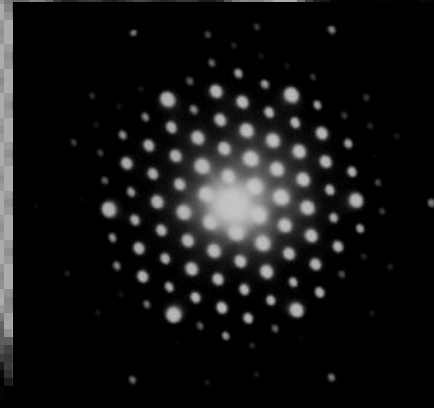
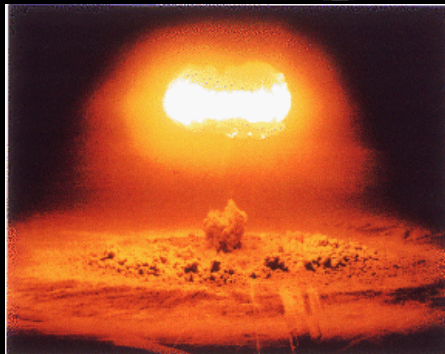
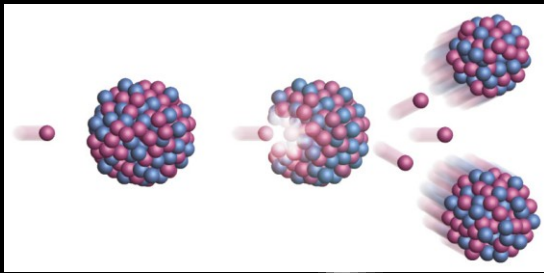


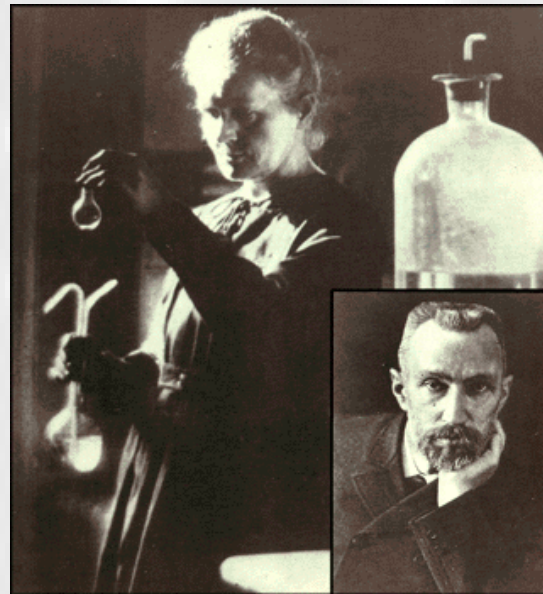
# Přednášky z lékařské biofyziky

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 částicemi hmoty (látkou) a energetickými poli/silami, což znamená, že základní strukturní prvky organického a anorganického světa jsou **totožné**.
- Živá hmota se liší od hmoty neživé pouze svým **mnohem vyšším stupněm uspořádanosti**.

# Elementární částice hmoty

- Elementární (tj. nemající vnitřní strukturu) částice hmoty jsou **leptony** a **kvarky**
- **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)

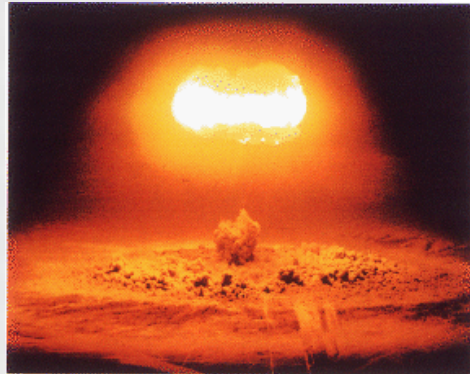
# Čtyři základní interakce / energie / silová pole



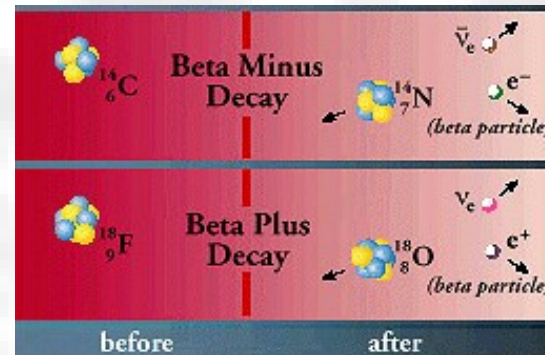
gravitační



elektromagnetická



silná



slabá

Silná : slabá : elektromagnetická : gravitační =  $10^{40} : 10^{15} : 10^3 : 1$  (pro interakční vzdálenost  $10^{-15}$  m, tj. přibližně rozměr atomového jádra)

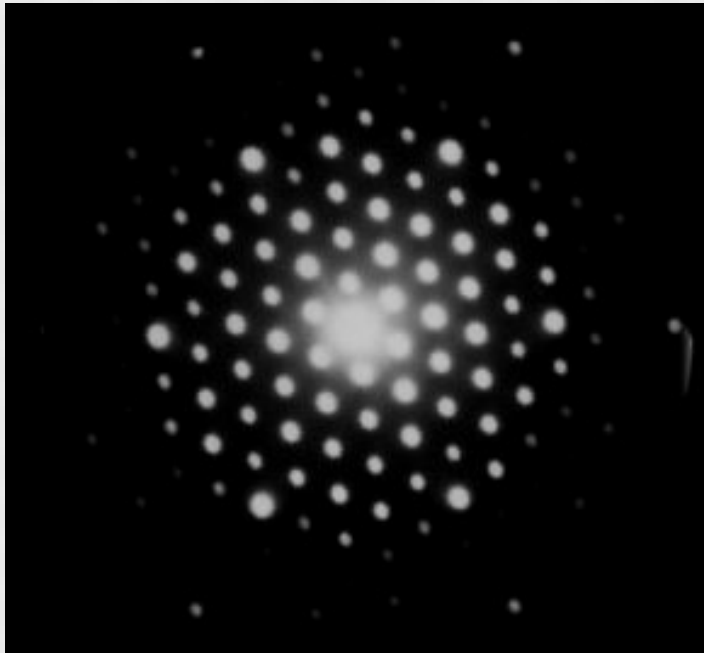
# Fotony

- Fotony – energetická kvanta elektromagnetického pole, nulová klidová hmotnost
- Energie (jednoho) fotonu:  $E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$ 
  - $h$  je Planckova konstanta ( $6.62 \times 10^{-34}$  J.s),
  - $f$  je frekvence,
  - $c$  rychlost světla ve vakuu
  - $\lambda$  vlnová délka

# Částice a energetická kvanta pole

Částice látky a energetická kvanta mají schopnost **vzájemné transformace** (např. elektron-pozitronový pár se transformuje 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.

Vlevo je 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.

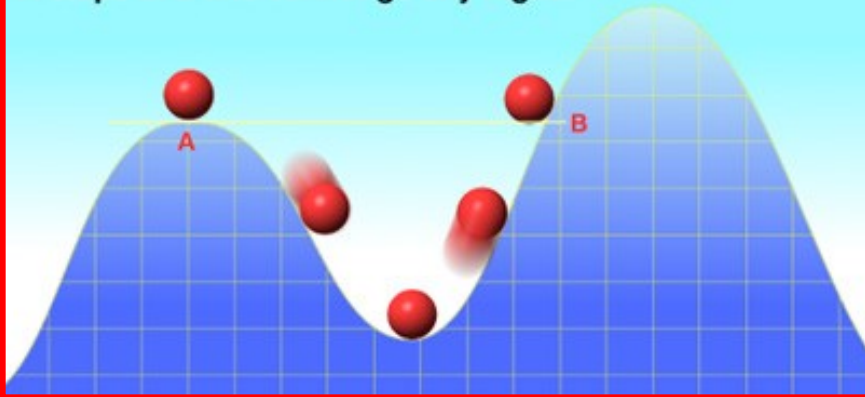


# Kvantová mechanika

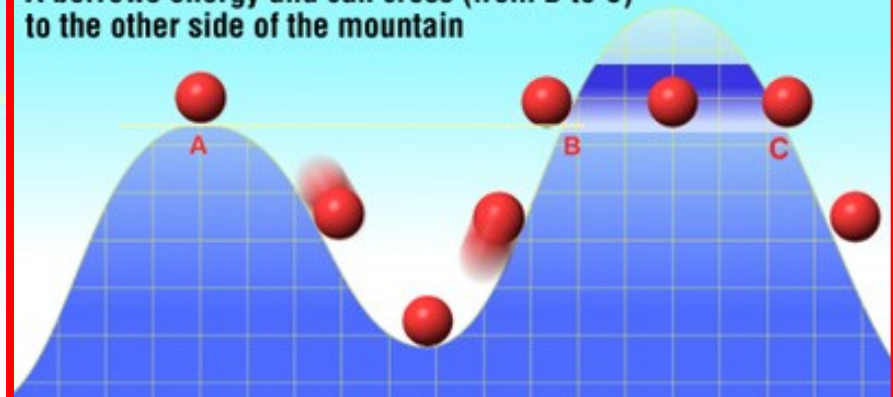
tunelový jev:

**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

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

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

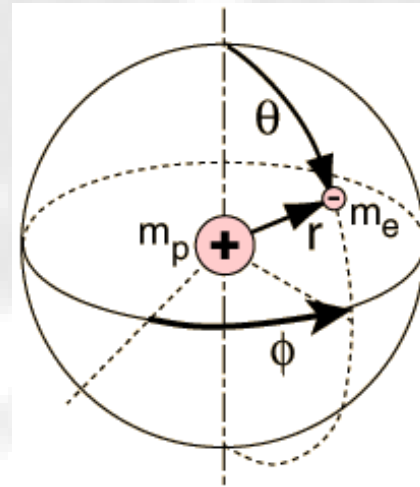
Poloha  $r$  a hybnost  $p$  částice **nemohou být současně** změřeny s na sobě nezávisující přesností (jestliže neurčitost polohy částice –  $\delta r$  – je zmenšena, neurčitost hybnosti částice –  $\delta p$  – automaticky roste). To stejné platí pro současné měření změny energie  $\delta E$  a času  $\delta t$  nutného pro tuto změnu.

# Schrödingerova rovnice (k obdivování)

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

druhá derivace podle x      Schrd. vlnová funkce  
 poloha      energie      potenciální energie

„jednorozměrná“ S. rovnice



Kulové (radiální)  
souřadnice  
elektronu v  
atomu vodíku

$\Psi$  - vlnová  
funkce

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

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

# Řešení Schrödingerovy rovnice

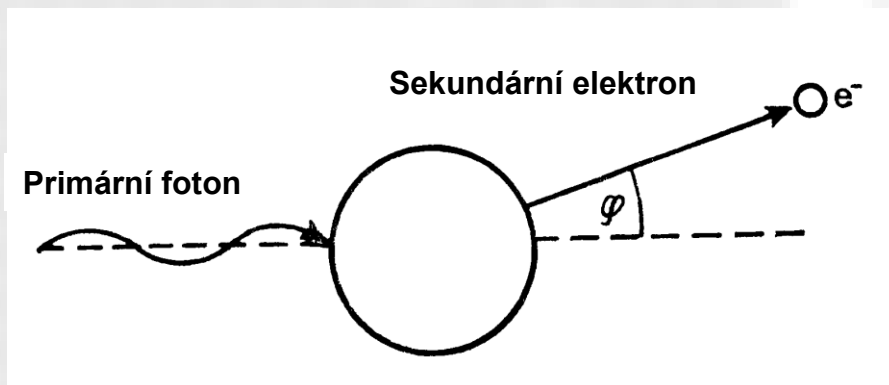
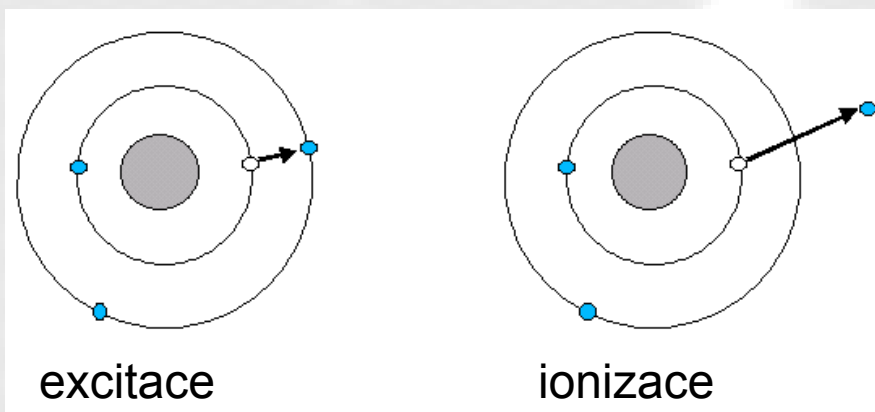
- Řešení Schrödingerovy rovnice pro elektron ve vodíkovém atomu vede k hodnotám energie orbitálního elektronu.
- Řešení Schrödingerovy rovnice často vede k číselným koeficientům, které určují možné hodnoty energie. Tyto numerické koeficienty se nazývají **kvantová čísla**.

# Kvantová čísla vodíku

- **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

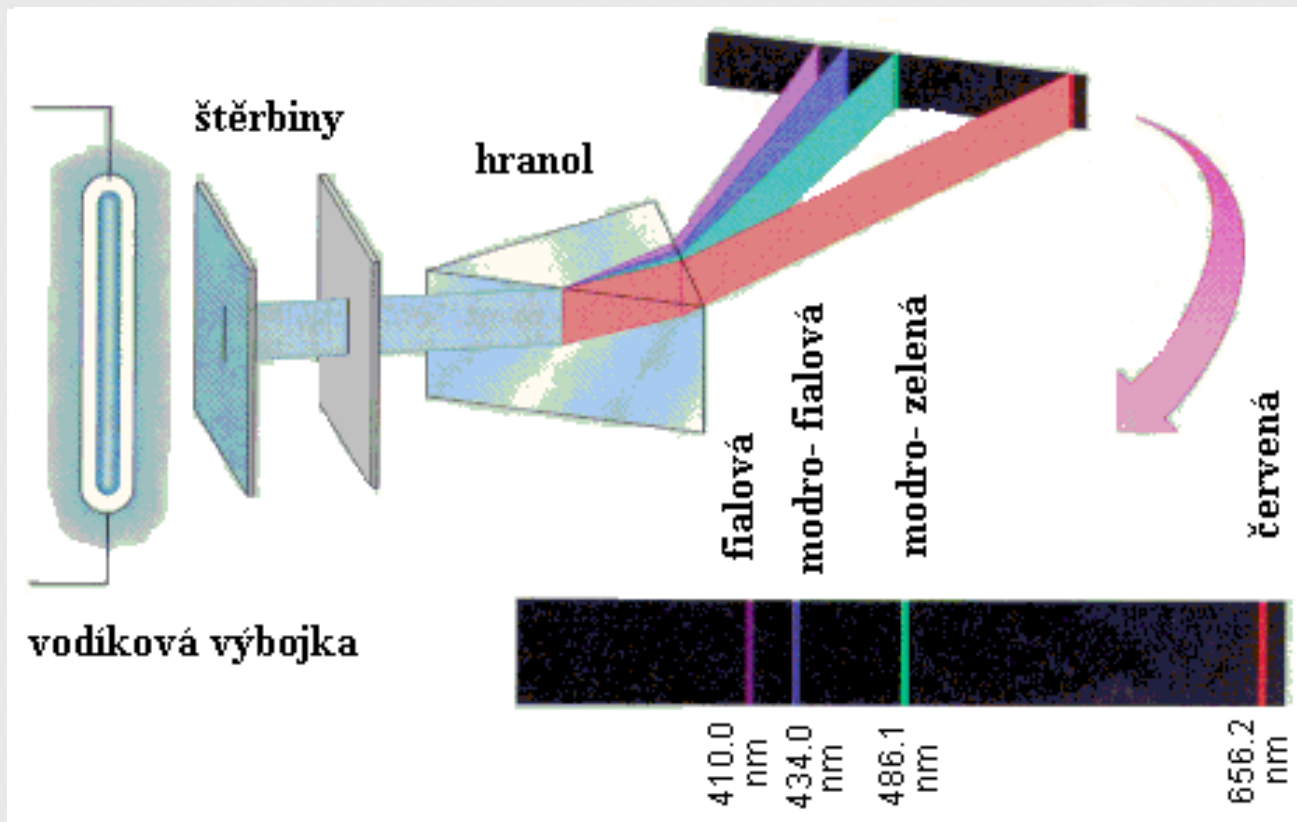
Vazebná energie elektronu  $E_v$  je energie, která by byla nutná pro uvolnění elektronu z atomu – závisí především na hlavním kvantovém čísle.



Příklad ionizace:  
fotoelektrický jev

$$h \cdot f = E_v + m \cdot v^2 / 2$$

# Emisní spektra



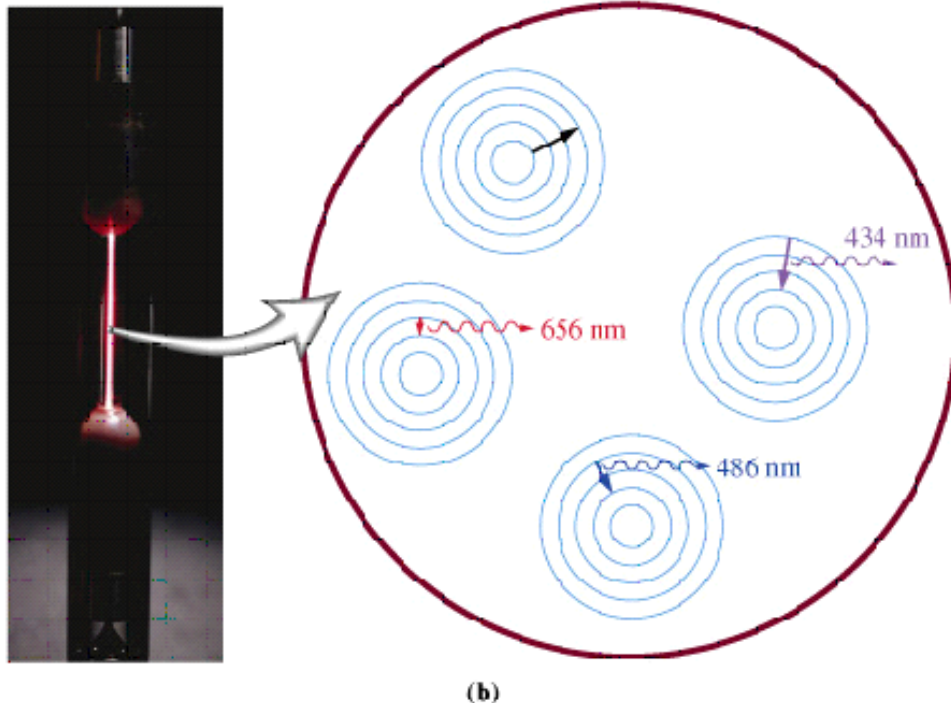
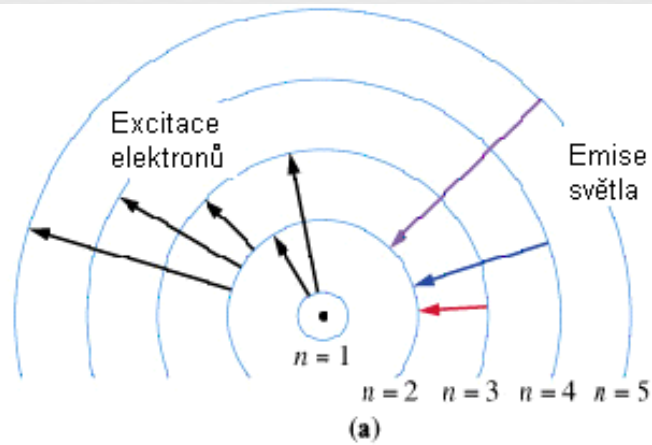
Viditelné emisní spektrum **vodíku**

Dexcitační procesy mezi diskretními energetickými hladinami vedou k emisi fotonů s pouze určitými energiemi, tj. záření o jisté frekvenci, resp. vlnové délce.

# 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)



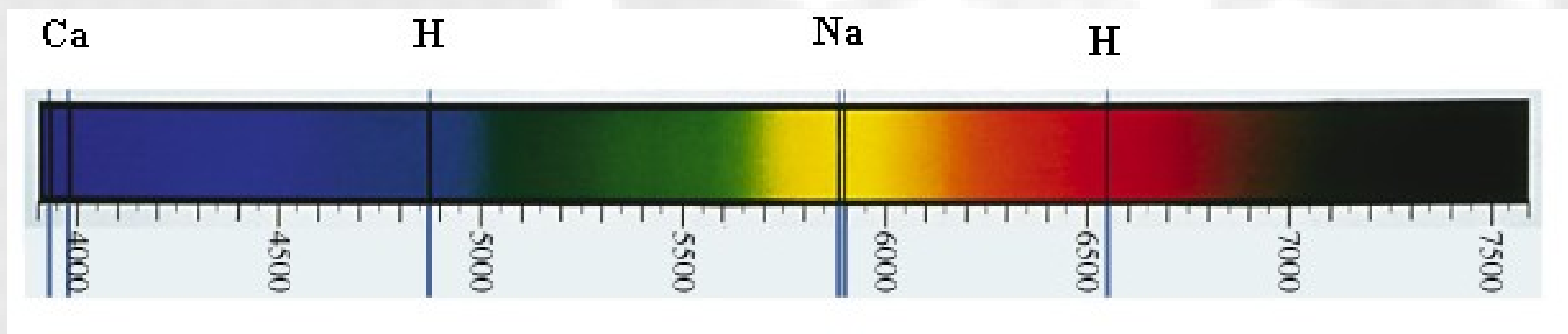


# Excitační (absorpční) spektra atomů

Absorpční čáry ve viditelném spektru slunečního světla.

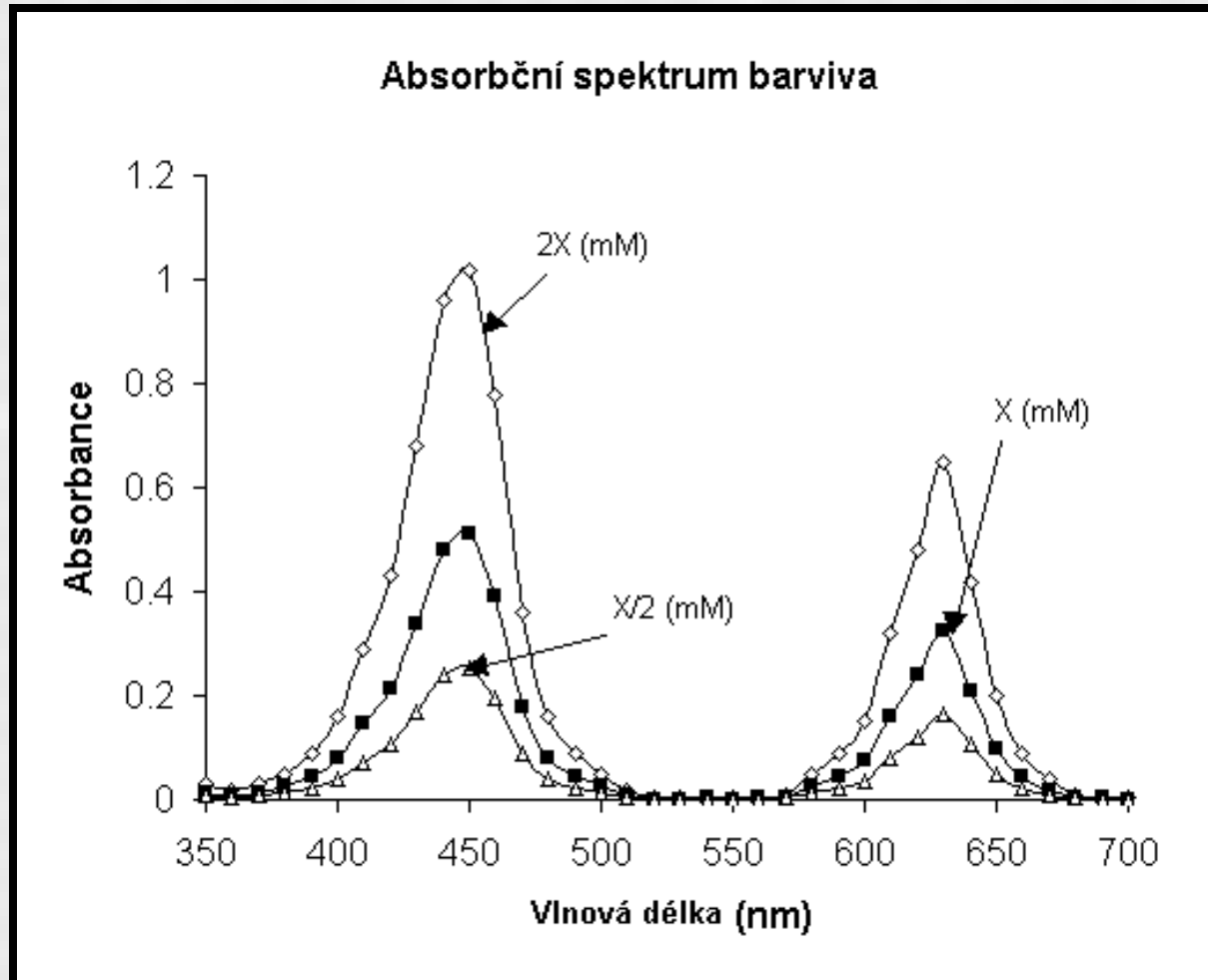
Vlnové délky jsou udány v angströmech ( $\text{\AA}$ ) = 0,1 nm

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

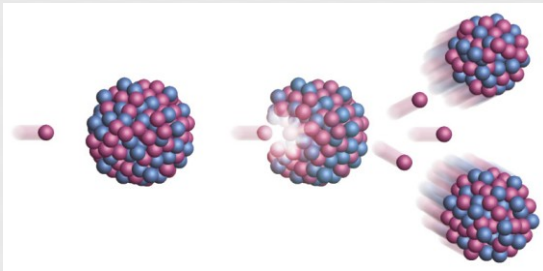


Přechody mezi diskrétními energetickými stavy!!

# Excitační (absorpční) spektrum molekul



# Jádro atomu



Protonové (atomové) číslo –  $Z$

Nukleonové (hmotnostní) číslo –  $A$

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

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

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

Jestliže relativní hmotnost elektronu = 1

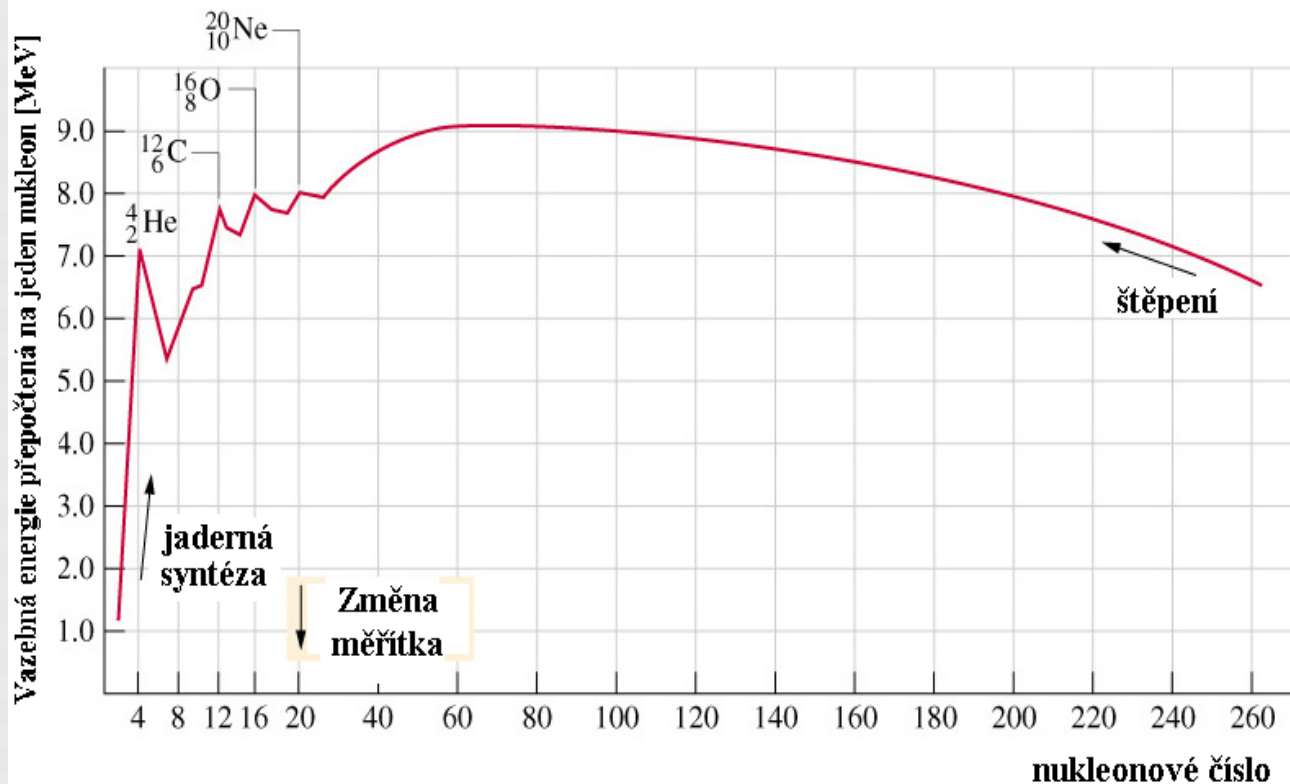
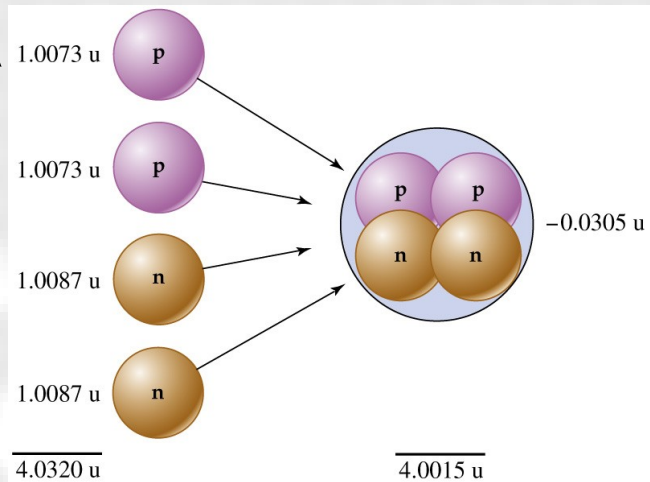
⇒ relativní hmotnost protonu = 1836

⇒ relativní hmotnost neutronu = 1839

# Hmotnostní defekt jádra

= měřítko stability jádra:

$$\delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - m_j$$



Zdroj:

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

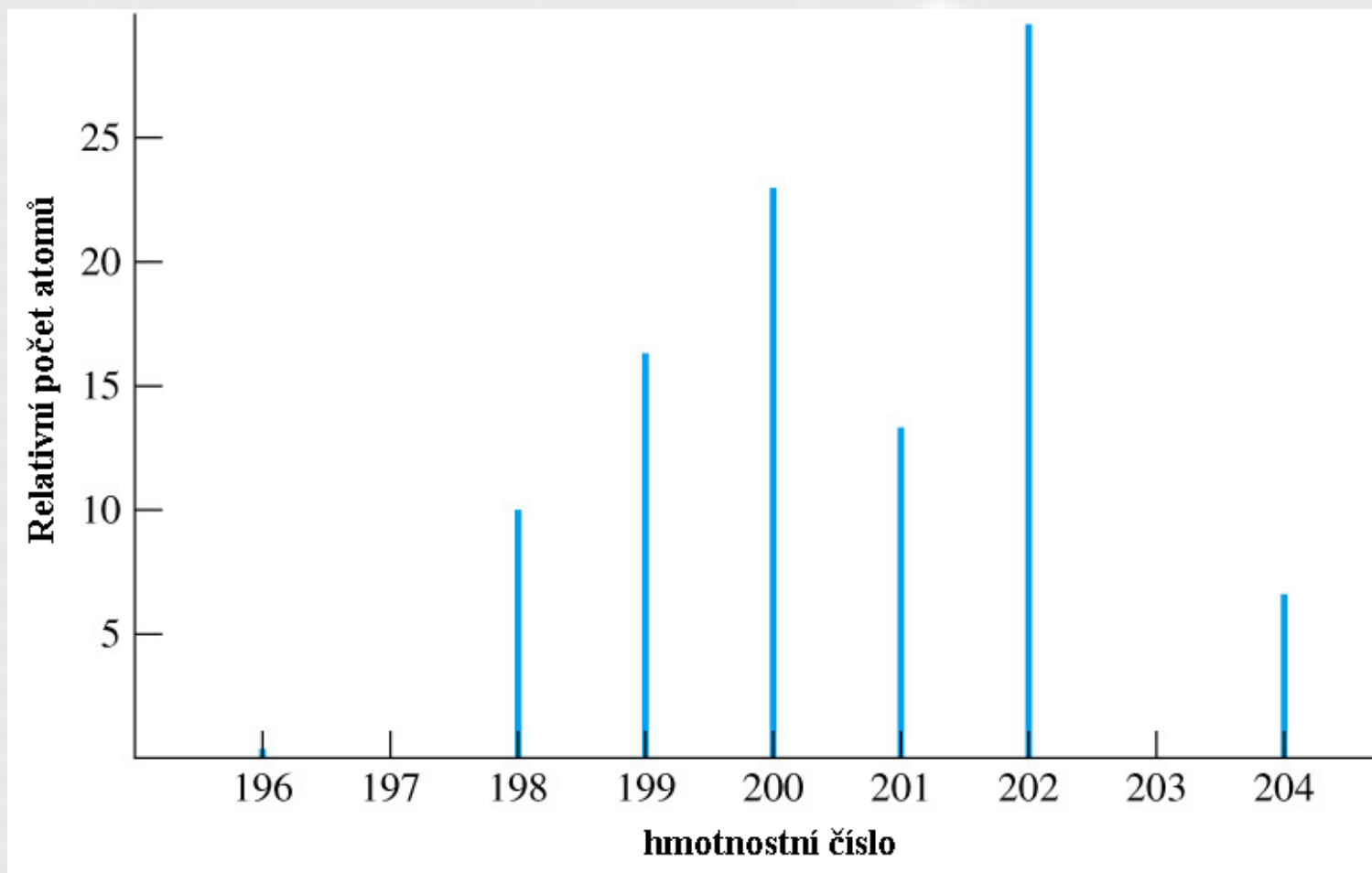
[http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hilchem3/medialib/media\\_portfolio/text\\_images/CH19/FG19\\_06.JPG](http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hilchem3/medialib/media_portfolio/text_images/CH19/FG19_06.JPG)

# 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.  $\text{Tc}^{99\text{m}}$  používané při zobrazování pomocí gama kamery)

# Izotopové složení rtuti

% zastoupení izotopu v závislosti na A



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 zobrazování pomocí magnetické rezonance 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: březen 2008

Poslední revize: březen 2008