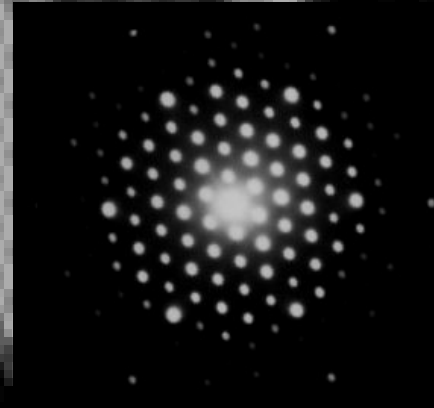
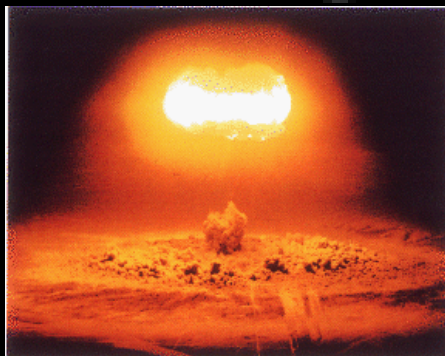
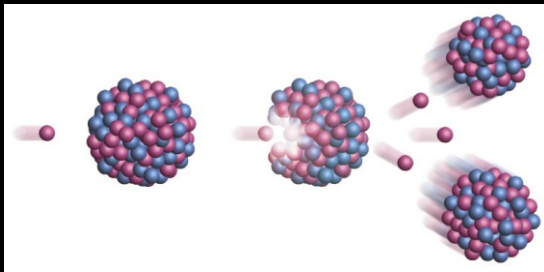


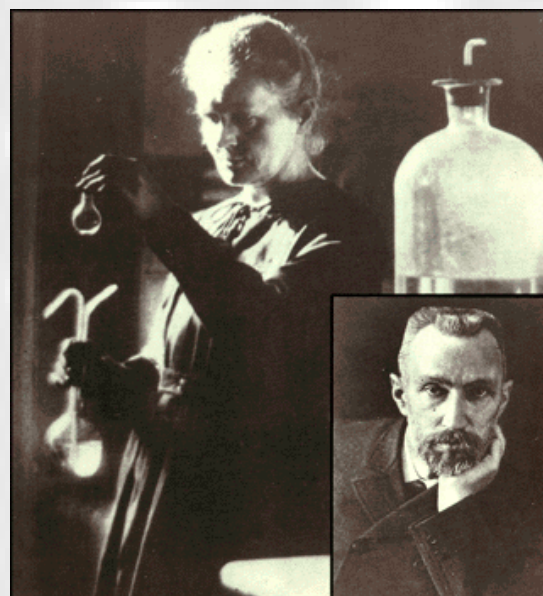
# Přednášky z lékařské biofyziky

Biofyzikální ústav Lékařské fakulty  
Masarykovy univerzity, Brno



# Přednášky z lékařské biofyziky

Biofyzikální ústav Lékařské fakulty  
Masarykovy univerzity, Brno



## Struktura hmoty

# Hmota a energie



- Vše je tvořeno základními částicemi hmoty (látkou) a energetickými poli/silami, což též znamená, že základní strukturní prvky organického a anorganického světa jsou **totožné**.
- Živá hmota se liší od hmoty neživé především svým **mnohem vyšším stupněm uspořádanosti**.
- Pozn.: Tato přednáška nenahrazuje systematický výklad problémů kvantové fyziky!! 😊

# Elementární částice hmoty



- Elementární (tj. nemající vnitřní strukturu) částice hmoty jsou **leptony** a **kvarky**. Jsou označovány i jako základní částice.
- **Leptony** – elektrony, miony, neutrina a jejich antičástice – lehké částice bez vnitřní struktury
- **Kvarky** (u, c, t, d, s, b) – těžší částice bez vnitřní struktury
- **Hadrony** – těžké částice tvořené kvarky, např. **proton** (u, u, d), **neutron** (d, d, u)

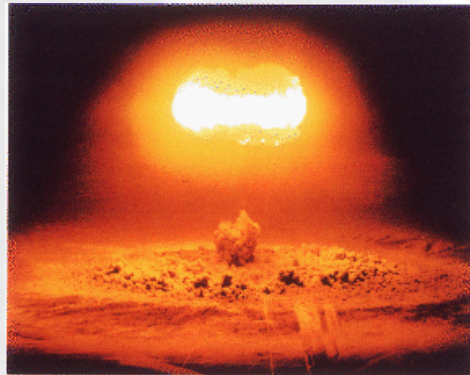
# Čtyři základní interakce / energie / silová pole



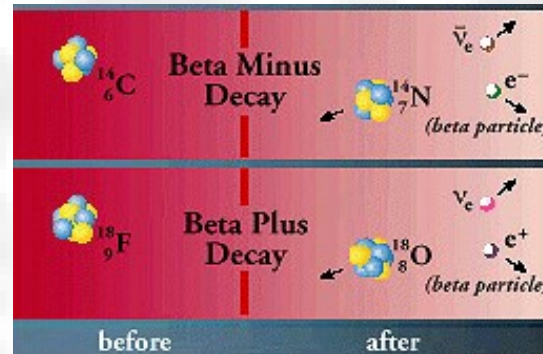
gravitační



elektromagnetická



silná



slabá

Uvádí se, že při interakční vzdálenosti objektů řádově  $10^{-24}$  m je přibližný poměr silového působení silné, slabé, elektromagnetické a gravitační interakce dán poměrem  $1 : 10^{-5} : 10^{-2} : 10^{-39}$ , při vzdálenosti řádově  $10^{-18}$  m (1/1000 rozměru jádra atomu) je to  $10^{-7} : \sim 0 : 10^{-9} : 10^{-46}$ . Při vzdálenosti odpovídající rozměrům jádra se blíží k nule i velikost silné interakce

# Fotony



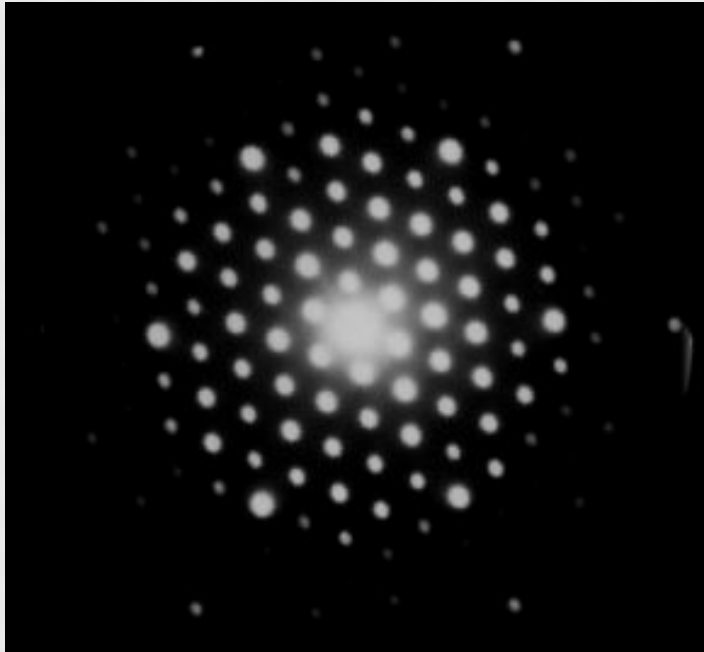
- Fotony – energetická kvanta elektromagnetického pole, nulová klidová hmotnost, chovají se někdy jako částice
- Energie (jednoho) fotonu:  $E = hf = hc/\lambda$ 
  - $h$  je Planckova konstanta ( $6,62 \cdot 10^{-34}$  J·s),
  - $f$  je frekvence,
  - $c$  rychlost světla ve vakuu
  - $\lambda$  vlnová délka

# Částice a energetická kvanta pole



Částice látky a energetická kvanta (fotony) mají schopnost **vzájemné transformace** (např. elektron a pozitron se při tzv. anihilaci transformují ve dva fotony záření gama – tohoto jevu se využívá v zobrazení pomocí PET!).

# Kvantová mechanika



**Chování souborů určitého druhu částic lze popsat rovnicemi, které se podobají rovnicím pro popis vlnění.**

Vidíme obrazec vytvořený na fotografické desce souborem elektronů, který prošel krystalovou mřížkou. Obrazec je velmi podobný difrakčním interferenčním obrazcům tvořeným vlnami, např. světlem, po průchodu optickou mřížkou => důkaz vlnových vlastností částic!



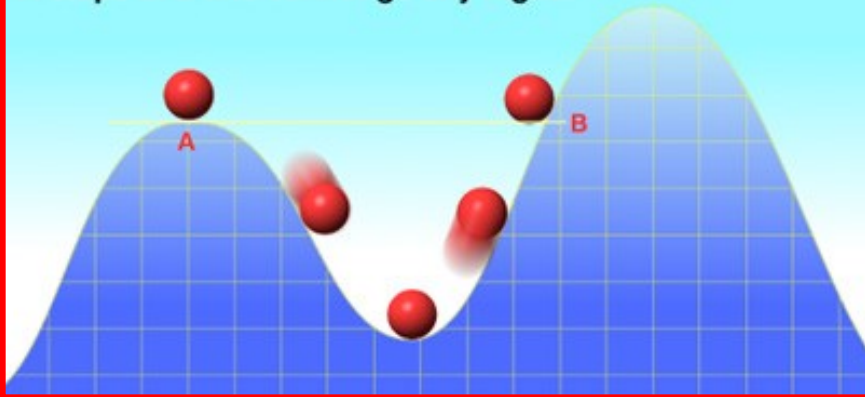
# Kvantová mechanika



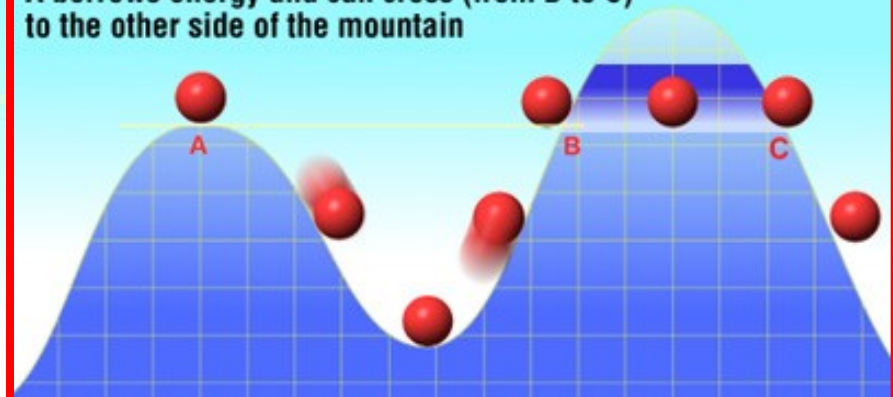
tunelový jev:

**In classical dynamics,  
A stops at B and cannot go any higher**

**In classical dynamics,  
A stops at B and cannot go any higher**



**In quantum mechanics,  
A borrows energy and can cross (from B to C)  
to the other side of the mountain**



# Kvantová mechanika: Heisenbergovy relace (vztahy) neurčitosti

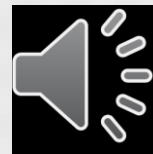


$$\delta r \delta p \geq h/2\pi$$

$$\delta E \delta t \geq h/2\pi$$

Poloha  $r$  a hybnost  $p$  částice **nemohou být současně** změřeny s na sobě nezáviselými přesnostmi (jestliže neurčitost polohy částice –  $\delta r$  – je zmenšena, neurčitost hybnosti částice –  $\delta p$  – automaticky roste).  $h$  je Planckova konstanta. To stejné platí pro současnou změnu energie  $\delta E$  a času  $\delta t$  nutného pro tuto změnu. (*jde o zjednodušený zápis relací*)

# Schrödingerova rovnice (k obdivování)



druhá derivace podle x

Schrd. vlnová funkce

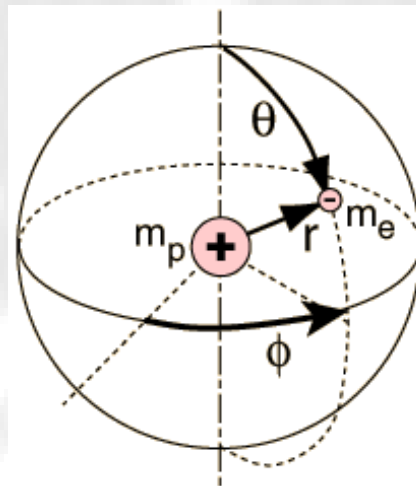
$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) \psi = 0$$

poloha

energie

potenciální energie

„jednorozměrná“ S. rovnice



Kulové (radiální)  
souřadnice  
elektronu v  
atomu vodíku

$$\frac{-\hbar^2}{2\mu} \frac{1}{r^2 \sin \theta} \left[ \sin \theta \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial \Psi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \phi^2} \right]$$

$$-U(r) \Psi(r, \theta, \phi) = E \Psi(r, \theta, \phi)$$

$\Psi$  - vlnová  
funkce

S. rovnice pro **elektron** ve **vodíkovém**  
atomu

# Řešení Schrödingerovy rovnice



- Řešení Schrödingerovy rovnice pro elektron ve vodíkovém atomu vede k hodnotám energie orbitálního elektronu.
- Řešení Schrödingerovy rovnice často vede k číselným koeficientům, které určují možné hodnoty energie. Tyto numerické koeficienty se nazývají **kvantová čísla**.

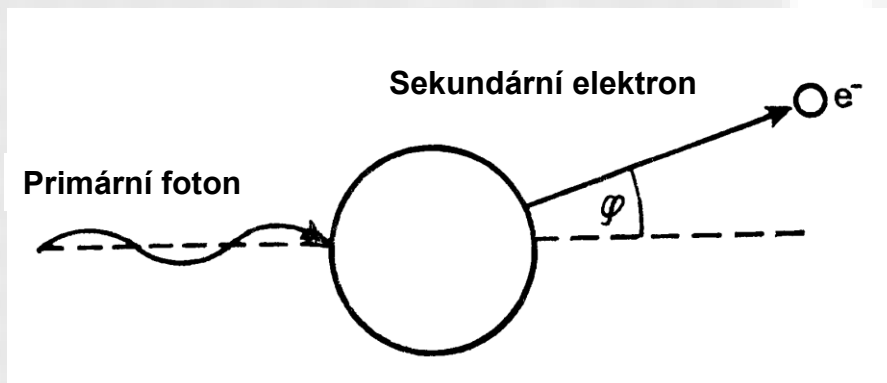
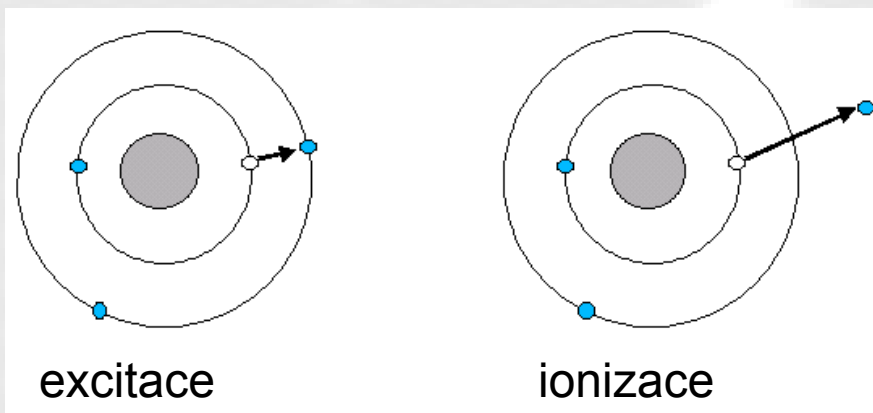
# Kvantová čísla



- **Hlavní**  $n = 1, 2, 3 \dots$  (K, L, M, .....
- **Vedlejší** – pro každé  $n$   $l = 0, 1, 2, \dots, n - 1$  (s, p, d, f ...)
- **Magnetické** – pro každé  $l$   $m = 0, 1, 2, \dots, l$
- **Spinové magnetické** – pro každé  $m$   $s = \pm 1/2$
  
- **Pauliho vylučovací princip** – v jednom elektronovém obalu atomu nemohou být přítomny dva nebo více elektronů se stejnou kombinací kvantových čísel.

# Ionizace atomů

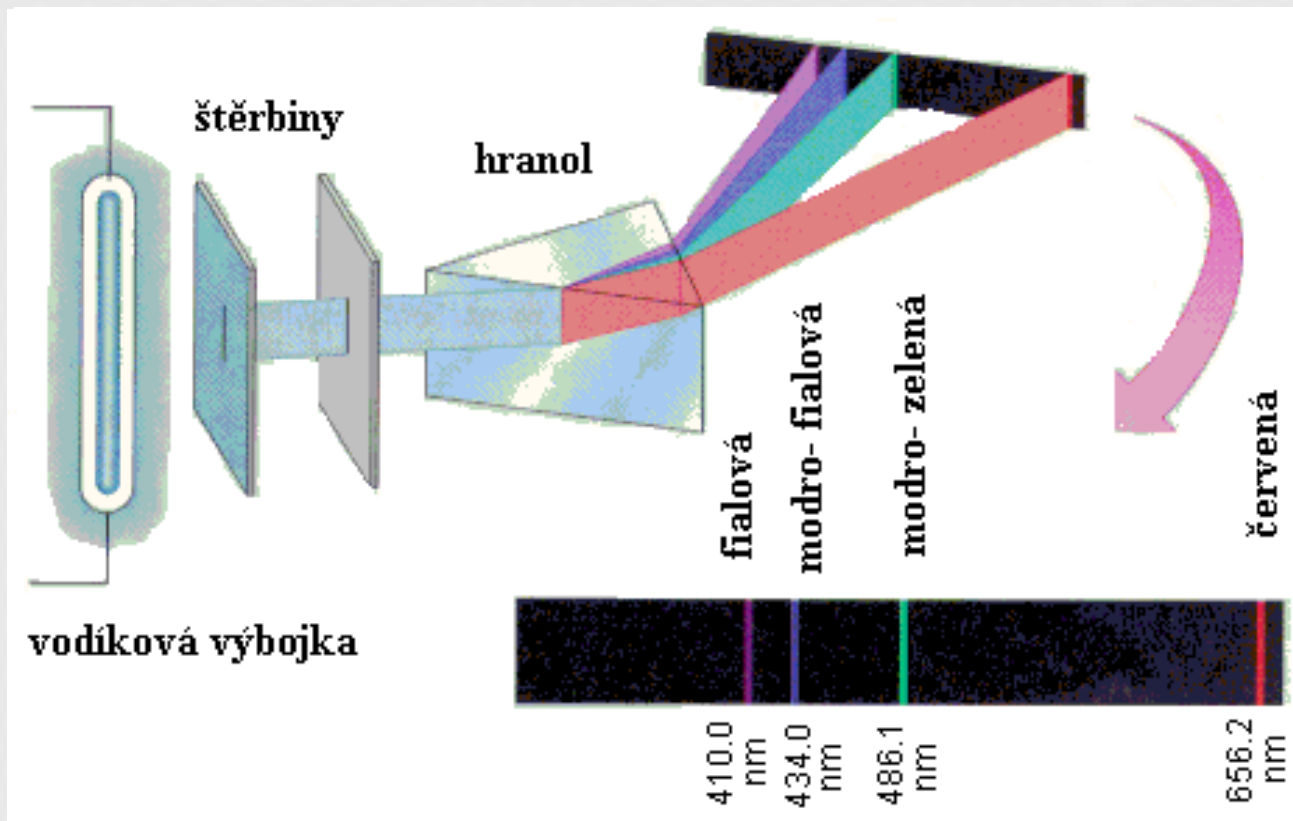
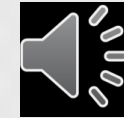
Vazebná energie elektronu  $E_v$  je energie, která by byla nutná pro uvolnění elektronu z atomu – závisí především na hlavním kvantovém čísle.



Příklad ionizace:  
fotoelektrický jev

$$hf = E_v + \frac{1}{2}mv^2$$

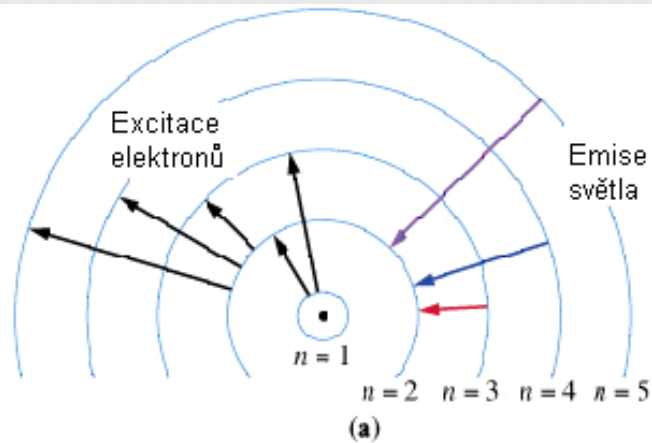
# Emisní spektra



**Viditelné emisní spektrum vodíku**

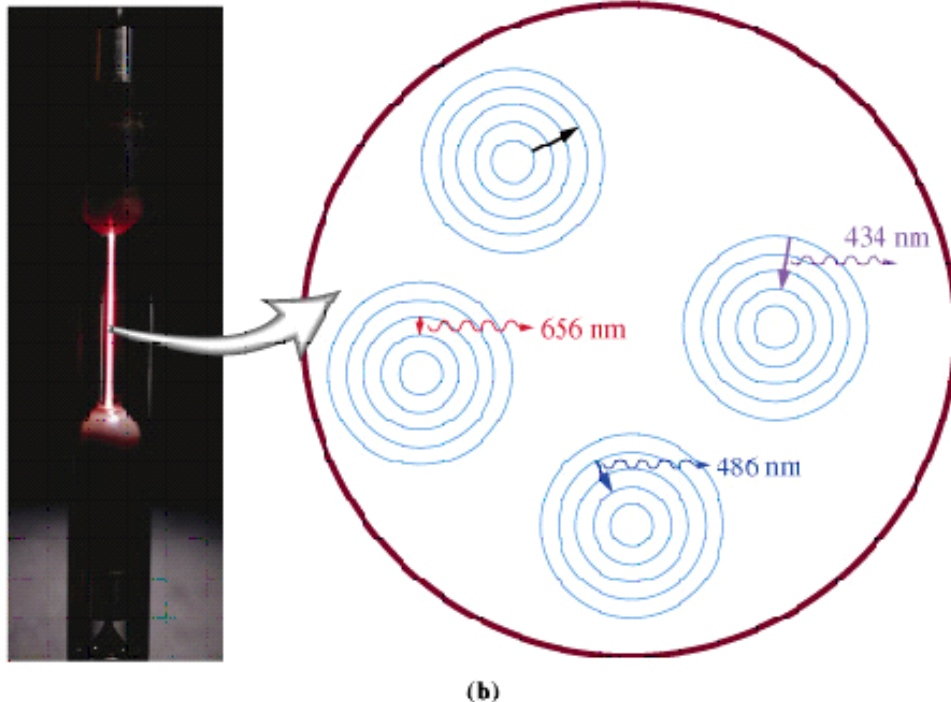
Dexcitační procesy mezi diskretními energetickými hladinami vedou k emisi fotonů s pouze určitými energiemi, tj. záření o jisté frekvenci, resp. vlnové délce. Shoda s výpočtem podle S. rovnice je *u vodíku* dokonalá!

# Spektrum vodíku ještě jednou



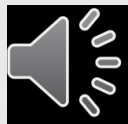
fialová,  
modrozelená a  
červená čára

podle:  
[http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/media/lib/media\\_portfolio/text\\_images/CH07/FG07\\_19.JPG](http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/media/lib/media_portfolio/text_images/CH07/FG07_19.JPG)





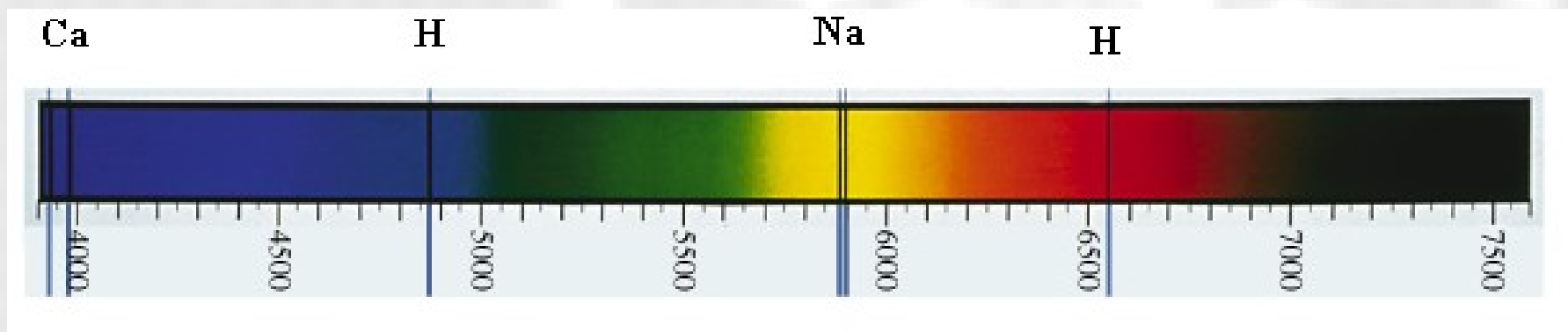
# Excitační (absorpční) spektra atomů



Absorpční čáry ve viditelném spektru slunečního světla.

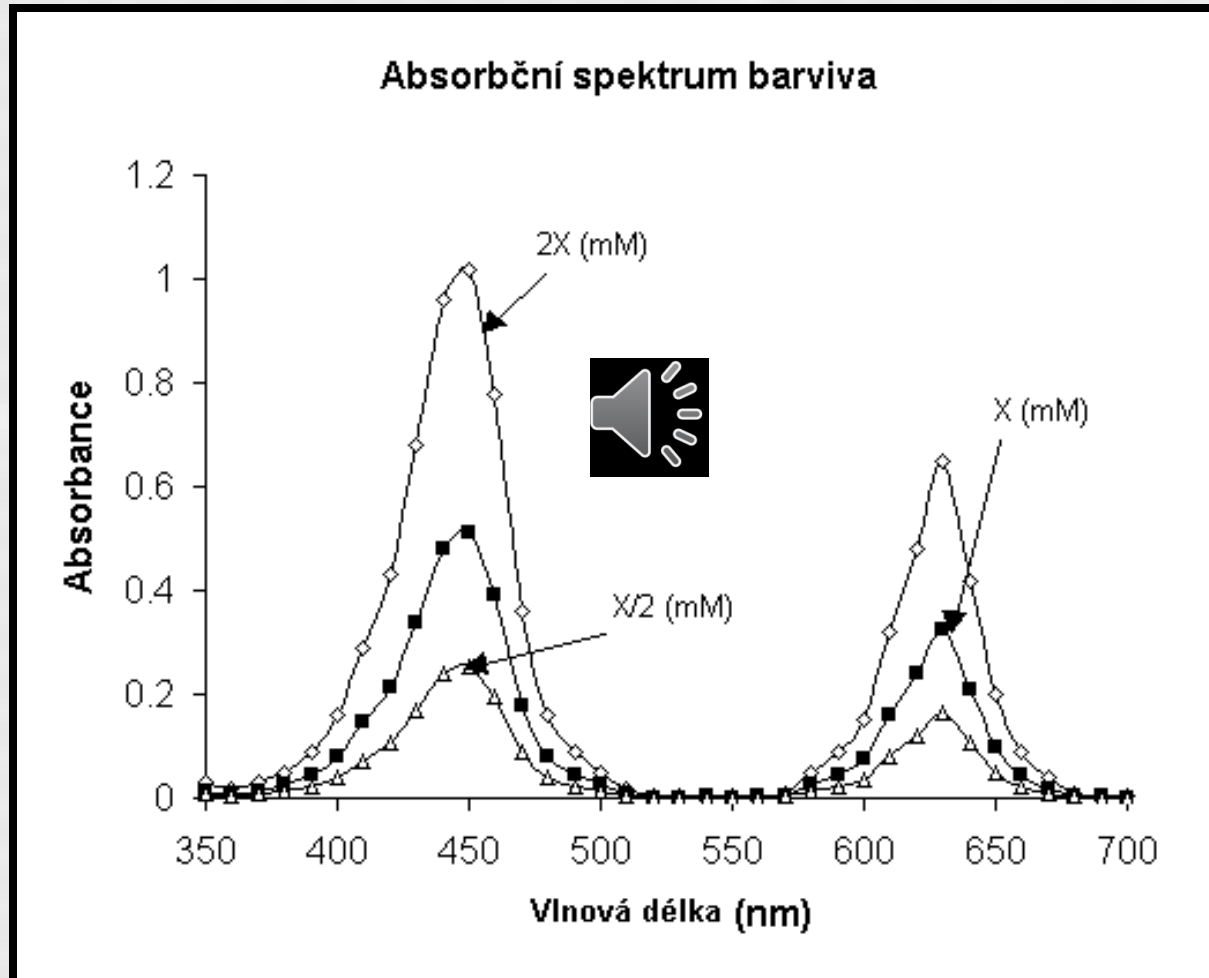
Vlnové délky jsou udány v angströmech ( $\text{\AA}$ ) = 0,1 nm

[http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/medialib/media\\_portfolio/07.html](http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/medialib/media_portfolio/07.html)

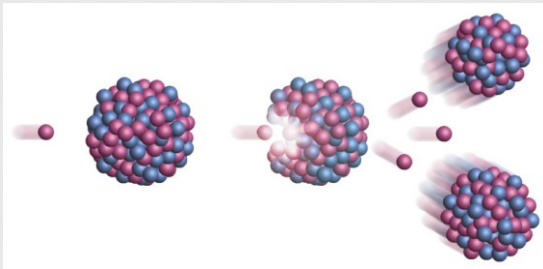


Přechody mezi diskrétními energetickými stavy atomů!!

# Excitační (absorpční) spektrum molekul – má pásový charakter



# Jádro atomu



Protonové (atomové) číslo –  $Z$

Nukleonové (hmotnostní) číslo –  $A$

Neutronové číslo –  $N$       $N = A - Z$

Atomová hmotnostní jednotka  $u = 1,66 \cdot 10^{-27}$  kg, tj.  
1/12 hmotnosti atomu uhlíku C-12

Elektrický náboj jádra  $Q = Z \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}$  C

Jestliže relativní hmotnost elektronu = 1

⇒ relativní hmotnost protonu = 1836

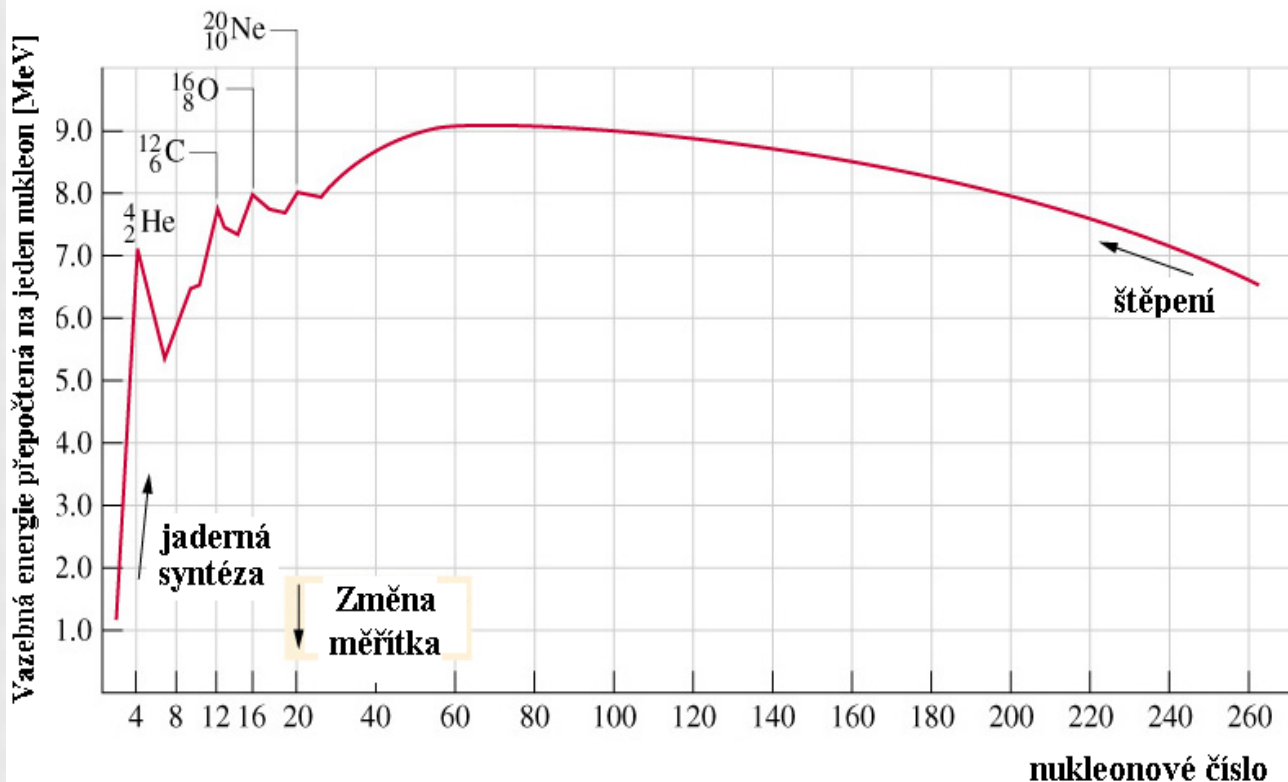
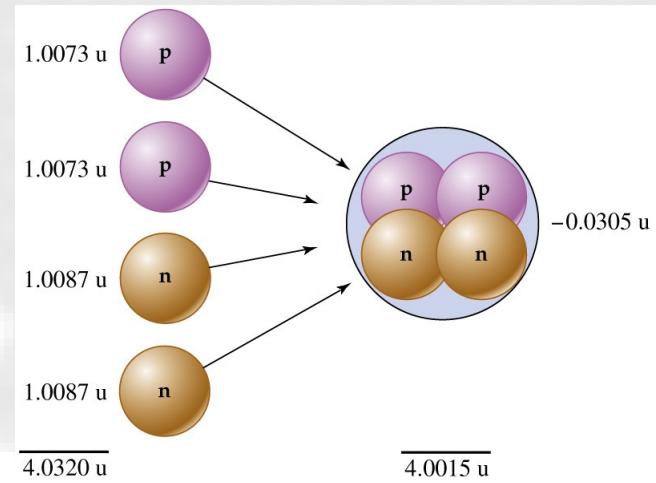
⇒ relativní hmotnost neutronu = 1839

# Hmotnostní defekt jádra

= měřítko stability jádra:

$$\delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_j$$

Uvažujeme hmotnosti protonu, neutronu a jádra



Zdroj:

[http://cw.x.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hilchem3/medialib/media\\_portfolio/text\\_images/CH19/FG19\\_05.JPG](http://cw.x.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hilchem3/medialib/media_portfolio/text_images/CH19/FG19_05.JPG)

[http://cw.x.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hilchem3/medialib/media\\_portfolio/text\\_images/CH19/FG19\\_06.JPG](http://cw.x.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hilchem3/medialib/media_portfolio/text_images/CH19/FG19_06.JPG)



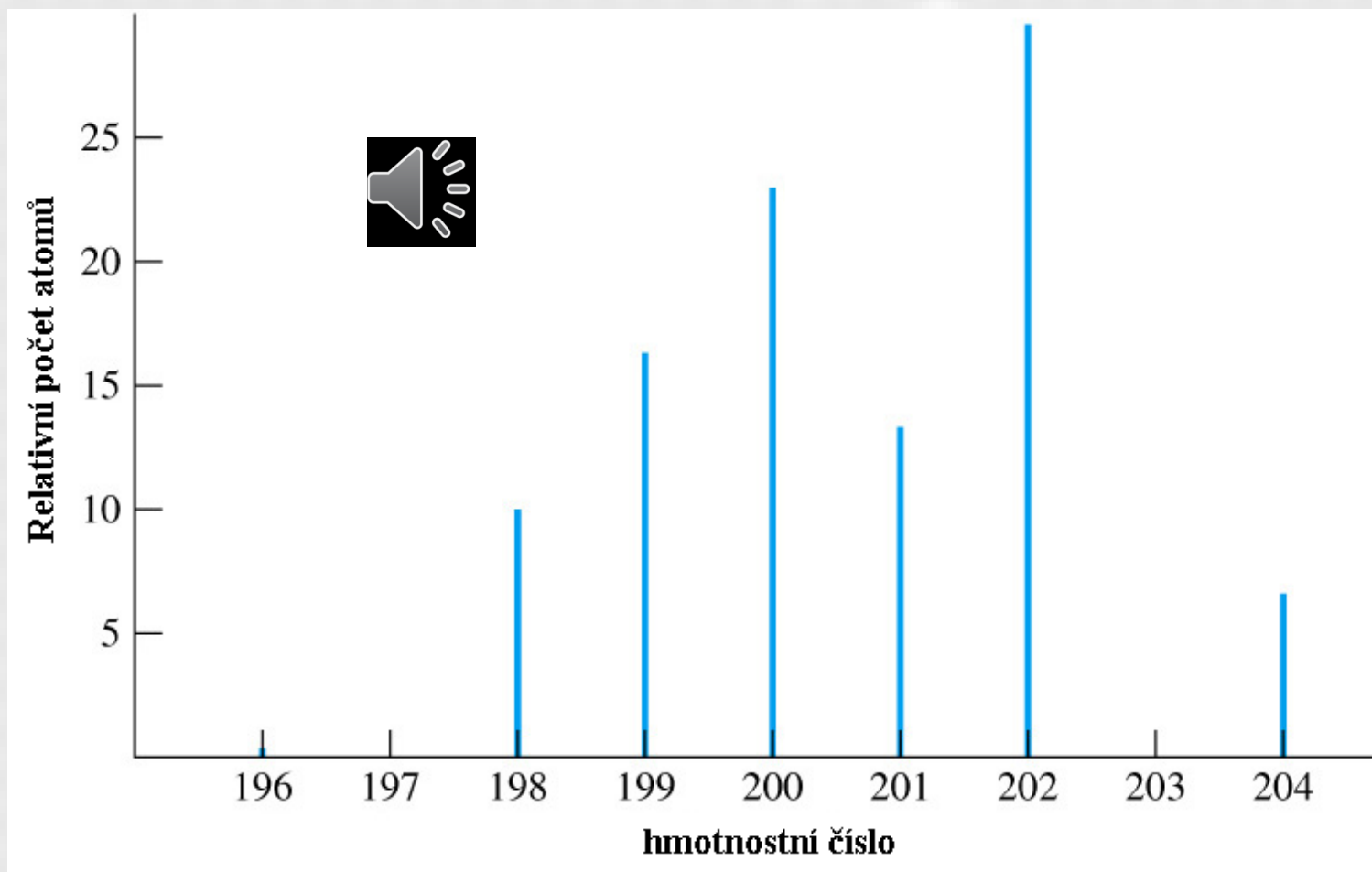
# Nuklidy



- **nuklid** – jádra se stejnými hodnotami  $A$ ,  $Z$  a energie
- **Izotopy** - nuklidy se stejným  $Z$  ale různým  $A$
- **Izobary** – nuklidy se stejným  $A$  ale různým  $Z$
- **Izomery** – nuklidy se stejným  $Z$  a  $A$ , avšak s různou energií (např.  $Tc^{99m}$  používané v nukleární medicíně)

# Izotopové složení rtuti

% zastoupení izotopu v závislosti na nukleonovém (hmotnostním) čísle



Podle:

[http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/medialib/media\\_portfolio/text\\_images/CH07/FG07\\_08.JPG](http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/medialib/media_portfolio/text_images/CH07/FG07_08.JPG)

# Co je ještě nutné znát?



- **Radionuklidy** – nuklidy schopné radioaktivní přeměny
  
- **Jaderný spin:**

Jádra mají vlastnost zvanou spin. Jestliže je hodnota spinu nenulová, jádra mají magnetický moment, tj. chovají se jako malé magnety - NMR – nukleární magnetická rezonanční spektroskopie a zobrazení pomocí magnetické rezonance (MR) v radiologii jsou metody založené na této vlastnosti.

Autor:

**Vojtěch Mornstein**

Autor:

Obsahová spolupráce:

**Carmel J. Caruana**

Obsahová spolupráce:

Grafika: **Carmel J. Caruana**

**Lucie Mornsteinová**

Grafika:

Poslední revize a ozvučení:

říjen 2020

Poslední revize: listopad

2018