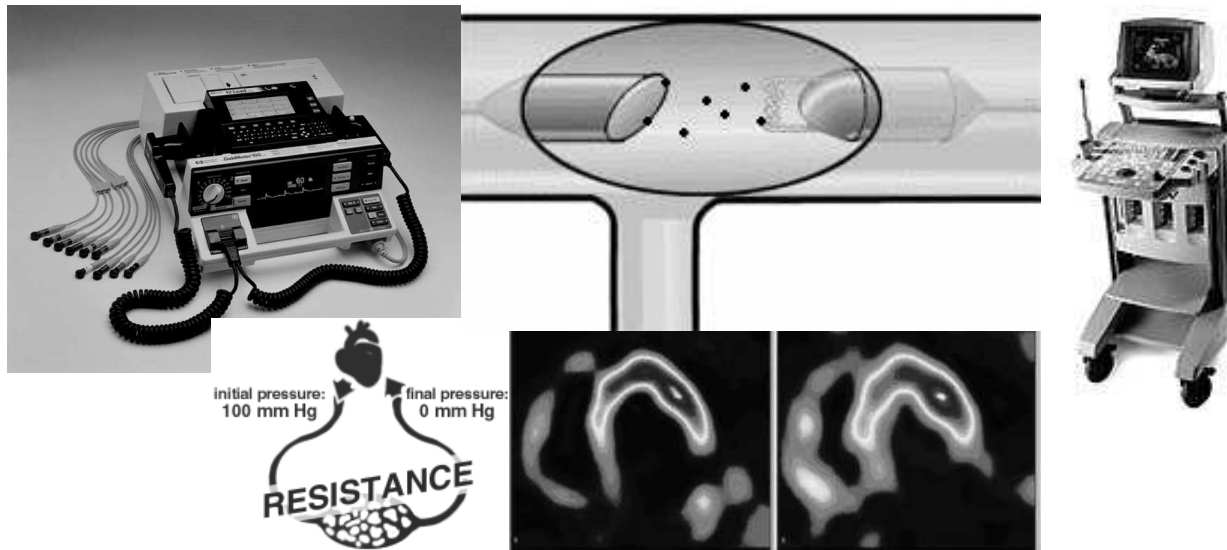


# Přednášky z lékařské biofyziky

Masarykova univerzita v Brně – Biofyzikální centrum



## Úvod

# Biofyzika

Interdisciplinární vědecký obor pojednávající o

- fyzikálních procesech v živých organismech
- vlivech fyzikálních faktorů na živé organismy

Lékařská biofyzika (objektem studia je lidské tělo) zahrnuje i principy diagnostických a terapeutických přístrojových metod

# Návaznosti

- Přírodní vědy (fyzika, chemie a biochemie, biologie)
- Morfologické obory
- Fyziologie a patologická fyziologie
- Klinické obory (v podstatě všechny!)

# Metody získávání poznatků v biofyzice

- Pozorování a experiment
- Studium teoretických problémů
- Modelování biofyzikálních procesů

# Z čeho se učit?

- Hrazdira, Mornstein: Lékařská biofyzika a  
přístrojová technika, Neptun, Brno, 2001
- Jakékoliv učební texty pro lékařskou  
biofyziku vydané po r. 1990 – s rizikem  
neúplnosti a zastaralosti

MASARYKOVA UNIVERZITA  
FAKULTA LÉKAŘSKÁ

**Úvod do obecné a lékařské  
biofyziky**

Prof. MUDr. Ivo Hrazdira, DrSc.  
Doc. RNDr. Vojtěch Mornstein, CSc.

Brno 1999

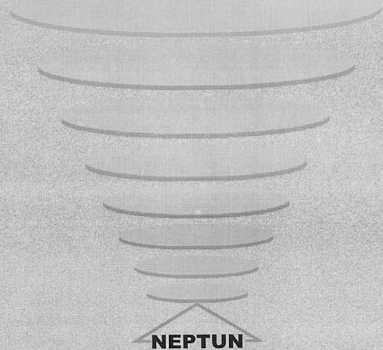
**BIOFYZIKA**

UČEBNICE PRO LÉKAŘSKÉ FAKULTY

AVICENUM/OSVETA

**LÉKAŘSKÁ BIOFYZIKA  
A  
PŘÍSTROJOVÁ TECHNIKA**

Ivo Hrazdira, Vojtěch Mornstein



NEPTUN

1257-

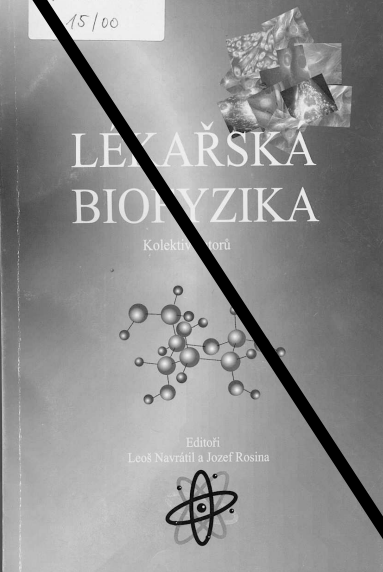
MASARYKOVA UNIVERZITA  
FAKULTA LÉKAŘSKÁ

**Biofyzikální principy lékařské  
přístrojové techniky**

Prof. MUDr. Ivo Hrazdira, DrSc.  
Doc. RNDr. Vojtěch Mornstein, CSc.  
Ing. Jiří Lechner

Brno 1999

BIF-13156-01  
15/00



**LÉKAŘSKÁ  
BIOFYZIKA**

Kolektiv autorů

Editoři  
Leoš Navrátil a Jozef Rosina

# Jak se učit?

- Problém studia lékařské fyziky (biofyziky) není v množství látky, kterou je nutno zvládnout, ale v nutnosti pochopení fyzikálních principů a jejich aplikace. Paměťové učení zpravidla nedostačuje pro úspěch u zkoušky.
- Problémům je nutno rozumět, jinak je nelze vyřešit.



# Přednášky z lékařské biofyziky

Masarykova univerzita v Brně



•[http://www.access Excellence.org/AE/AEC/CC/historical\\_background.html](http://www.access Excellence.org/AE/AEC/CC/historical_background.html)

## Struktura hmoty



# Látka a pole

- Základní stavební elementy organického a anorganického světa jsou identické.
- Živá hmota se liší od neživé pouze svou vysokou organizovaností.
- Látka a pole jsou dvě formy hmoty, které se mohou vzájemně přeměňovat (např. „anihilace“, tvorba elektron-pozitronových párů)

# Čtyři základní fyzikální interakce



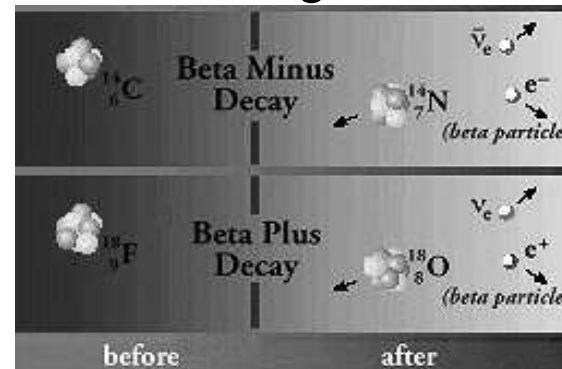
•gravitační



•elektromagnetická



•silná



•slabá

Silná : slabá : elektromagnetická : gravitační =  $10^{40} : 10^{15} : 10^3 : 1$

(při interakční vzdálenosti  $10^{-15}$  m, tj. přibližně rozměru atomového jádra)

# Základní částice hmoty

- Fotony
- Leptony – elektrony, miony, neutrina a jejich antičástice
- Hadrony – baryony (nukleony) a mezony
- Hadrony jsou tvořeny kvarky
- Kvarky (u, c, t, d, s, b) mají třetinový nebo dvoutřetinový náboj ve srovnání s elektronem
- Proton (u, u, d), neutron (d, d, u) – neutron je proto poněkud těžší a nestabilní

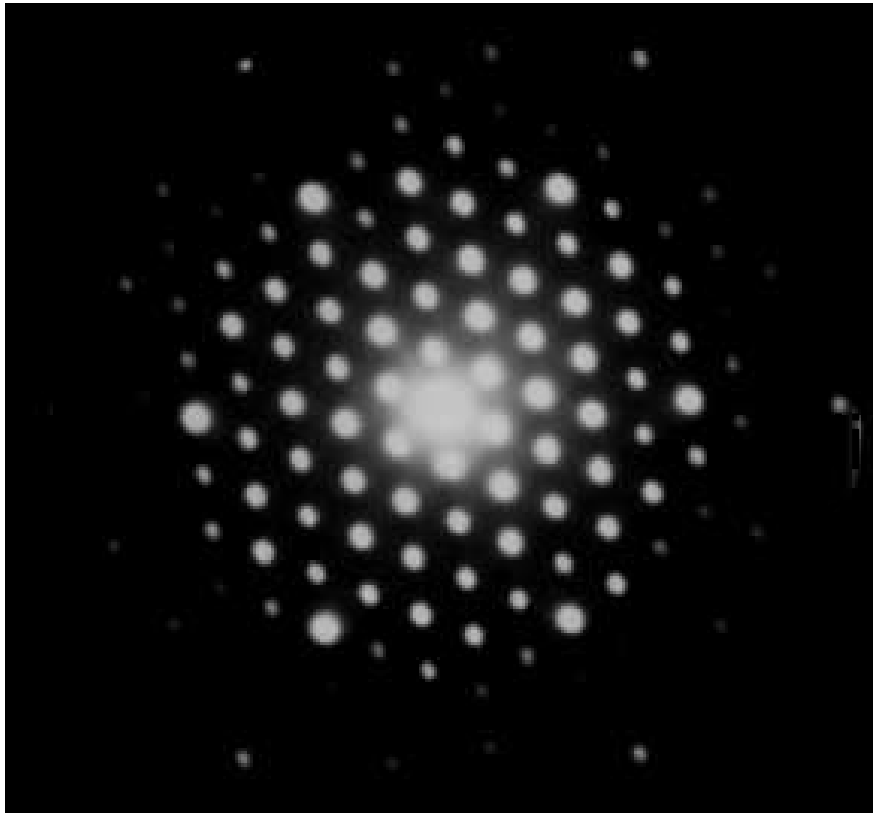
# Kvantové a vlnové vlastnosti částic

- Energie fotonů:  $E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$   
 $h$  je Planckova konstanta ( $6,62 \cdot 10^{-34}$  J.s),  
 $f$  frekvence,  
 $c$  rychlost světla ve vakuu a  
 $\lambda$  vlnová délka
- Foton má hybnost!
- Pro částice s klidovou hmotností odvodil de Broglie vlnovou délku tzv. hmotnostních vln:

$$\lambda = h/p, \quad \text{kde} \quad p = m \cdot v \text{ (hybnost)}$$

# Dualismus částice-vlna

## difrakce elektronů

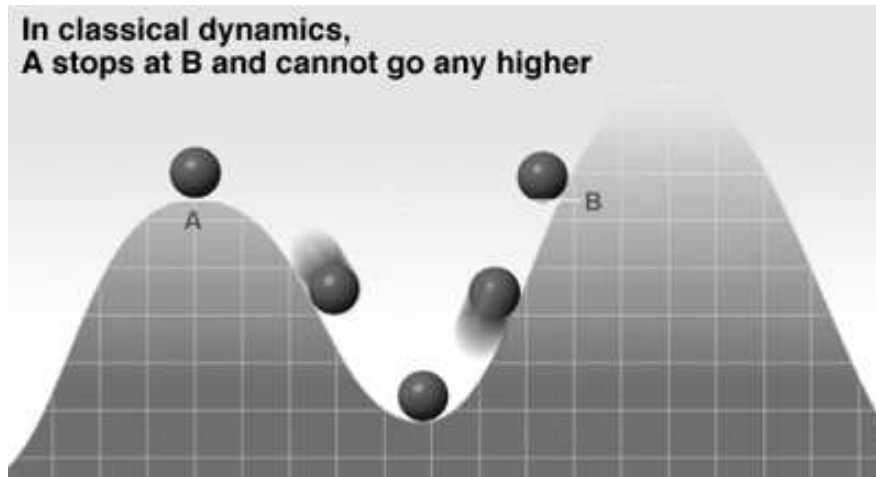


Crystallogram - obraz  
na fotografické desce  
zniká v důsledku  
difrakce elektronů na  
krytalové mřížce.

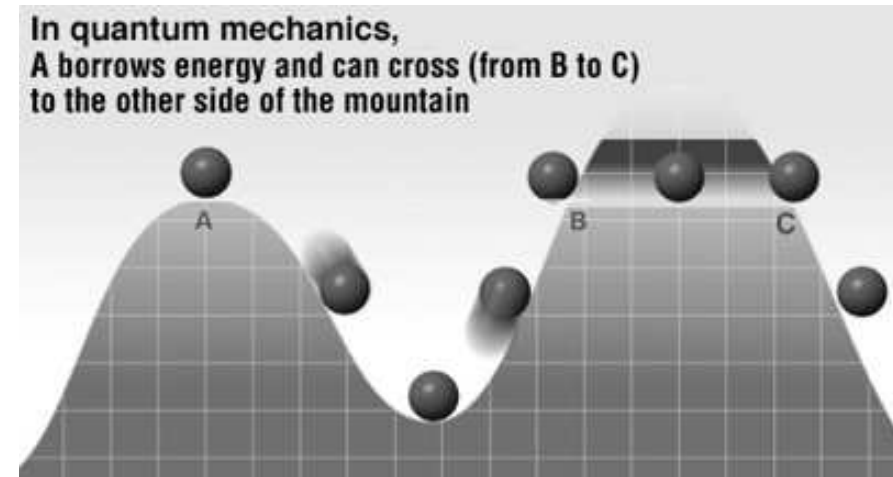
([http://www.matter.org.uk/diffraction/electron\\_diffraction.htm](http://www.matter.org.uk/diffraction/electron_diffraction.htm))

# Dualismus částice-vlna

## tunelový jev (efekt)



a)



b)

a - v klasické mechanice se kulička A zastaví ve výšce B

b – v kvantové mechanice si „kulička“ A „vypůjčí“ energii a pronikne jakoby tunelem z B do C

[http://spaceboy.nasda.go.jp/note/kagaku/e/kag106\\_tonneru\\_e.html](http://spaceboy.nasda.go.jp/note/kagaku/e/kag106_tonneru_e.html)

Důsledek dualismu částice-vlna:  
Heisenbergovy relace (vztahy) neurčitosti

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

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

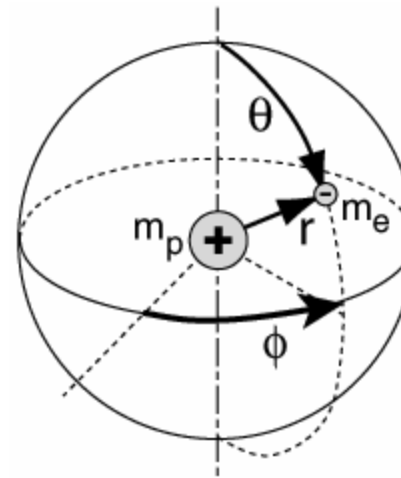
Polohu  $r$  a hybnost  $p$  částice nelze současně změřit s libovolnou přesností (bude-li se neurčitost polohy částice –  $\delta r$  – blížit k nule, pak neurčitost hybnosti částice –  $\delta p$  -poroste nad všechny meze). Totéž platí pro současné měření velikosti změny energie částice  $E$  a času  $t$  k této změně potřebnému.

# Schrödingerova rovnice

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

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

„jednorozměrná“ S. rovnice



Radiální souřadnice elektronu v atomu vodíku

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

S. rovnice pro atom vodíku



# Význam vlnové funkce

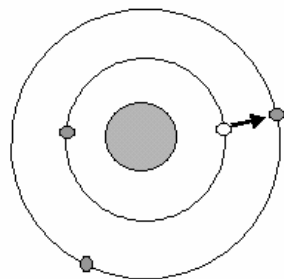
- Absolutní hodnota druhé mocniny vlnové funkce  $|\Psi^2|$  má význam hustoty pravděpodobnosti výskytu částice v daném místě prostoru.
- Schrödingerova rovnice však má řešení jen pro některé hodnoty číselných koeficientů určujících možné hodnoty energie a prostorové lokalizace elektronů.
- Tyto číselné koeficienty nazýváme kvantová čísla

# Kvantová čísla

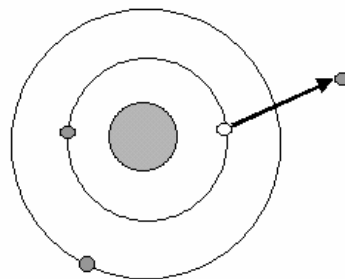
- Hlavní  $n = 1, 2, 3 \dots$  (K, L, M, ....)
- Vedlejší pro každé  $n$   $l = 0, 1, 2, \dots, n - 1$  (s, p, d, f ...)
- Magnetické pro každé  $l$   $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$
- Spinové pro každé  $m$   $s = \pm 1/2$
  
- Pauliho princip výlučnosti – v jednom elektronovém obalu atomu se nemohou vyskytovat dva elektrony popsané stejnými kvantovými čísly

# Excitace a ionizace atomů

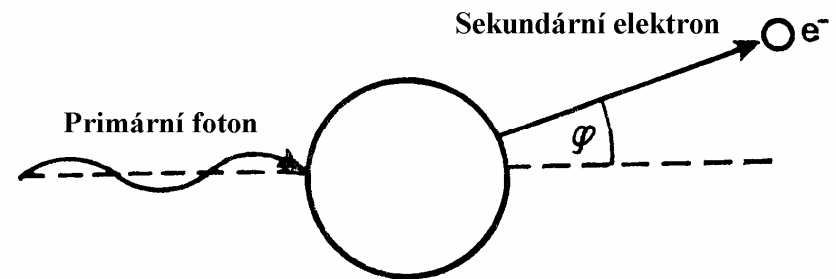
- Energie vazby (elektronu)  $E_V$  – závisí především na hlavním kvantovém čísle



EXCITACE



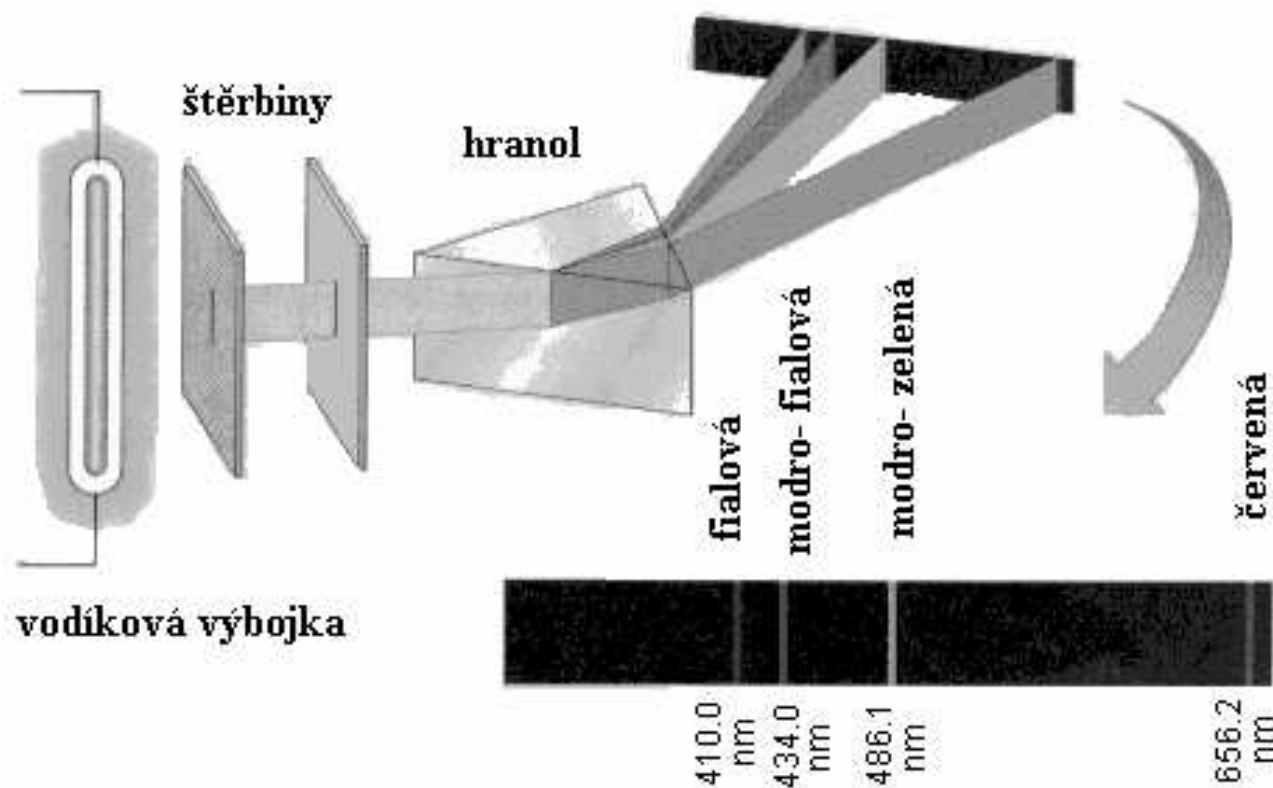
IONIZACE



- Fotoelektrický jev

$$h \cdot f = E_V + \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

# Spektra - emisní



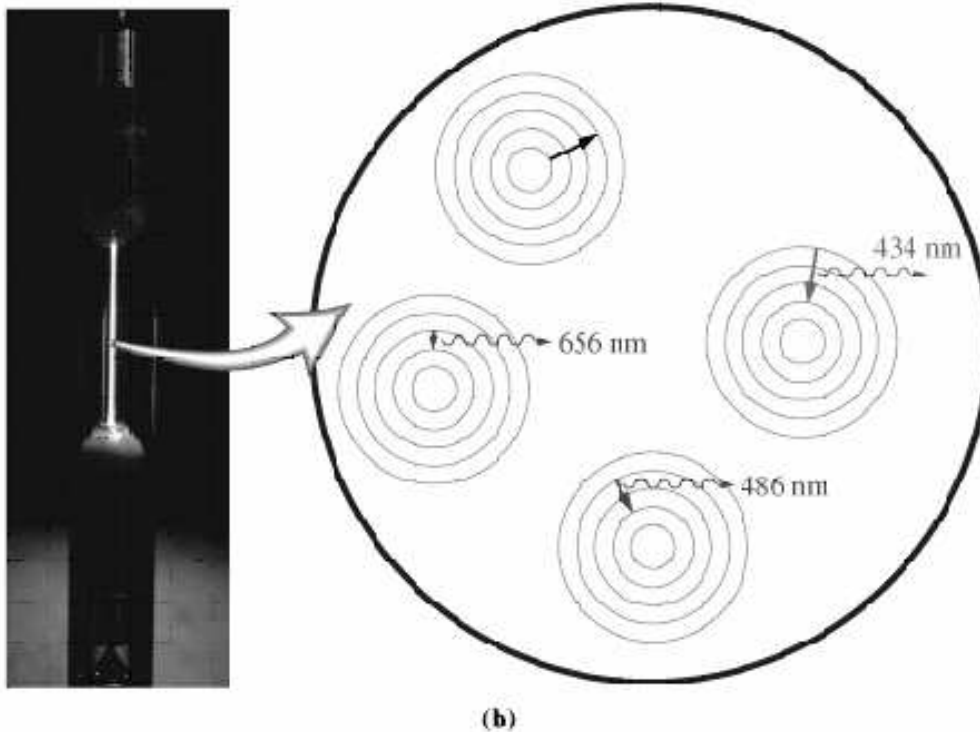
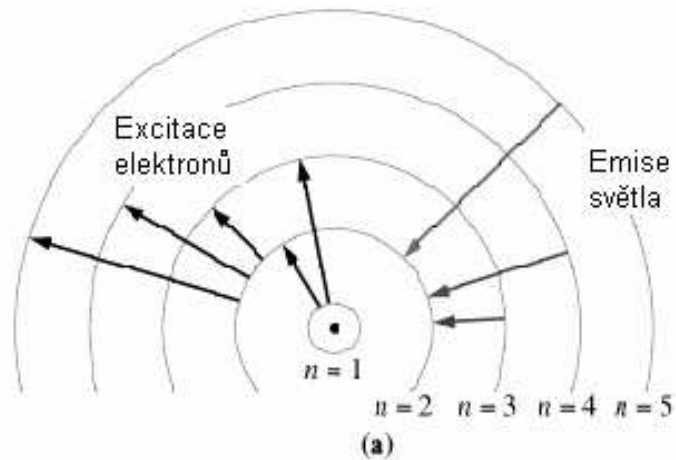
## Viditelné emisní spektrum vodíku.

Zpracováno dle:

<http://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch6/bohr.html>

Přechody mezi diskrétními energetickými stavy umožňují vyzařovat fotony pouze s určitými energiemi, tj. záření o určitých vlnových délkách

# Spektrum vodíku ještě jednou



modrofialová,  
modrozelená a  
červená čára

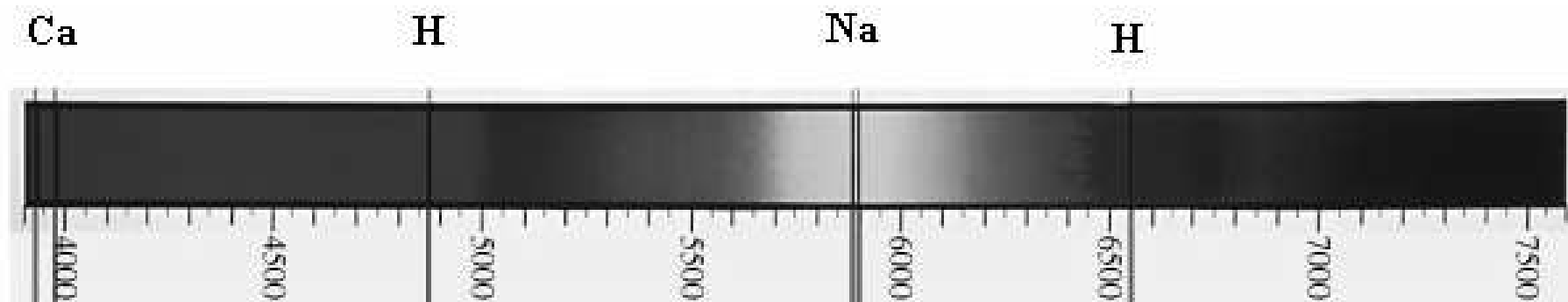
Upraveno dle -  
[http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/medialib/media\\_portfolio/text\\_images/CH07/FG07\\_19.JPG](http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/medialib/media_portfolio/text_images/CH07/FG07_19.JPG)

# Spektra - čárová absorpční

Absorpční čáry ve viditelném spektru slunečního záření.

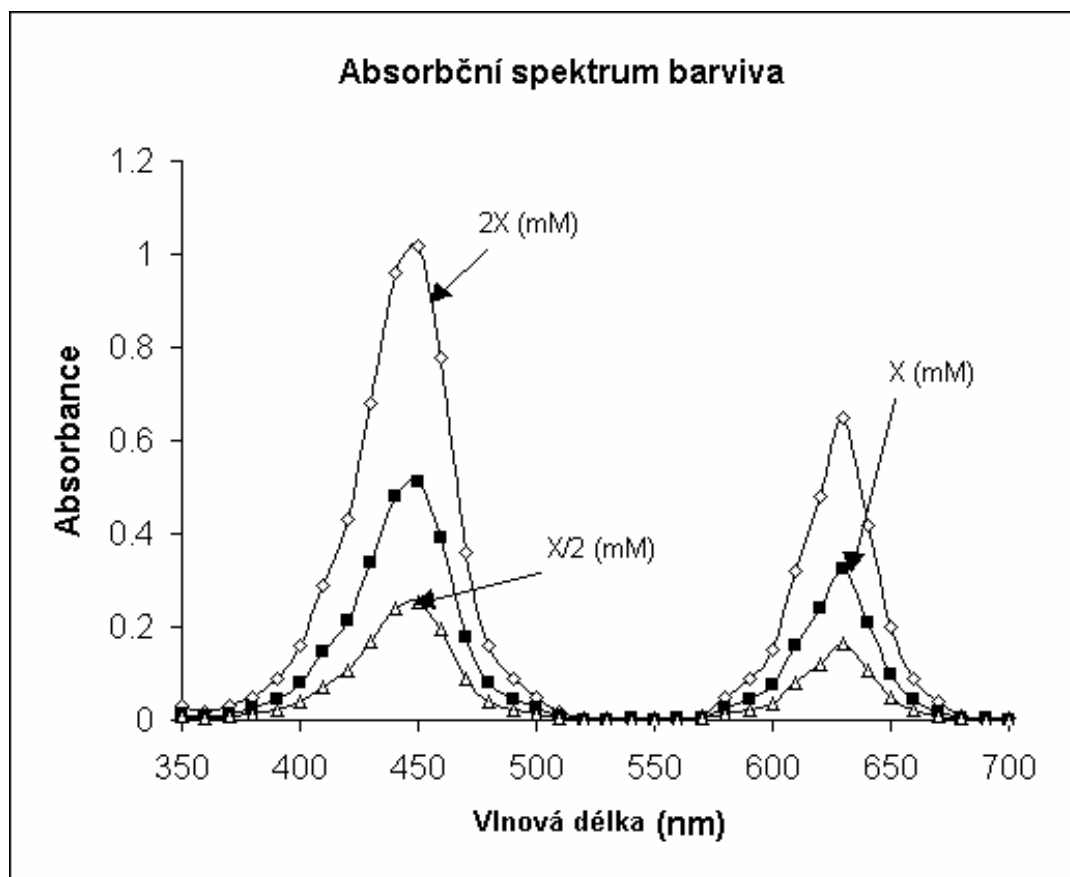
Vlnové délky udány v jednotkách angström ( $\text{\AA}$ ) = 0,1 nm

Zpracováno dle: [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!!

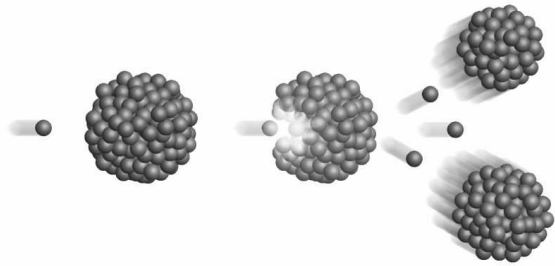
# Spektra - pásová absorpční



Pásově absorpční spektrum barviva „Z“.

Zpracováno dle: <http://www.biochem.usyd.edu.au/~gareth/BCHM2001/pracposters/dyeZ.htm>

# 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 jádra izotopu uhlíku C-12

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

Relativní hmotnost elektronu = 1

⇒ Relativní hmotnost protonu = 1836

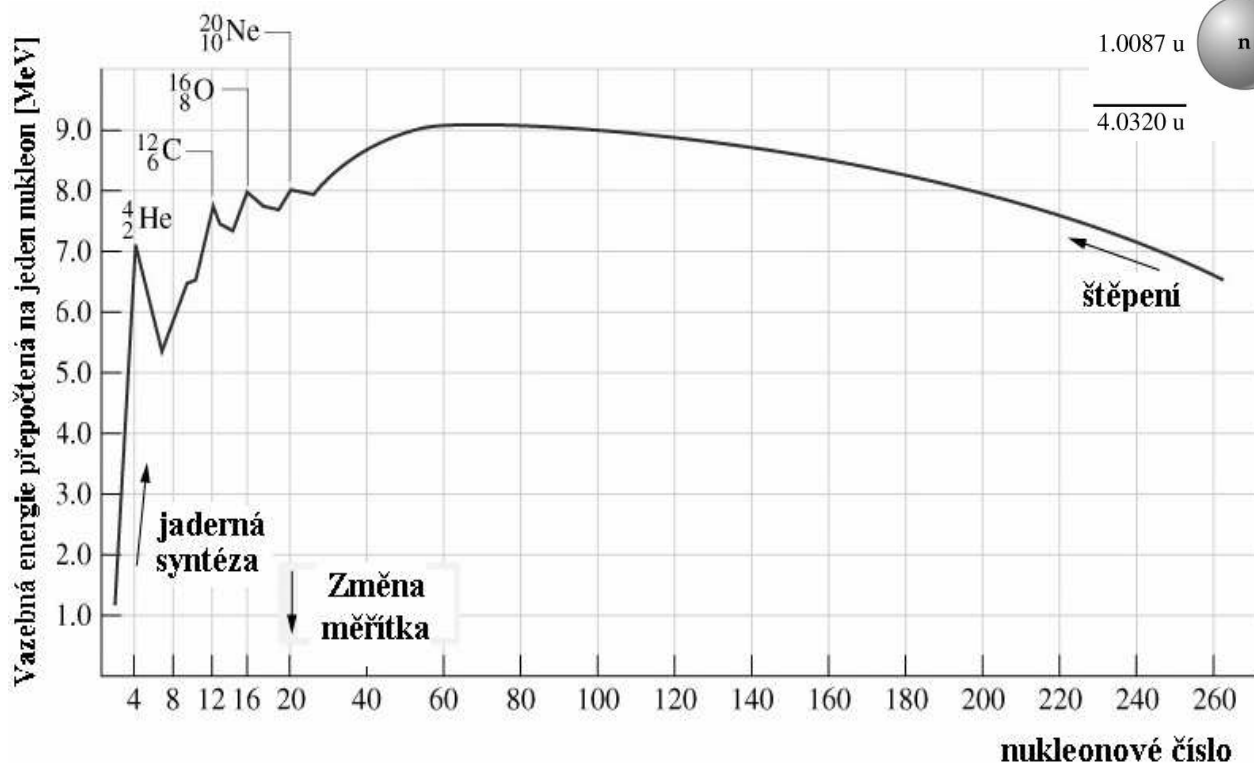
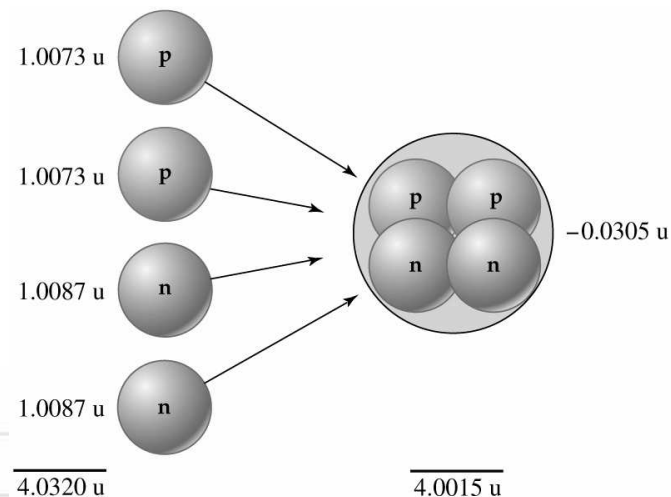
⇒ Relativní hmotnost neutronu = 1839



# Hmotnostní defekt jádra

= míra stability jádra:

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



•Zdroje:

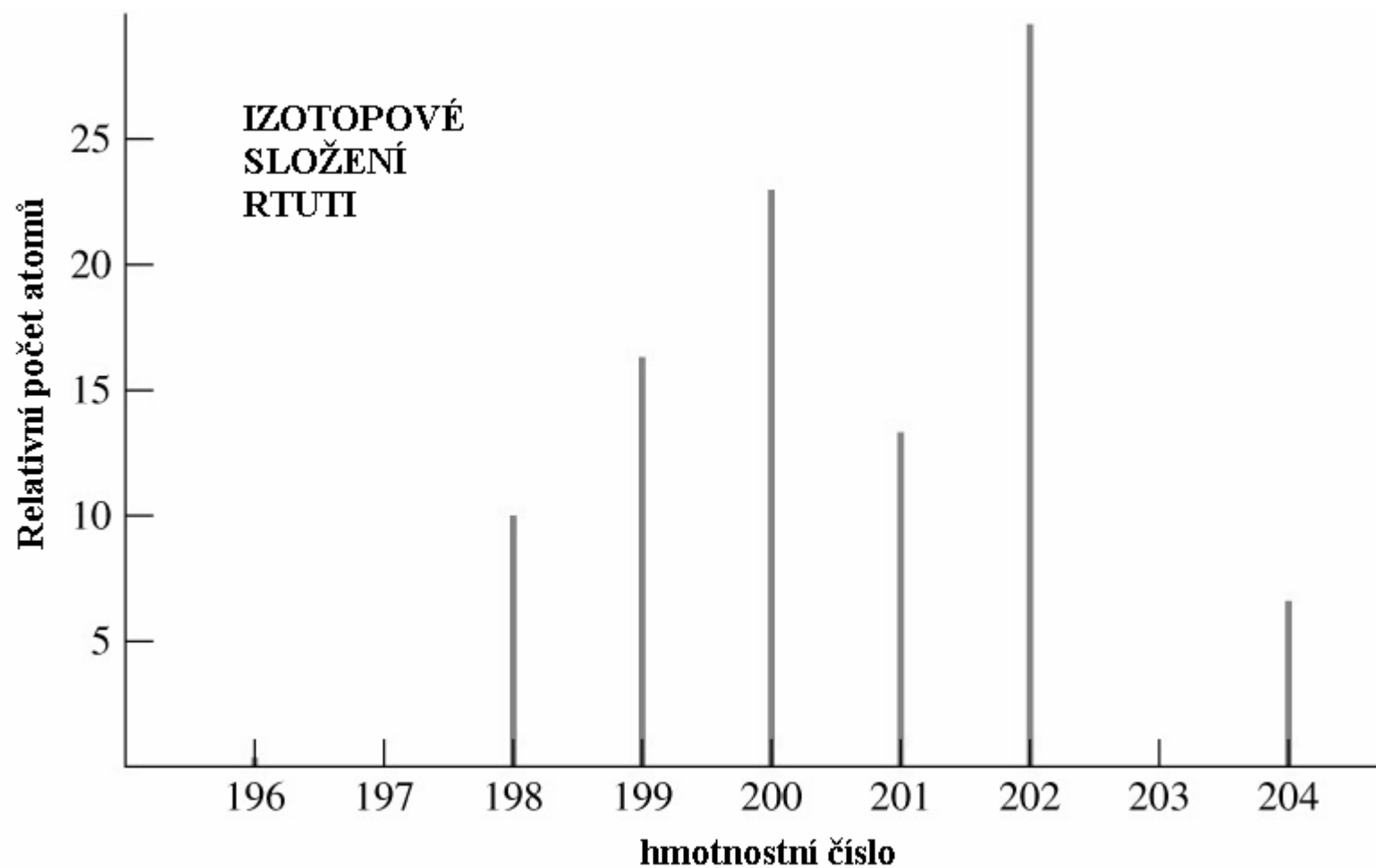
•[http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/medialib/media\\_portfolio/text\\_images/CH19/FG19\\_05.JPG](http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/medialib/media_portfolio/text_images/CH19/FG19_05.JPG)

•[http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/medialib/media\\_portfolio/text\\_images/CH19/FG19\\_06.JPG](http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/medialib/media_portfolio/text_images/CH19/FG19_06.JPG)

# Nuklidy

- Nuklid – látka tvořená atomy, jejich jádra mají stejné složení a energii
  - Izotopy – nuklidy, jejich jádra mají stejné  $Z$  a různé  $A$
  - Izobary – nuklidy, jejich jádra mají různé  $Z$  a stejné  $A$
  - Izomery – nuklidy, jejich jádra mají stejné  $Z$  a stejné  $A$ , avšak různé energie

# Izotopy rtuti



•Zpracováno dle:

[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 nutno znát ještě?

- Radionuklidy – nuklidy schopné radioaktivního rozpadu

- Jaderný spin:

Jádra mohou mít v důsledku vlastního momentu hybnosti magnetický moment (chovají se jako malé magnety).

U jader s lichým počtem nukleonů je výsledný magnetický moment a spin **nenulový** (možnost vzniku nukleární magnetické rezonance - NMR)

*Dobrou chut'*!

