



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Fyzika elektronového obalu

Ing. Stanislav Jakoubek

Přehled studijních materiálů

Číslo DUMu	Název DUMu
<u>III/2-1-3-6</u>	<u>Historie modelů atomu</u>
<u>III/2-1-3-7</u>	<u>Bohrův model atomu</u>
<u>III/2-1-3-8</u>	<u>Spektrum atomu vodíku</u>
<u>III/2-1-3-9</u>	<u>Slupkový model atomu a další modely atomu</u>
<u>III/2-1-3-10</u>	<u>Luminiscence. Lasery</u>



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdelávání
pro konkurenceschopnost

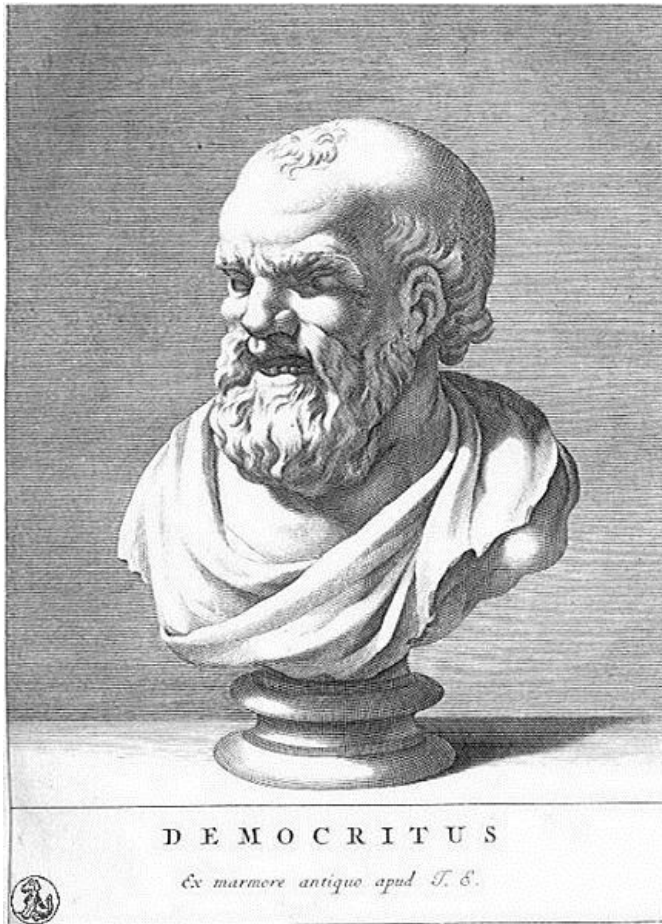
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Historie modelů atomu

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Vybrané partie z fyziky pro IV. ročník středních technických škol
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-1-3
Číslo DUMu	III/2-1-3-6
Anotace	Tato kapitola je v rámci středoškolské fyziky velmi zásadní. Vysvětluje totiž, jakým způsobem probíhá tvorba teorií, jejich testování, opouštění a zavádění teorií nových. Po věcné stránce se studenti seznámí se základními modely atomů, se kterými se v minulosti pracovalo. Konkrétně půjde o model Thomsonův a Rutherfordův.

Démokritos (asi 460 –370 př.n.l.)

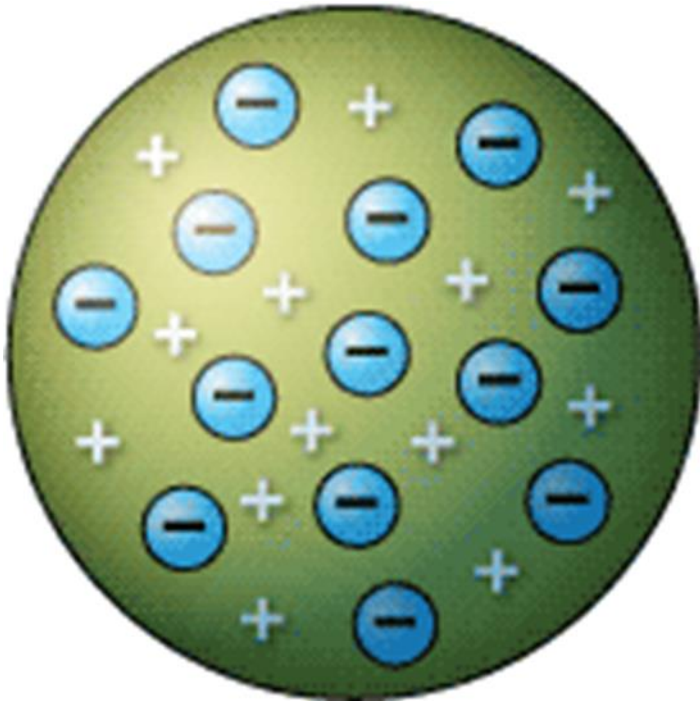


- Řecký filozof
- Hmota se skládá z malých, dále nedělitelných částí
- **Atomos = nedělitelný**

Poznámka k fyzikálním teoriím

- ▶ Mějme experimentální data, pozorování, ...
- ▶ Na základě nich vznikne nová teorie, která je uspokojivě vysvětlí
- ▶ Pomocí nové teorie navrhneme pozorování či experiment a očekáváme nějaký výsledek
- ▶ Provedeme ten experiment či pozorování
- ▶ Výsledek experimentu buď souhlasí s předpovědí a teorie (prozatím) obstála a nebo nesouhlasí
- ▶ V tom případě je špatná teorie a musí se vymyslet jiná, která vysvětlí vše, co ta stará plus skutečnost, na které selhala
- ▶ Cyklus se stále opakuje 😊

Thomsonův model atomu



- V kladně nabitě hmotě se vyskytují záporně nabitě elektrony
- Vypadá, jako pudink s rozinkami, proto bývá též nazývaný pudinkový model
- Vysvětluje elektrickou neutralitu, možnost kladného i záporného zelectrování
- S rozumnou přesností (úměrnou tehdejšímu měření) určuje výstupní práci

Joseph John Thomson (1856–1940)

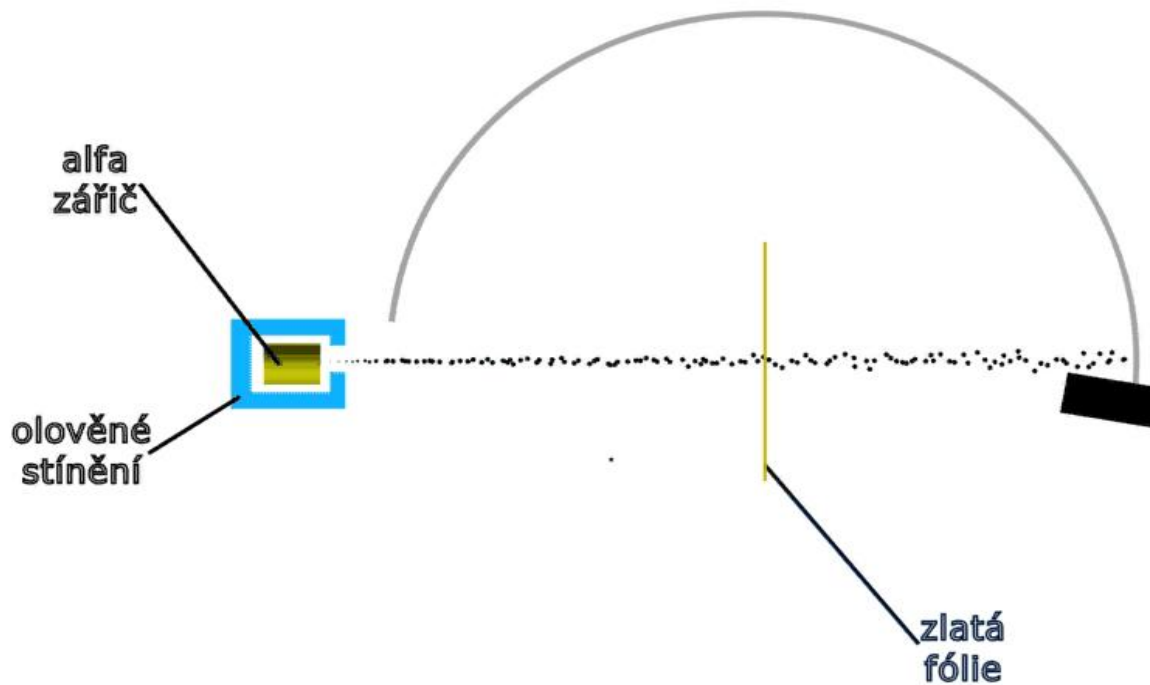


- Anglický experimentální fyzik
- 1897 – objevil elektron; tímto objevem započala éra částicové fyziky
- 1906 – Nobelova cena za fyziku za tento objev

Rutherfordův model atomu

- ▶ Rutherford předpokládal platnost Thomsnova modelu atomu (TMA)
- ▶ Tenkou zlatou fólií (cca $1\ \mu\text{m}$) ostřeloval částicemi α (jsou to jádra helia ${}_2^4\text{He}$, což ovšem nevěděl; znal jejich hmotnost a velikost kladného náboje)
- ▶ Za předpokladu platnosti TMA vypočítal maximální možnou odchylku trajektorie částic α při průchodu fólií

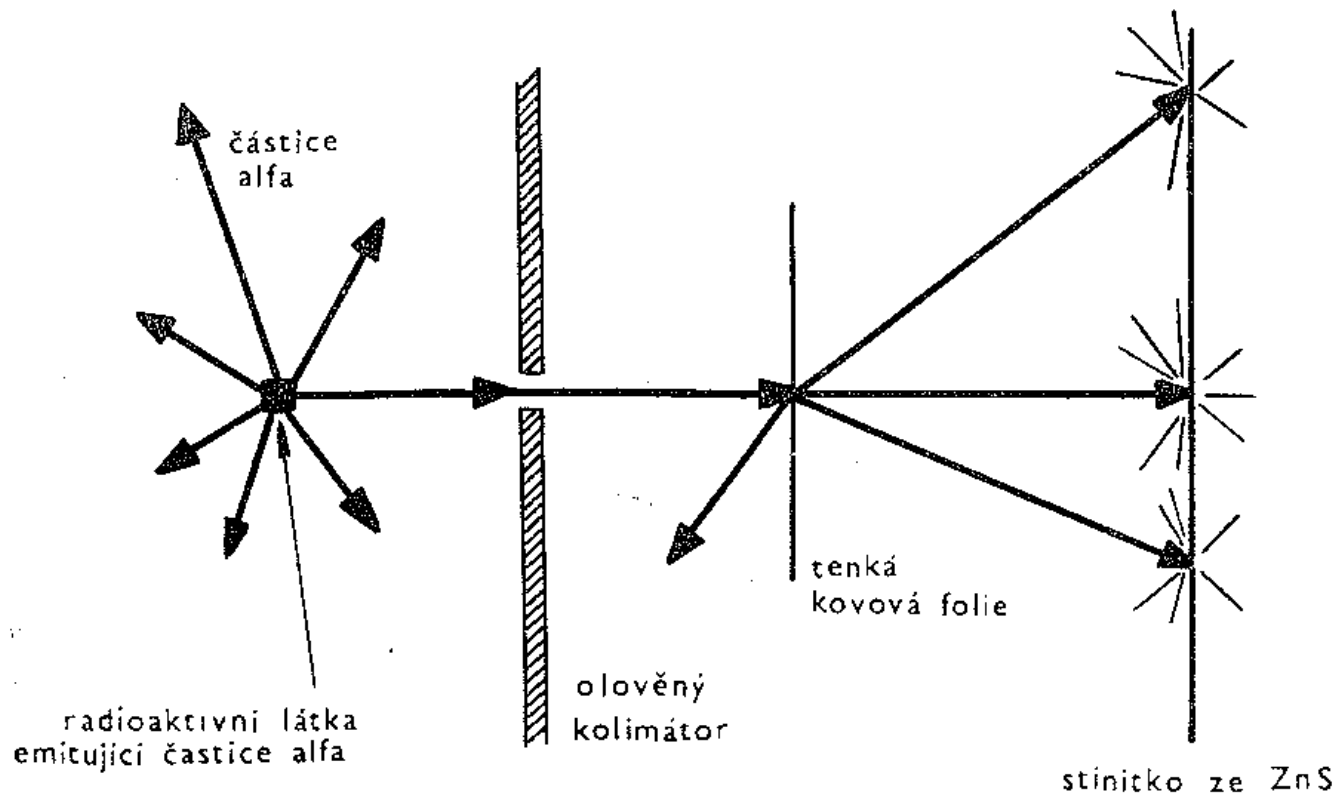
Uspořádání Rutherfordova experimentu



Co zjistil?

- ▶ Naprostá většina částic se do maximálního odhadnutého úhlu vešla
- ▶ Existovalo však malé procento částic, které měly větší odchylku a některé se dokonce od fólie úplně odrazily
- ▶ To ovšem při platnosti TMA nebylo možné ⇒ **TMA je špatně!**

Výsledek pokusu graficky



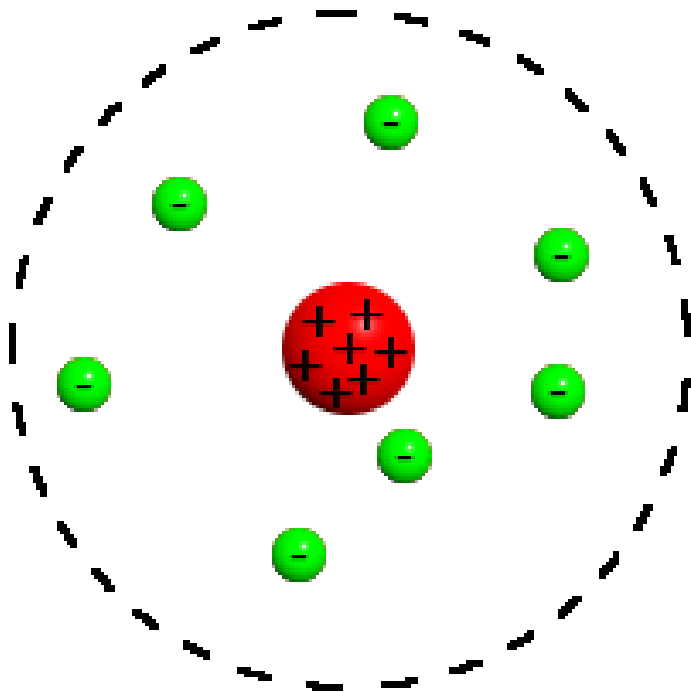
Co na to Rutherford?

- ▶ „Byla to ta nejneuvěřitelnější věc, která se mi v životě stala. Bylo to stejně neuvěřitelné, jako kdybyste střelili granátem proti papírovému kapesníku a on se vám vrátil!“

Rutherfordovo řešení

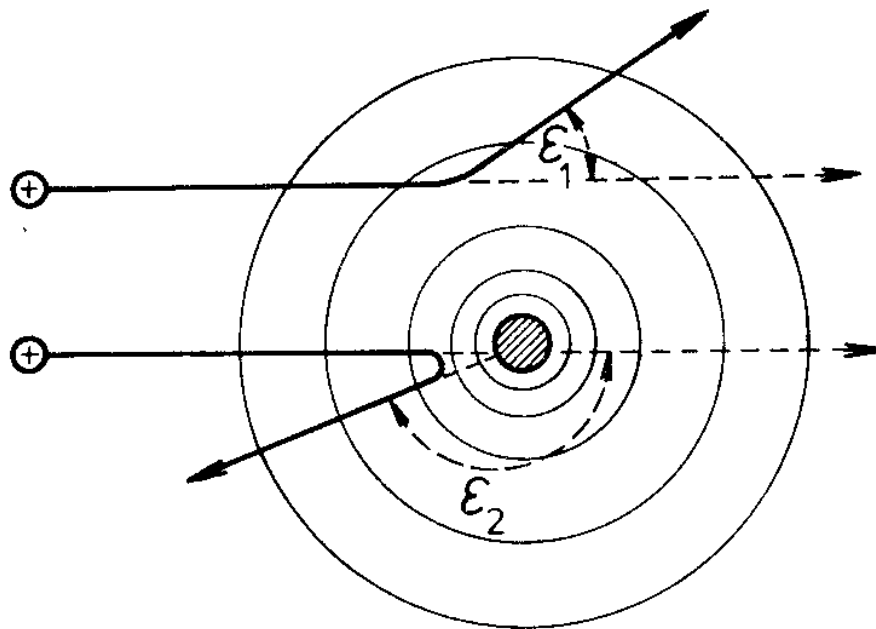
- ▶ Z rozboru rozptylu α částic Rutherford upravil model tak, že většina hmotnosti atomu je soustředěna do malého prostoru – tzv. **jádra**
- ▶ Elektrony okolo něj obíhají podobně, jako planety kolem Slunce
- ▶ Tento model je proto také nazývá *planetární model*

Schéma RMA



- Ve skutečnosti je jádro cca 100000 krát menší, než poloměry drah elektronů.
- Poloměr jádra je v rozmezí 10^{-15} – 10^{-14} m

Vysvětlení rozptylu



- Kladně nabitá α částice se hodně vychýlí jen tehdy, když se dostane do blízkosti kladně nabitého jádra.
- Protože takových částic je málo, je spíš náhoda, že se tak stane \Rightarrow jádro musí být malé

Ernest Rutherford (1871 – 1937)



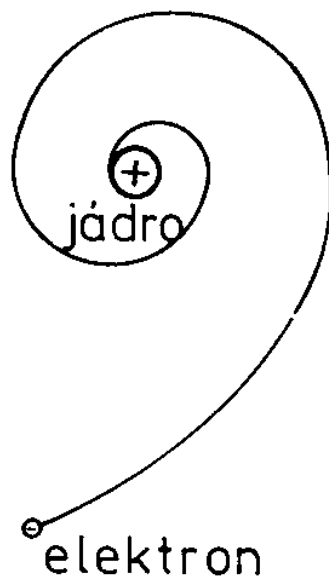
- Novozélandský fyzik
- Později působil v Británii
- 1908 – Nobelova cena za „výzkum rozpadu prvků a chemii radioaktivních látek“

Problémy RMA

- ▶ Elektroný se pohybují kolem jádra po elipsách, tedy na ně působí zrychlení (cca dostředivé)
- ▶ Z teorie elektromagnetického pole plyne, že náboj pohybující se se zrychlením vyzařuje (tedy ztrácí) energii
- ▶ Z toho plynou dvě věci:

Problémy RMA

Elektron rychle ztrácí energii a padá na jádro (za extrémně krátký čas $t=10^{-16}$ s); žádný atom by tedy neexistoval.



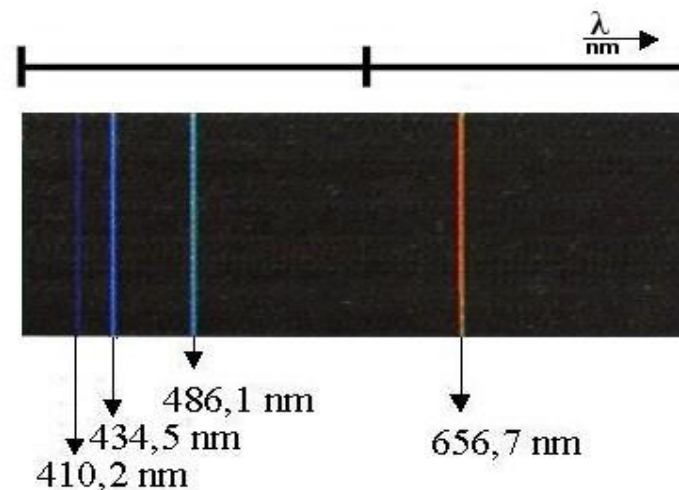
Ve skutečnosti jsou atomy stabilní a existují.

Problémy RMA

Energie by se při pádu na jádro vyzařovala spojitě; pozorovali bychom spojité spektrum.



Ve skutečnosti atomy v základním stavu nevyzařují a když už vyzařují, tak čárové spektrum.



Poznámka

- ▶ Rutherford si byl těchto problémů dobře vědom
- ▶ Přesto se nesmazatelně zapsal do dějin jako člověk, který pro nás objevil existenci atomového jádra

Literatura

- ▶ [1] AUTOR NEUVEDEN. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 1.12.2012]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Democritus2.jpg>
- ▶ [2] AUTOR NEUVEDEN. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 1.12.2012]. Dostupný na WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:JJ_Thomson.jpg
- ▶ [3] RAUNER, Karel. *Atomová a jaderná fyzika* [online]. [cit. 1.12.2012]. Dostupný na WWW: www.kof.zcu.cz/di/pks/programy/atomjad/atomjad1.ppt
- ▶ [4] AUTOR NEUVEDEN. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 1.12.2012]. Dostupný na WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Ernest_Rutherford.jpg
- ▶ [5] INK, Night. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 1.12.2012]. Dostupný na WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Rutherfordsches_Atommodell.png
- ▶ [6] BEISER, Arthur. *Úvod do moderní fyziky: Vysokošk. učebnice*. 2. vyd. Praha: Academia, 1977. 628, [1] s.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Bohrův model atomu

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Vybrané partie z fyziky pro IV. ročník středních technických škol
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-1-3
Číslo DUMu	III/2-1-3-7
Anotace	DUM o Bohrově modelu atomu podá vysvětlení dalšího modelu atomu. Tento model je sice rovněž opuštěn, ale v některých oblastech je ve velmi dobré shodě s experimentálními poznatky a jako poslední model v řadě je „představitelný“. Pomocí modelu odhadneme poloměr atomu vodíku a rychlosti elektronů.

Bohrův model atomu (BMA)

- ▶ Bohr se snažil odstranit nedostatky Rutherfordova modelu atomu
- ▶ První kvantový model atomu
- ▶ Stanovuje tři podmínky pro rozmístění a pohyb elektronů v atomu

Niels Bohr (1885 – 1962)



- Dánský vědec, působil v oblasti atomové a jaderné fyziky
- 1922 – Nobelova cena za výzkum atomové struktury

1. Bohrovův postulát

- ▶ Bohrova kvantová podmínka
- ▶ Elektrony neobíhají po libovolných drahách, ale pouze po zcela určitých o přesně daných poloměrech

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi}$$

$n=1,2,3,\dots$... hlavní kvantové číslo; udává „pořadové číslo“ dráhy

Interpretace Bohrovy kvantové podmínky

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi} \wedge \lambda = \frac{h}{m_e v_n}$$

$$\frac{m_e v_n}{h} \cdot r_n = \frac{n}{2\pi} \Rightarrow \frac{1}{\lambda} r_n = \frac{n}{2\pi} \Rightarrow 2\pi r_n = n\lambda$$

Přípustné jsou pouze takové dráhy, které jsou celým násobkem de Broglieovy vlnové délky elektronu.

Druhá Bohrova podmínka

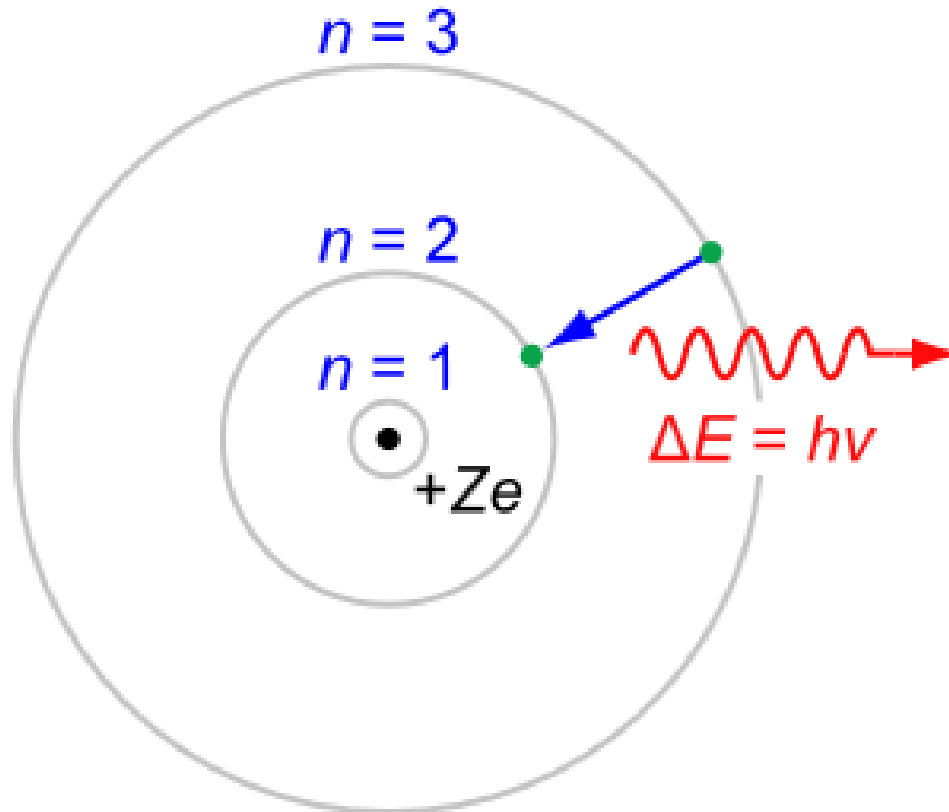
- ▶ Pokud se elektron pohybuje na některé své kvantové dráze, atom nevyzařuje a jeho energie je stálá.

Třetí Bohrova podmínka

- ▶ Při přechodu elektronu z jedné dráhy na druhou (z vyšší na nižší) vyzařuje atom monochromatické záření, jehož energie odpovídá rozdílu energií uvedených drah.
- ▶ Při přechodu z nižší na vyšší dráhu naopak tuto energii atom přijímá.

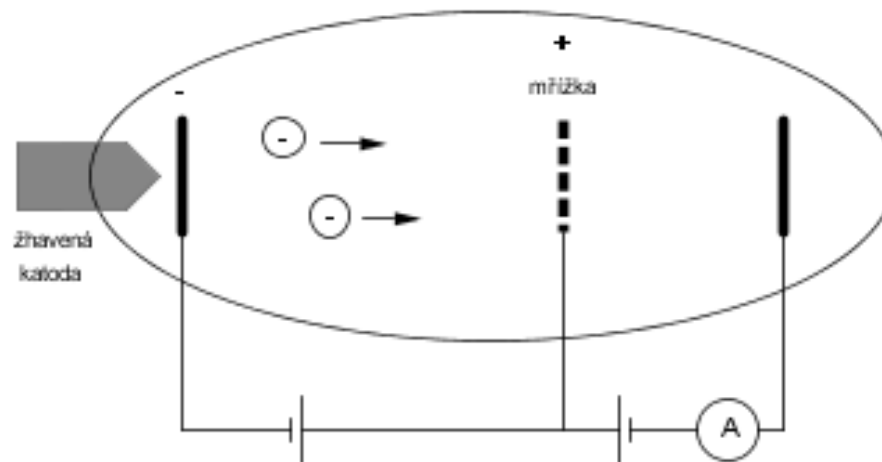
$$f = \frac{|E_n - E_m|}{h}$$

Schéma BMA



Franck–Hertzův experiment (1914)

- ▶ Experimentální důkaz, že atomy nepřijímají energii spojitě, ale diskrétně (po skocích)

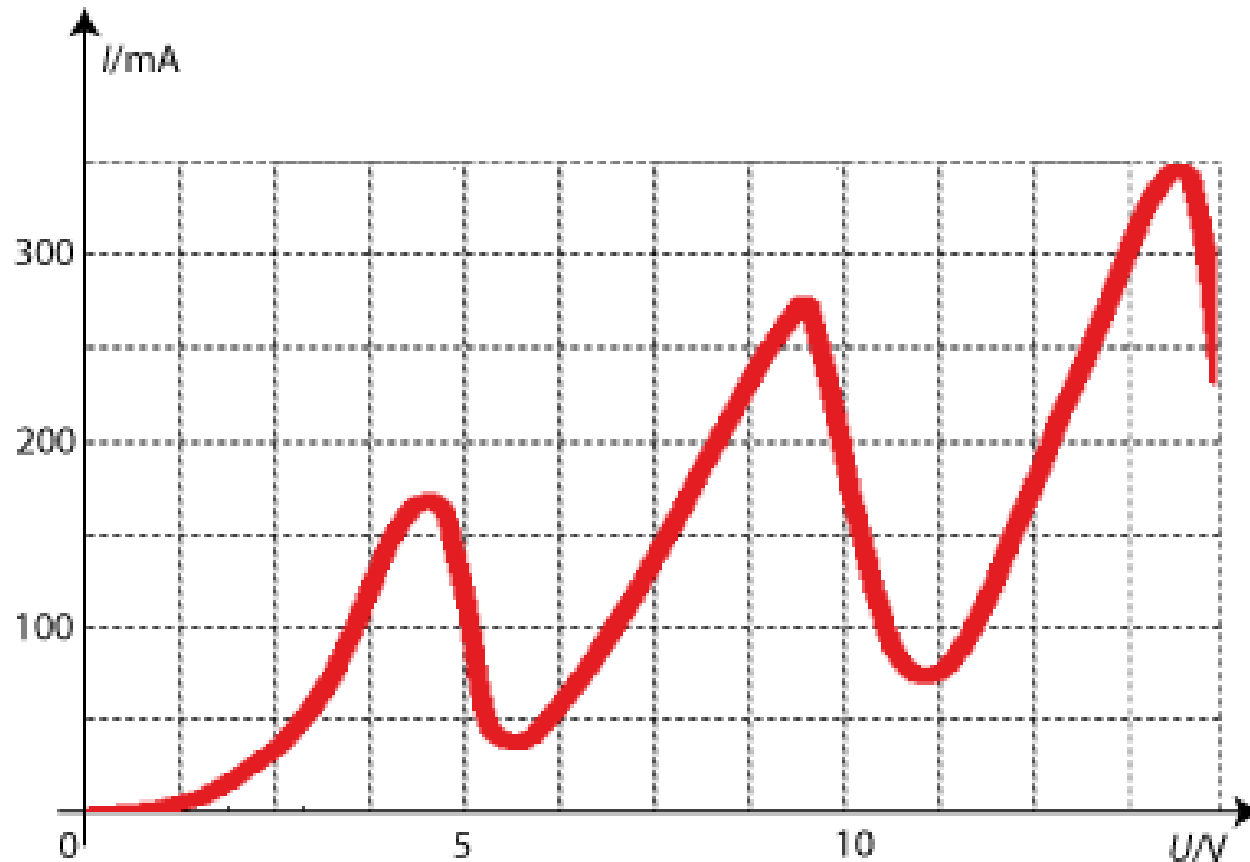


Žhavená katoda emituje elektrony. Ty narážejí do atomů plynu (rtuťových par) v baňce.

Vysvětlení

- ▶ Srážky mezi elektrony a atomy plynů jsou pružné (atomy jsou mnohonásobně těžší, než elektrony), elektrony tedy téměř neztrácejí energii. Při dosažení jisté mezní energie se srážky mění na nepružné, elektrony předávají část energie atomům a ztrácí ji. Díky menší energii již nepřekonají brzdny potenciál, nedostanou se k anodě, což se projeví poklesem měřeného proudu.

Graf Franckova – Hertzova pokusu



Poloměr atomu vodíku, rychlosti elektronů

- ▶ Bohrov model atomu je jednoduchý, ale umožňuje dostatečně přesně určit poloměry jednotlivých drah a rychlosti elektronů na nich
- ▶ Vyjdeme z Coulombova zákona (vodík je soustava dvou nabitých částic – elektronu a protonu) a z první Bohrovovy podmínky
- ▶ Vyřešíme vzniklou soustavu dvou rovnic o dvou neznámých, což umíme

Výpočet

$$F_d = F_e \Rightarrow \frac{m_e v_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2}$$

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi}$$

$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg ... hmotnost elektronu

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js ... Planckova konstanta

$e = 1,60219 \cdot 10^{-19}$ C ... náboj elektronu

$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ F.m⁻¹ ... permitivita vakua

r_n ... poloměr n-té dráhy

v_n ... rychlost elektronu na n-té dráze

Výsledky – rychlost

$$v_n = \frac{1}{n} \frac{e^2}{2\varepsilon_0 h} \Rightarrow$$

$$v_n = \frac{1}{n} v_1$$

$$v_1 = \frac{(1,602 \cdot 10^{-19})^2}{2,8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 6,626 \cdot 10^{-34}} m \cdot s^{-1} \doteq 2,2 \cdot 10^6 m \cdot s^{-1}$$

Každá další rychlost je menší, takže nehrozí kolize s rychlostí světla ve vakuu. Model se zdá být rozumný ☺.

$$v_2 = \frac{1}{2} v_1 = \frac{1}{2} \cdot 2,2 \cdot 10^6 m \cdot s^{-1} = 1,1 \cdot 10^6 m \cdot s^{-1}; v_3 = \frac{1}{3} v_1; \dots$$

Výsledky – poloměr

$$r_n = n^2 \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2} \Rightarrow \boxed{r_n = n^2 r_1}$$

$$r_1 = \frac{8,854 \cdot 10^{-12} \cdot (6,626 \cdot 10^{-34})^2}{\pi \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,60219 \cdot 10^{-19})^2} m \doteq 0,5 \cdot 10^{-10} m$$

$$r_2 = 2^2 r_1 = 4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-10} m = 2 \cdot 10^{-10} m$$

$$r_3 = 3^2 r_1 = 9 \cdot 0,5 \cdot 10^{-10} m = 4,5 \cdot 10^{-10} m; r_4 = 16 \cdot r_1; \dots$$

Literatura

- ▶ [1] RAUNER, Karel. *Atomová a jaderná fyzika* [online]. [cit. 1.12.2012]. Dostupný na WWW:
www.kof.zcu.cz/di/pks/programy/atomjad/atomjad1.ppt
- ▶ [2] EDUTORIUM. *Franck – Hertzův experiment* [online]. [cit. 1.12.2012]. Dostupný na WWW:
http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=41746f6d6f76e12066797a696b61h&key=1064
- ▶ [3] JABBERWOK. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 1.12.2012]. Dostupný na WWW:
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/Bohr-atom-PAR.svg>
- ▶ [4] AUTOR NEUVEDEN. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 1.12.2012]. Dostupný na WWW:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Niels_Bohr.jpg



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Spektrum atomu vodíku

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Vybrané partie z fyziky pro IV. ročník středních technických škol
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-1-3
Číslo DUMu	III/2-1-3-8
Anotace	Jedna ze základních metod poznání vlastností látek jsou jejich spektra. Vysvětlíme si pomocí Bohrova modelu, kde se bere záření z atomů, jaké má vlastnosti. Poukážeme na dobrou shodu Bohrových předpovědí s experimentem. Poznáme spektrální série atomu vodíku.

Energie atomu vodíku

- ▶ Vodík je soustava protonu a elektronu
- ▶ Určíme energii této soustavy
- ▶ Pohybující se elektron (má hmotnost a rychlost) \Rightarrow má kinetickou energii
- ▶ Pohybuje se v silovém poli (elektrickém) \Rightarrow má potenciální energii

$$E = E_k + E_p$$

Potenciální energie

- ▶ Je dána prací, která se vykoná na přenesení náboje (elektronu) z daného místa s potenciálem φ do místa nulového potenciálu
- ▶ Poznámka: srovnej s definicí el. potenciálu v elektrostatice

$$E_p = W = Q\varphi$$

Přičemž: $Q = -e; \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e}{r}$

$$E_p = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

Kinetická energie

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

Z 1. Bohrovy podmínky
a Coulombova zákona: $\frac{m_e v^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$

Porovnáním vztahů:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} = \frac{1}{2} |E_p|$$

Celková energie

$$E = E_p + E_k = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n} + \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n} = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n}$$

Víme: $r_n = n^2 \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2}$

Po dosazení: $E_n = -\frac{e^4 m_e}{8\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}; n = 1, 2, 3, \dots$

$$E_n = -\frac{1}{n^2} E_1$$

Číselná hodnota E_1

$$E_n = -\frac{e^4 m_e}{8\varepsilon_0^2 h^2} = -\frac{(1,60219 \cdot 10^{-19})^4 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{8 \cdot (8,854 \cdot 10^{-12})^2 \cdot (6,626 \cdot 10^{-34})^2} J \doteq 2,1768 \cdot 10^{-18} J$$

Převédeme na jednotky eV:

$$E_1 = \frac{2,1768 \cdot 10^{-18}}{1,602 \cdot 10^{-19}} eV \doteq -13,58 eV$$

Co znamená záporné znaménko?

- ▶ Záporné znaménko u energie má zásadní fyzikální význam – říká nám, že jde o *vazebnou energii*
- ▶ To znamená, že tuto energii nelze od elektronu získat, ale naopak – musíme mu ji dodat, abychom ho odtrhli z atomu
- ▶ Poznámka: výstupní práce

Hodnoty energií na jednotlivých hladinách

$$E_1 = -13,58eV$$

$$E_2 = \frac{E_1}{n^2} = \frac{E_1}{4} = -3,395eV$$

$$E_3 = \frac{E_1}{9} \doteq -1,51eV$$

$$E_4 = \frac{E_1}{16} \doteq -0,84875eV$$

⋮

$$E_\infty = 0eV$$

- V Bohrových podmínkách byla řeč o energiích elektronů na jednotlivých hladinách. Toto jsou ty energie.
- Těmto hodnotám se někdy říká *termy*

Energetický diagram

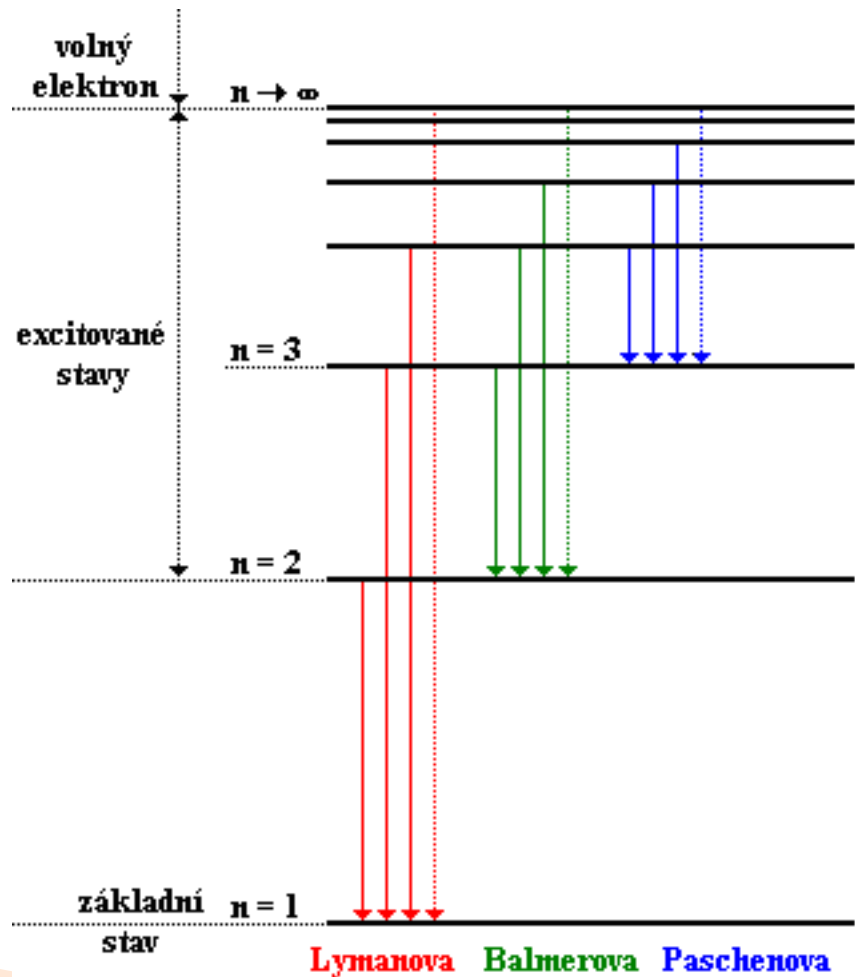
- ▶ Znázorňuje jednotlivé energetické hladiny



Spektrální série

- ▶ Při přechodu elektronu z vyšší hladiny na nižší atom vyzáří přebytek energie.
- ▶ Zvolme si jednu hladinu; při přechodu elektronů z vyšších hladin na tu zvolenou získáme řadu konkrétních rozdílů energií, tedy fotonů o daných vlnových délkách (frekvencích)
- ▶ Tato řada se nazývá *spektrální série*

Znázornění spektrálních sérií



Hrana série:

$$\infty \rightarrow n$$

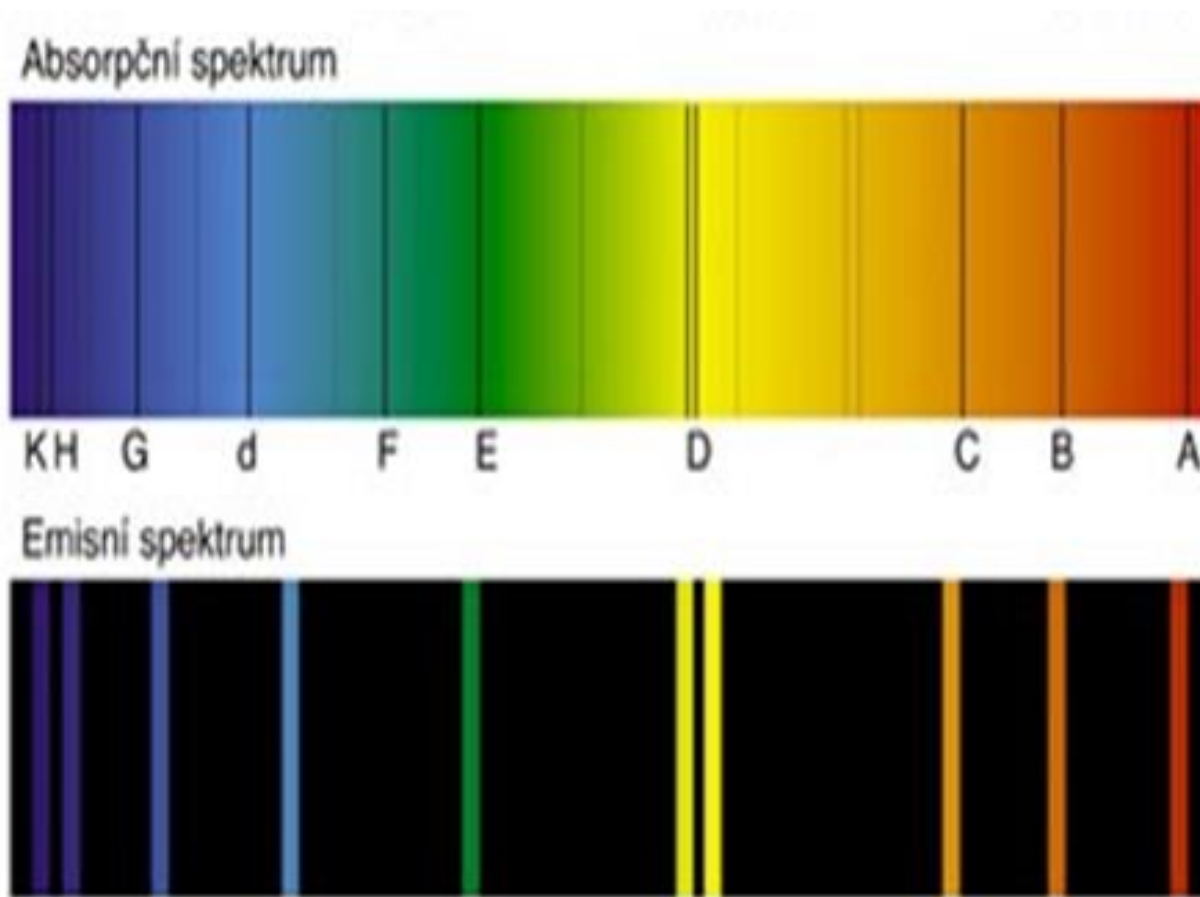
Poznámky k sériím

- ▶ Lymanova série – v UV části spektra
- ▶ Balmerova série – jako jediná má pojmenované čáry (H_{α} , H_{β} , ...); první 4 čáry Balmerovy série spadají do viditelného spektra, ostatní do infračervené (IR) části
- ▶ Všechny ostatní série spadají do IR oblasti
- ▶ Existují i další série (Brackettova, Pfundova, Humphreyova)

Spektra

- ▶ Emisní spektrum – vzniká v látce; je tvořeno jednotlivými spektrálními čarami
- ▶ Absorpční spektrum – vzniká po průchodu bílého světla látkou; některé čáry v něm chybí, protože jsou pohlcovány atomy
- ▶ Jsou k sobě doplňkové
- ▶ Jsou charakteristická pro každou látku ⇒ věda *spektroskopie*

Absorpční a emisní spektrum



Klady BMA

- ▶ Existence stacionárních stavů (tedy stavů, kdy atom nevyzařuje)
- ▶ Diskrétnost přijímané a vyzařované energie
- ▶ Frekvenční podmínka
- ▶ Spektra

Zápory BMA

- ▶ Neschopnost určit pravděpodobnost emise fotonu
- ▶ Funguje pouze na vodík a tzv. atomy vodíkového typu (He^+ , Li^{++} , ... – ionizované atomy s jedním elektronem).
- ▶ Již na obyčejné helium nefunguje
- ▶ Neumí vysvětlit tzv. štěpení spektrálních čar
- ▶ ...

Příklad

- ▶ Určete frekvenci a vlnovou délku spektrální čáry H_{α} .

Čára je pojmenovaná \Rightarrow patří do Balmerovy série \Rightarrow

Přechod $3 \rightarrow 2$

$$f = \frac{|E_3 - E_2|}{h} = \frac{3,395 - 1,51}{6,626 \cdot 10^{-34}} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Hz} \doteq 4,56 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{4,56 \cdot 10^{14}} \text{ m} \doteq 6,582 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 658,2 \text{ nm} \quad \text{Viditelné.}$$

Příklad

- ▶ Určete frekvenci a vlnovou délku hrany Lymanovy série.

Přechod: $\infty \rightarrow 1$

$$f = \frac{|E_{\infty} - E_1|}{h} = \frac{13,58}{6,626 \cdot 10^{-34}} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Hz} \doteq 3,28 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{3,28 \cdot 10^{15}} \text{ m} \doteq 9,137 \cdot 10^{-8} \text{ m} \doteq 91,4 \text{ nm} \quad \text{Ultrafialové.}$$

Literatura

- ▶ [1] TECHMANIA. *Bohrův model* [online]. [cit. 10.12.2012]. Dostupný na WWW:
http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=41746f6d6f76e12066797a696b61h&key=1062
- ▶ [2] REICHL, Jaroslav. *Spektrum atomu vodíku* [online]. [cit. 10.12.2012]. Dostupný na WWW:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/752-spektrum-atomu-vodiku>



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Slupkový model atomu a další modely atomu

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Vybrané partie z fyziky pro IV. ročník středních technických škol
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-1-3
Číslo DUMu	III/2-1-3-9
Anotace	Začneme poznámkou, proč bylo nutné opustit Bohrov model atomu, přestože dává docela rozumné výsledky při srovnání s experimentem. Poznáme Sommerfeldův slupkový model, zavedeme 4 kvantová čísla. Poznáme Pauliho vylučovací princip jako jednu ze základních vlastností fermionů a pomocí něj pochopíme postupné zaplňování atomových slupek elektrony. Střední škola technická AGC, a.s.

Víme

- ▶ Bohrov model atomu neuměl určit pravděpodobnost přechodu elektronů v atomovém obalu
- ▶ Neuměl vysvětlit chování atomů s více, než jedním protonem v jádru
- ▶ ⇒ potřeba dalších modelů atomu

Bohrův těžišťový model

- ▶ Vychází z Bohrova modelu atomu
- ▶ Vylepšení spočívá v tom, že elektron neobíhá okolo protonu, ale že elektron a proton obíhají kolem společného těžiště
- ▶ Přinesl drobná zpřesnění, ale problémy klasického BMA nevyřešil

Sommerfeldův model atomu (slupkový model)

- ▶ Předpokládá, že elektrony se pohybují v atomu po eliptických drahách
- ▶ V jejich společném ohnisku se nachází jádro
- ▶ Pro popis elipsy nestačí jedno číslo (poloměr), ale čísla dvě – hlavní a vedlejší poloosa
- ▶ Nemohou mít libovolné poloměry, ale pouze zcela konkrétní (podobně jako poloměry u BMA)

Hlavní kvantové číslo n

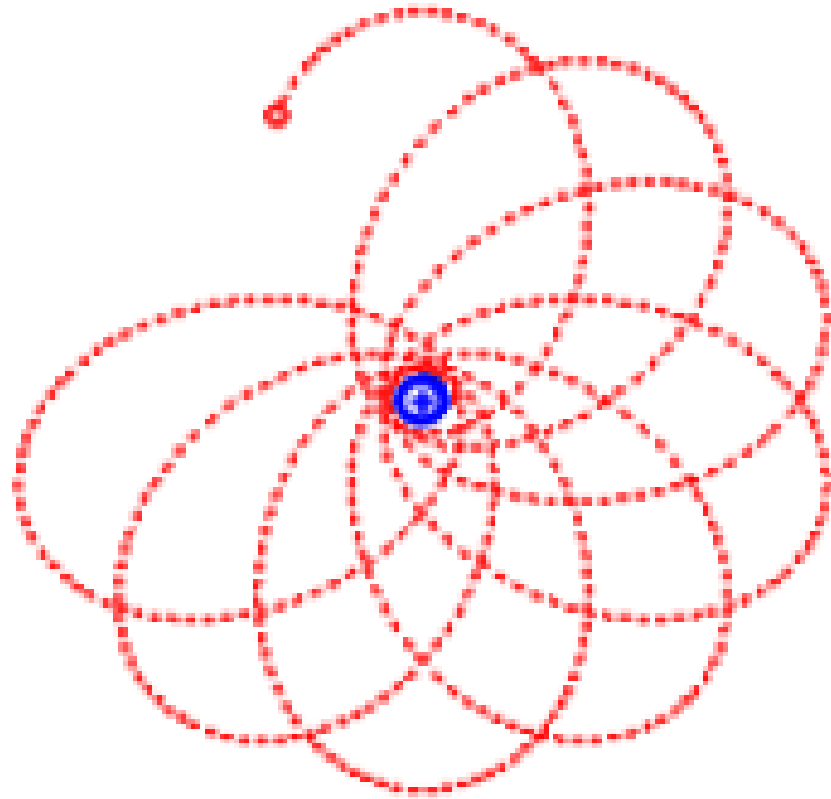
- ▶ Souvisí s velikostí hlavní poloosy
- ▶ Nabývá hodnot: 1,2,3,...

n	1	2	3	4	5	6	7
Označení slupky atomu	K	L	M	N	O	P	Q

Vedlejší kvantové číslo l

- ▶ Souvisí s velikostí vedlejší poloosy
- ▶ Charakterizuje tedy tvar elipsy
- ▶ Rychlost elektronu se na eliptické trajektorii mění (podobně jako rychlost planety), tím se mění relativistická hmotnost a hlavní poloosa se stáčí
- ▶ Díky tomu dochází ke štěpení spektrálních čar (téměř) v souladu s pozorováním

Představa pohybu elektronu dle Sommerfelda



Vedlejší kvantové číslo – pokračování

- ▶ Může nabývat hodnoty: $l=0,1,2,\dots,n-1$

l	0	1	2	3
Označení podslupky atomu	s	p	d	f

Magnetické kvantové číslo m

- ▶ Bylo zjištěno, že ve vnějším magnetické poli se spektrální čáry štěpí \Rightarrow mg. pole působí na trajektorii elektronu
- ▶ Tento vliv je popsán magnetickým kvantovým číslem m
- ▶ $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$

Spin s

- ▶ Elektronové mají vlastní magnetický a mechanický moment
- ▶ Ten je popsán pomocí spinu s
- ▶ $s = \pm \frac{1}{2}$ (nabývá dvou hodnot)

Pauliho vylučovací princip

- ▶ Řeší otázku, kolik elektronů se může vyskytovat v daném kvantovém stavu (který je dán kombinací kvantových čísel n, l, m, s)
- ▶ V určitém stacionárním stavu atomu se mohou vyskytovat pouze dva elektrony lišící se znaménkem spinu.

Pauliho v.p. – jiné znění

- ▶ V daném atomu se nemohou nacházet dva elektrony se stejnými všemi čtyřmi kvantovými čísly.
- ▶ Poznámka: tento princip platí pro všechny fermiony (tedy pro částice s neceločíselným spinem)

Příklad

- ▶ Kolik elektronů s hlavním kvantovým číslem 1 (tedy $n = 1$, slupka K) se může v atomu vyskytovat?

$$n = 1 \quad l = 0 \quad m = 0 \quad s = +\frac{1}{2}$$
$$s = -\frac{1}{2}$$

2 elektrony.

Příklad

- ▶ Kolik elektronů s hlavním kvantovým číslem 2 a 3 (tedy $n = 2$, slupka L, $n = 3$, slupka M) se může v atomu vyskytovat?

$$n = 2 \quad l = 0 \quad m = 0 \quad s = +\frac{1}{2}$$

$$s = -\frac{1}{2}$$

$$l = 1 \quad m = -1 \quad s = +\frac{1}{2}$$

$$s = -\frac{1}{2}$$

$$m = 0 \quad s = +\frac{1}{2}$$

$$s = -\frac{1}{2}$$

$$m = 1 \quad s = +\frac{1}{2}$$

$$s = -\frac{1}{2}$$

8 elektronů.

Řešení – pokračování

$$\begin{array}{llll} n=3 & l=0 & m=0 & s = \pm \frac{1}{2} \\ & l=1 & m=-1 & s = \pm \frac{1}{2} \\ & & m=0 & s = \pm \frac{1}{2} \\ & & m=1 & s = \pm \frac{1}{2} \\ & l=2 & m=-2 & s = \pm \frac{1}{2} \\ & & m=-1 & s = \pm \frac{1}{2} \\ & & m=0 & s = \pm \frac{1}{2} \\ & & m=1 & s = \pm \frac{1}{2} \\ & & m=2 & s = \pm \frac{1}{2} \end{array}$$

18 elektronů.

Shrnutí příkladu

n	Slupka	Počet možných elektronů
1	K	2
2	L	8
3	M	18

Úkol: odhadněte obecný vzorec, kterým ze známého n určíte počet možných elektronů.

$$2n^2$$

Příklad

- ▶ Pomocí uvedeného vzorce dopočítejte počet možných elektronů ve slupkách N, O, P, Q.

n	Slupka	Počet možných elektronů
4	N	32
5	O	50
6	P	72
7	Q	98

Obsazování slupek – výstavbový princip

- ▶ Slupky se obsazují postupně podle své energie
- ▶ Slupky s nejvyšší vazebnou energií se obsazují nejdříve
- ▶ Postup obsazování: 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 5d, 4f, 6p, 7s, 6d, 5f, 7p

Schrödingerův model atomu (vlnově mechanický model)

- ▶ Slupkový model je na pomezí klasických a kvantových představ.
- ▶ Vychází „docela dobře“, ale má své nevýhody
- ▶ Například tu (zcela zásadní), že kvantování je „uhodnuté“, aby model souhlasil s experimentem
- ▶ ⇒ potřeba lepšího modelu

Schrödingerův model

- ▶ Vyšel z vlnových vlastností elektronu
- ▶ Sestavil pohybovou rovnici pro částice
- ▶ Není třeba postulovat podmínky pro elektrony, kvantování vyplývá přímo z jejího řešení

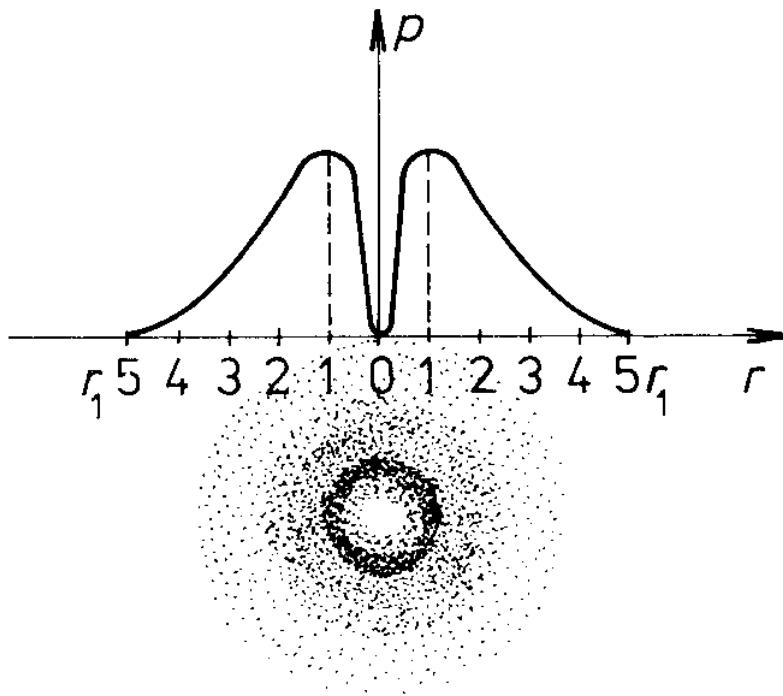
$\Psi(x, y, z, t)$ Vlnová funkce.

$$\Delta\Psi + \frac{2m}{\hbar} (E - U)\Psi = 0$$

Výsledky rovnice

- ▶ Poloha elektronu není určena přesně; je možné určit pouze tvar a prostorové rozdělení pravděpodobnosti výskytu elektronu v daném kvantovém stavu
- ▶ Největší pravděpodobnost odpovídá odhadům Bohrova a Sommerfeldova modelu
- ▶ l i m vyplývá přímo z řešení rovnice

Závislost rozdělení pravděpodobnosti výskytu elektronu na vzdálenosti od jádra

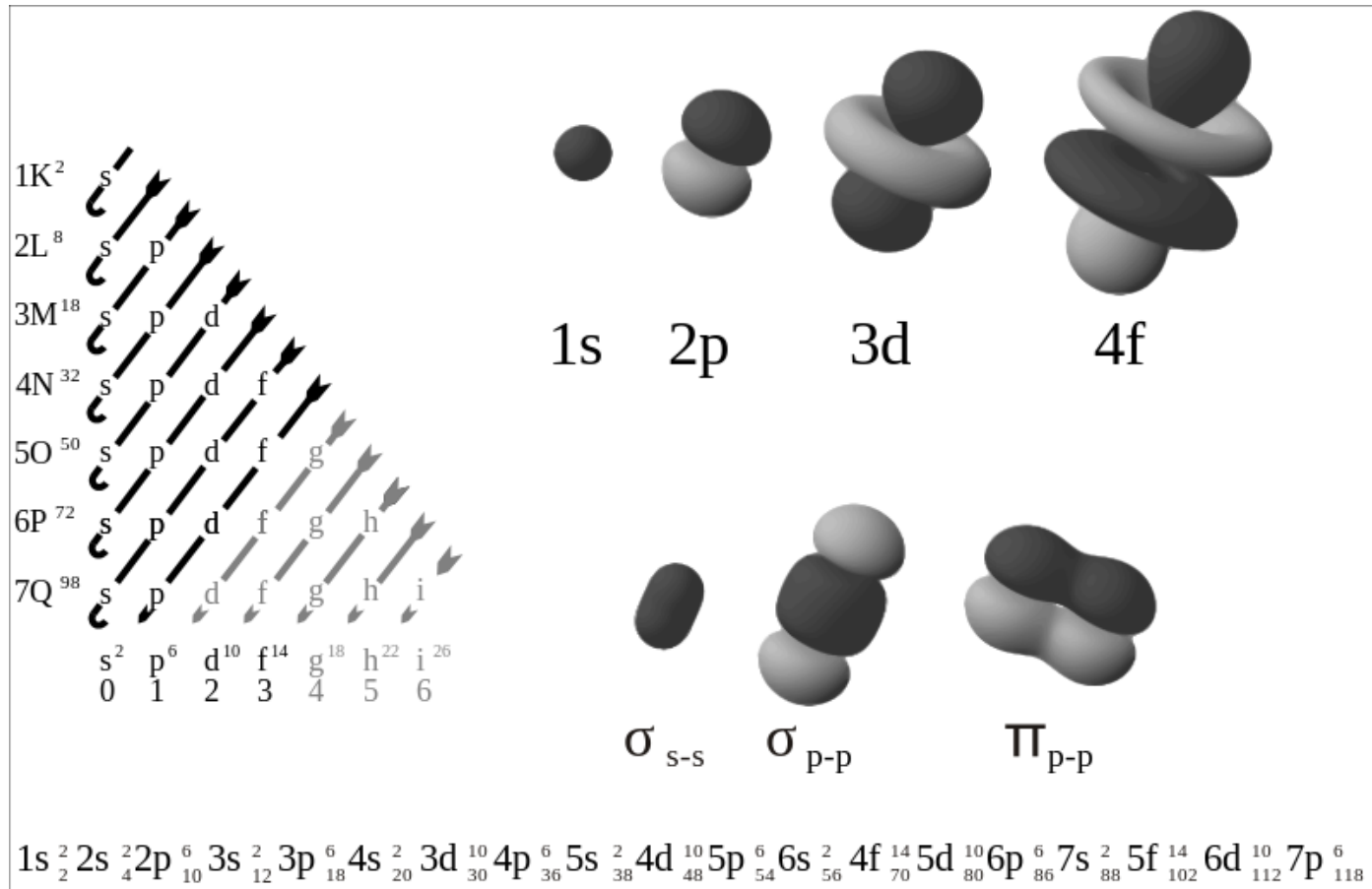


Nejpravděpodobněji
se vyskytuje na 1.
Bohrově dráze.

Atomový orbital (atomový orbit)

- ▶ Funkce popisující prostorové rozložení možného výskytu elektronu daného kvantového stavu v elektronovém obalu
- ▶ Je o něm řeč již v Sommerfeldově modelu
- ▶ Schrödingerův model je vysvětluje

Ukázky některých orbitalů



Nedostatek Schrödingerova modelu

- ▶ Model nezahrnuje spin a relativistické efekty při pohybu elektronu
- ▶ \Rightarrow potřeba dalšího modelu
- ▶ Diracova rovnice – uvedené nedostatky odstraňuje

Literatura

- ▶ [1] ČIPERA, Jan a kol. *Chemie I pro čtyřleté učební obory s maturitou*. Praha: SPN, n.p., 1986, ISBN 14-223-86.
- ▶ [2] TECHMANIA. *Sommerfeldův model atomu* [online]. [cit. 20.1.2013]. Dostupný na WWW:
http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=41746f6d6f76e12066797a696b61h&key=1063
- ▶ [3] FIDI, Patricia. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 20.1.2013]. Dostupný na WWW:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Electron_orbitals.svg
- ▶ [4] AUTOR NEUVEDEN. *Elektronová konfigurace* [online]. [cit. 20.1.2013]. Dostupný na WWW:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronov%C3%A1_konfigurace



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Luminiscence. Lasery

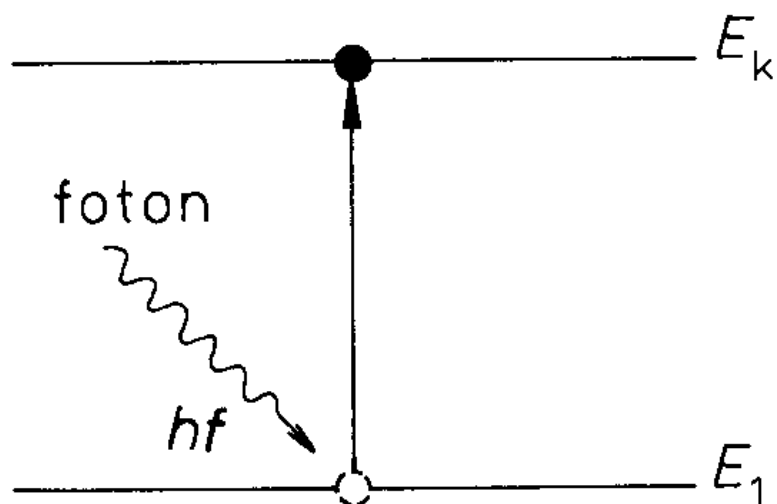
Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Vybrané partie z fyziky pro IV. ročník středních technických škol
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-1-3
Číslo DUMu	III/2-1-3-10
Anotace	Pomocí energetických hladin a přechodů elektronů mezi nimi se dá vysvětlit princip velmi důležitého vynálezu, a to laseru. Vysvětlíme si spontánní a stimulovanou emisi záření. Uvedeme si různé typy laserů a jejich použití, díky studovanému oboru zejména ve výpočetní technice.

Interakce světla s látkou

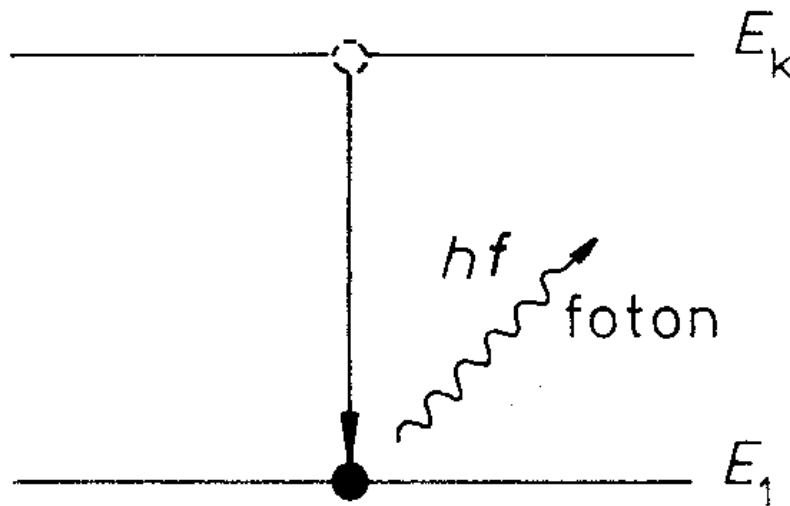
- ▶ Při interakci světla s látkou může dojít ke třem dějům.
 1. Absorpce
 2. Spontánní (=samovolná) emise
 3. Stimulovaná (=vynucená) emise

Absorpce



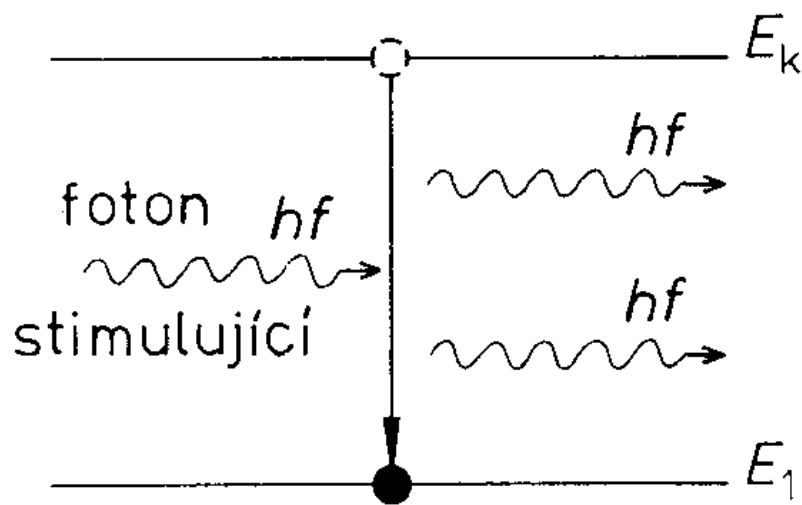
Energie dopadajícího fotonu je látkou pohlcována. Elektron se dostává na vyšší energetickou hladinu.

Spontánní (samovolná) emise



Látka má díky předchozímu vybuzení elektrony na vyšších energetických hladinách. Při samovolném přeskoku na nižší hladinu se vyzáří přebytek energie jako foton. Záření má všechny možné fáze a směry šíření.

Stimulovaná (vynucená) emise



K přeskoku elektronu do nižší energetické hladiny dochází díky fotonům, jejichž energie je stejná, jako rozdíl energií mezi příslušnými hladinami. Emitované záření má stejný směr, jako záření dopadající.

Luminiscence

- ▶ Samovolné vyzařování fotonů pevnými nebo kapalnými látkami.
- ▶ Elektrony náhodně přecházejí z vyšších energetických hladin na nižší a přitom vyzařují přebytečnou energii ve formě fotonu.

Luminofor

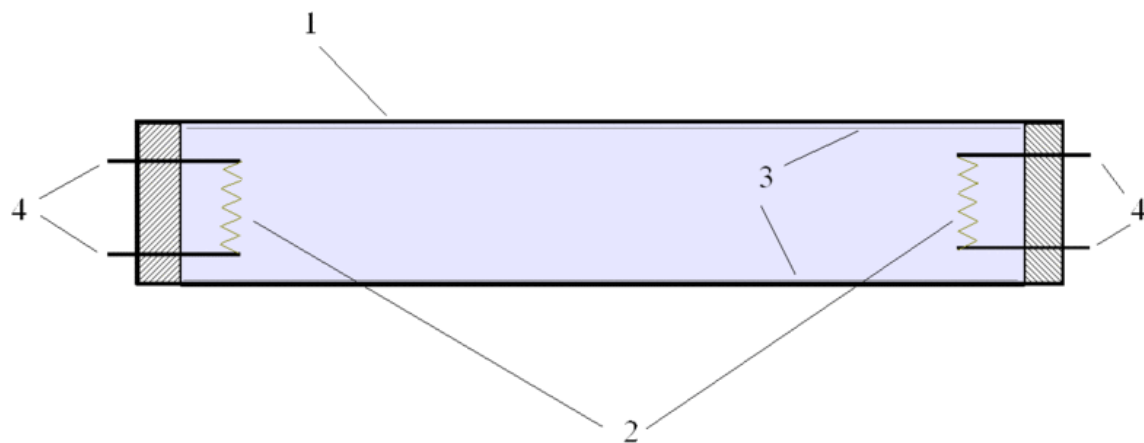
- ▶ Látka, ve které se projevuje luminiscence.
- ▶ Převážně pevné látky patřící mezi izolanty nebo polovodiče.
- ▶ Nejpoužívanější:
 - sulfid zinečnatý ZnS a sulfid kademnatý CdS s příměsemi Ag, Au, Cu, Mn, ...
 - alkalické halogenidy (např. NaCl, KCl, NaI, ...) s příměsemi Ti, Ca, Ag, ...
- ▶ Příměsi vytvářejí luminiscenční centra

Druhy luminiscencí

- ▶ Luminiscence dělíme podle toho, jakým způsobem dodáváme luminoforu energii
- ▶ Fotoluminiscence, katodoluminiscence, elektroluminiscence, triboluminiscence (způsobená tlakem na látku), fonoluminiscence (způsobená ultrazvukem), chemoluminiscence, bioluminiscence, radioluminiscence (působením jaderného záření),...

Fotoluminiscence

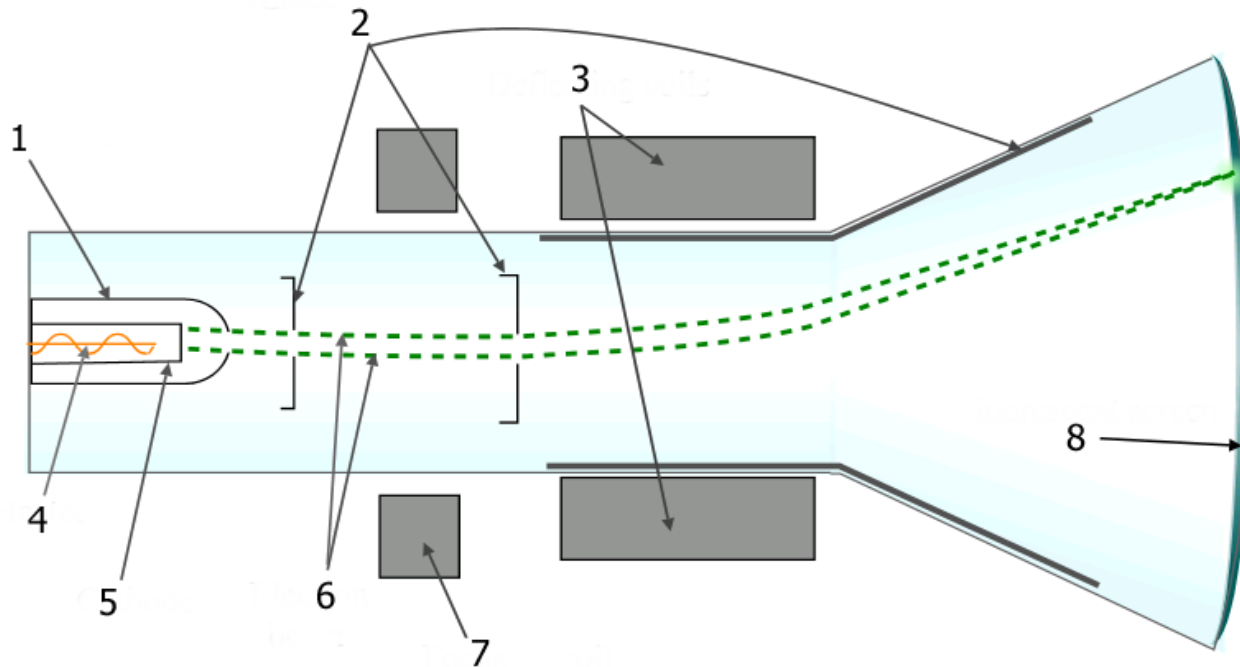
- ▶ Energii dodává dopadající foton viditelného nebo UV záření
- ▶ Použití: luminofor na vnitřní stěně zářivky (absorbuje UV záření a sama září ve viditelné oblasti)



- 1: Skleněná trubice
- 2: Žhavené elektrody
- 3. Povlak luminoforu
- 4. Žhavené kontakty

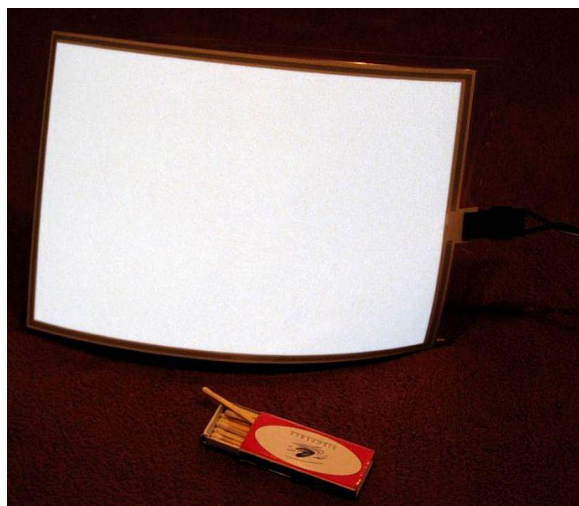
Katodoluminiscence

- ▶ Při bombardování luminoforu elektrony
- ▶ Použití: stínítko televizní obrazovky



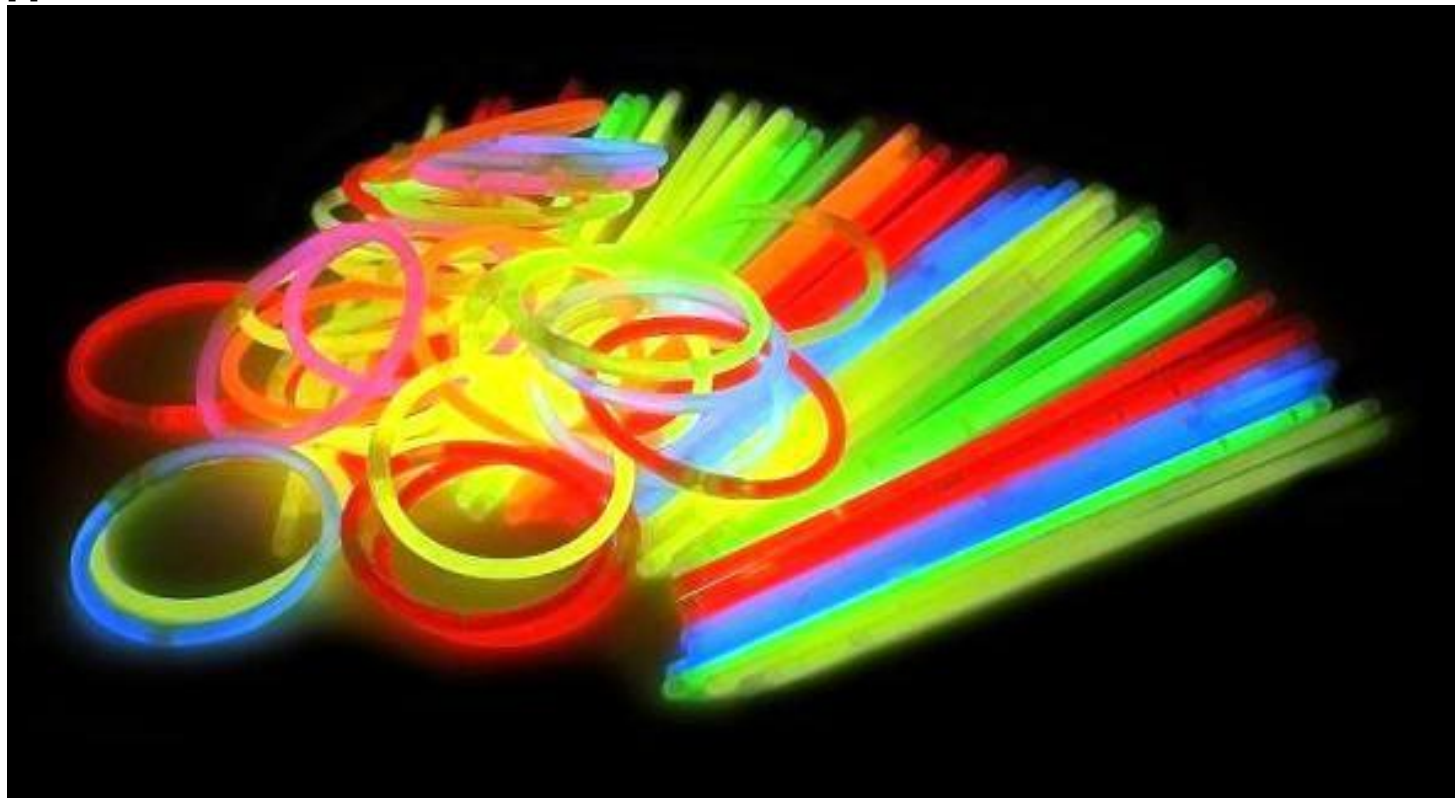
Elektroluminiscence

- ▶ Je vyvolána elektrickým polem
- ▶ Použití: luminiscenční dioda, reklamní panely, nouzové osvětlení, ...



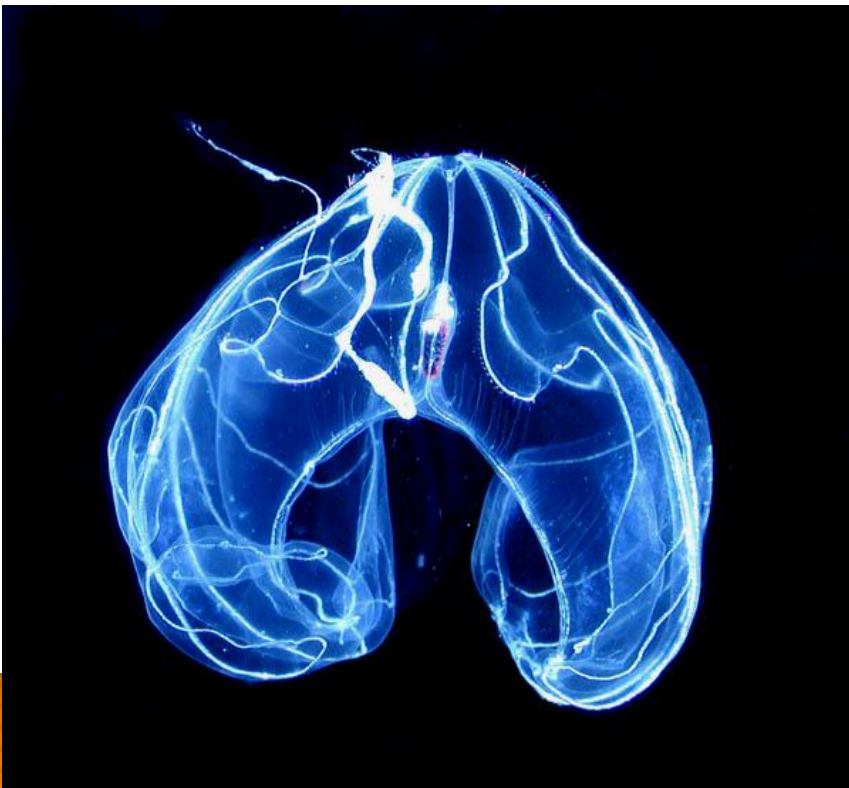
Chemoluminescence

- ▶ Je vyvolána chemickou reakcí
- ▶ Použití:



Bioluminescence

- ▶ Patří do kategorie chemoluminiscencí
- ▶ Je emitováno procesy v živých organismech



Další dělení luminiscence

- ▶ **Fluorescence** – luminiscence vymizí, jakmile přestane působit luminiscenční činidlo
- ▶ **Fosforescence** – luminiscence trvá i po odstranění luminiscenčního činidla

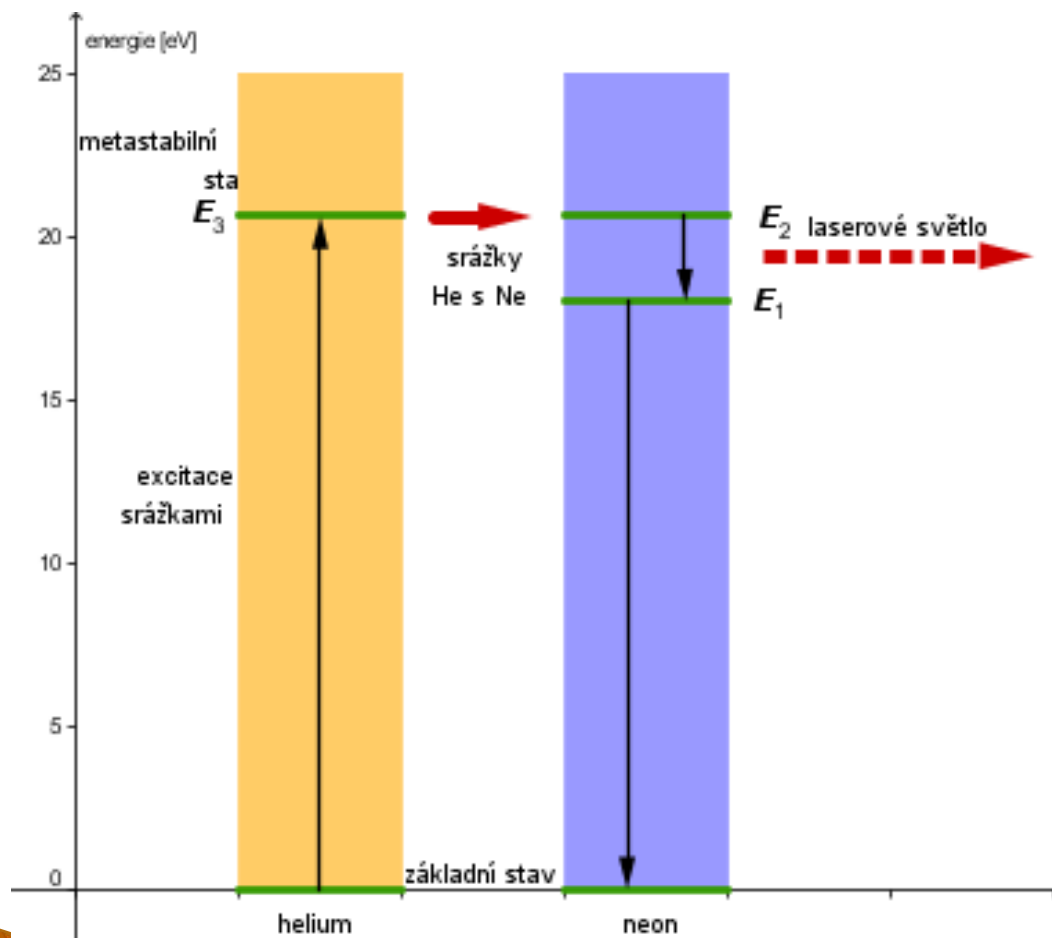
Stokesovo pravidlo pro luminiscenci

- ▶ Luminofor vysílá záření nejvýše o takové frekvenci, jako má záření, které bylo absorbováno.
- ▶ Je vyjádřením zákona zachování energie pro luminiscenci.
- ▶ Pokud vysílá záření o menší frekvenci (a tedy o menší energii), zbývající energie se spotřebuje na nárůst vnitřní energie, na excitaci elektronů atd.

Laser

- ▶ Uvolňuje předem nahromaděnou energii jako energii světelného monofrekvenčního záření
- ▶ Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- ▶ Zesilování světla **stimulovanou emisí** záření
- ▶ Poskytuje prostorově i časově koherentní záření (má stejnou frekvenci, stejný směr kmitání a stejnou fázi)
- ▶ Jinými slovy: poskytuje úzký svazek záření o velké energii

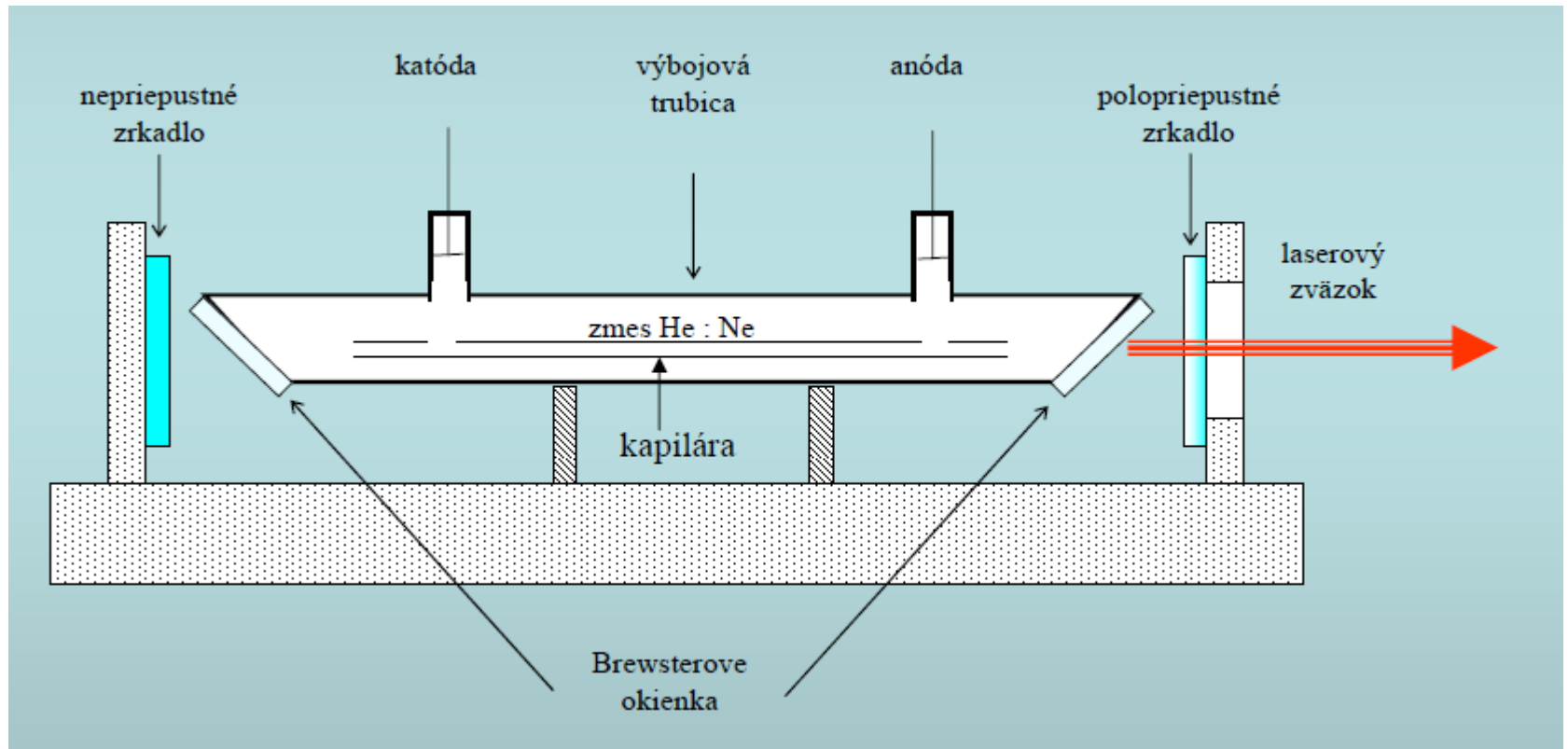
Princip He-Ne laseru



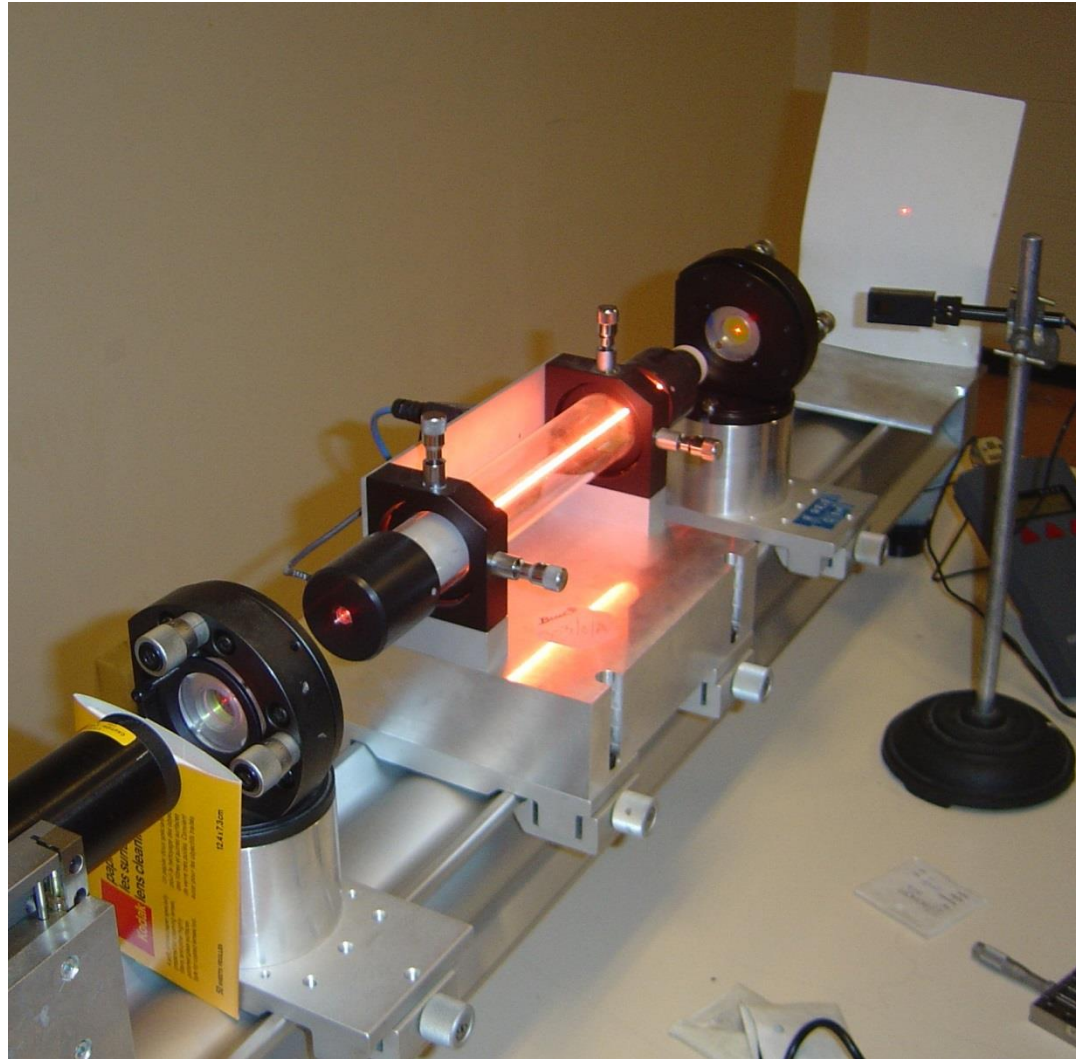
- Srážkami s elektrony excitovaný (E_3) atom He se srazí s atomem Ne (základní stav), předá mu energii a excituje ho do metastabilního stavu E_2
- Hladina E_2 v neonu je více obsazená, než základní hladina E_1
- Dojde k samovolné emisi neonu z E_2 do E_1
- Uvolněný foton způsobí stimulovanou emisi z ostatních atomů neonu

$$E_3(\text{He}) = 20,61\text{eV} \doteq E_2(\text{Ne}) = 20,66\text{eV}$$

Schéma He-Ne laseru



Helium – neonový laser



Vysvětlení schématu He-Ne laseru

- Trubice se uzavře do rezonanční dutiny. Světlo se v tomto prostoru mnohonásobně odráží a tím se dosahuje velkého zesílení.
- Jedno zrcadlo je polopropustné a část záření propouští ven jako laserový paprsek.
- Vlnová délka (a tedy barva) laserového paprsku závisí na poměru plynů. Např. pro poměr He:Ne=6:1 je 632,8 nm (viditelné červené světlo).

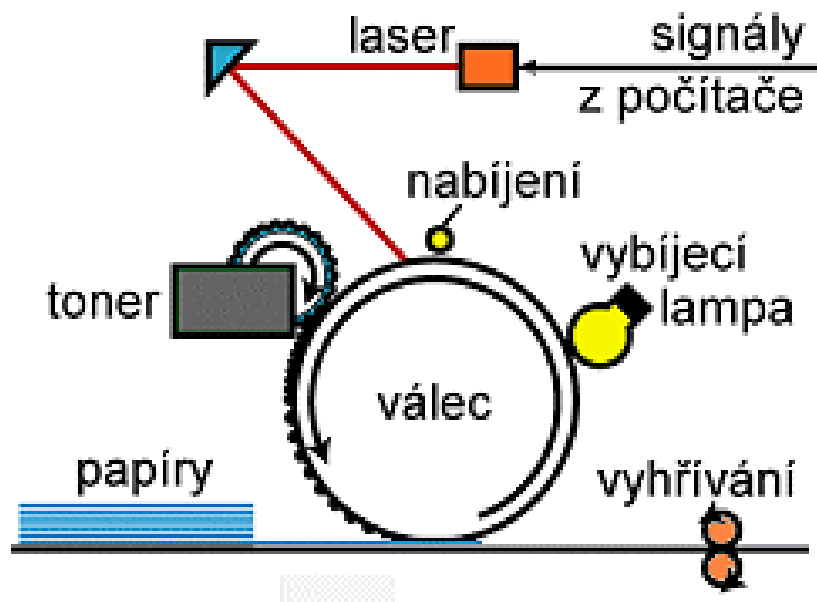
Dělení laserů

- ▶ Pevnolátkové – např. rubínový laser – 1. zkonstruovaný laser, 694,3 nm
- ▶ Barvivové
- ▶ Plynové atomární
- ▶ Plynové iontové
- ▶ Plynové molekulové
- ▶ Polovodičové

Polovodičové lasery

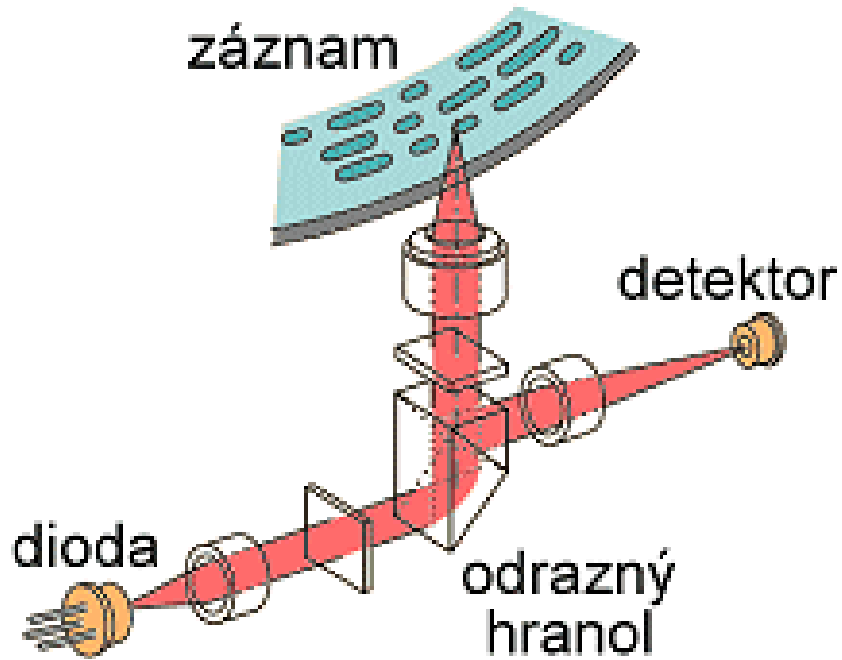
- ▶ **GaAs laser** – (arsenid galitý) – 650 nm (červená barva) a 840 nm (IR) – laserové ukazovátko, laserová tiskárna
- ▶ **GaAlAs** – 670–830 nm (červená barva až IR) – telekomunikace, přehrávače CD, displeje
- ▶ **AlGaInP** – 650 nm (červená barva) – přehrávače DVD
- ▶ **GaN** – 405 nm – modrá barva – Blue-ray disky

Laserová tiskárna (a kopírka)



- Používá laserový paprsek k vytvoření elektrostatického „obrazu“ na světlocitlivém válci. Obraz je pak z rotujícího válce přenesen ve viditelné formě na papír. Informace o znacích vytvořených počítačovým programem jsou přiváděny do modulátoru, kterým je laserový paprsek přerušován. Na světlocitlivý válec se pak elektrostaticky nanáší tzv. toner a z válce je přenášen na papír. Vyhřívacími válci se toner roztaví a trvanlivě pronikne do struktury papíru.
- Laserová kopírka – elektrostatický „obraz“ na světlocitlivém válci vznikne odrazem laserového paprsku od kopírované předlohy.

Kompaktní optické disky (CD, DVD)



- Záznam na kompaktním disku je tvořen obrovským počtem prohlubní (pitů) na lesklé ploše disku. Šířka záznamové stopy je jen několik tisícín mm. Miniaturní polovodičová laserová dioda vyzařuje infračervený paprsek, který se odráží hranolem směrem k disku a po zaostření dopadá na záznamovou stopu. Když paprsek dopadne na lesklou plochu, většina světla se odrazí, přichází do detektoru a vznikne elektrický impulz. Jestliže dopadne na prohlubeň (pit), světlo se při odrazu rozptýlí a detektor žádný impulz nevytvoří. Z detektoru tak vychází přerušovaný digitální signál, který elektronické obvody zpracují na signál zvukový, obrazový apod.

Některá další využití laserů

- ▶ Astronomie, geodézie, geofyzika (měření vzdáleností objektů, ...)
- ▶ Vojenství (laserové značkovače, laserové zaměřování a navádění střel, ...)
- ▶ Lékařství (stomatologie, dermatologie, laserové operace očí, ...)
- ▶ Čtečka čárových kódů
- ▶ Fyzika (výzkum jaderné fúze, ochlazování k absolutní nule, ...)
- ▶ Mikroelektronika (odpařování tenkých vrstev křemíku při výrobě polovodičových součástek,...)
- ▶ A mnoho dalších 😊

Příklad

- ▶ He-Ne laser má výkon 2 mW a vysílá záření o vlnové délce 632,8 nm. Určete energii a hmotnost emitovaných fotonů. Kolik fotonů vyzáří za 1 s?

$$P = 2\text{mW}, \lambda = 632,8\text{nm}, t = 1\text{s}; E = ?, m = ?, N = ?$$

$$E = h \frac{c}{\lambda} = 6,625 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{632,8 \cdot 10^{-9}} \text{ J} \doteq 3,14 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = mc^2 \Rightarrow m = \frac{E}{c^2} = \frac{h \frac{c}{\lambda}}{c^2} = \frac{h}{\lambda c} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34}}{632,8 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^8} \text{ kg} \doteq 3,49 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$$

$$N = \frac{P \cdot t}{E} = \frac{0,002 \cdot 1}{3,14 \cdot 10^{-19}} \doteq 6,37 \cdot 10^{15} \text{ fotonů}$$

Příklad

- ▶ Laserový paprsek je usměrněný na plochu 1 mm^2 . Při impulsu trvajícím 5 ms se uvolní energie 5 J . Jaká je plošná hustota zářivého toku? (Plošná hustota zářivého toku = intenzita vyzařování = energie záření dopadajícího na plochu 1 m^2 za 1 s).

$$S = 1\text{ mm}^2, E = 5\text{ J}, t = 5\text{ ms}; M_e = ?$$

$$M_e = \frac{W}{S} = \frac{J}{S} = \frac{5}{1 \cdot 10^{-6}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 5 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Poznámka: Plošná hustota dopadajícího záření od Slunce je přibližně $1370 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Literatura

- ▶ [1] AUTOR NEUVEDEN. *hrackarna.cz* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: <http://www.hrackarna.cz/svitici-tycka-1ks-55cm-120239.html>
- ▶ [2] NÁRODNÍ ÚŘAD PRO OCEÁN A ATMOSFÉRU. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Bathocyroe_fosteri.jpg?uselang=cs
- ▶ [3] AUTOR NEUVEDEN. *techmania.cz* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=41746f6d6f76e12066797a696b61h&key=1069
- ▶ [4] AUTOR NEUVEDEN. *Luminiscence* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Luminiscence>
- ▶ [5] AKROTI. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electrolumfur.jpg?uselang=cs>
- ▶ [6] HAYWOOD, Lee J.. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EL_unlit-lit_animation.gif?uselang=cs
- ▶ [7] KNOTT, Theresa; Y, Yuval. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cathode_ray_tube_-_neutral.png?uselang=cs
- ▶ [8] KOŠINA, Vladimír. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Fluorescent_tube1.GIF
- ▶ [9] AUTOR NEUVEDEN. *techmania.cz* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: <http://www.techmania.cz/edutorium/clanky.php?key=1093>
- ▶ [10] AUTOR NEUVEDEN. *Princip činnosti, rozdělení a charakterizácia laserov* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: http://www.kme.elf.stuba.sk/kme/buxus/docs/predmety/OEaLT/Prednasky/8_prednaska_AOEaL
- ▶ [11] AUTOR NEUVEDEN. *Laser* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>
- ▶ [12] AUTOR NEUVEDEN. *Aplikace laserů* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k34.htm>
- ▶ [13] BEDNAŘÍK, Milan et al. *Fyzika IV pro studijní obory středních odborných učilišť*. 2. vyd. Praha: SPN, 1989. 212 s. Učebnice pro střední školy.
- ▶ [14] MONNIAUX, David. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 4.2.2013]. Dostupný na WWW: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4b/Laser_DSC09088.JPG