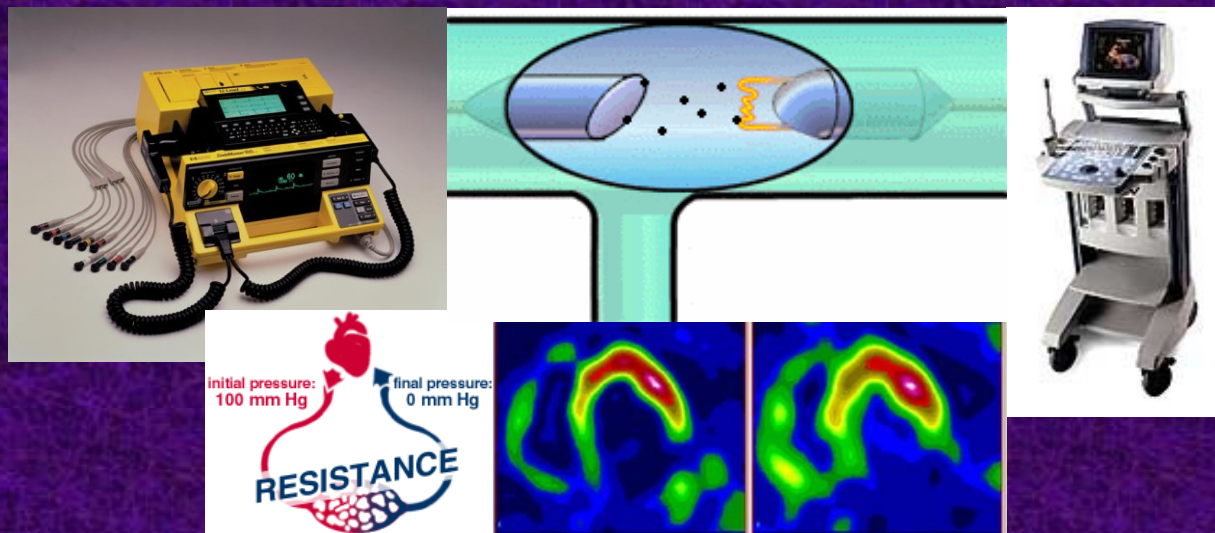


# Přednášky z bioenergetiky

pro obor: nutriční terapeut

Biofyzikální ústav LF MU (šk. rok: 2011 / 2012)



## Úvod

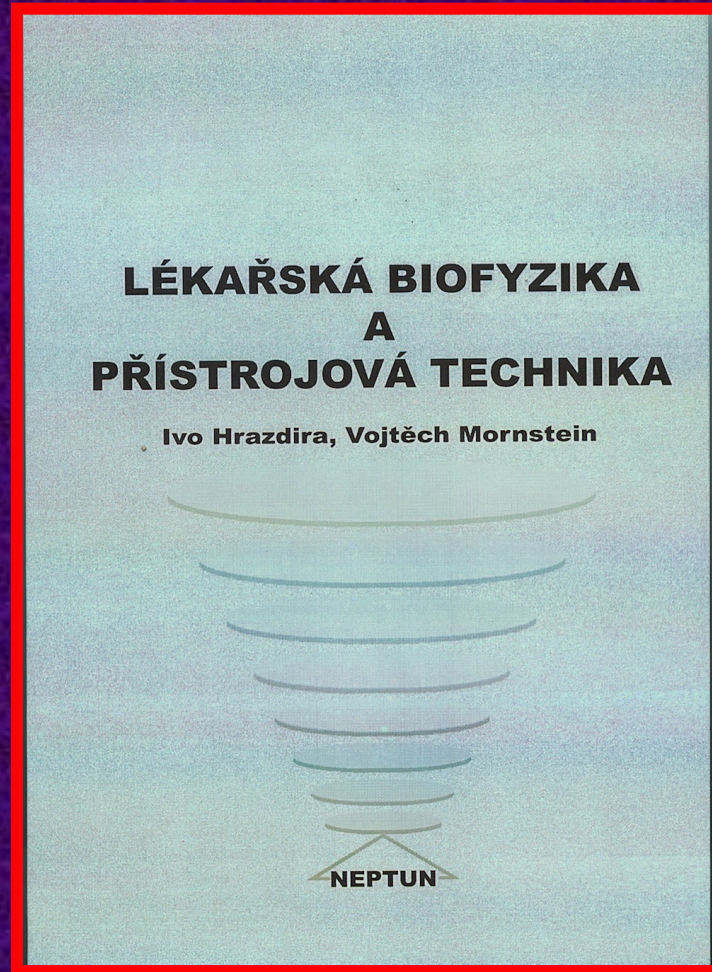
# Co je to biofyzika?

- *V lékařské biofyzice se zabýváme fyzikálními principy biomedicínských metod a přístrojů a jejich interakcemi s lidským tělem, které je činí užitečnými ve zdravotní péči, včetně otázek bezpečnosti pacientů i uživatelů a kvality zdravotní péče.*
- Popis fyzikálních procesů probíhajících v živém organismu a účinků fyzikálních faktorů na živé organismy považujeme za důležité východisko.

# Vazby

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

# Doporučená učebnice



Tato učebnice a všechny presentace přednášek poskytují informaci nutnou pro úspěch u zkoušky!!!

# Jak se učit?

- Hrazdira, Mornstein: Lékařská biofyzika a přístrojová technika, Neptun, Brno, 2001
- 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.



# Profil absolventa „ nutriční terapeut “

**Cíl studia oboru nutriční terapeut:** Připravit odborníky v oblasti klinické výživy, kteří budou schopni v praxi (ve zdravotnických, lázeňských i sociálních zařízeních) diagnostikovat a navrženým individuálním dietním režimem napravovat základní výživové problémy. Absolventi studijního oboru jsou připraveni k činnostem pro zajištění výživy v péči o zdraví, prevenci onemocnění i při zajištění stravování nemocných všech věkových skupin.

# Nutriční terapeut

- odborník na výživu (včetně výživy umělé) zdravých i nemocných osob, konzultant vhodné stravy s ohledem na zdravotní stav i věk.

# Bioenergetika

- Popisuje především procesy, které slouží k zabezpečování energie v živých systémech.
- Biofyzika / biochemie



# Metabolické děje:

- Metabolické děje:

**katabolické** - soubor rozkladných dějů, při nichž z látek složitějších vznikají látky jednodušší. Při těchto dějích se obvykle **uvolňuje energie**. Příkladem katabolického procesu je třeba buněčné dýchání.

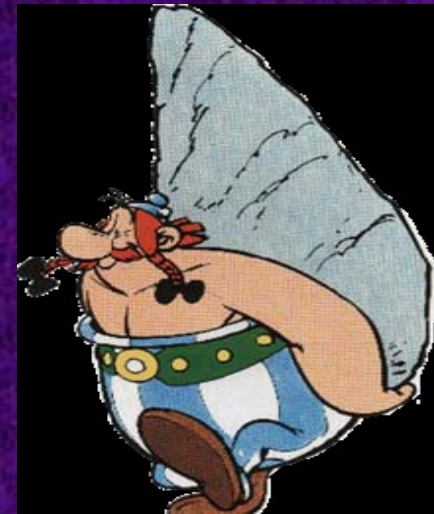
**Anabolické** - soubor syntetických reakcí (asimilačních), z látek jednodušších vznikají látky složitější (stavební a zásobní látky – bílkoviny), při těchto reakcích se **energie spotřebovává** (endergonické reakce). Anabolismus převažuje v buňce, která roste a rozmnožuje se.

zisk energie



synthesa látek

Vzájemná koordinace a regulace



# Dělení organismůz hlediska výživy

*(trofika, trofé = výživa)*

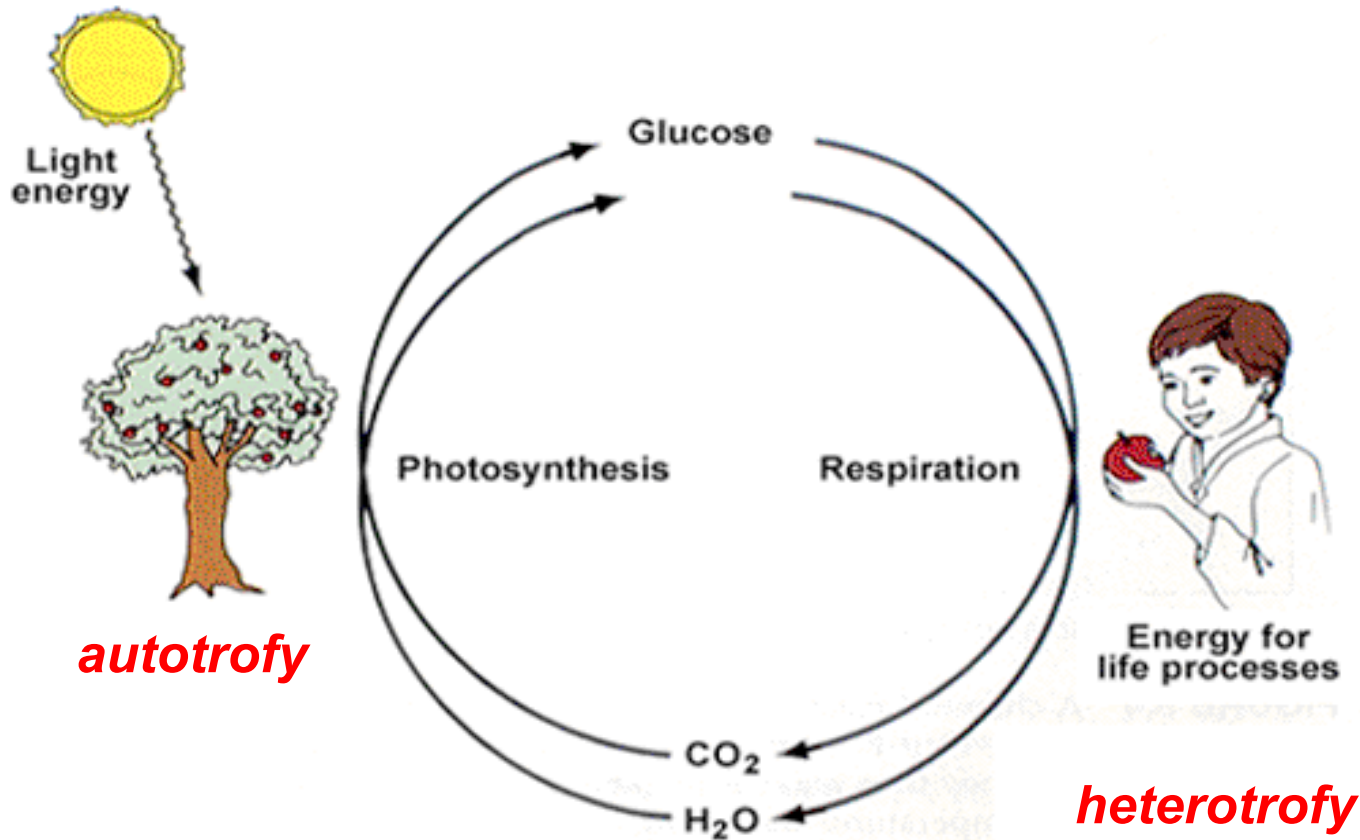
## Zdroj energie:

- Světelné záření → **fototrofy**
- Chemické reakce → **chemotrofy** ( **hetero** – organ.látky a **autotrofní**- oxid uhličitý)



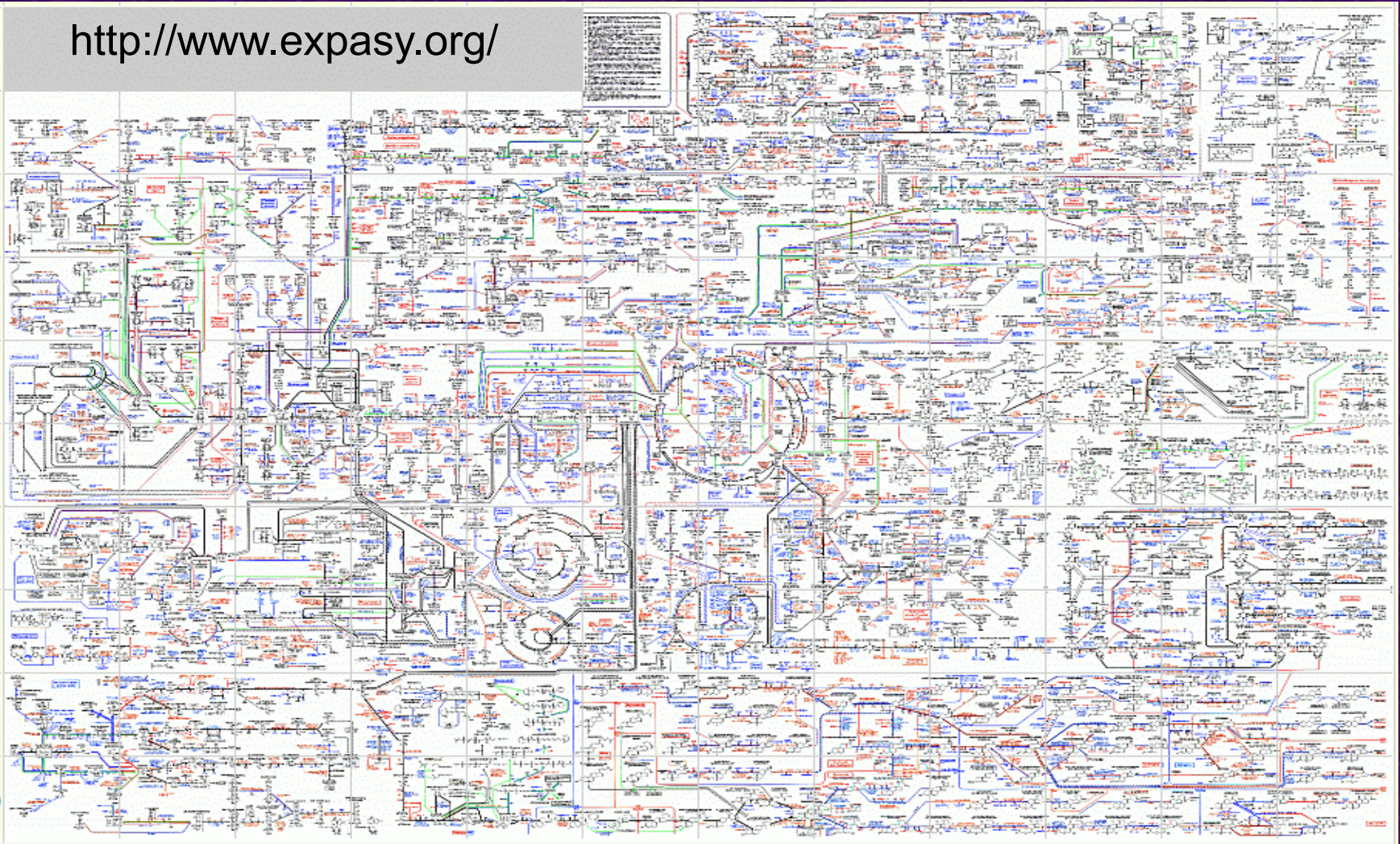
Aerobní - proces nebo prostředí, ve kterém je dostatečné množství molekulárního kyslíku (O<sub>2</sub>)  
anaerobní - proces nebo prostředí, kde není přítomen vzdušný kyslík.

# Základní koncept metabolismu a bioenergetiky



# Hlavní metabolické dráhy

<http://www.expasy.org/>



# Na co se pak energie použije?

- Ⓜ chemická práce
- Ⓜ mechanická práce
- Ⓜ elektroosmotická práce
- Ⓜ informační a regulační práce
- Ⓜ světelná energie
- Ⓜ tepelná energie

# Energie, práce a výkon

## Energie a práce:

$$1 \text{ J} = 10^7 \text{ erg} = 0,239 \text{ cal} = 1 \text{ W}\cdot\text{s}$$

$$1 \text{ kW}\cdot\text{h} = 3\,600\,000 \text{ J}$$

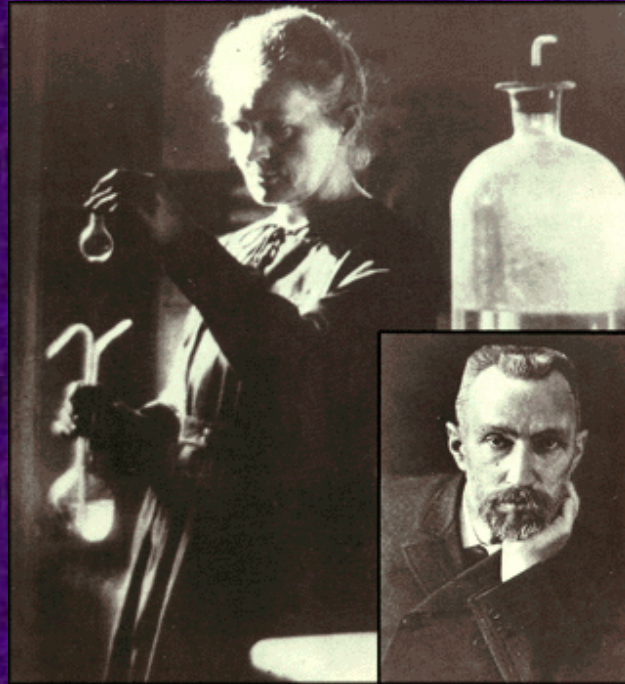
$$1 \text{ cal} = 4,19 \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

## Výkon:

$$(\text{práce za čas}) 1 \text{ W} = 1 \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$1 \text{ ks} = 746 \text{ W}$$



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

# Struktura hmoty a ionizující záření

# Látka a pole

- Základní stavební elementy organického a anorganického světa jsou **identické (stejně fyz. zákony)**.
- 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)



# Látka a pole

- **Látka** – tvořena elementárními částicemi s klidovou hmotností, atomy, molekulami a složitějšími strukturami.
- **Pole** – zprostředkovávají vzájemné silové působení částic látky.

Vzájemné působení mezi částicemi látky je umožněno:

***4 základními fyzikálními interakcemi***

# 4 základní interakce

*Vzájemné působení mezi částicemi látky je umožněno fyzikálními interakcemi:*

- **slabé** (na úrovni atomového jádra - přeměna neutronu a protonu za účasti neutrin,  $\beta$ -rozpad)
- **silné** (celistvost jádra) atom. jádra, element. částice
- **elektromagnetické** mezi částicemi s el. nábojem (přit.a odpud.síla) dle Coulombova zákona  $F = k \cdot (Q_1 \cdot Q_2) / R^2$
- **gravitační** – Newtonovy gravitační zákony (makroskop., → kosmická tělesa)

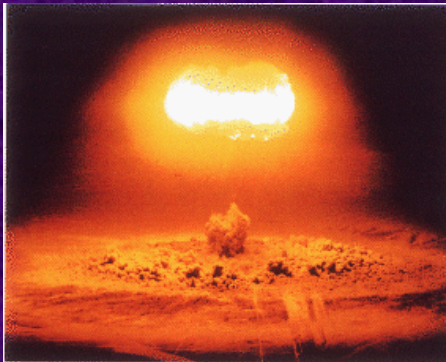
# Čtyři základní fyzikální interakce



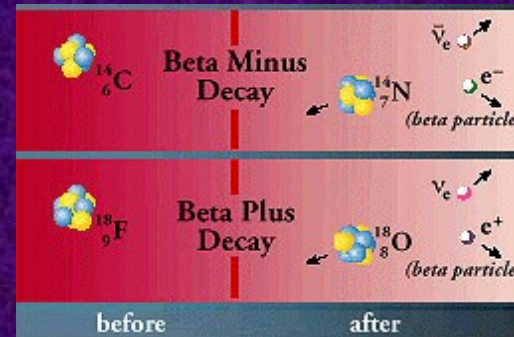
•gravitační



•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)

Velký silový nepoměr.

# Základní částice hmoty

Nelze již rozložit na jednodušší objekty!

Dělení: dle klidové hmotnosti, spinu, ....

- **Fotony** (0,1)
- **Leptony** (neutrino, elektrony, miony – 0, 1/2)
- **Mezony** (piony, kaony - větší, 0)
- **Baryony** (nukleony: protony, neutrony – rel. velká, 1/2), .... hyperony – 3/2

**Hadrony** (mezony + baryony)

Kvarky (6 - u, c, t, d, s, b) např. proton: uud, neutron: ddu

**Gluony** – uskutečňují vzájemné silové působení mezi kvarky

**Bosony** – spin = 0 nebo celé číslo, **fermiony** – neceločís. spin

# Kvantové vlastnosti částic

Fyzikální veličiny popisující stavy a děje  
**v mikrosvětě** (změny nespojitě, skokem)  
– **kvantové**.

**V makrosvětě** – spojité přechody mezi různými  
hodnotami fyz. veličin.

**Vlastnosti částic mikrosvěta – částicově  
vlnový dualismus**

**Např. foton - vlnové vlastnosti (optika –  
Huygensův princip)**  
- **částice (fotoelektrický jev)**

# 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  
 $\lambda$  vlnová délka
- Foton má hybnost!
- Pro částice s klidovou hmotností (elektron) odvodil de Broglie vlnovou délku tzv. hmotnostních vln:

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

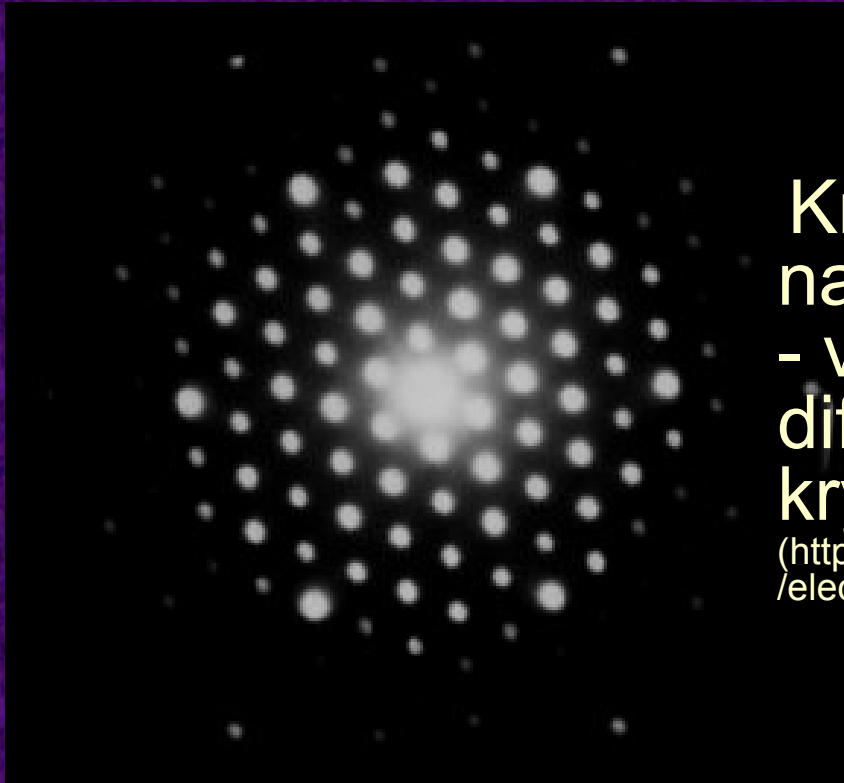
# Důkaz existence hybnosti fotonů – ohon komety

(prachové částice jsou působením proudu fotonů uváděny do pohybu směrem od Slunce)



# Dualismus částice-vlna

## difrakce elektronů



Krystalogram - obraz  
na fotografické desce  
- vzniká v důsledku  
difrakce elektronů na  
krystalové mřížce.

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



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

$$\begin{aligned}\delta r \cdot \delta p &\geq h/2\pi \\ \delta E \cdot \delta t &\geq h/2\pi\end{aligned}$$

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.

Diracova konstanta:  $h/2\pi$

Tunelový efekt:

Kvantová teleportace: fotony vznikající při anihilaci částic a antičástic – spojeny (teleportace info)

# Význam vlnové funkce

Schrödingerova rovnice – řešení tzv. **vlnová funkce**  
( $\Psi^2 = \psi^2$ )

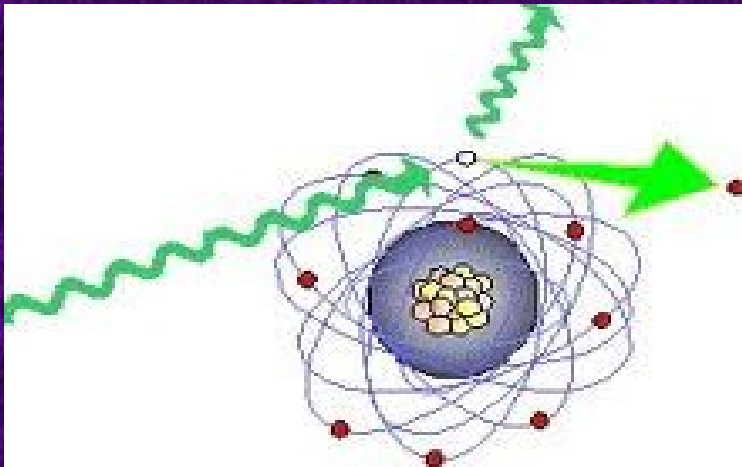
- Absolutní hodnota druhé mocniny vlnové funkce  $|\Psi^2|$  má význam **hustoty pravděpodobnosti výskytu částice** v daném místě prostoru.
- Schrödingerova rovnice však má řešení jen pro některé hodnoty číselných koeficientů určujících možné hodnoty energie a prostorové lokalizace elektronů.
- Tyto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

# Kvantová čísla

- **Hlavní (celková energie elektronu)**  
 $n = 1, 2, 3 \dots$  (energetická hladina, slupka - K, L, M, ....)
- **Vedlejší (orbitální) pro každé  $n$**   $l = 0, 1, 2, \dots$   
 $n - 1$  (s, p, d, f, g, h)
- **Magnetické pro každé  $l$**   $m = 0, 1, 2, \dots, l$   
(orientace orbitu v prostoru)
- **Spinové pro každé  $m$**   $s = 1/2$
- **Pauliho princip výlučnosti** – v jednom elektronovém obalu atomu se nemohou vyskytovat dva elektrony popsané stejnými kvantovými čísly

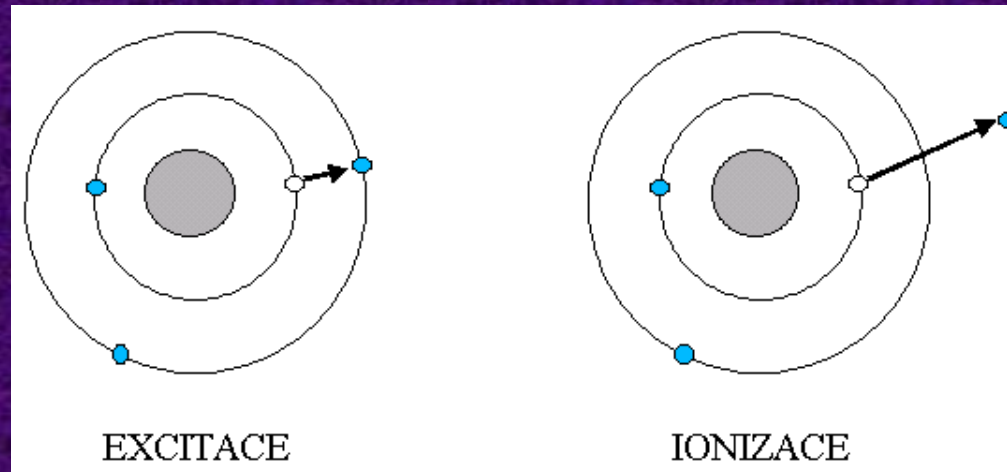
# Excitace a ionizace atomů

- **Základní energetický stav** atomů – minimální hodnota energie  $e^-$
- **Excitovaný energetický stav** – 1a více  $e^-$  jsou na vyšší energetické hladině
- **Ionizace** -  $e^-$  zcela mimo oblast působení elektrostatického pole atomového jádra



# Excitace a ionizace atomů

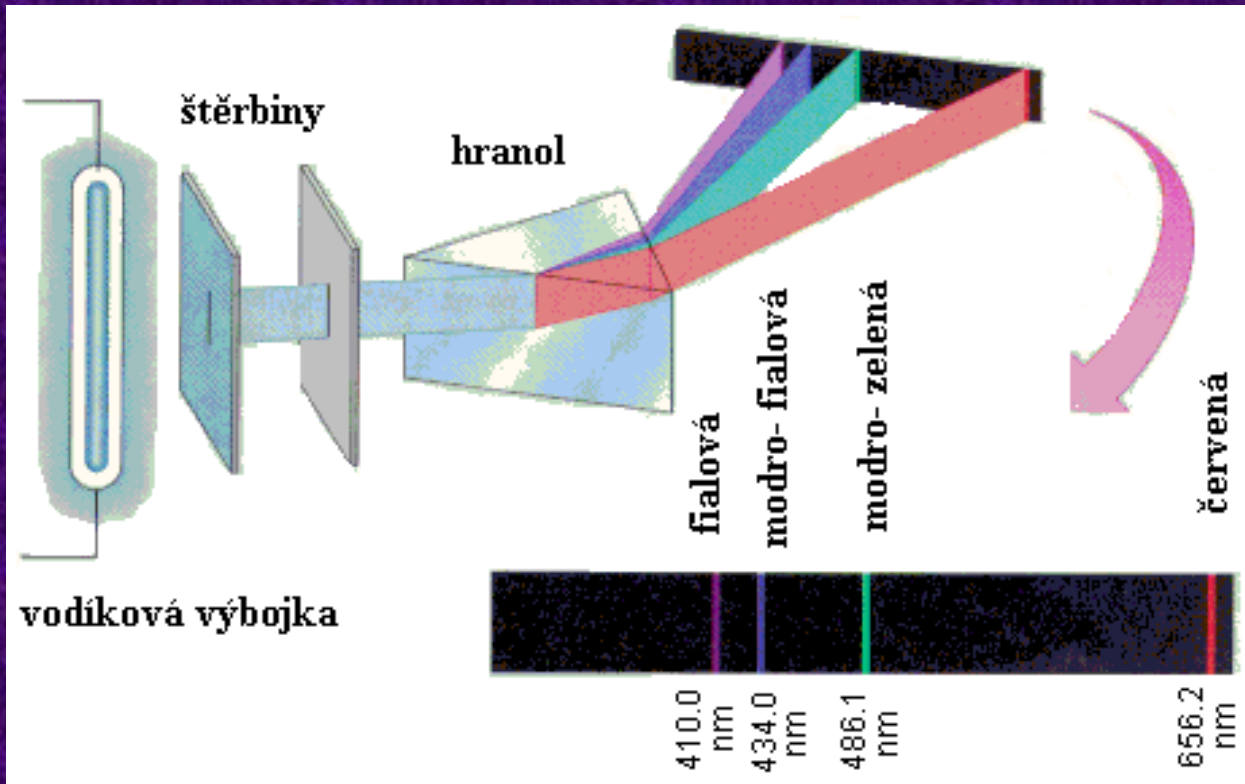
- Energie vazby – ionizační, výstupní práce (elektronu)  $E_V$  – závisí především na hlavním kvantovém čísle



# Vazebná energie

- Atomy → excitace, ionizace ( $10^{-8} - 10^{-5}$  s)
- Metastabilní stav (stav s vyšší pravděpodobností) → (min.až hod.)
- Vazebná energie (ionizační energie, výstupní práce) - energie potřebná k ionizaci atomu.

# Spektra - emisní



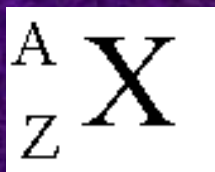
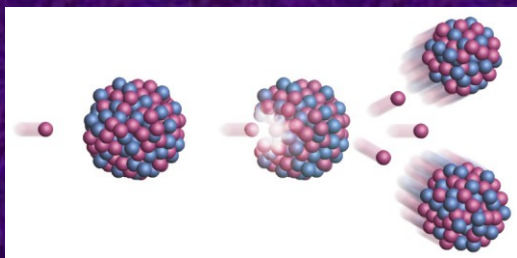
Viditelné  
emisní  
spektrum  
vodíku.

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

# 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
- **Nuklid** – látka tvořená atomy, jejichž jádra mají stejné složení a energii
  - **Izotopy** – nuklidy, jejichž jádra mají stejné  $Z$  a různé  $A$
  - **Izobary** – nuklidy, jejichž jádra mají různé  $Z$  a stejné  $A$
  - **Izomery** – nuklidy, jejich jádra mají stejné  $Z$  a stejné  $A$ , avšak různé energie
  - **Radionuklidy** – nuklidy schopné radioaktivního rozpadu



# Zákon radioaktivního rozpadu (přeměny)

Rychlost radioaktivního rozpadu radionuklidu je úměrná celkovému počtu nerozpadlých jader v daném okamžiku ve vzorku:

$$-\frac{dN}{dt} = N \cdot \lambda$$

•  $dN$  je počet jader rozpadlých během času  $dt$ ,  $dN/dt$  je rychlost rozpadu,  $\lambda$  je rozpadová (dezintegrační, přeměnová) konstanta. Znaménko „-“ vyjadřuje, že dochází k úbytku jader.  $N$  je skutečný počet jader na počátku časového úseku  $dt$ . Rovnici řešíme integrací:  $N$  se mění od  $N_0$  do  $N_t$  a  $t$  se mění od nuly do  $t$ :

$$\bullet N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

• **aktivita** – počet rozpadů za 1 s ve vzorku.

• **becquerel (Bq) [s<sup>-1</sup>]**

• curie (Ci, aktivita 1 g radia): 1 Ci = 3,7.10<sup>10</sup> Bq

# Poločas rozpadu

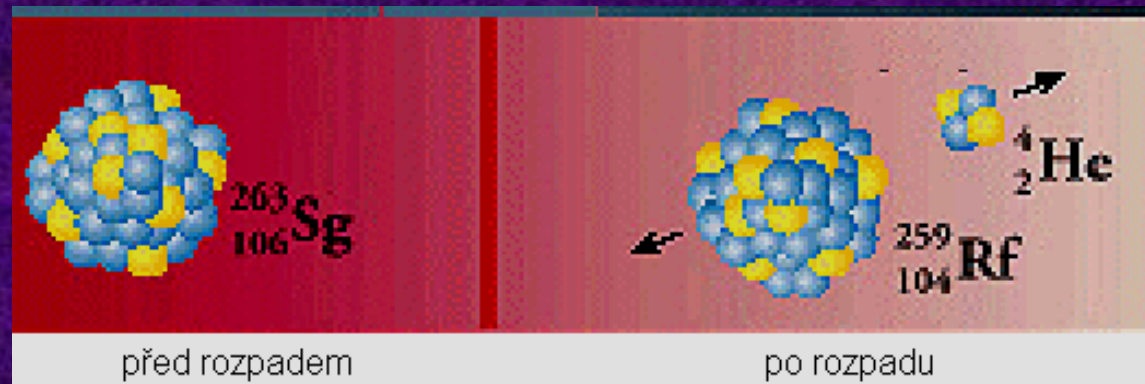
- $T_f$  – fyzikální poločas rozpadu (radioaktivní přeměny) čas potřebný k poklesu radioaktivity vzorku na polovinu výchozí hodnoty:

$$T_f = \ln 2 / \lambda_f \quad \text{tedy} \quad T_f = 0,693 / \lambda_f$$

- $T_b$  – biologický poločas – doba potřebná pro odstranění poloviny nějaké látky z těla
- $\lambda_b$  – poměrná rychlost vylučování látky (biologická „rozpadová“ konstanta)
- Biologický a fyzikální proces sloučíme:
- $T_{ef}$  – efektivní poločas
- $\lambda_{ef}$  – efektivní rozpadová konstanta
- Platí:  $\lambda_{ef} = \lambda_b + \lambda_f$  a  $1/T_{ef} = 1/T_f + 1/T_b$

# Druhy radioaktivního rozpadu (přeměny)

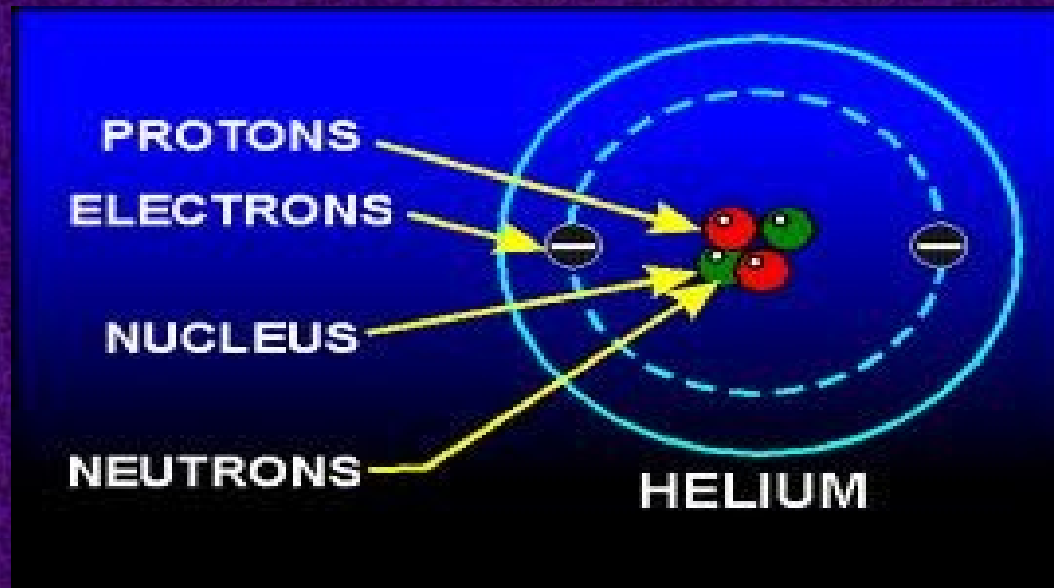
- Rozpad  $\alpha$  (alfa)



- Seaborgium se přeměňuje na rutherfordium a uvolňuje se heliové jádro – částice  $\alpha$  (<http://www2.slac.stanford.edu/vvc/theory/nuclearstability.html>)

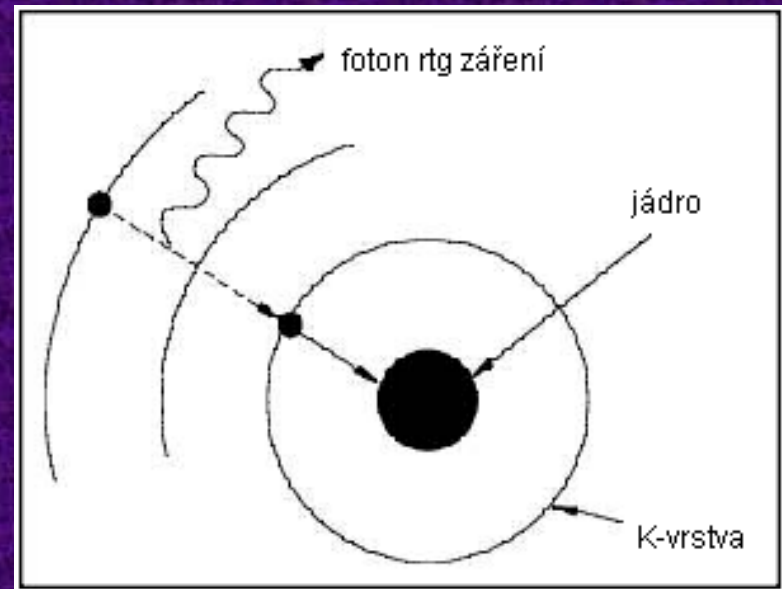
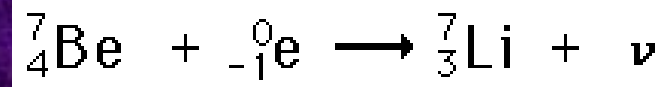
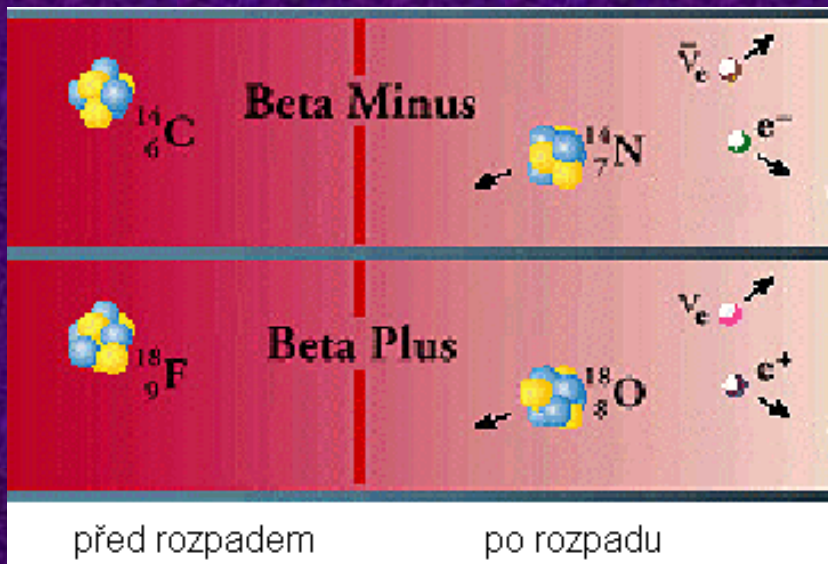
# Rozpad (alfa)

- Jádra (He) s nukleonovým číslem větším než 150



# Druhy radioaktivního rozpadu (přeměny)

B rozpad je izobarická transmutace, při které vznikají vedle  $\beta$  částic i neutrino (elektronové antineutrino  $\bar{\nu}_e$  a elektronové neutrino  $\nu_e$ )



Rozpad  $\beta$  (beta), vyzáření  
elektronu nebo pozitronu

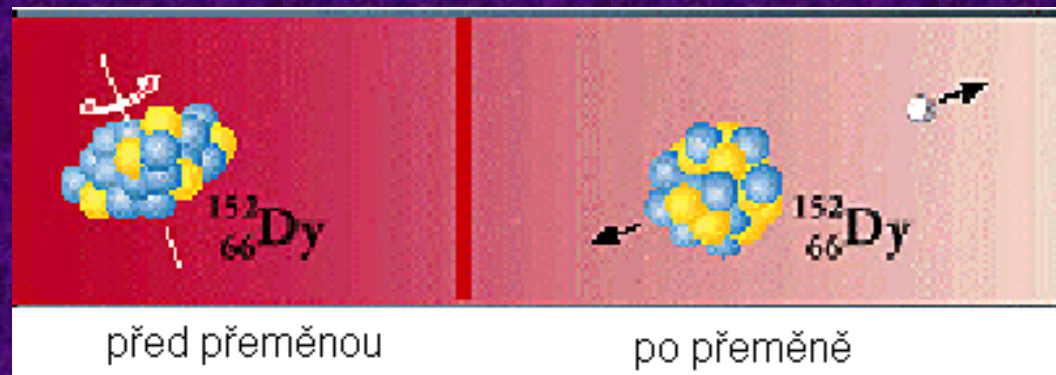
K - záchyt

# $\beta$ rozpad

- Vyzáření elektronu  $\rightarrow \beta^-$
- Vyzáření pozitronu  $\rightarrow \beta^+$
- Záchyt elektronu

# Druhy radioaktivního rozpadu (přeměny)

- Rozpad  $\gamma$  (gama)



Přeměna dysprosia v metastabilním stavu

# Rozpad $\gamma$ (gama)

Z jádra atomu je vyzářeno

elektromagnetické záření – foton  $\gamma$

- nadbytek jaderné energie (různý původ)
- vnitřní konverze záření – Augerovy elektrony (analogie fotoelektrického jevu)

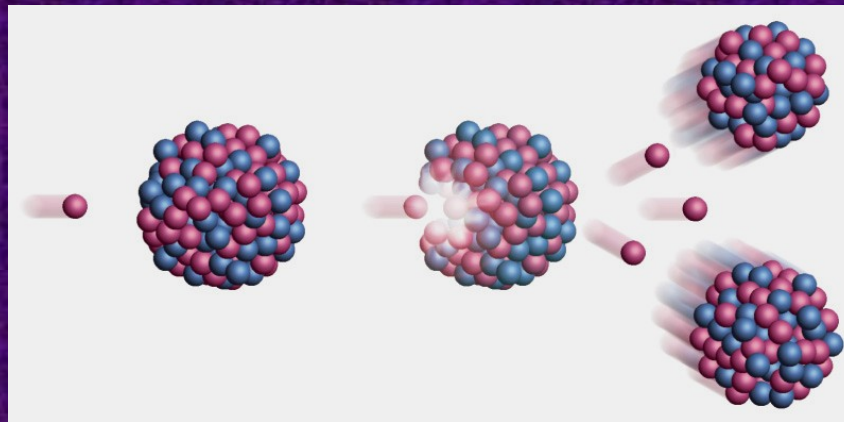
→ emise charakteristického RTG záření!





# Druhy radioaktivního rozpadu (přeměny)

- Jiné druhy radioaktivního rozpadu:
- Emise protonu, deuteronu, neutronu ...
- Štěpení těžkých jader



# Interakce ionizujícího záření s hmotou

- Důsledkem interakce záření s hmotou je zpravidla vznik **sekundárního záření**, které se od primárního liší energií a často i druhem částic.
- Primární i sekundární záření přímo nebo nepřímo **ionizuje** prostředí a vytváří i **volné radikály**.
- Část energie záření se vždy přeměňuje v **teplo**.
- Úbytek energie primárního záření popisujeme pomocí **lineárního přenosu energie** (LET, *linear energy transfer*), který vyjadřuje ztrátu energie částice v daném prostředí na jednotkové délce její dráhy.

# Útlum záření

Svazek ionizujícího záření prochází látkou:

absorpce + rozptyl = útlum

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

$I$  je intenzita záření prošlého vrstvou tloušťky  $x$ ,  $I_0$  je intenzita dopadajícího záření,  $\mu$  je lineární koeficient útlumu [ $\text{m}^{-1}$ ] závislý na druhu záření, interagující látce i na její hustotě.

# Interakce záření rtg a gama - fotoelektrický jev (FJ)

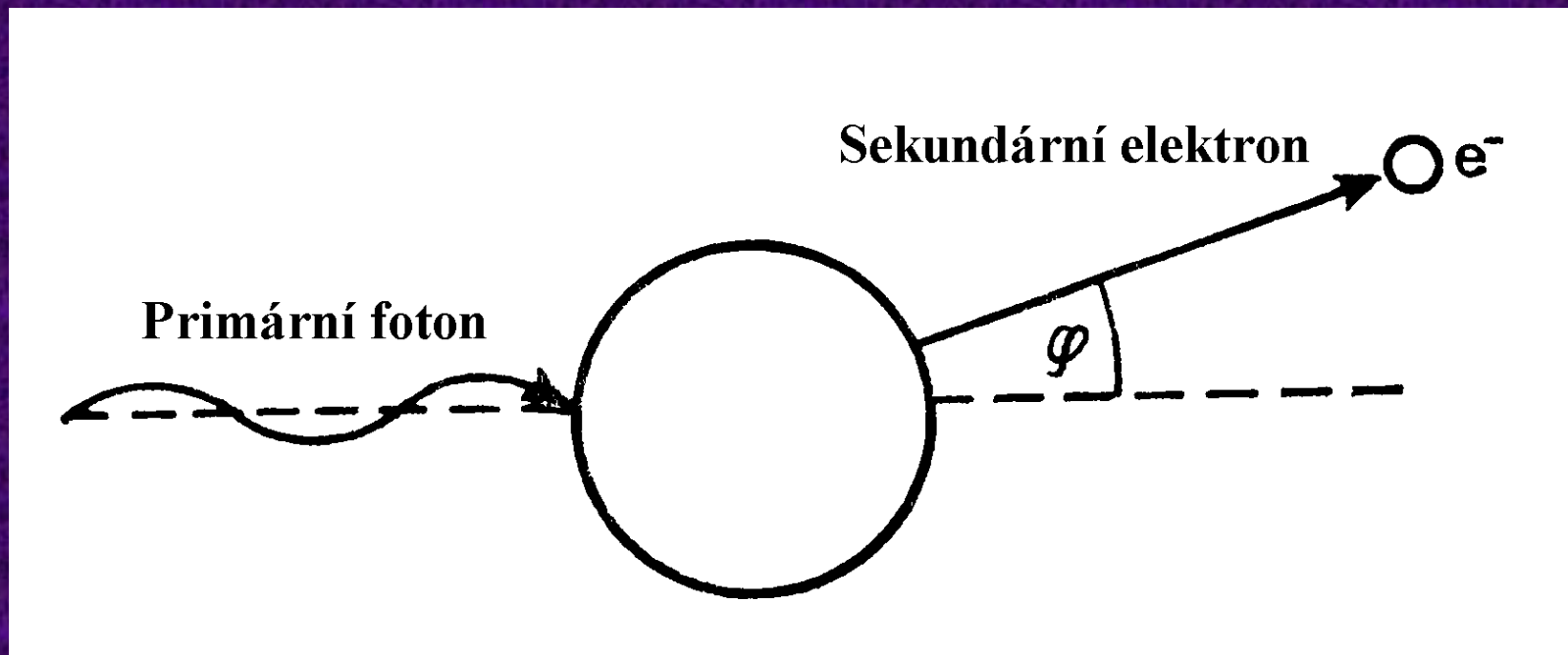
- Foton zaniká a vyráží elektron z některé vrstvy obalu atomu - typicky K. Energie fotonu  $h.f$  je nutná pro přeměnu ve **výstupní práci** elektronu (= energii nutnou pro přemístění elektronu z dané vrstvy do „nekonečna“) a v jeho **kinetickou energii** ( $1/2m.v^2$ ). Platí **Einsteinova rovnice pro fotoelektrický jev**:

$$h.f = W + 1/2m.v^2,$$

$W$  je výstupní práce (vazebná energie) elektronu.

- Hmotnostní koeficient útlumu závisí na energii dopadajících fotonů. Uvolněná místa ve vrstvách musí být rychle zaplněna jinými elektrony. Atomu však nadále chybí elektron, je ionizován. Vzniká sekundární **charakteristické rentgenové záření**, interagující s elektronovými obaly jiných atomů - opět dochází k FJ a energie sekundárních fotonů přitom klesá.
- K FJ dochází především při nižších energiích fotonů rtg záření 50 - 500 keV, v závislosti na protonovém čísle atomů prostředí.

# Fotoelektrický jev



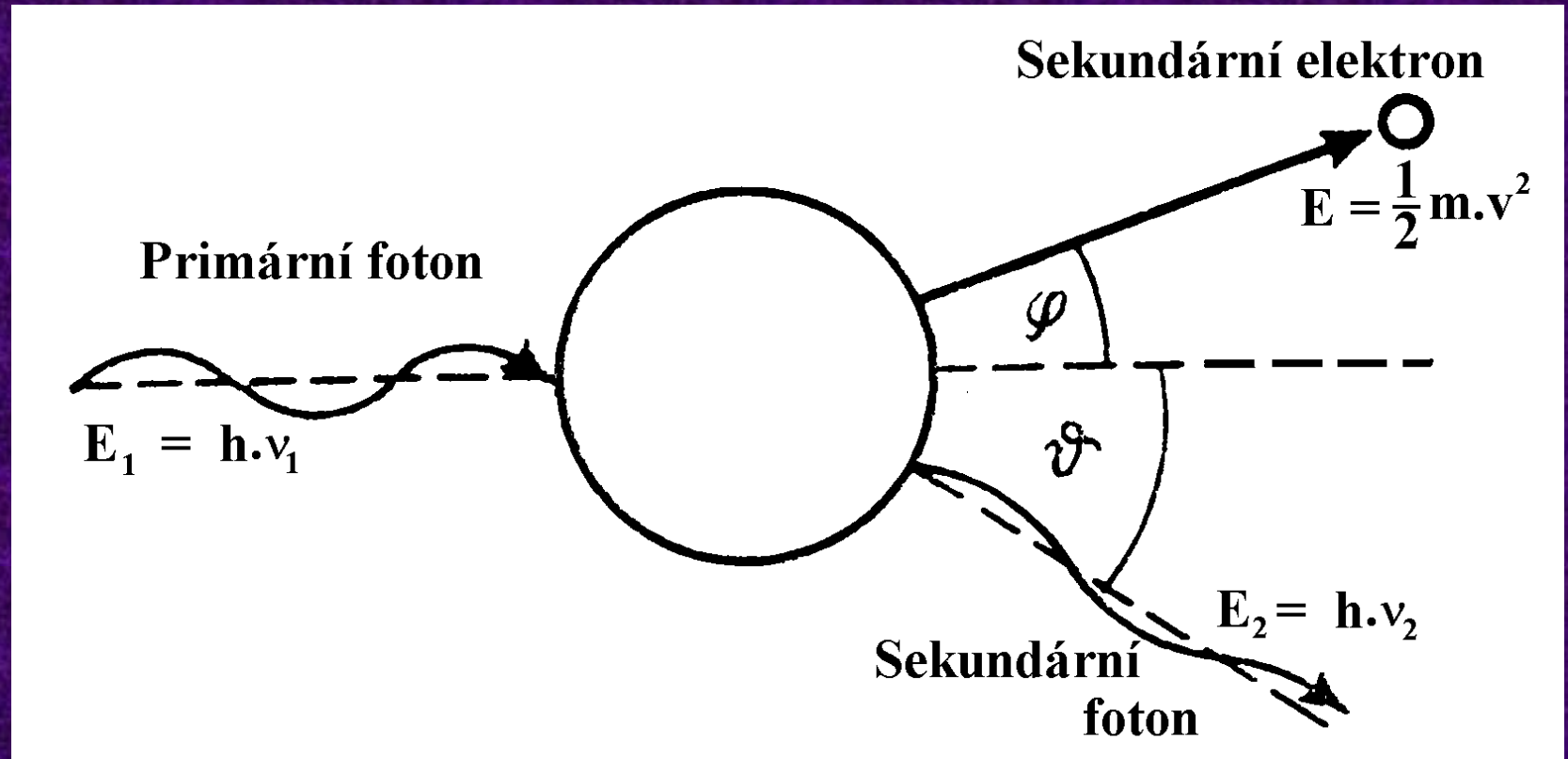
# Interakce záření rtg a gama – Comptonův rozptyl (CR)

- Při vyšších energiích fotonů je vazebná energie elektronů  $W$  zanedbatelná ve srovnání s energií fotonu. Energie fotonu není zcela absorbována - vzniká foton o nižší energii. Můžeme napsat:

$$h.f_1 = (W) + h.f_2 + 1/2m.v^2,$$

- kde  $f_1$  je frekvence dopadajícího fotonu a  $f_2$  je frekvence fotonu rozptýleného. CR převažuje při energiích fotonů 0.5 - 5 MeV.

# Comptonův rozptyl



# Interakce záření rtg a gama – tvorba elektron pozitronových párů (TP)

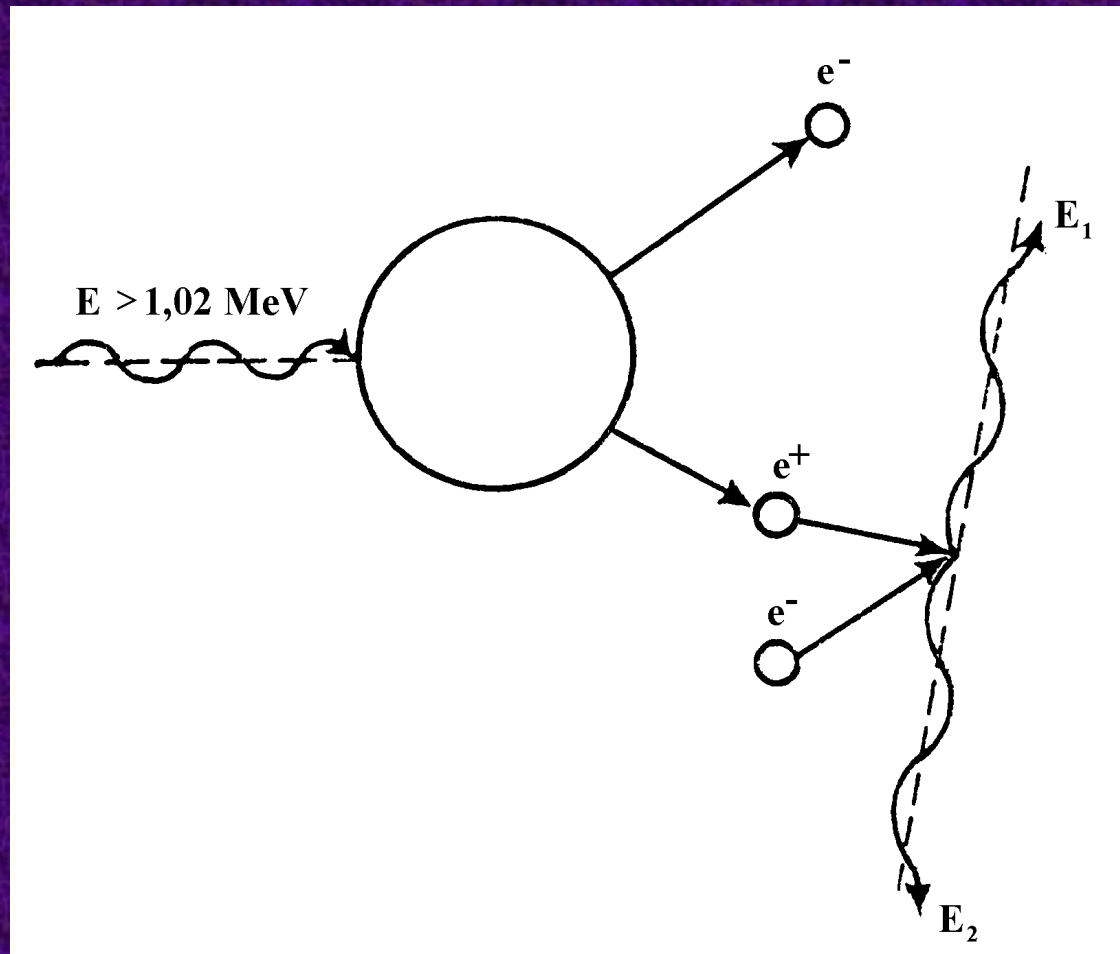
- Energie fotonu se přeměňuje do hmotnosti a kinetické energie elektronu a pozitronu v blízkosti těžkých atomových jader. Energie  $E$  „ukrytá“ v každé částici je dána:

$$E = m \cdot c^2,$$

- $m$  je hmotnost částice,  $c$  je rychlost světla ve vakuu. Hmotnosti elektronu a pozitronu jsou shodné. Energie interagujícího fotonu musí být větší než energie dle výše uvedeného vzorce. Minimální energie fotonu potřebná pro TP je 1.02 MeV. Pravděpodobnost TP je vysoká jen při energiích podstatně vyšších.
- Pozitron rychle interaguje (anihiluje) s libovolným elektronem v blízkosti, vznikají dva „nové“ fotony, každý o energii 0,51 MeV.



# Tvorba elektron pozitronových párů



# Interakce částicového jaderného záření

- **Záření  $\beta$**  – tj. rychlé elektrony nebo pozitrony, ionizují prostředí jako při vzniku brzdného a charakteristického rtg záření. Po vyražení elektronu se atom stává kladně nabitým. Elektron z vrstvy K může být zachycen jádrem, které následně emituje charakteristické rtg záření. Přebytková energie jádra je vyzářena jako záření  $\gamma$ . Dráha částice  $\beta$  měří ve vodném prostředí řádově několik milimetrů.
- **Záření  $\alpha$**  ionizuje přímo nárazem. Podél velmi krátké dráhy látkou ( $\mu\text{m}$ ) se tvoří velké množství iontů - proto ztrácí velmi rychle energii a jeho dráha je krátká.
- **Neutrony** ionizují pružnými a nepružnými nárazy do atomového jádra. Výsledek **pružného nárazu** se liší dle poměru hmotnosti neutronu a atomového jádra. Pokud zasáhne **rychlý neutron** jádro těžkého prvku, je odražen téměř bez ztráty energie. Srážky s lehkými jádry vedou k velkým ztrátám energie.  
Při **nepružném nárazu** pronikají **pomalé (moderované, tepelné) neutrony** do jádra, a pokud jsou z něho opět emitovány, nemají stejnou energii jako neutrony dopadající. Mohou vyvolat i emisi jiné částice nebo štěpení těžkých jader.

# Jednotky charakterizující ionizující záření

- Energie částic je velmi malá ve srovnání s joulem (J). Proto zaveden **elektronvolt** (eV). 1 eV je kinetická energie elektronu urychleného z klidu elektrostatickým polem o potenciálovém rozdílu 1 volt.

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

- Energii předanou prostředím vyjadřujeme pomocí **absorbované dávky (D)** - jednotka **gray (Gy)**. Je to střední množství energie odevzdané prostředí o určité hmotnosti, dělené touto hmotností. Gray = 1 J předaný 1 kg látky [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ].
- Dříve: **rad (rad)** (*radiation absorbed dose*).

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

- **Dávková rychlost** vyjadřuje absorbovanou dávku vztaženou na jednotkový časový interval [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ]. Tatáž absorbovaná dávka může být dosažena při různých dávkových rychlostech.

# Jednotky používané pro hodnocení ionizujícího záření

- Rtg záření nebo záření  $\gamma$ , které prochází **vzduchem**, můžeme kvantifikovat pomocí **expozice** (ozáření): V jednotlivém místě svazku záření je dána poměrem  $q/m$ , kde  $q$  je celkový záporný (nebo kladný) náboj vytvořený v malém objemu vzduchu o hmotnosti  $m$ . Jednotkou expozice je **coulomb na kilogram ( $C \cdot kg^{-1}$ )**. Expozice se někdy označuje jako absorbovaná dávka ve vzduchu. Od ní je odvozena míra intenzity rtg či  $\gamma$ -záření, zahrnující časový faktor - **expoziční rychlost** - definovaná jako **coulomb na kilogram za sekundu ( $C \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ )**.

# Jednotky charakterizující ionizující záření

- Stupeň poškození biologických objektů zářením závisí především na absorbované dávce, zatímco dávková rychlost určuje dobu, za kterou k poškození dojde.
- **Dávkový ekvivalent  $D_e$**  vyjadřuje relativní biologickou účinnost záření. Je dán součinem dávky záření a faktoru jakosti (QF) - dohodnutého faktoru odvozeného od LET ve vodě. QF slouží k posouzení rizikovosti jednotlivých druhů záření pro člověka. Dávkový ekvivalent má rozměr  $J.kg^{-1}$ . Jednotkou je **sievert (Sv)**.

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

# Faktor kvality

Druh záření	hustota střední ionizace [iont. párů/mm]	Lineární přenos energie [keV/mm]	Faktor kvality
$\gamma$ , rtg, $\beta$	100	2 - 40	1
pomalé neutrony	100 - 500	5 - 50	3
rychlé neutrony, protony	200 - 1000	20 - 80	5
$\alpha$	1000 - 3000	50 - 150	10
štěpné produkty	3000 - 5000	100 - 200	10 - 20

# Biologické účinky ionizujícího záření

- **Fyzikální fáze** - časový úsek primárních účinků. Dochází k absorpci energie záření v atomech nebo molekulách. Průměrná doba se odhaduje na  $10^{-16}$  s.
- **Fyzikálně-chemická fáze** - doba mezimolekulárních interakcí spojených s absorpcí energie a vlastním energetickým transferem. Asi  $10^{-10}$  s.
- **Chemická (biochemická) fáze** - tvorba volných radikálů a jejich interakce s biologicky významnými molekulami, především s nukleovými kyselinami a bílkovinami. Asi  $10^{-6}$  s.
- **Biologická fáze** - komplex interakcí produktů předešlých fází s biologickým systémem na všech úrovních organismu. Podle těchto úrovní kolísá délka tato fáze od sekund po léta.

# Biologické účinky ionizujícího záření

- **Přímý účinek** - fyzikální a fyzikálněchemický proces absorpce zářivé energie, vedoucí přímo ke změnám ve významných buněčných strukturách. Převládá v buňkách s nízkým obsahem vody. Teorie přímého účinku je označována jako **teorie zásahová**. Její podstatou je fyzikální přenos energie.
- **Nepřímý účinek** je zprostředkován produkty radiolýzy vody, zejména volnými radikály  $H^*$  a  $OH^*$ , které vedou k molekulovým produktům ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2O_2$ ), působícím na biologicky významné struktury. Převažuje v buňkách s vysokým obsahem vody. Volné radikály mají volný nepárový elektron, který z nich činí velmi reaktivní látky. Štěpí různé druhy vazeb v biomolekulách a degradují jejich strukturu. Teorie nepřímého účinku - **teorie radikálová** - má za základ chemický přenos energie.



# Biologické účinky ionizujícího záření na buňku

- U proliferujících buněk nacházíme tyto stupně radiačního poškození:
  - dočasné zastavení proliferace
  - reprodukční smrt buněk (dočasné uchování funkce při ztrátě proliferační schopnosti)
  - okamžitá smrt buněk

Citlivost buněk vůči ionizujícímu záření (radiosenzitivita), či jejich odolnost (radiorezistence) závisí na mnoha faktorech, především na reparační schopnosti buňky.

# Biologické účinky ionizujícího záření na buňku

Faktory ovlivňující biologické účinky obecně:

- **Fyzikální a fyzikálně chemické:** dávkový ekvivalent, dávková rychlost, teplota, prostorové rozdělení absorbované dávky, přítomnost vody a kyslíku
- **Biologické:** druh organismu, orgánu nebo tkáně, stupeň diferenciacce buněk, fyziologický stav organismu, schopnost spontánní reparace, repopulace a regenerace, fáze buněčného cyklu (S-fáze!)
- Velmi citlivé jsou proto buňky embryonální, germinativní, epidermální, retikuloendotelové a též **nádorové**

# Biologické účinky ionizujícího záření – citlivost tkání

Pořadí od nejvíce citlivých tkání k nejméně citlivým:

lymfatická  
zárodečný epitel varlete  
kostní dřeň  
gastrointestinální epitel  
vaječníky

buňky kožních zhoubných nádorů

pojivová tkáň

játra

pankreas

ledviny

nervová tkáň

mozek

svaly



# Ochrana před zářením

- **Fyzikální ochrana:**

- **Vzdálenost:** expoziční příkon se snižuje s druhou mocninou vzdálenosti. Ochranný faktor **času:** maximální zkrácení doby pobytu u zdroje. Pro **stínění** se volí vhodný absorbent.
- **Záření  $\alpha$**  má ve vzduchu dosah několik desítek cm, ve vodě desítek  $\mu\text{m}$ . K ochraně stačí oděv, papír, apod. U záření  $\alpha$  je velmi nebezpečná vnitřní kontaminace.
- **Záření  $\beta$**  má dosah ve vzduchu několik metrů, ve vodě desítky milimetrů. Ke stínění se užívají lehké materiály, omezující vznik brzdného záření. Stačí většinou 3-5 mm silný Al-plech a k odstínění brzdného záření 5 mm olova.
- **Záření  $\gamma$**  se odstiňuje materiály s vyššími protonovými čísly (ocel, olovo, barytový beton).
- **Neutrony** se nejprve zpomalí látkami obsahujícími hodně vodíku a pak se pohltnou látkami s výraznou absorpční schopností pro neutrony, např. Cd nebo B. Kombinované stínění: např. polyetylén obsahující sloučeniny bóru.

# Ochrana před zářením

- **Chemická ochrana:** radioprotektivní látky, chrání organismus proti zejména nepřímému účinku záření. Vychytávají volné radikály nebo vyvolávají hypoxii buněk s následným omezením tvorby toxických produktů radiolýzy vody.
- **Biologická ochrana** je nespecifická a spočívá ve zlepšování stavu výživy organismu a ve zvyšování jeho odolnosti (podávání vitaminů - vitamin E chrání proti volným radikálům - imunizace proti infekčním onemocněním aj.)

# **Lékařské přístroje: Úvod**

# Co to je lékařský přístroj?

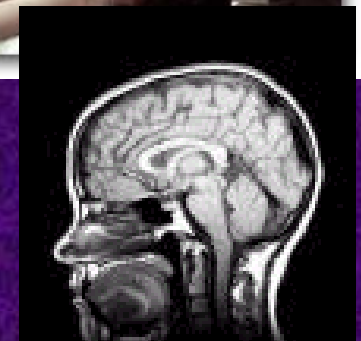
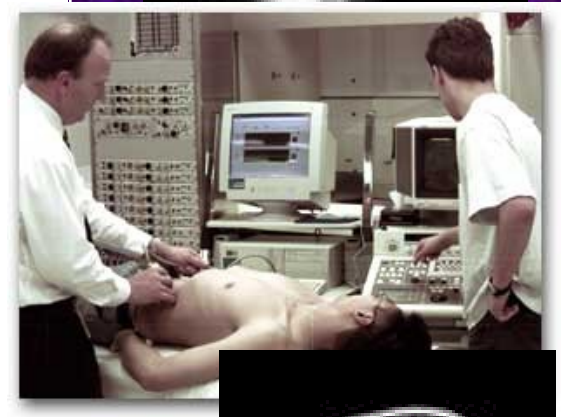
“

# Aktivity v oblasti zdravotní péče





# Lékařské zobrazovací přístroje (*in vivo* diagnostika)



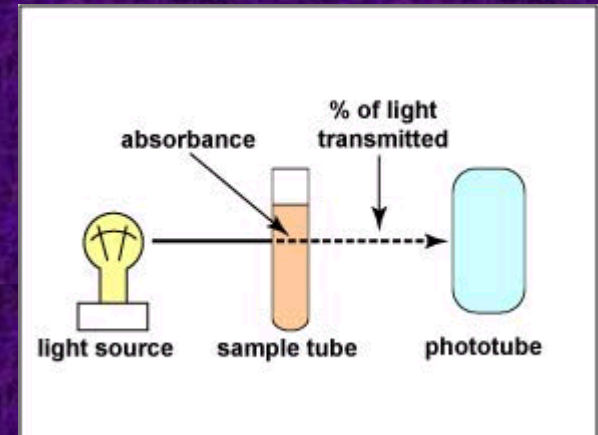
➤ atd.

# Lékařské zobrazovací přístroje (*in vivo* diagnostika)

Teoretické pozadí:

Ionizující záření (vznik, měření, interakce s látkou), vlastnosti atomového obalu a jádra, základní pojmy akustiky, spektrum elektromagnetického záření....

# Lékařské laboratorní přístroje (*in vitro* diagnostika)



# Lékařské laboratorní přístroje (*in vitro* diagnostika)

Teoretické pozadí:

Struktura biopolymerů, vlastnosti vody a elektrolytů, elektrické vlastnosti živé hmoty, galvanický článek, sedimentace částic, dozimetrie, absorpce světla...

# Přístroje pro sledování fyziologických projevů organismu (*in vivo* diagnostika)



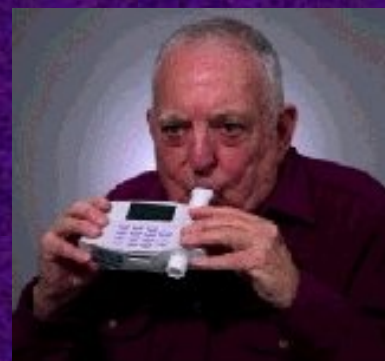
# Přístroje pro sledování fyziologických projevů organismu (*in vivo* diagnostika)

## Teoretické pozadí

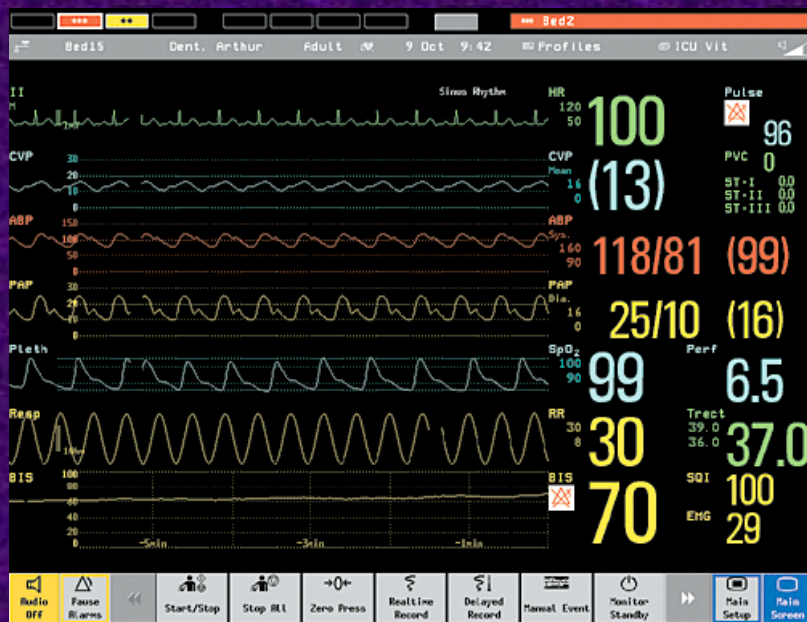
Úvod do termodynamiky, základní zákony hydrodynamiky, vznik bioelektrických potenciálů, vlastnosti zvuku a světla, ucho a sluch, oko a zrak, mechanické vlastnosti živé hmoty...



EKG



Measuring lung capacity using a spirometer.



Obrazovka víceúčelového klinického monitoru



Tonometr pro měření tlaku krve

# POC (Point of Care) přístroje





# Přístroje pro radioterapii



Lineární  
urychlovač



Leksellův gama-nůž

# Přístroje pro radioterapii

## Teoretické pozadí

Ionizující záření (vznik, měření, interakce s látkou), vlastnosti atomového jádra, radioaktivita, biologické účinky ionizujícího záření, dozimetrie...

# Přístroje pro radioterapii



Lineární  
urychlovač



Leksellův gama-nůž

# Přístroje pro radioterapii

## Teoretické pozadí

Ionizující záření (vznik, měření, interakce s látkou), vlastnosti atomového jádra, radioaktivita, biologické účinky ionizujícího záření, dozimetrie...

# Přístroje pro fyzikální terapii



➤ Laserová terapie...

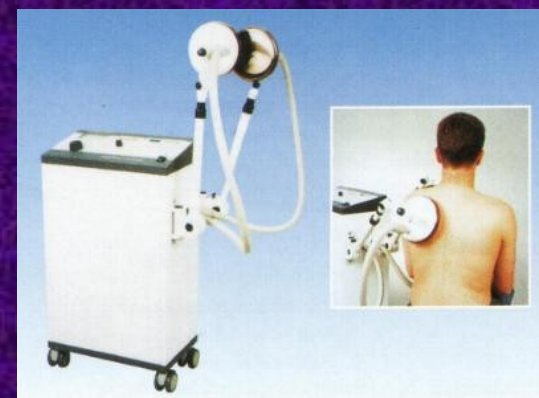


Ultrazvuková terapeutická jednotka

Myostimulátor



Laserová terapeutická jednotka



Krátkovlnná diatermie

# Přístroje pro fyzikální terapii

## Teoretické pozadí

Biologické interakce ultrazvuku, elektromagnetických polí, elektrického proudu, infračerveného, viditelného a ultrafialového záření....

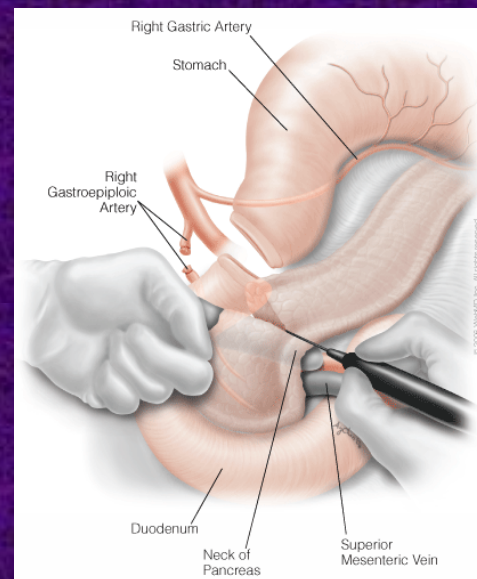
# Přístroje používané na operačních sálech, litotripty



kryokauter



anestézie



elektrokauter

# Přístroje používané na operačních sálech, litotripty

## Teoretické pozadí

Biologické interakce ultrazvuku, elektromagnetických polí, elektrického proudu, infračerveného, viditelného a ultrafialového záření, princip laseru, působení nízkých teplot na živou hmotu, akustické rázové vlny...



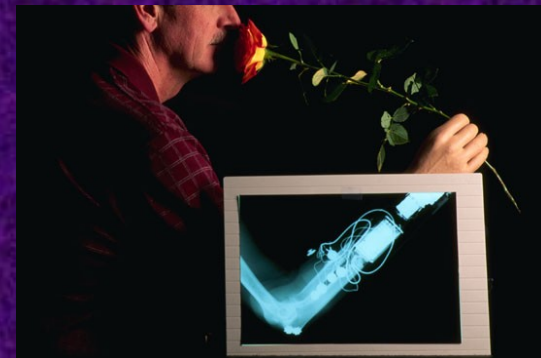
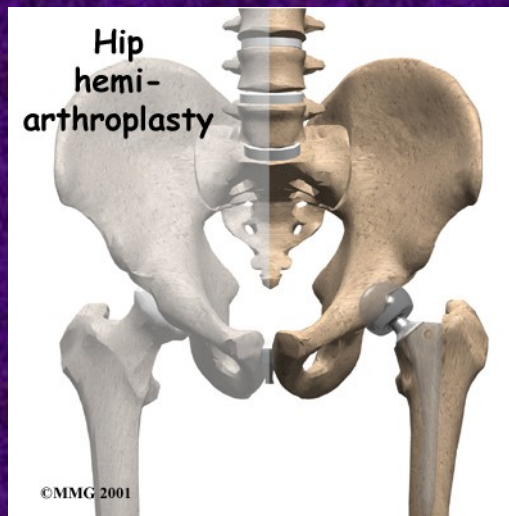
# Přístroje používané na operačních sálech



# Přístroje používané na operačních sálech



# Přístroje pro náhradu a podporu orgánů - implantáty

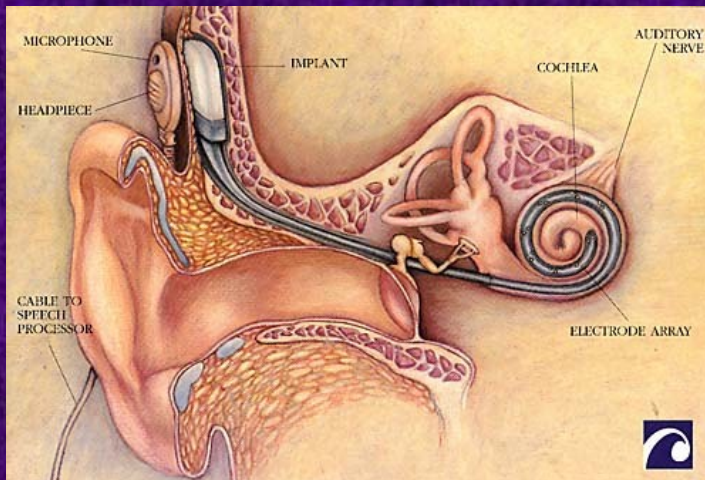


Robotické zařízení pro implantaci kolenní endoprotézy

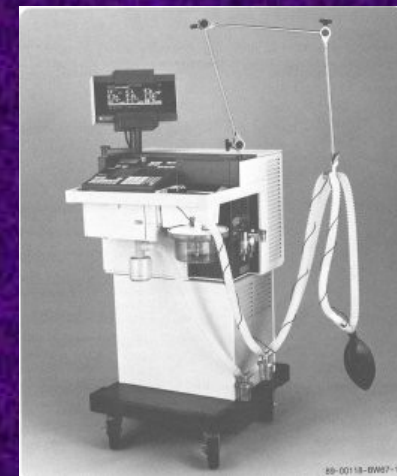
# Přístroje pro náhradu a podporu orgánů – „umělé orgány“



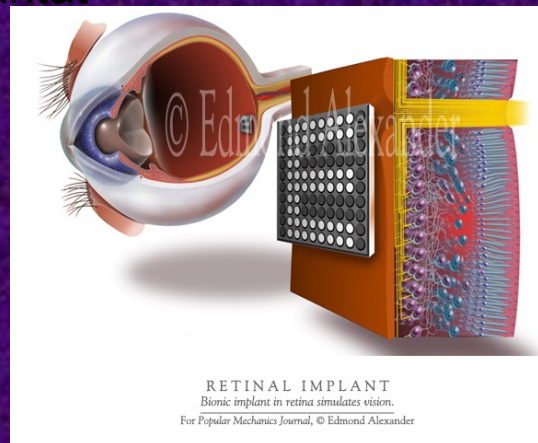
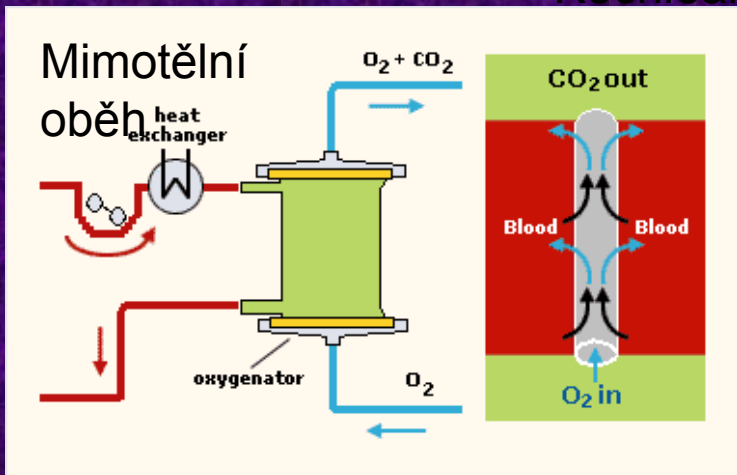
Umělé srdce



Kochleární implantát



Plicní ventilátor



Sítnicový implantát

# Jednorázová zařízení a pomůcky



Odsávací katétr

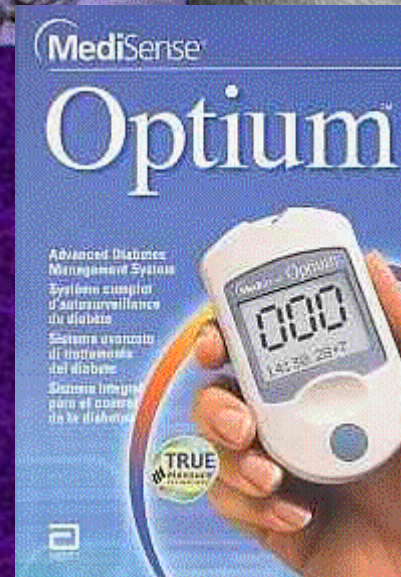


I.V. kanyla



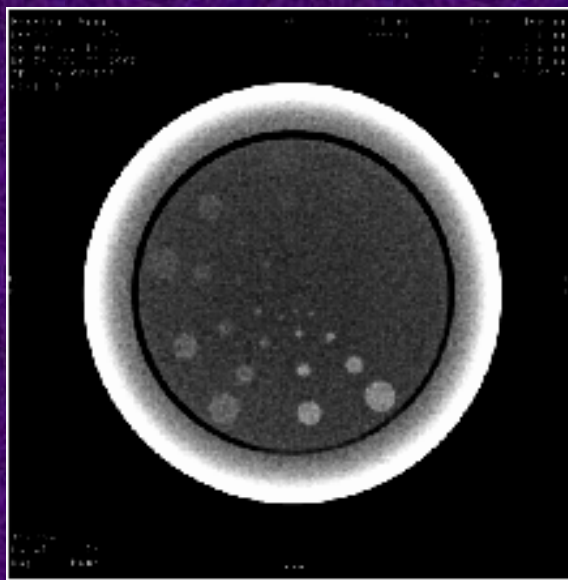
Pupečnicková svorka

# Přístroje pro samovyšetření pacientů (‘domácí přístroje’)



Glukometr

# Přístroje pro vyhodnocování ukazatelů výkonnosti přístrojů



Testování  
rozlišení  
kontrastu u rtg  
přístroje

**Co je účelem.....**





# Některé kompetence uživatelů lékařských přístrojů



**Pokračování.....**

