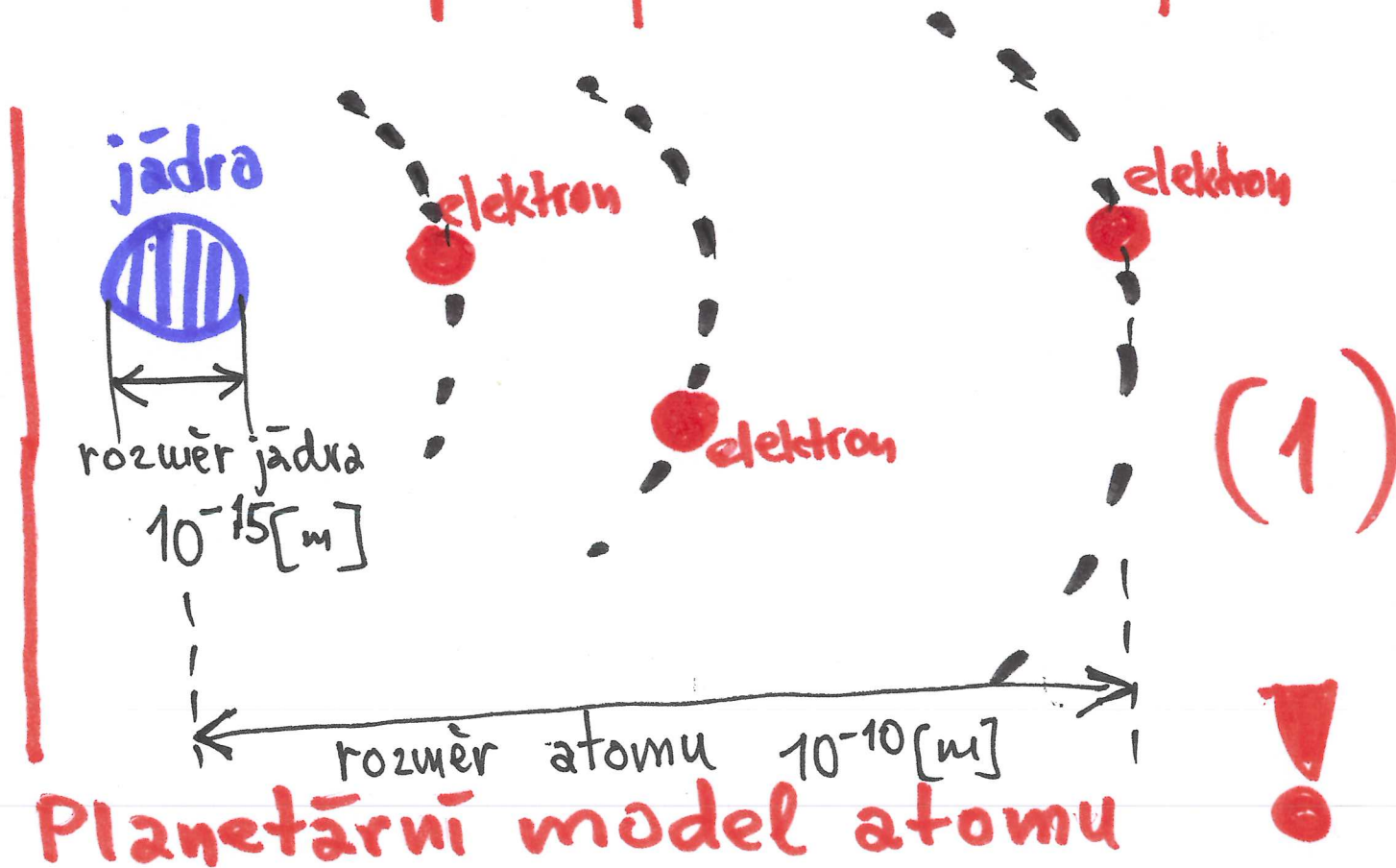


3. týden

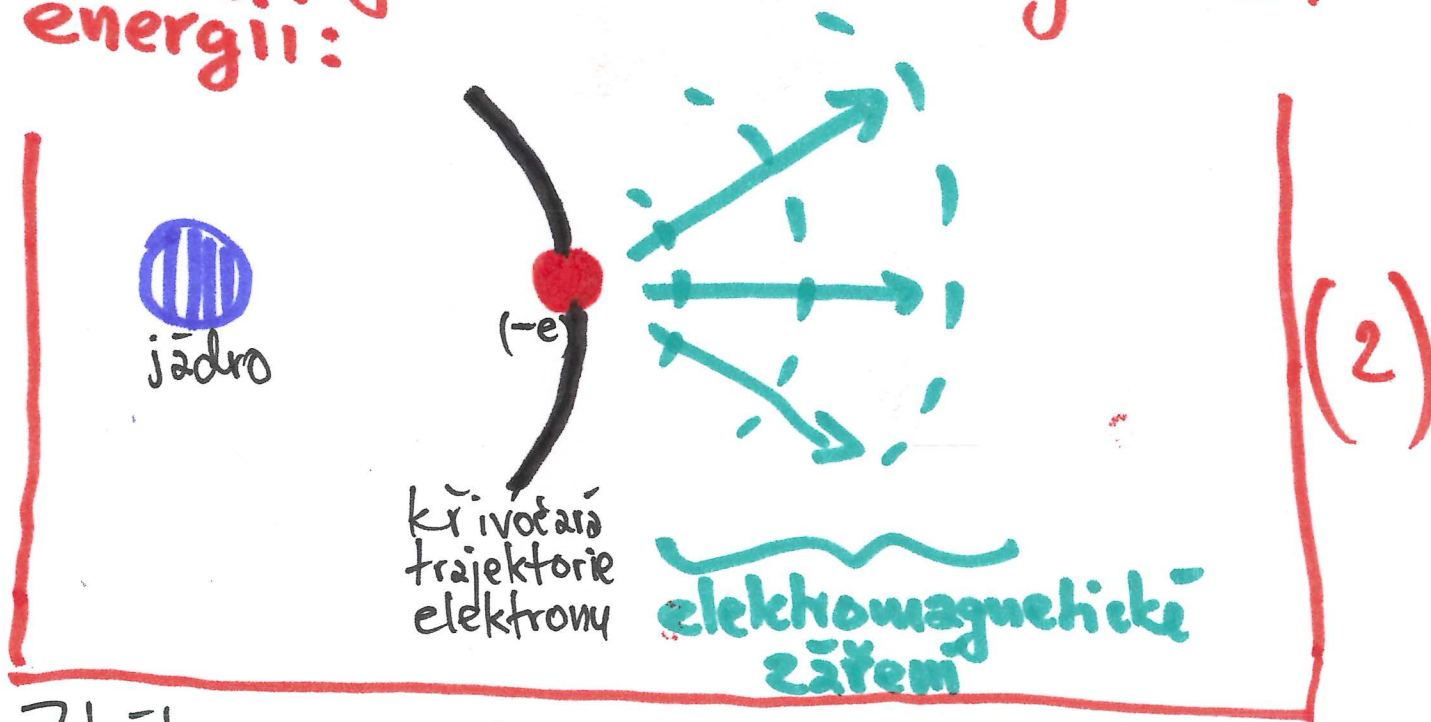
VLASTNOSTI ATOMŮ

Experimenty na konci 19. stol. ukázaly atom jako **miniaturní analog Sluneční soustavy**:
Slunce \approx jádro atomu
planety \approx elektrony



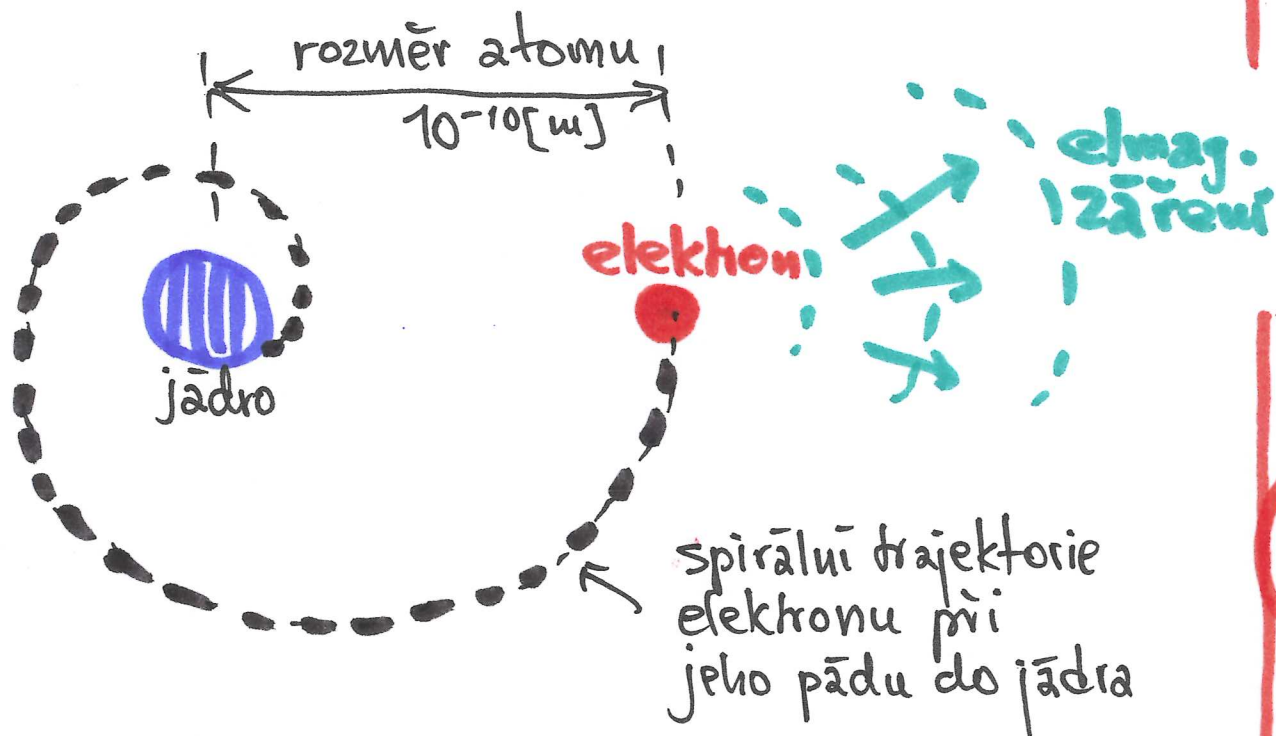
Planetární model atomu

Problém je, že elektrony mají náboj
a pohybují se po křivočaré trajektorii.
Podle zákonů elektromagnetismu tedy
**musejí vyzařovat elektromagnetickou
energii:**



Ztráta energie elektronu však způsobí, že se
elektron neudrží ve stabilní vzdálenosti od jádra
a po spirální trajektorii do něj spadne (nestabilita
planetárního modelu) :

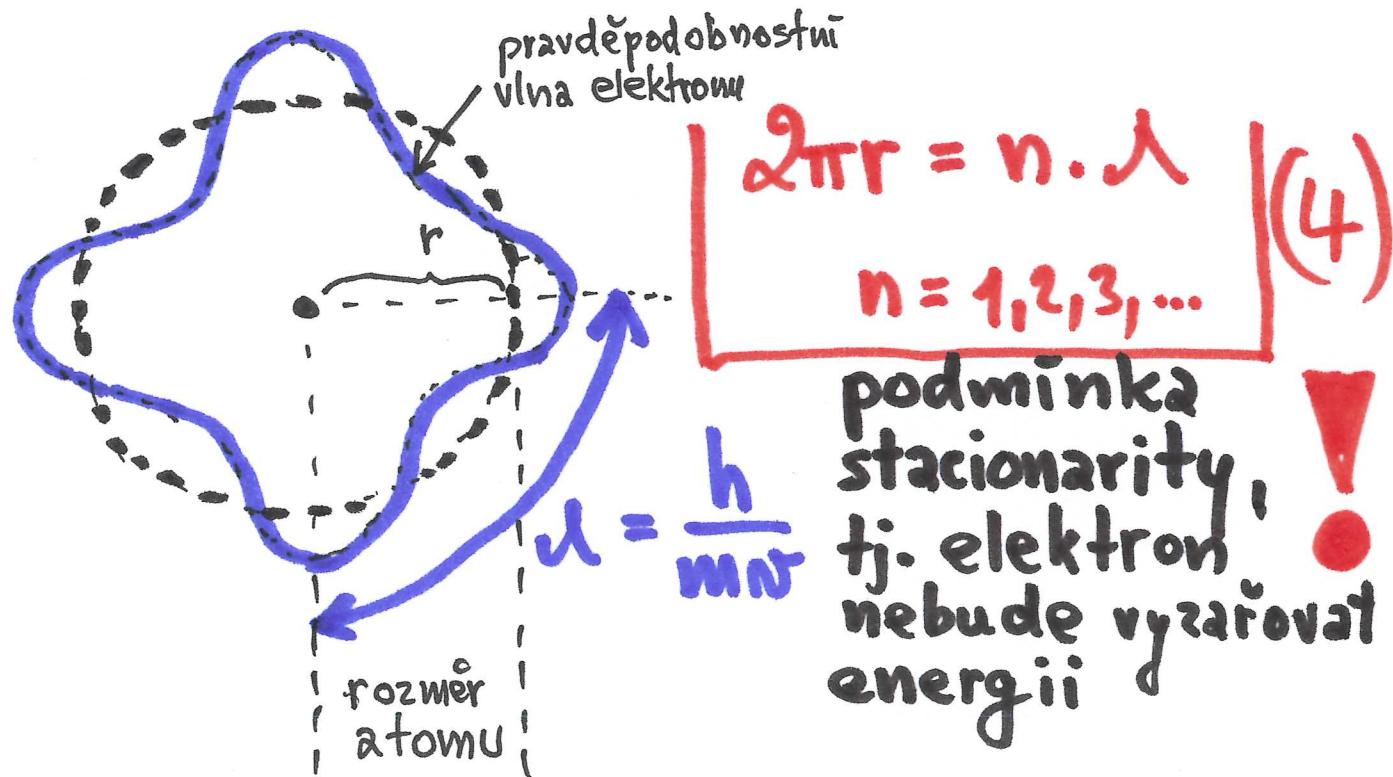
NESTABILITA PLANETÁRNÍHO MODELU



Na základě zákonů elektromagnetismu se dá spočítat, že doba pádu elektronu do jádra je řádově $T \approx 10^{-10} [s]$

Pád elektronu do jádra znamená **zánik atomu**, takže fyzika měla další **katastrofu**, neboť zánik atomů se **experimentálně nepozoroval**.

Řešení tohoto problému poskytla aplikace
pravděpodobnostních vln elektronů
na jejich stacionární stavy
v omezeném prostoru atomu :



Dosažením $u = \frac{h}{mv}$ do podmínky (4) postupně dostaneme:

$$2\pi r = n \cdot \frac{h}{mv}$$



$$mvr = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$



L

moment
hybnosti
elektronu

↑ označme \hbar (redukovaná Planckova konst.)
 $n=1,2,3,\dots$



$$L = n \cdot \hbar$$

$n=1,2,3,\dots$

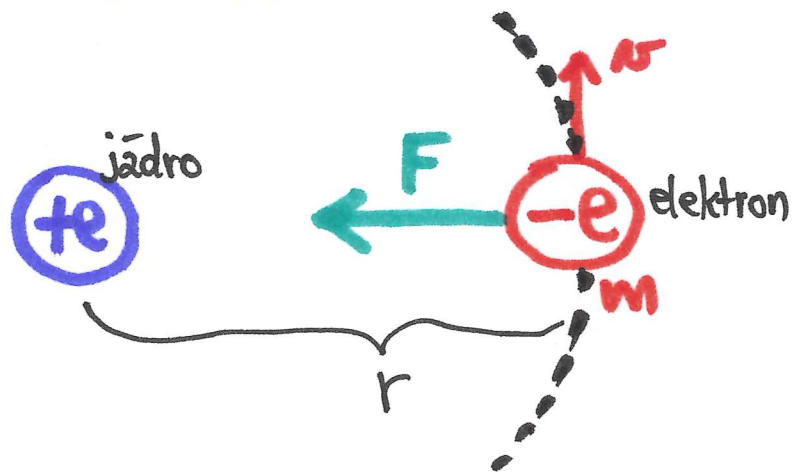
! (5)

Kvantování momentu hybnosti
elektronu v atomu :

\hbar ... elementární kvantum momentu hyb.

Nyní se přesvědčíme o tom, že kromě momentu hybnosti elektronu v atomu je kvantována i jeho energie :

Uvažujme nejjednodušší atom v přírodě - **atom vodíku** :



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{e^2}{r^2} = \frac{m\omega^2}{r}$$

přitažlivá síla
mezi náboji
jádra a elektronu
(Coulombův zákon)

dostředivá
síla umožňující
pohyb elektronu
v okolí jádra

(6)

Rovnici (6) vyřešíme současně s podmínkou kvantování momentu hybnosti (5):

$$r = \frac{4\pi\hbar^2\epsilon}{e^2m} \cdot n^2$$

$$v = \frac{e^2}{4\pi\hbar\epsilon} \cdot \frac{1}{n}$$

Pomocí těchto vztahů spočteme celkovou energii elektronu v atomu:

$$E = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = \frac{1}{2}mv^2 + \left(\frac{-e^2}{4\pi\epsilon r}\right) = -\frac{\frac{e^4m}{32\pi^2\epsilon^2\hbar^2}}{13.6[\text{eV}]} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$E = (-13.6[\text{eV}]) \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

! (4)

Kvantování energie elektronu v atomu vodíku.

Ze získaných poznatků lze vyvodit následující **závěr** :

Vyskytuje-li se elektron v atomu vodíku v takových vzdálenostech r od jádra, že jeho pravděpodobnostní vlna splňuje podmínku stacionarity (4), tj. $2\pi r = n \cdot \frac{h}{mv}$,

pak moment hybnosti a energie elektronu jsou kvantovány podle vztahů (5) a (7), tj.

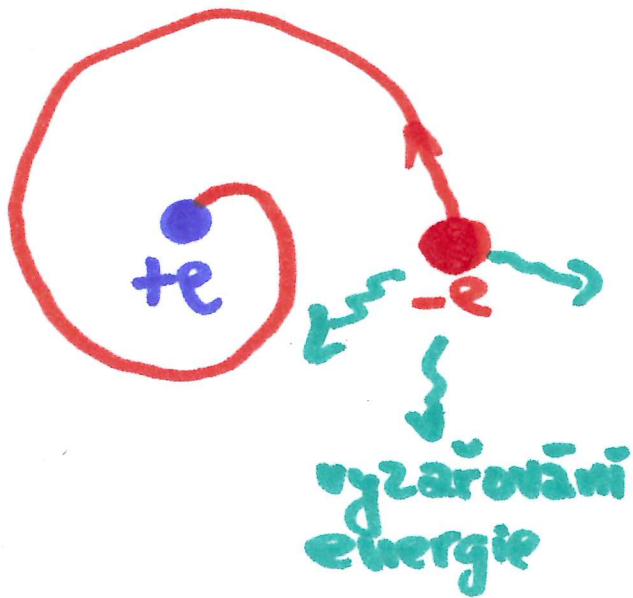
$$L = n \cdot h \quad ; \quad E = (-13.6 \text{ [eV]}) \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

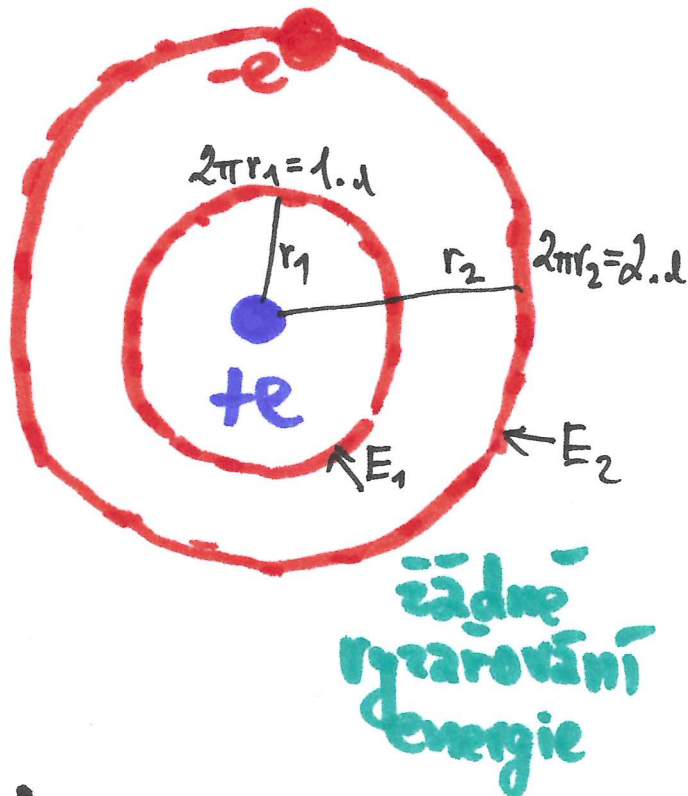
a elektron přitom nevyzařuje energii, což znamená, že nepadá na jádro, a celý atom tak zůstává stabilní.

Bohrův model atomu.

Pro srovnání:



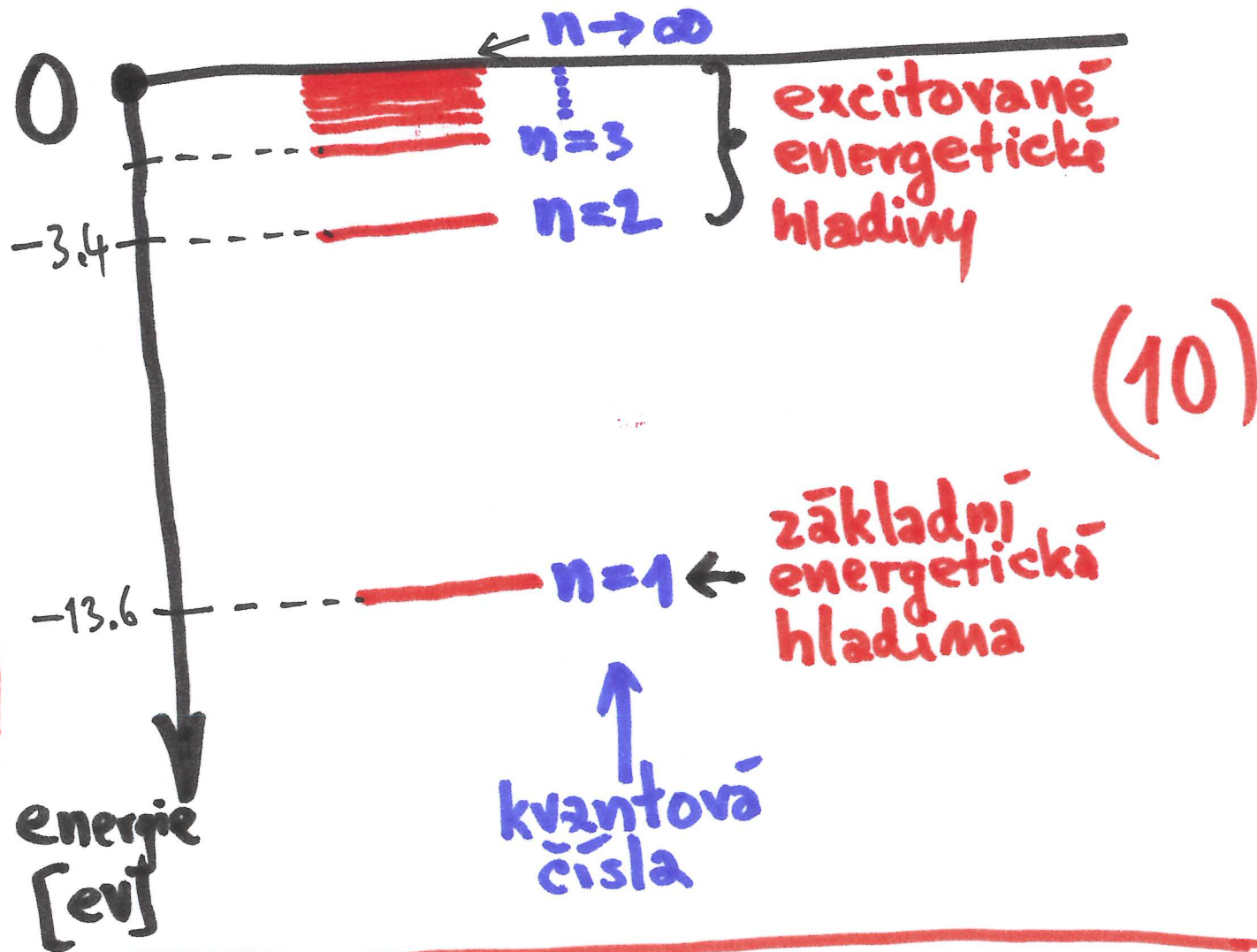
nestabilní
planetární
model atomu
(zánik za 10^{-10} [s])



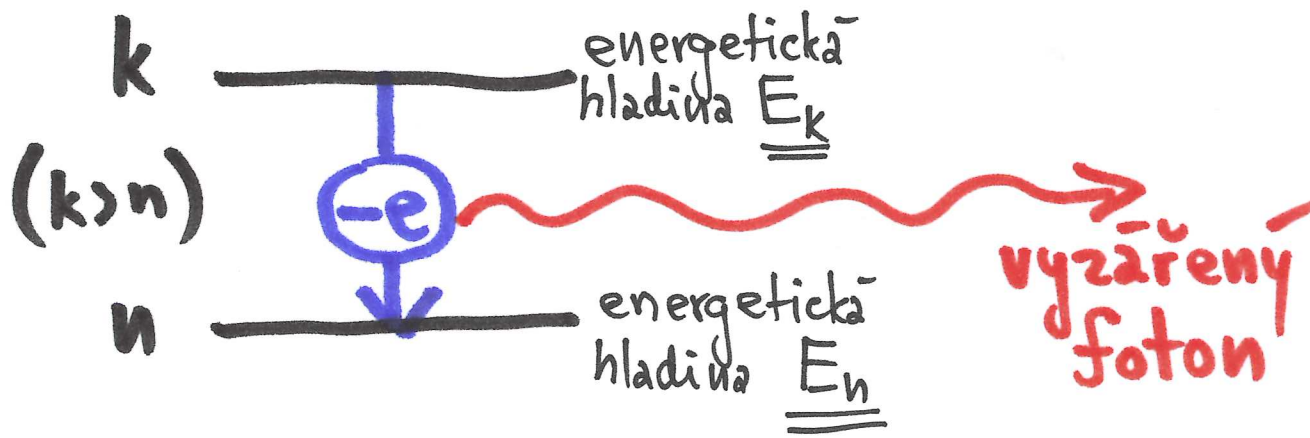
stabilní
Bohrův
model atomu
(v souladu s experimentem)

9

Kvantované hodnoty energie $E = (-13.6 \text{ [eV]}) \frac{1}{n^2}$
často vyjadřujeme graficky pomocí tzv.
energetických hladin :



Protože elektron nacházející se na některé z energetických hladin **nevyzařuje energii**, může k vyzaření energie dojít jen **při přechodu elektronu z jedné energetické hladiny na jinou s nižší energií:**



$$E_{\text{fot}} = E_k - E_n$$

$$\underbrace{\frac{hc}{\lambda_{k \rightarrow n}}}_{\text{fot}} = \underbrace{(-13.6) \cdot \frac{1}{k^2}}_{E_k} - \underbrace{(-13.6) \cdot \frac{1}{n^2}}_{E_n}$$

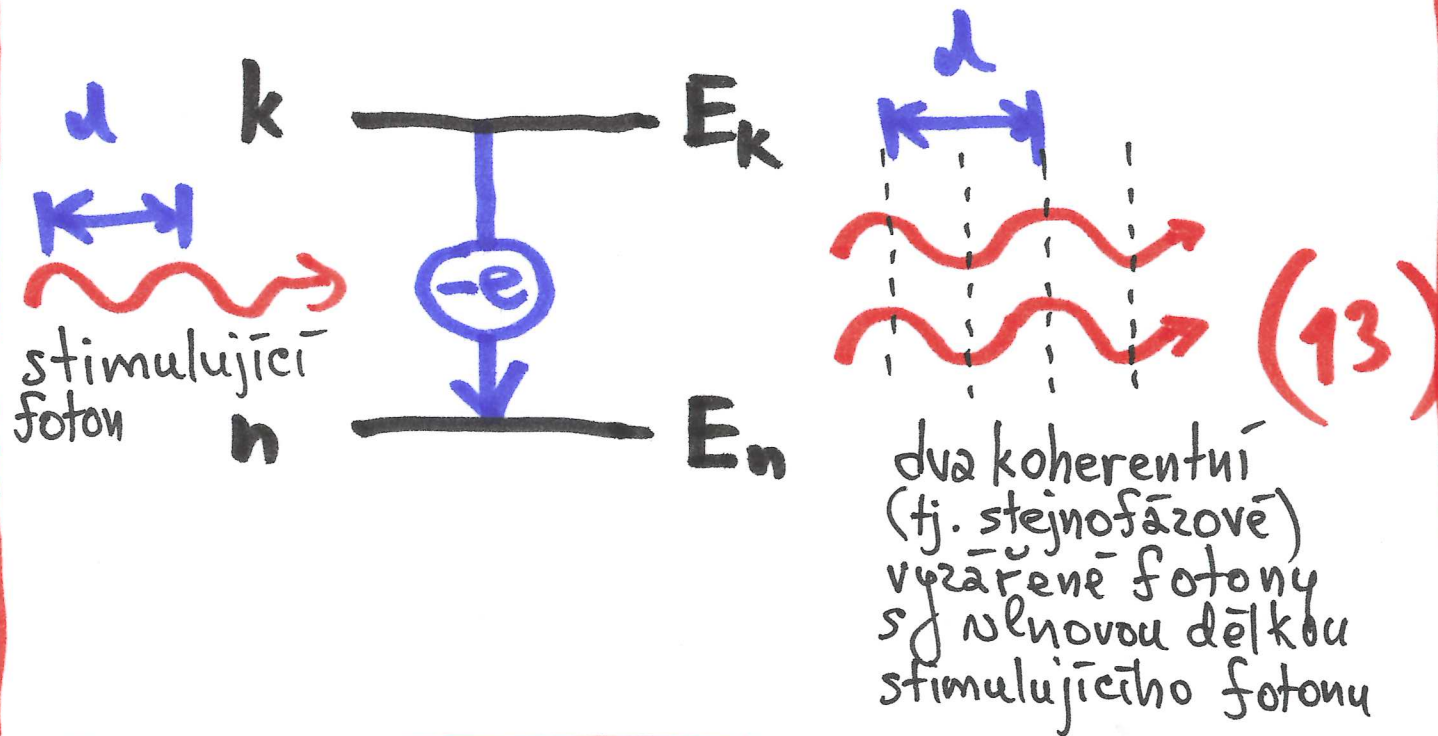
(11)

Z rovnice (11) dostaneme:

$$\lambda_{k \rightarrow n} = \frac{\frac{hc}{13.6}}{\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right)} \quad (12)$$

vlnová délka fotonu vyzařeného při přechodu elektronu z k-té na n-tou energetickou hladinu.

Popsanému mechanismu vyzaření fotonu se říká **spontánní emise záření atomu**. Existuje však i jiný typ, kterému se říká **stimulovaná emise záření atomu**:

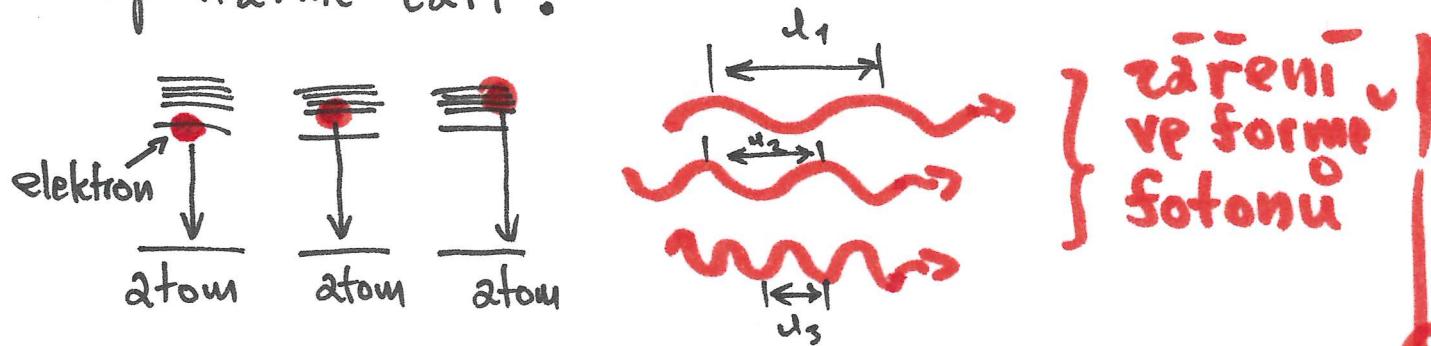


Stimulovaná emise záření atomu
 = podstata zesilování záření metodou
 zvanou LASER :

Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission
 of **R**adiation
 (Zesílení světla stimulovanou emisí záření) •

Rozeberme princip LASERu detailněji:

- Uvažujme nejprve soubor atomů, které spontánně září:

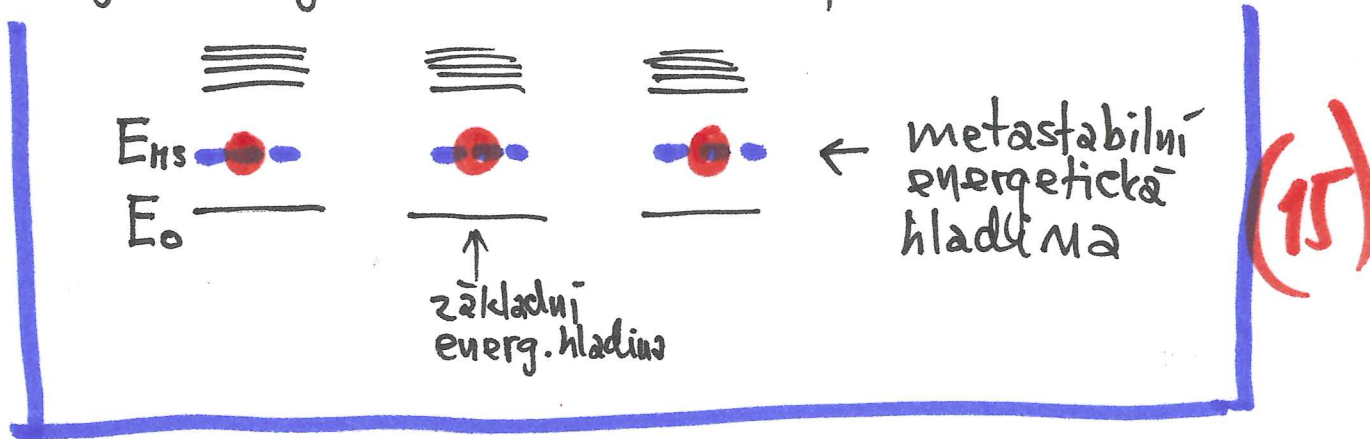


záření je: polychromatické
(mnoho různých vlnových délek)
nekoherentní
(mnoho různých fází)

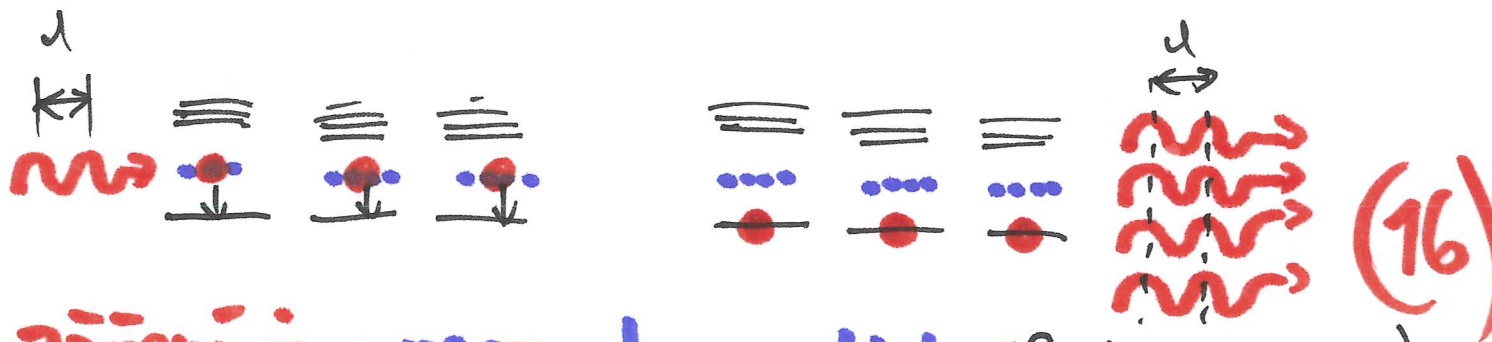
- V některých atomech se kromě standardních energetických hladin vyskytují tzv.

metastabilní energetické hladiny, které dokážou na sobě soustředit velký počet elektronů po velmi dlouhou dobu:

Mějme nyní soubor takových atomů :



Když na tento soubor atomů necháme dopadnout stimulující foton s vlnovou délkou λ , takovou, že $\frac{hc}{\lambda} = E_{ms} - E_0$, dojde ke **stimulované emisi záření** :



Záření je : **monochromatické** (jediná vln.délka)
koherentní (všechny fotony ve fázi)
zesílené (vzniká mnoho fotonů)

Kromě zesílení světla dochází také k jeho výrazně prostorové lokalizaci:



Příklady použití LASERu:

- řezání tvrdých materiálů
- chirurgické operace, koagulace oční sítnice
- přesná měření kosmických vzdáleností
- disky zvukového a obrazového přenosu.