Katodové záření

Konec 19. století – pokusy se skleněnou trubicí s vyčerpaným vzduchem případně náplní z jiných plynů, uvnitř 2 elektrody připojené na zdroj napětí → pozorování různých jevů → velmi populární

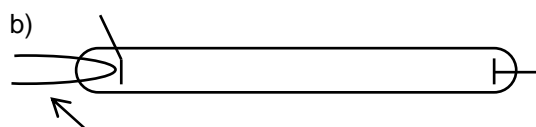


A.....anoda (+)

C.....katoda (-)

a) přímo žhavená

b) nepřímě žhavená



žhavicí vlákno

⇒ “katodové záření” (= svazek rychlých elektronů)

1. šíří se z katody přímočaře
2. způsobuje fluorescenci vhodných látek
3. elektrony mají E_k
4. mohou být vychýleny - elektrickým polem
- magnetickým polem
5. při dopadu na vhodný materiál mohou vytvořit rentgenové záření

[http://highered.mcgraw-](http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072512644/student_view0/chapter2/animations_center.html#)

[hill.com/sites/0072512644/student_view0/chapter2/animations_center.html#](http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072512644/student_view0/chapter2/animations_center.html#)

Otázky:

1. Proč nebylo katodové záření přímo nazváno proudem elektronů?
2. Ve které z trubic poteče větší proud? (předpokládejte stejné U)?
3. Popište vlastnosti katodového záření. Které z nich dokazují, že se nejedná o elektromagnetické záření?

3. Elektron

a) objevení

Joseph John Thomson 1897 (1856 – 1940)

vedoucí Cavendishovy laboratoře v Cambridge; pohřben ve Westminsterském opatství

předpokládal, že katodové záření nemůže být elektromagnetické vlnění, protože

1. má rychlost ve vakuu (vzduchu) jen $1/10 c$
2. může být vychýleno v elektrickém a magnetickém poli

⇒ výsledkem bylo: $\frac{e}{m}$ zcela stejné pro libovolný zdroj, e určeno z elektrolýzy monovalentních iontů

$$e = 1,66 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

b) pohyb elektronu

V ELEKTRICKÉM POLI

1. rychlost

$$U = \frac{W}{Q} = \frac{W}{e} \Rightarrow$$

$$W = eU$$

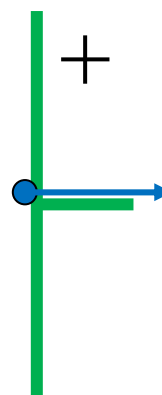
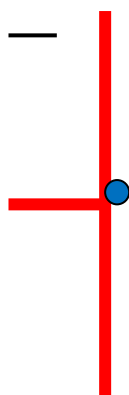
$$v_0 = 0 \text{ na katodě (-)}$$

$$W = \Delta E_k = \frac{1}{2} m_e v^2 - \frac{1}{2} m_e v_0^2$$

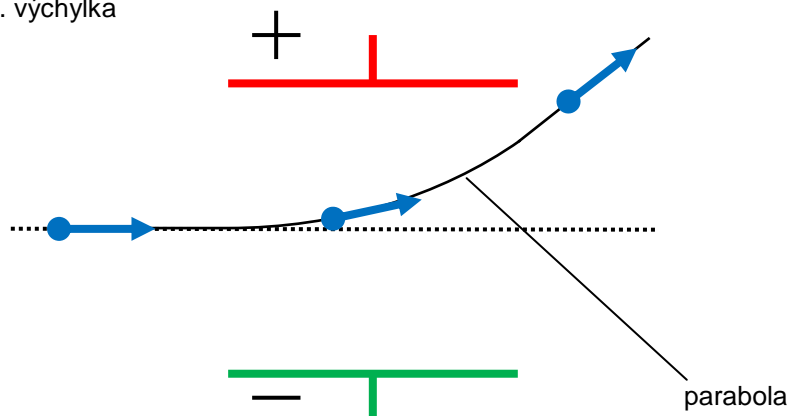
$$W = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$eU = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$v = \sqrt{2U \frac{e}{m_e}}$$



2. výchylka



V MAGNETICKÉM POLI

$$F = B \cdot Q \cdot v \cdot \sin \alpha$$

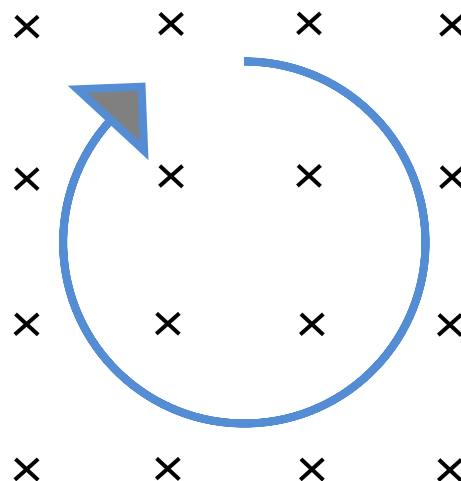
F – na pohybující se náboj
 B – magnetická indukce
 Q a v – náboj a rychlost částice
 α – mezi v a B

$$\text{když } Q = e \wedge \alpha = 90^\circ \left(\Rightarrow \vec{v} \perp \vec{B} \right)$$

velikost: $F = Bev$

směr: $\vec{F} \perp \vec{v} \wedge \vec{F} \perp \vec{B}$; Flemingovo pravidlo levé ruky

$$\begin{aligned} F_c &= F \\ m_e a_c &= Bev \\ m_e \frac{v^2}{r} &= Bev \\ \frac{v}{Br} &= \frac{e}{m_e} (= \text{const.}) \end{aligned}$$



Otázky:

4. Elektron emitovaný ze žhavé katody v evakuované trubici je urychlen napětím 1000 V. Vypočítejte
 a) rychlost, které dosáhne; b) určete jeho trajektorii v magnetickém poli o indukci $B = 1$ mT, vletněli kolmo na směr indukčních čar

a)

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{2U \frac{e}{m}} \\ v &= 1,9 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned} Bev &= m \frac{v^2}{r} \\ r &= \frac{mv}{Be} = 0,1 \text{ m} \end{aligned}$$

5. Určete intenzitu elektrického pole, které by při orientaci siločar kolmo na indukční čáry magnetického pole z předchozího příkladu vyrušilo jeho účinky. Předpokládejte vzdálenost mezi deskami tvořícími elektrické pole 2 cm a spočítejte napětí mezi nimi.

$$E = \frac{F}{q} = \frac{F}{e} \Rightarrow F = Ee \dots\dots\dots \text{elektrické}$$

$$F = Bev \dots\dots\dots \text{magnetické}$$

$$E = \frac{U}{d} \Rightarrow U = Ed = 360 \text{ V}$$

$$Ee = Bev$$

$$E = Bv = 1,8 \cdot 10^4 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

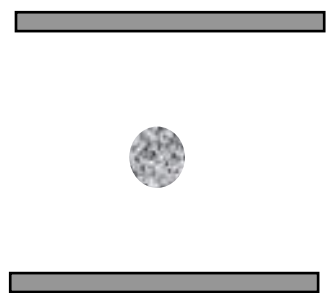
6. Popište a vysvětlete chování elektronu v elektrickém a magnetickém poli (různé směry vzhledem k pohybu elektronů).

c) Millikanův pokus

http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072512644/student_view0/chapter2/animations_center.html#

dřívější Thomsonův experiment \Rightarrow měřil $\frac{e}{m_e}$
 tento experiment \rightarrow násobek elementárního náboje e } lze určit m_e

uspořádání:
 2 nabité desky v gravitačním poli
 kapky oleje stříknuté mezi ně
 pokud kapka v klidu \Rightarrow



$$F_g = F_e$$

$$mg = EQ$$

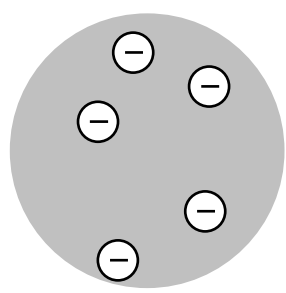
$$mg = \frac{U}{d} k \cdot e$$

\swarrow určitý násobek e

4. Modely atomu

a) Thomsonův "pudingový" model

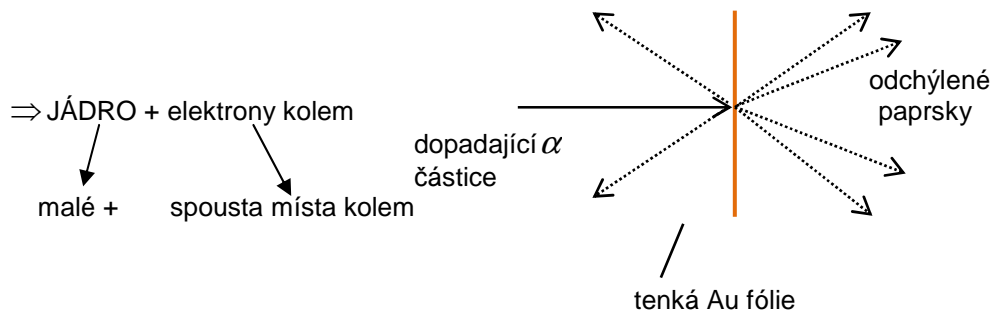
Vysvětlete souvislost mezi pokusy s katodovým zářením a tímto modelem atomu:



Proč vedl Rutherfordův experiment ke vzniku nového modelu atomu?

b) Rutherfordův model

http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072512644/student_view0/chapter2/animations_center.html#
<http://www.worsleyschool.net/science/files/rutherford/atom.html>



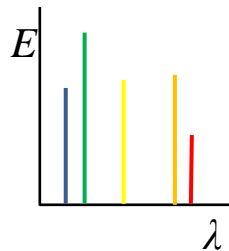
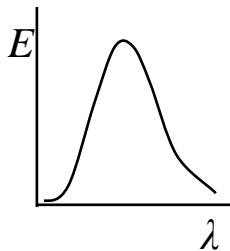
Tento model však neodpovídá zákonům klasické fyziky, protože:

- 1) Elektrony obíhající kolem jádra by měly mít "zrychlení" = a_d ⇒ vyzařovat elektromagnetickou vlnu ⇒ ztrácet energii ⇒ přibližovat se k jádru, COŽ SE NEDĚJE
- 2) Nelze pomocí něj zdůvodnit čárové spektrum ⇒

ČÁROVÉ SPEKTRUM

<http://www.colorado.edu/physics/2000/quantumzone/index.html>

horká tělesa (slunce, žárovka) X horké plyny a páry kovů
 vyzařují mnoho $\lambda \sim T$ vyzařují jen některé λ
 ⇒ SPOJITÉ SPEKTRUM ⇒ ČÁROVÉ SPEKTRUM



ČÁROVÉ SPEKTRUM $\left\{ \begin{array}{l} \text{Emisní - emitované by horkými plyny} \\ \text{Absorpční - čáry chybějí z „bílého“ světla, které} \\ \text{prošlo plynem} \end{array} \right.$

Emisní - emitované by horkými plyny

Absorpční - čáry chybějí z „bílého“ světla, které prošlo plynem

Joseph Balmer zkoumal H_2 spektrum ve viditelné oblasti – zjistil, že

$$f = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, \dots$$

čáry Rydbergova frekvence $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

c) Bohrov model

Niels BOHR (Dán, 1913) → 2 postuláty

a) Elektrony se kolem jádra pohybují jen v určitých dovolených dráhách „orbitalech“; když jsou v těchto dráhách, nevyzařují záření a mají konkrétní hodnotu energie odpovídající příslušnému orbitalu, energetickou hladinu

b) Elektrony mohou přejít z hladiny o vyšší energii (E_2) na hladinu o nižší energii E_1 ; rozdíl energií těchto hladin MŮŽE být vyzářen jako kvantum elektromagnetického záření o frekvenci f_{21}

$$E_2 - E_1 = hf_{21} \quad h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad \text{Planckova konstanta}$$

Pokud stejné množství energie elektron pohlít, může přejít samozřejmě z E_1 do E_2 .

MODEL ATOMU VODÍKU

Vznik modelu podpořily i další experimenty a objevy – čárová spektra v UV & IČ, všechny čáry splňují rovnici

$$f = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n > m, n, m = 1, 2, 3, 4, \dots$$

pro $m = 1$ LYMANOVA série v UV
pro $m = 2$ BALMEROVA série ve VIDITELNÉ oblasti
pro $m = 3$ PASCHENOVA série v IČ

Použijte další zdroje a nakreslete energetické hladiny a příslušné série čar:

je - li frekvence kvanta spojena s energetickými hladinami ⇒

$$E_n - E_m = hf_{nm} = hR \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$E_m = hR \frac{1}{m^2}$$

$$E_m = \frac{hR}{m^2}$$

$$E_1 = 13,6 \text{ eV} = -21,8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

= IONIZAČNÍ ENERGIE ~ pokud dodáme e^- na hladině $E_1 \Rightarrow$ uvolní se z atomu.

Excitovaný stav $\approx e^-$ je na vyšších energetických hladinách, ze kterých může:

- skočit na nižší energetickou hladinu
- absorbovat kvantum energie \rightarrow přejít na vyšší energetickou hladinu
- dodáme-li více energie \rightarrow opustit atom = ionizace (pozitivní energii mají VOLNÉ elektrony)

Otázky:

7. Vysvětlete souvislost mezi kvantem energie, které elektron přijme/vyzáří a energetickými hladinami, popište na modelu atomu vodíku.

d) Schrödingerův model

- založen na _____ kvantování energie elektronů
PRAVDĚPODOBNOSTI výskytu e^- v určitém prostoru v okolí jádra

zavádí kvantová čísla

n - hlavní \approx energie \approx velikost orbitalu \rightarrow 1,2,3,...

l - vedlejší \approx tvar orbitalu \rightarrow s, p, d, f,...

m - magnetické \approx pozice (orientace) orbitalu v prostoru \rightarrow x, y, z

m_s - spin \rightarrow $+\frac{1}{2}$

Pauliho vylučovací princip:

elektrony v atomu se musí lišit alespoň v jednom kvantovém čísle

$n \Rightarrow 2n^2$ různých stavů (elektronů)

Otázky:

8. Kolik kvantových čísel zavedl Schrödinger a co představují?

PRAVDĚPODOBNOST PŘÍTOMNOSTI ELEKTRONŮ V URČITÝCH ORBITALECH

V různých zdrojích vyhledejte tvary orbitalů – hustotu pravděpodobnosti přítomnosti elektronů v okolí jádra

5. Tepelná emise

V KOVECH a některých SLOUČENINÁCH (elektronový plyn), kde se mohou povrchové elektrony uvolnit, když dodáme dostatek energie

VÝSTUPNÍ PRÁCE ELEKTRONU - W_v = energie, kterou musíme kovu/sloučenině dodat, aby se uvolnil JEDEN elektron

$[W_v] = e \cdot V$... elektronvolt – jednotka energie/práce na mikroskopické úrovni

$$W = QU$$

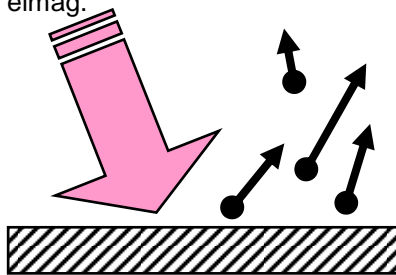
$$1J = 1C \cdot 1V = 6,25 \cdot 10^{18} e.V$$

$$1e.V = 1,6 \cdot 10^{-19} J$$

6. Fotoelektrický jev

experimentálně zhruba od r. 1897, vysvětlení + rovnice Einstein 1905 – Nobelova cena

dopadající elmag.
záření



elektrony uvolněné z povrchu

kov/sloučenina

Zn – rtg záření, UV

Na - rtg záření, UV, viditelné kromě oranžové a červené

Cs - rtg záření, UV, viditelné, IČ

a) výsledky experimentů

- Počet emitovaných fotoelektronů za jednotku času závisí na intenzitě dopadajícího záření (počtu kvant – objeveno později)
- Rychlost fotoelektronů se pohybuje od nuly do v_{\max} , ta závisí na frekvenci dopadajícího záření a nezávisí na intenzitě
- Určitý kov má **mezní frekvenci** – při nižší frekvenci nedojde k fotoemisi ani pro vysoké intenzity

(někdy se udává mezní vlnová délka dopadajícího záření $\lambda_m = \frac{c}{f_m}$)

b) Einsteinova rovnice pro vnější fotoelektrický jev

$$hf = W_v + \frac{1}{2} m v_{\max}^2$$

energie kvanta dopadajícího záření výstupní práce pro DANÝ kov největší možná pohybová energie „fotoelektronu“

energie kvanta = E nutná k uvolnění elektronu + největší možná E elektronu

NEBO $hf = W_V + \frac{1}{2}mv^2 + E_{konv}$ když se část energie přemění na jiné druhy
a proto elektron nemá nejvyšší rychlost

také $hf_m = W_V$ pro mezní frekvenci

Otázky:

9. Vysvětlete výsledky experimentů pomocí Einsteinovy rovnice.
10. Vysvětlete rozdíl mezi prvními dvěma rovnicemi.
11. Vysvětlete třetí rovnici.

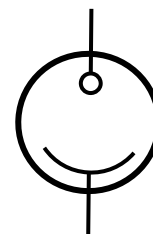
VYUŽITÍ FOTOELEKTRICKÉHO JEVU

- FOTOBUNKA

pracuje na principu vnějšího fotoelektrického jevu

uvolněné elektrony se pohybují ve vakuu ve skleněné baňce -
R fotobuňky klesá

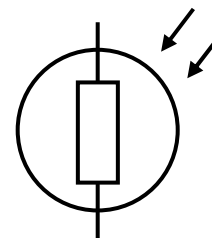
např. zvuková stopa na prvních zvukových filmech



Označte záporný a kladný pól fotobuňky na obrázku. Najděte a nakreslete obvody využívající tuto součástku.

- FOTOREZISTOR

pracuje na principu vnitřního fotoelektrického jevu = v polovodičích se dodanou energií elektrony uvolní z vazeb, ale nevystoupí z materiálu, vytvoří páry elektron – díra a R se sníží



značka

Najděte a popište využití fotorezistoru.

Otázky:

12. Vysvětlete rozdíl mezi vnějším a vnitřním fotoelektrickým jevem a jejich využití.

7. Částicově - vlnový dualizmus

a) částicový charakter vlnění

Elektromagnetické záření se chová jako vlnění (odraz, lom, ohyb, polarizace, interference,...), ale kvantum tohoto záření = FOTON se může chovat také jako částice!!!

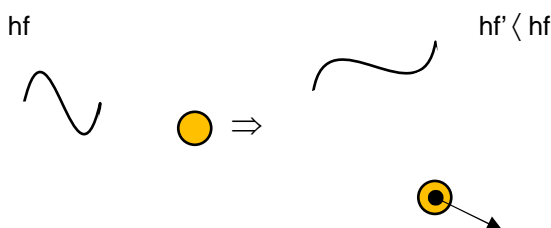
Tyto vlastnosti vykazují především fotony s velkou energií = velkou f = malou λ

$$E = hf \text{ ... „foton“} \quad h = \text{Planckova konstanta}$$

DŮKAZ:

1. Kvantování energie elektromagnetického záření: $E = hf$... nejmenší samostatné kvantum energie o frekvenci f
2. Fotoelektrický jev: zachování energie – energie fotonu se částečně přemění na energii fotoelektronu
3. Comptonův jev

dopadající foton + „klidový“ elektron \Rightarrow odražený foton + pohybující se elektron



jako srážka dvou částic – zachování hybnosti

problém – hybnost fotonu

$$p = mv = mc = \frac{E}{c^2} c = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

b) vlnové vlastnosti částic

hybnost fotonu: $p = \frac{h}{\lambda}$

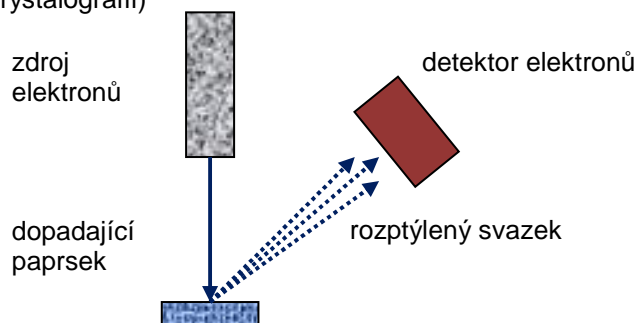
vlnová délka fotonu – **de Broglieova vlnová délka**: $\lambda_B = \frac{h}{p}$

de Broglie zavedl vlnovou délku hmotných objektů (hlavně částic – elektronů), takže je můžeme považovat i za vlnění

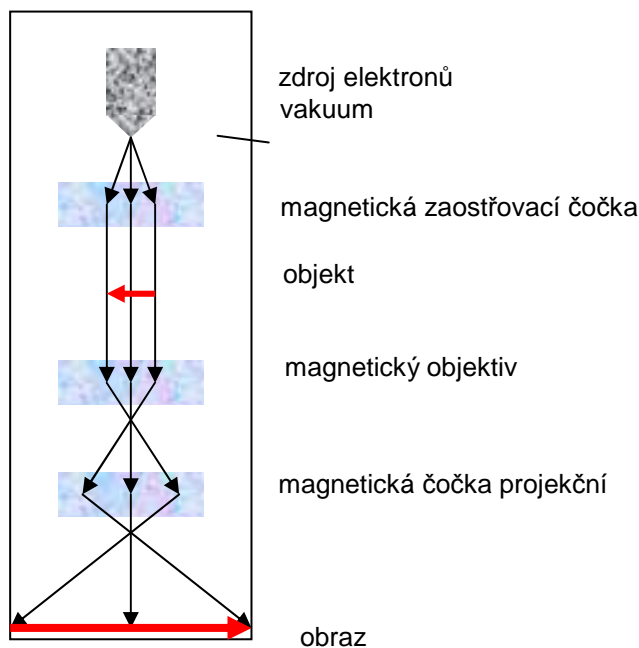
Otázky:

13. Spočítejte de Broglieovu vlnovou délku pro Dr. Pohaněla jedoucího ve svém autě do Prostějova rychlostí $96 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Jaké elektromagnetické záření má podobnou vlnovou délku? Co z toho vyvozujeme?

1. Rentgenové záření – pohybující se elektrony (částice) mohou vyrazit kvanta elektromagnetického záření, intenzita – počet dopadajících elektronů (proud), vlnová délka – rychlost elektronů, pohybová energie, napětí
2. Ohyb částic - objeven Davissonem+ Germerem (USA), G.P.Thomsonem (GB) elektrony v dopadajícím svazku se ohýbají – informace o struktuře (srovnej s rentgenovou krystalografií)



3. Elektronový mikroskop – princip ohybu částic



Otázky:

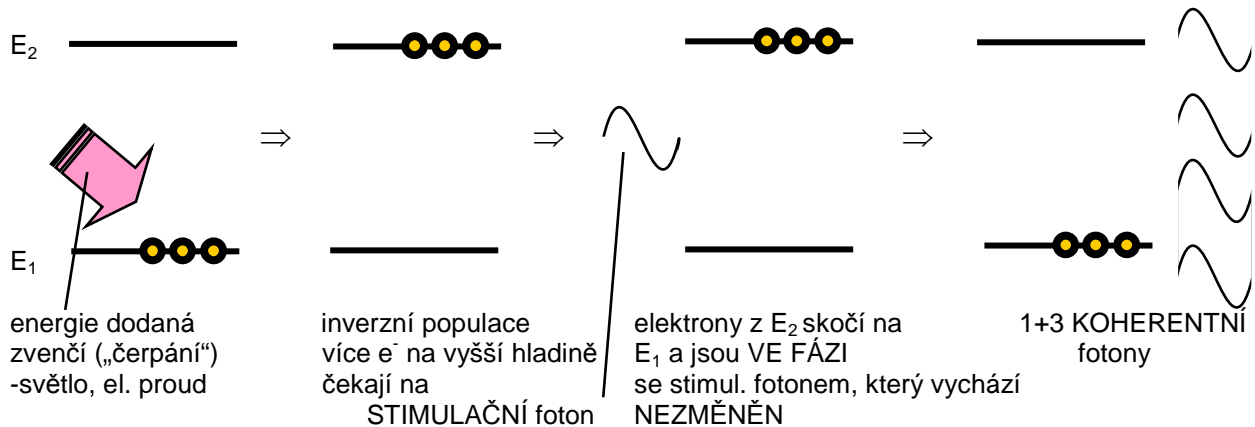
14. Proč musí být v mikroskopu vakuum?
15. Je de Broglieova vlnová délka elektronů větší nebo menší než světla? Proč?
16. V různých zdrojích vyhledejte princip elektronového mikroskopu, vysvětlíte ho.

8. Stimulovaná emise a lasery

a) samovolná x stimulovaná emise

samovolná emise – nahodilý jev, i fotony monochromatického světla mají různou FÁZI

stimulovaná emise



Otázky:

17. Jaká je frekvence stimulačního fotonu?
18. Jak ho do látky dostaneme?

b) lasery (od 1960)

light amplification by stimulated emission of radiation

světlo je: koherentní, monochromatické, intenzivní, není rozbíhavé – vše záleží na DRUHU laseru!

druhy:

RUBÍNOVÝ

- první, optické čerpání
- měření vzdáleností, svařování, řezání

CO₂

- kolem 100 W výstup
- chirurgie

He-Ne

- vysoce koherentní svazek, interferometrie

POLOVODIČOVÝ

- malý, nízké výkony, málo koherentní, přenos informací, laserové ukazovátka, vypalování DVD