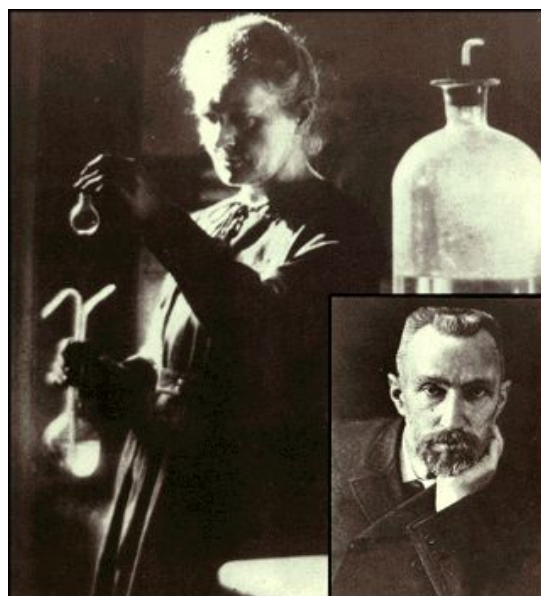


Přednášky z lékařské biofyziky

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



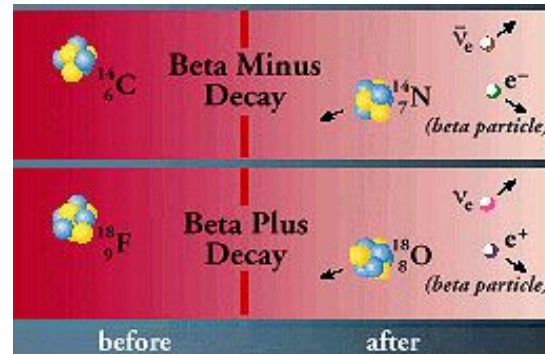
gravitační



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

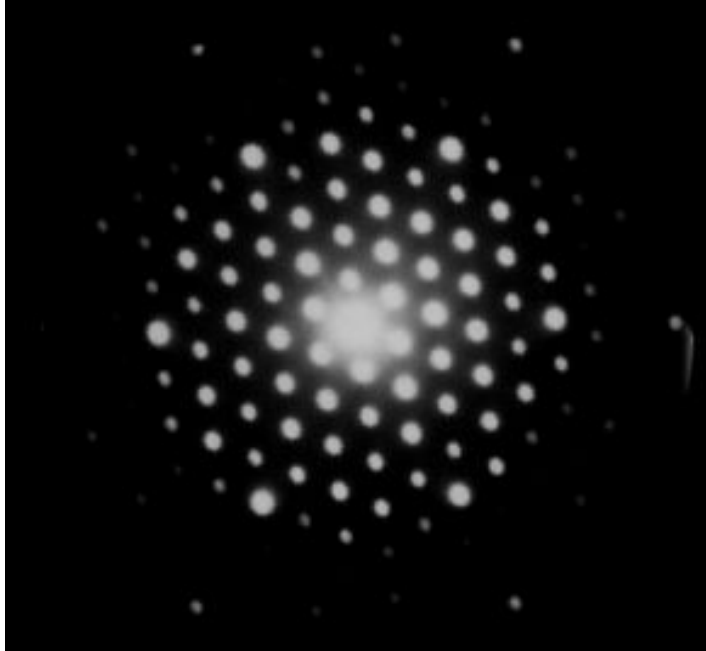
λ vlnová délka

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

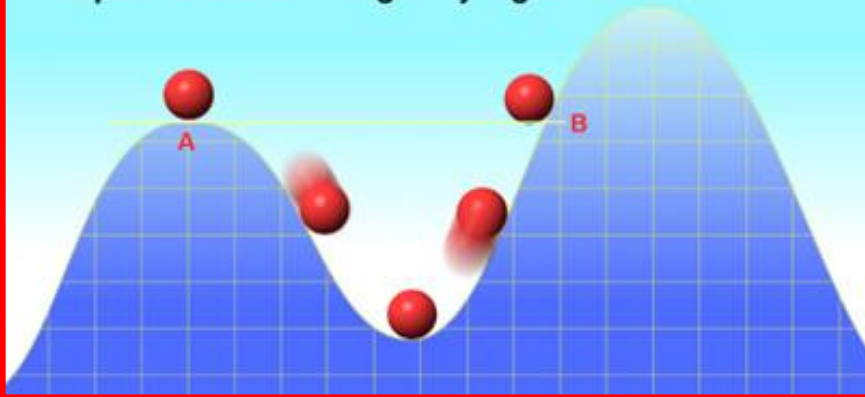
tunelový jev:



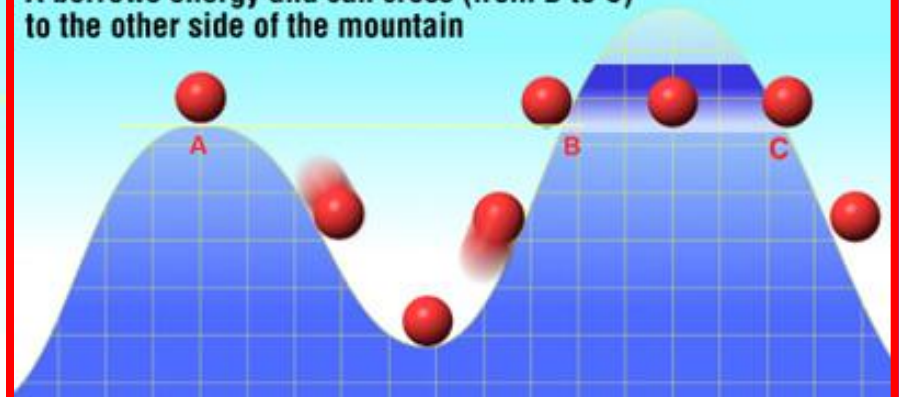
In classical dynamics,
A stops at B and cannot go any higher

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

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 – δr – je zmenšena, neurčitost hybnosti částice – δp – automaticky roste). h je Planckova konstanta. To stejné platí pro současně měření změny energie δE a času δt nutného pro tuto změnu. *(jde o zjednodušený zápis relací)*

Schrödingerova rovnice (k obdivování)

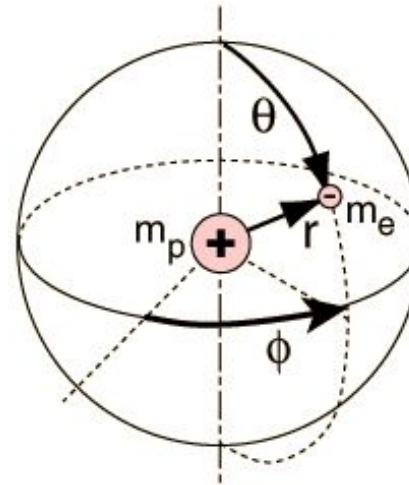


druhá derivace podle x Schrd. vlnová funkce

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

poloha energie potenciální energie

„jednorozměrná“ S. rovnice



Kulové (radiální)
souřadnice
elektronu v
atomu vodíku

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

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

Ψ - 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**.

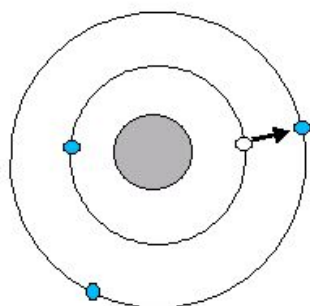
Kvantová čísla



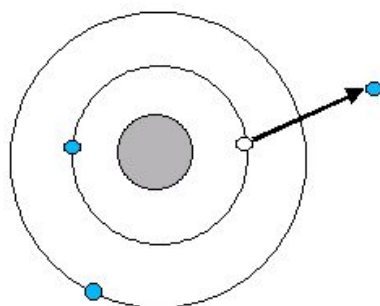
- **Hlavní** $n = 1, 2, 3 \dots$ (K, L, M, ...)
 - **Vedlejší** – pro každé n $l = 0, 1, 2, \dots, n - 1$ (s, p, d, f ...)
 - **Magnetické** – pro každé l $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$
 - **Spinové magnetické** – pro každé m $s = \pm 1/2$
-
- **Pauliho vylučovací princip** – v jednom elektronovém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

Ionizace atomů

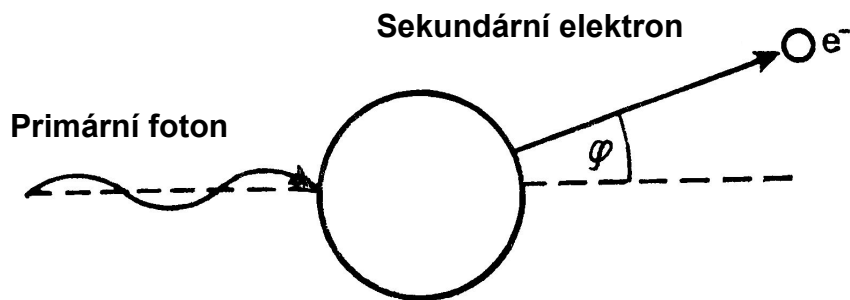
Vazebná energie elektronu E_V je energie, která by byla nutná pro uvolnění elektronu z atomu – závisí především na hlavním kvantovém čísle.



excitace



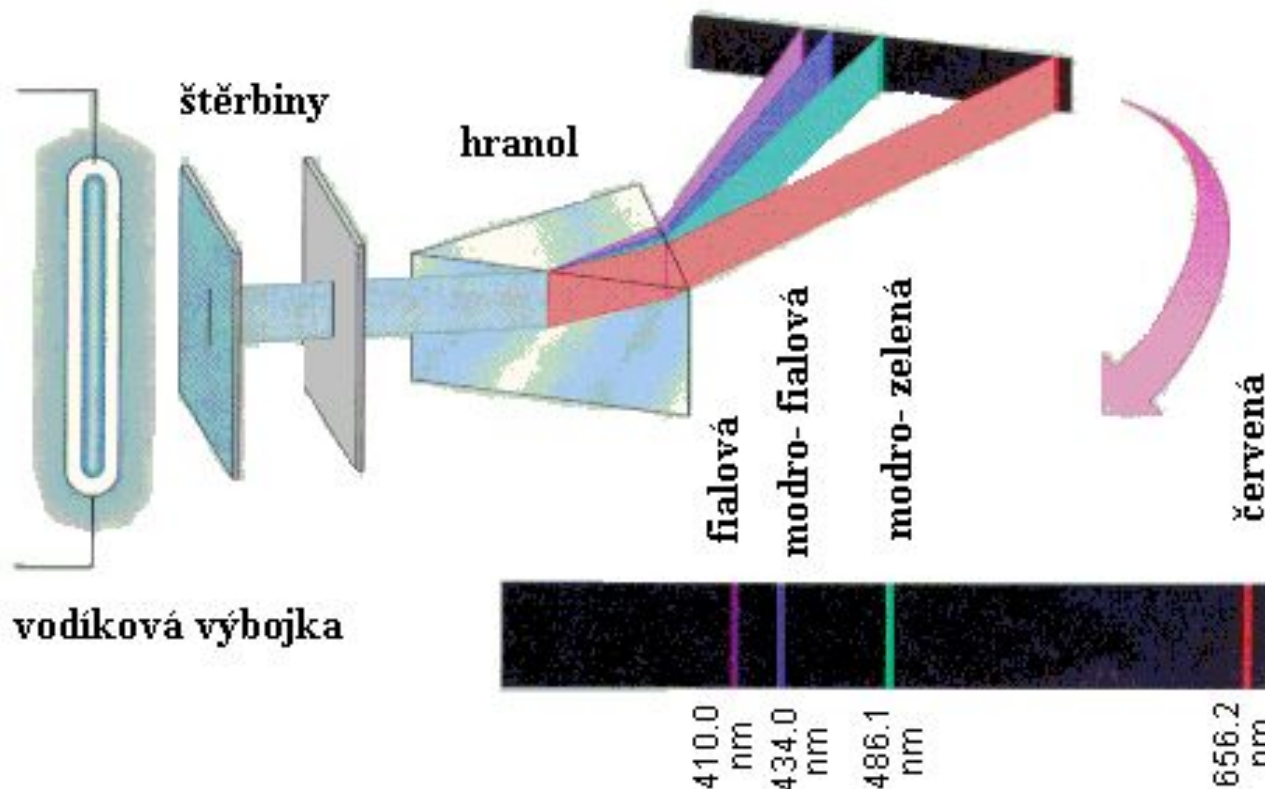
ionizace



Příklad ionizace:
fotoelektrický jev

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

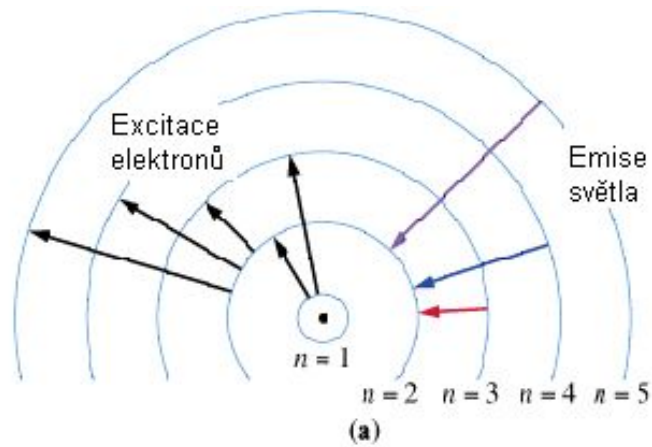
Emisní spektra



Viditelné emisní spektrum vodíku

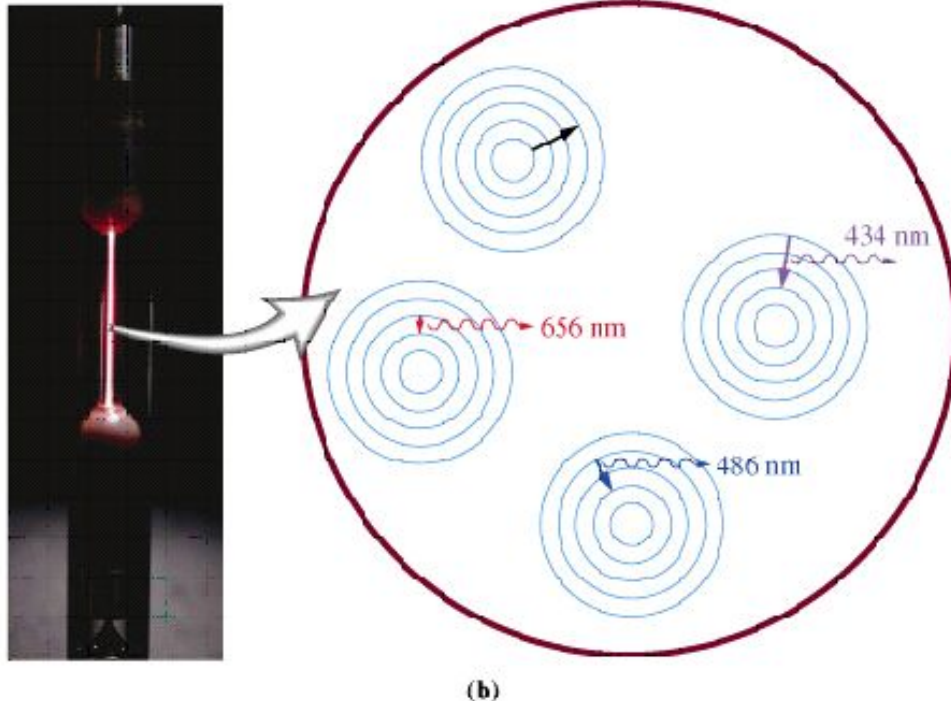
Dexcitační procesy mezi diskretními energetickými hladinami vedou k emisi fotonů s pouze určitými energiemi, tj. záření o jisté frekvenci, resp. vlnové délce. Shoda s výpočtem podle S. rovnice je *u vodíku* dokonalá!

Spektrum vodíku ještě jednou



fialová,
modrozelená a
červená čára

podle:
http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/media_portfolio/text_images/CH07/FG07_19.JPG



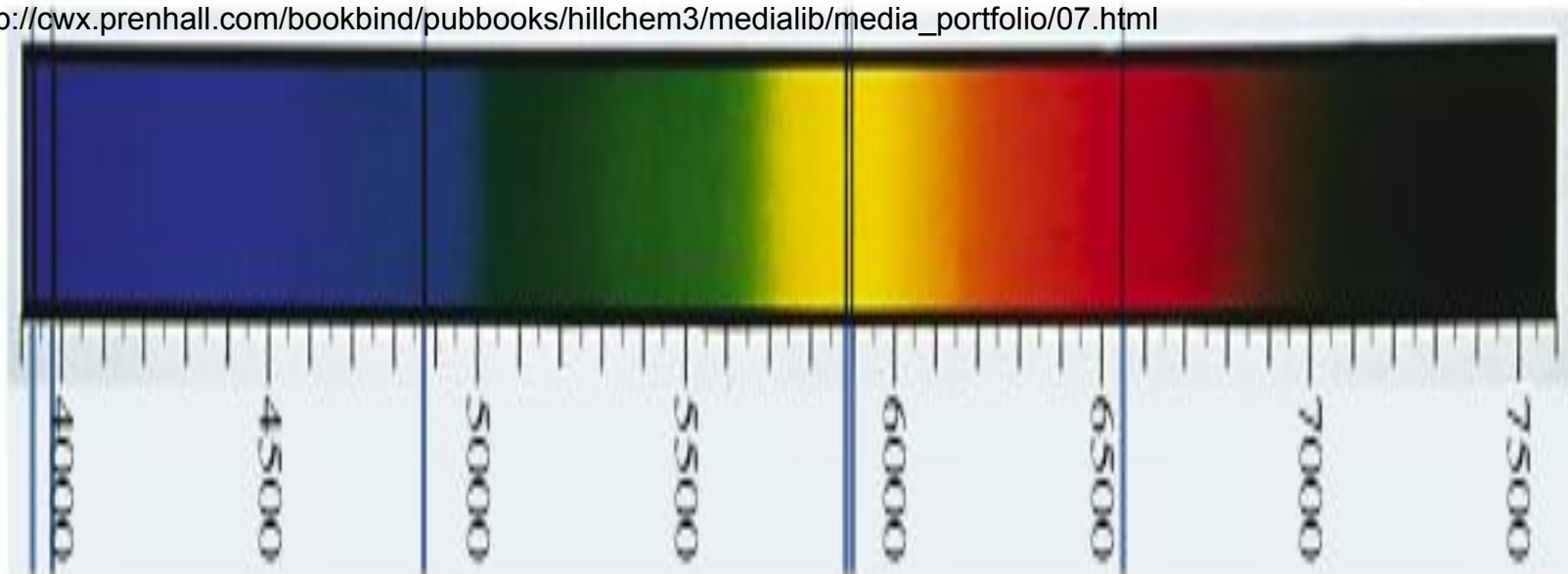
Excitační (absorpční) spektra atomů



Absorpční čáry ve viditelném spektru slunečního světla.

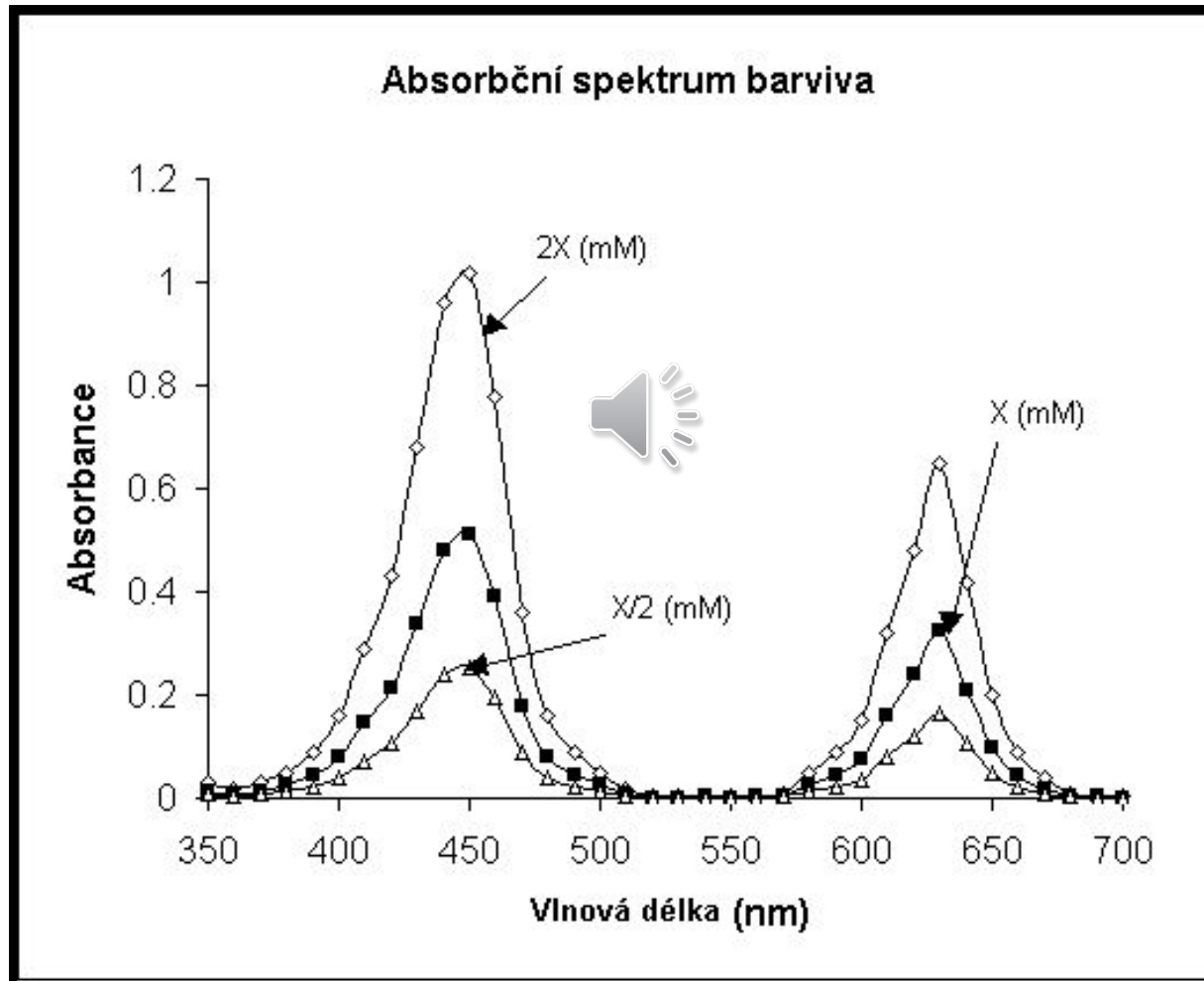
Vlnové délky jsou udány v angströmech (Å) = 0,1 nm

http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/medialib/media_portfolio/07.html

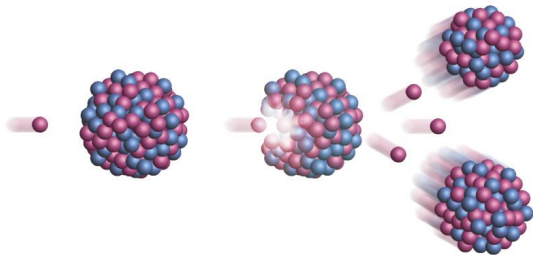


Přechody mezi diskrétními energetickými stavy atomů!!

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

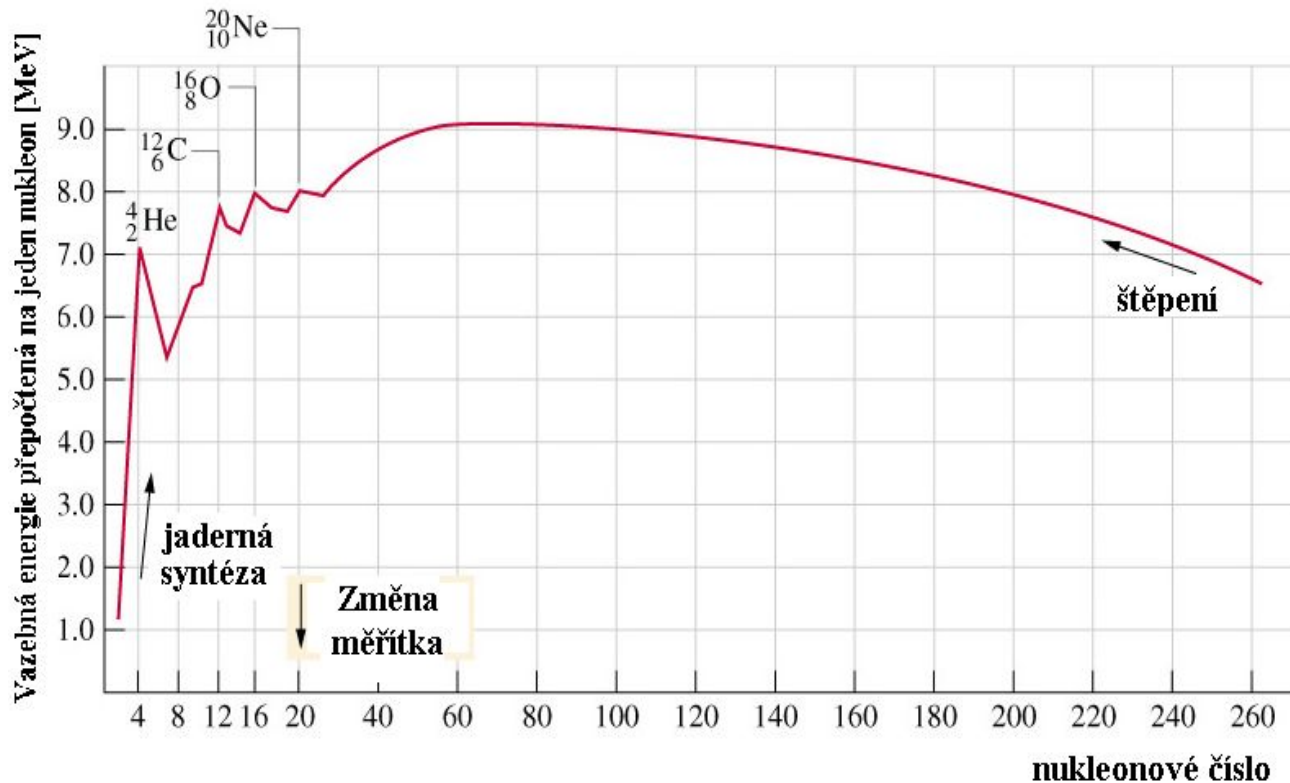
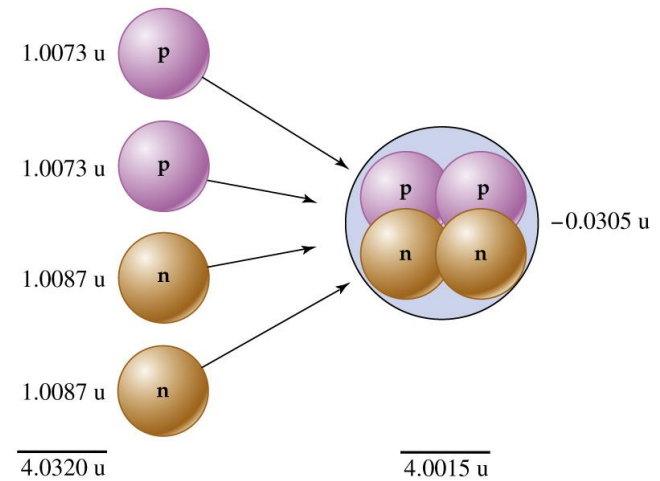
⇒ relativní hmotnost neutronu = 1839

Hmotnostní defekt jádra

= měřítko stability jádra:

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

Uvažujeme hmotnosti protonu, neutronu a jádra



Zdroj:

http://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



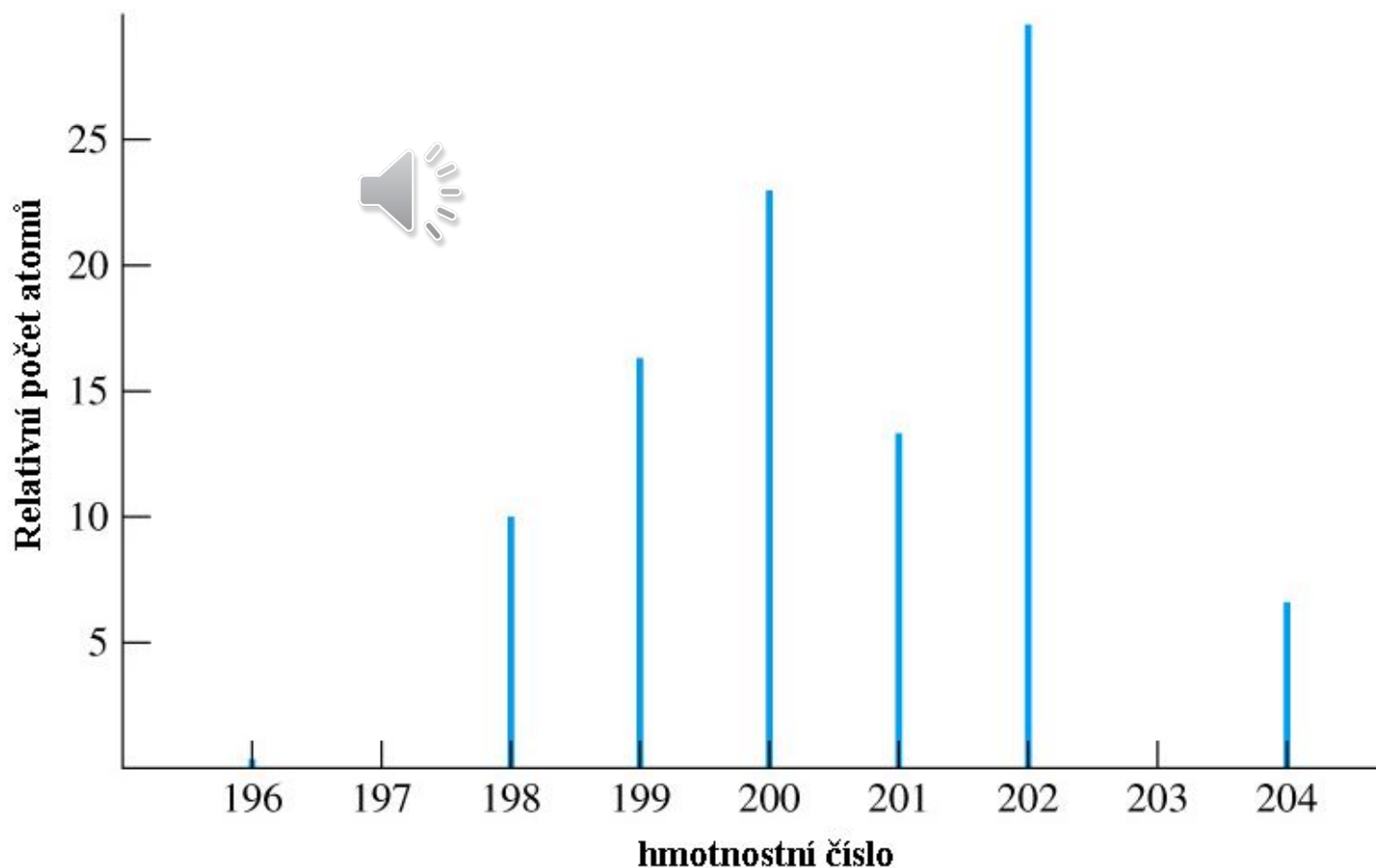
Nuklidy



- **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 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

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

Obsahová spolupráce:

Carmel J. Caruana

Grafika:

Lucie Mornsteinová

Poslední revize: listopad

2018