

LÉKAŘSKÁ BIOFYZIKA

VYPRACOVANÉ OTÁZKY KE ZKOUŠCE NA LF1

2008



Willow a N.o.r. 😊

A. Stavba hmoty

1. Elementární částice

- Atom se skládá ze záporně nabitého obalu a kladně nabitého jádra
- Obal je tvořen **elektrony**
- Jádro je tvořeno **protony** a **neutrony**, souhrnně nazývanými **nukleony**
- **Leptony** - neinteragují s jadernou silou, tvoří 3 generace (elektron - elektronové neutrino, mion - mionové neutrino, tauon - tauonové neutrino)
- **Kvarky** - jsou to elektricky nabitě částice, dělí se podle *vůně* (*d-u, c-s, b-t*) a *barvy* (červená, zelená, modrá)
- Další dělení je na **částice** a **antičástice**
 - "běžnou" částici,
 - Antičástice = protějšek (se stejnou hmotností a spinem, ale s opačnými vlastnostmi, např. opačným nábojem nebo anti-barvou)
 - Kontakt částice s antičásticí - **anihilace** - obě částice "zmizí"
 - Přemění se na energii v jiné formě (anihilace el. s antielektronem - **pozitronem** se uvolní dva fotony záření γ , každý o energii $E = m_e c^2$)
- **Hadrony**
 - Částice složené z kvarků - el. Náboj je **celočíslný** a barva **bezbarvá**
 - **Mesony** - hadrony z 2 kvarků (kvart - antikvark) a celočíselným spinem
 - **Baryony** - hadrony ze 3 kvarků různé barvy neceločíselným spinem
- **Fermiony** - částice s neceločíselným spinem (chovají se podle Pauliho vyl. Principu)
- **Bosony** - částice s celočíselným spinem (ve stejné el, úrovni se vyskytuje neomezeně částic)

2. Kvantové jevy

- Celková energie systému je dána součtem klidové, kinetické a potenciální energie
 - $E = E_0 + E_k + E_p$
 - $E_0 = m_0 c^2$
 - $E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$, kde $p = mv$ (hybnost)
 - $E_p = mgh$ - v mechanice - pro nás to nyní je práce, kterou musíme vynaložit, abychom vzájemně se přitahující částice vzdálili tak, aby jejich silové působení bylo nulové

Kvantové jevy

- Zavádíme veličinu - **účinek** rozměru [J·s]
- Konstanty
 - **Planckova konstanta** h $6.63 \cdot 10^{-34}$ J·s
 - **Dirackova konstanta** \hbar ("škrtlé h") $1.05 \cdot 10^{-34}$ J·s
 - **Platí** : $\hbar = h / (2 \pi)$
- Základem je, že všechny děje jsou kvantovány
 - Tj. energie není vyzářena náhodně ale v nějakých kvantech
- Jedním z projevů kvantově-mechanických vlastností atomů a molekul je kvantování momentu hybnosti
 - Moment hybnosti L je definován jako vektorový součin polohového vektoru r a vektoru hybnosti $p = mv$, tedy $L = [r \times p]$

- Současně s orbitálním momentem hybnosti mají částice i vlastní magnetický moment daný rotací kolem vlastní osy - spin (fermiony - poločíselný, bozony - celočíselný)
- Elementární částice mají současně korpuskulární i vlnový charakter
- **Energie fotonu** je svázaná s frekvencí a vlnovou délkou
 - Platí $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$
 - Vlnová délka je vzd. kterou vlnění urazí za dobu periody T, tedy $\lambda = cT = c/f$
- Pohyb částice o hmotnosti m, hybnosti p a energii E je spjatý se šířením hmotnostních vln
 - $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$ a nazývá se **de Broglieho vlnová délka**
- Korpuskulárně-vlnový charakter částic má ten důsledek, že není možné s libovolnou přesností určit současně polohu částice a její hybnost. Pro neurčitost polohového vektoru r a hybnosti částice p platí **Heisenbergova relace neurčitosti**
 - $\Delta r \cdot \Delta p \geq$
- Podobný vztah platí pro neurčitost určení energetické hladiny a času
 - $\Delta E \cdot \Delta t \geq$

3. **Kvantová čísla**

- Čísla, charakterizující stav elektronu určitého atomu
- Moment hybnosti částic je kvantován-dosahuje jen násobků Dirackovy konstanty
- **Orbital** - místo výskytu elektronu popsané rozdělením hustoty pravděpodobnosti výskytu
- **Hlavní kv. číslo n**
 - Určuje celkovou energii elektronu $E = -(me^4)/(8\varepsilon_0 h^2) \cdot 1/n^2$
 - Označujeme slupky K,L,M,N...
- **Vedlejší kv. číslo l**
 - Určuje tvar i symetrii elektronového oblaku, je určeno kvantováním orbitálního momentu hybnosti $L = \hbar\sqrt{l(l-1)}$
 - Označení - s, p, d, f
- **Magnetické kv. číslo m**
 - Určuje polohu orbitalu v prostoru
- **Spinové kv. číslo s**
 - Elektron má vlastní, vnitřní moment hybnosti, spin; spinový moment hybnosti $S = \hbar\sqrt{s(s+1)}$, kde $s = \frac{1}{2}$
- **Pauliho vylučovací princip**
 - V jednom atomu se nemohou vyskytovat současně dva elektrony popsané stejnou čtveřicí kvantových čísel. V každé slupce dané hlavním kvantovým číslem n tak může být nejvýše $2n^2$ elektronů

4. **Struktura el. obalu atomu**

- **Orbitaly** (slupky) určené hlavním kvantovým číslem n
 - Orbitaly se dále dělí na **podslupky** určené vedlejším kvantovým číslem l
 - Elektrony se dále řídí Pauliho vylučovacím principem
- Systém stabilní, pokud E je minimální
- Stav určen kv. čísly
- Elektrony se vyskytují raději nespárované, s rovnoběžnými spiny - **Hundovo pravidlo**
- **Viz. Otázka 3**

5. Spektrum atomu vodíku

- Nejjednodušší systém složený z nukleonů a elektronů je atom vodíku
- Z rovnice neurčitosti dostáváme pro neurčitost hybnosti $\Delta p = \frac{\hbar}{r}$
- Vztah pro energii atomu vodíku v základním stavu
 - $E = -\frac{m_e e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2}$
- Nejpravděpodobnější vzdálenost výskytu elektronu od jádra roste se čtvercem hlavního kvantového čísla $r_n = n^2 r_0$

Spektrum atomu vodíku

- **Excitovaný** (vyšší energetický) stav je velmi nestabilní a elektron se rychle vrací na svoji základní hladinu
- Přebytečná energie je vyzářena ve formě fotonu
- $E = E_k - E_n = \frac{m_e e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$
- Pro přeskoky platí určitá pravidla
 - Hlavní kvantové číslo se může měnit libovolně
 - Vedlejší kvantové číslo se musí měnit o jedničku
 - Magnetické kvantové číslo se nemění nebo se mění nejvýše o jedničku
- Při přechodu e- na nižší hladinu se vyzáří foton s čárovým (nespojitém) spektrem
- Kvantum vyzářené energie: $E = E_k - E_n$
- Přechody na n=1 - **Lymanova série** - v oblasti UV
- Přechody na n=2 - **Balmerova série** - oblast viditelného světla
- Přechody na n=3 - **Pashenova série** - v oblasti IR
- Spektrálních čar není nekonečně mnoho
 - Existuje mezní energie - **ionizační energie**
 - Po jejímž dodání se elektron zcela odtrhne od atomu (pro H⁺ 13,53 eV)

6. Magnetický moment elektronu

- Základem odpovědi je popis magnetického a spinového kvantového čísla
- Spin = magnetický moment částice způsobený její rotací, je to +/- $\frac{1}{2}$
- Vlastní rotací elektronu s momentem hybnosti **S** vzniká magnetický moment $\vec{\mu}_S$: $\vec{\mu}_S = \gamma_e \frac{\hbar}{2\pi} \vec{S}$
kde γ_e je **gyromagnetický poměr elektronu**
- Rotací elektronu kolem jádra s orbitálním momentem hybnosti **L** vzniká magnetický moment $\vec{\mu}_L$: $\vec{\mu}_L = \gamma_e \frac{\hbar}{2\pi} \vec{L}$
- Celkový moment hybnosti elektronu **J** je dán (vektorovým) součtem spinového a orbitálního momentu $\mathbf{J} = \mathbf{S} + \mathbf{L}$, celkový magnetický moment elektronu $\vec{\mu}_e$ lze tedy psát:

$$\vec{\mu}_e = \gamma_e \frac{\hbar}{2\pi} \vec{J}$$

elektron, který se otáčí se chová jako magnet a může tím vytvářet magnetické pole. Dva elektrony spárované ve stejném orbitalu mají směr otáčení navzájem opačný - jejich magnetický moment se tak ruší, zatímco skutečný celkový magnetický moment závisí na počtu nespárovaných elektronů ve vnějších orbitalech. Tedy magnetický moment elektronu charakterizuje magnetické kvantové číslo m, spinové charakterizuje chování elektronu v orbitalu a tím i jeho spin. Může nabývat pouze dvou hodnot +1/2 a -1/2 -> v každém orbitalu mohou být max 2 elektrony, které mají opačný spin - tyto elektrony vytváří elektronový pár

7.

Ionizace, excitace

- **Základní stav**
 - Stav s co nejnižší energií, elektrony obsazují en. hladiny s co nejnižší E
 - O atomu, jehož elektrony mají nejnižší možnou E, řekneme, že je v zákl. stavu
- **Excitace**
 - Dodáme atomu vnější energii, může se energie předat elektronu, který se přesouvá na vyšší energetickou hladinu
 - Atom který má obsazené vyšší energetické hladiny, ale alespoň jedna nižší energetická hladina obsazená není, je v **excitovaném stavu**
 - Tento stav je nestabilní a atom se obvykle přebytečné energie zbaví tím, že ji vyzáří jako foton
 - Proces probíhá velmi rychle (až 10^{-5} sekund). Emise fotonu - **luminiscence**
 - Při přechodu z hladiny o energii E_2 na hladinu o (nižší) energii E_1 , lze určit frekvenci ν ("nó") vyzářeného fotonu: $\nu = (E_2 - E_1) / h$
 - Může se stát, že se elektron dostane do takového stavu, že přechod do základního stavu nebude možný. V takovémto stavu pak může setrvávat relativně dlouho. Tento děj je podstatou **fosforescence** a je využíván při konstrukci **laserů**
- **Ionizace**
 - Dodáme - li množství energie, které postačuje k uvolnění elektronu z atomového obalu, dochází k **ionizaci**
 - Velikost této E je rovna E stavu, ve kterém se elektron nachází
 - Ze ZZE vyplývá Einsteinův vztah pro fotoefekt
 - $hf = E_v + \frac{1}{2}mv^2$
 - (jde o takovou práci kterou bychom museli vynaložit, abychom přenesli elektron z jeho současné pozice do nekonečné vzdálenosti od atomového jádra)
 - Tuto práci (energii) nazýváme **vazebná energie, ionizační energie** nebo **výstupní práce**
 - Protože na vazebné energii se podílí především překonání elektrostatických sil mezi jádrem a elektronem - její velikost je přímo úměrná druhé mocnině protonového čísla

8. Fluorescence a fosforescence

- **Luminiscence**
 - Záření nějakého tělesa převažuje nad jeho tepelným zářením
 - Toto záření musí trvat, než je trvání periody tohoto záření
 - Podstatou luminiscence je návrat excitovaných elektronů na základní hladiny a s tím spojené vyzařování přebytečné energie ve formě **fotonů**
 - Luminiscenci dělíme na **fluorescenci, fosforescenci a zpožděnou fluorescenci**
- **Fluorescence**
 - K luminiscenci dochází jen při **buzení** (tj. při dodávání energie)
 - Po přerušení buzení luminiscence velmi rychle (řádově 10^{-8} s) ustává
 - Příčinou fluorescence je návrat excitovaných elektronů na základní hladiny
- **Zpožděná fluorescence**
 - V tomto případě je excitovaný stav metastabilní
 - Přeměna do stavu nestabilního trvá řádově 10^{-4} s

- Z nestabilního stavu se pak elektrony vrací velmi rychle do stavu základního
- **Fosforescence**
- Pokračuje-li luminiscence **podstatně déle** než při fluorescenci (prakticky $> 10^{-2}$ s)
- Příčinou dlouhého trvání je, že se elektrony dostávají do energetických hladin, z nichž se nemohou vrátit na základní hladinu - tzv. metastabilní stav

9. Atomové jádro, izotopy, izomery

- **Atomové jádro**
- Tvořeno dvěma druhy částic (nukleonů) - **protony a neutrony**
- Počet protonů udává protonové, nebo též atomové, číslo **Z**
- Počet neutronů udává neutronové číslo **N**
- Součet protonového a neutronového čísla se nazývá nukleonové, číslo **A**
- Atom se jeví jako elektricky neutrální, počet elektronů je stejný jako počet protonů
- Hmotnost nukleonů je podstatně (1840×) vyšší než hmotnost elektronů, je v jádře většina hmotnosti atomu
- Průměr jádra se pohybuje řádově kolem 10^{-14} m, poloměr atomu je pohybuje řádově kolem 10^{-10} m
- Jádro je stabilní vlivem silné jaderné interakce
 - velmi intenzivní síly krátkého dosahu (řádově 10^{-15} m), působí mezi nukleony - prakticky nejsilnější síly, co známe
- Atomová hmotnost se vyjadřuje v hmotnostních jednotkách, 1 hm. jed. je definována jako 1/12 hmotnosti atomu izotopu uhlíku $^{12}_6\text{C}$
- **Izotopy**
- Jsou atomy, které mají stejné protonové číslo, liší se však počtem neutronů (stejně Z, různé A) - stejný náboj ale různou hmotnost jádra
- Např. deuterium, tritium...
- **Izomery**
- Jsou dva atomy, které mají stejné protonové číslo i nukleové číslo
- Liší se jen v energetickém stavu jádra
- Ten, který má vyšší energii, je nestabilní a snaží se přebytečnou energii vyzářit. Prakticky se v nukleární medicíně používá technicium ^{99m}Tc (písmenko m znamená metastabilní)
- **Izobary**
- Atomy, které mají různé protonové číslo (jde tedy o různé prvky), ale mají stejné nukleové číslo
- (různé Z, stejné A)

10. Energie vazby atomového jádra, potenciální bariéra

- Vazebná E jádra charakterizuje jeho stabilitu
- E vazby jádra je možné určit z tzv. *hmotnostního defektu*
 - Část klidové E nukleonů reprezentované jejich hmotností se přeměňuje na vazebnou E - hm. defekt: $\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{\text{jádro}}$
 - $\Delta E = \Delta mc^2$
 - ΔE nazýváme **vazbovou energií jádra**
- E vazby - práce potřebná k odtržení elektronu z atomu = Ionizační E
- Ionizací vznikne kladný iont a zvýší se E soustavy - fluorescence, fosforescence
- **Potenciálová bariéra**

- E, která je potřebná, aby se kladně nabitá částice dostala tak blízko jádra, aby převládla přitažlivá síla nad elektromagnetickou - odpudivou
- Je to míra energie, kterou musíme vykonat k přemístění objektu v nějakém silovém poli, zde elektrickém

Síly působící mezi molekulami

- Mezi atomy se vytváří vazby tehdy, nastane-li spojením vnějších elektronových vrstev větší stabilita, než je při elektronovém seskupení v atomech
- Molekuly existují jako stabilní útvary proto, že společný systém má nižší energii, než je systém energie oddělených atomů
- Když se dva atomy přiblíží - může dojít ke **kovalentní** nebo **iontové** vazbě, nebo nedojde k vazbě vůbec
- **Iontová vazba**
 - Kladné a záporné ionty se navzájem přitahují (coulombické síly)
 - Vazba je na větší vzdálenosti, než kovalentní
 - Vazba je kulově symetrická, nenasyčená (neomezený počet vazeb)

- Na⁺ s Cl⁻
- **Kovalentní vazba**
 - Vazba sdílením elektronů
 - Závislá na spinech elektronů
 - Nasyčenost vazby - jen mezi 2 elektrony
 - Náboj není symetricky rozložen - vzniká **dipól**
 - Vazba na krátké vzdálenosti, je však **nejsilnější**
- **Vazby mezi molekulami:**
- **Elektrostatické interakce**
 - Elektrostatické, nebo též coulombické, interakce jsou takové síly, při kterých se uplatňuje Coulombův zákon
 - Takovéto síly klesají se vzdáleností kvadraticky, mají díky tomu velký dosah
- **Vodíkové vazby**
 - Je druh vazby, při kterém dominuje elektrostatická interakce, ale dá se prokázat i vliv jiných sil. Donor elektronového páru interaguje prostřednictvím vodíku s volným akceptorem. Donorem může být skupina =NH, akceptorem skupina =CO.
- **van der Waalsovy síly**
 - van der Waalsovy síly jsou obtížně definovatelné
 - shrnují všechny typy přitažlivých sil mezi neutrálními molekulami
 - **Debyeovy síly** - mezi permanentními dipóly
 - **Keesomovy síly** - mezi perm. dipólem a jím indukovaným dipólem
 - **Londonovy síly** - mezi neutr. částicemi
- **Hydrofobní interakce**
 - Jde o velmi důležitou interakci, podstatnou měrou se podílí na řadě biol. reakcí

12. Princip funkce hmotnostního spektrometru

- Hmotnostní spektrometrie slouží pro měření hmotnosti atomů
- Tato metoda umožňuje také určení izotopového složení určitého prvku
- Základ: závislost trajektorie nabitě částice na její hmotnosti
- Vzorek je ionizován, ionizované částice se separují v elektrickém nebo v magnetickém poli a výsledné spektrum je sejmuto detektorem.
- Pustíme urychlené ionty do magnetického pole kolmo na siločáry
 - Jejich dráha se zakříví a oni dopadají na různá místa, v závislosti na své hmotnosti
 - Můžeme měnit urychlovací napětí a sledovat kolik iontů dopadne na určité místo
- Kinetická energie iontů v poli je $E = \frac{1}{2}mv^2 = qU$

- Na ionty působí magnetická síla o velikosti $F_{mag} = qvB$
- Vlivem této síly se dráha iontů zakřivuje a ionty opisují v mag. poli kružnici o poloměru r , kterou můžeme určit z rovnosti odstředivé síly $F_{odstř} = Mv^2 / r$ a mag. síly, tedy

$$\frac{Mv^2}{r} = qvB \Rightarrow r = \frac{Mv}{qB}$$

13. Magnetický moment nukleonů

- V modelu atomu nemají nukleony žádný pohybový moment, lze uvažovat jen jejich spin
- Spinové kvantové číslo nukleonů může být také jen $\pm \frac{1}{2}$
- Jaderný spin I získáme vektorovým součtem spinů jednotlivých částic
- Jádra se sudým nukleovým číslem budou mít I sudé, jádra s lichým nukleovým číslem budou mít I poločíselné
- Pokud je počet protonů i neutronů sudý (tzv. sudo-sudá jádra), je $I=0$. U jader licho-lichých (lichý počet protonů i neutronů) bude I celočíselné, u sudo-lichých a licho-sudých bude I poločíselné
- Pro praktické využití jsou zajímavá především jádra se spinem $\frac{1}{2}$
 - Po vložení do vnějšího magnetického pole se průměty magnetického momentu jader kvantují jen ve dvou hodnotách (souhlasně a protisměrně)
 - Pro rozdíl energií těchto stavů platí
 - $\Delta E = \gamma h B_0 / 2\pi$
 - γ - gyromagnetický poměr
- Pokud do systému dodáme kvantum energie o hodnotě rovné energetickému rozdílu obou hladin, tedy foton o frekvenci ν ("ný") $\nu = \gamma B_0 / 2\pi$ dojde k překlápění magnetických momentů jader do energeticky méně výhodného směru
- Tento jen se nazývá nukleární magnetická rezonance

14. Princip nukleární magnetické rezonance

Každé jádro s lichým počtem nukleonů má magnetický moment μ , který je důsledkem „rotace“ nabitých částic v jádře -jejich spinu. V lékařství se využívá zejména vodíku 1H , fosforu ^{31}P i uhlíku ^{13}C , fluoru ^{19}F či sodíku ^{23}Na .

Obecně je magnetický moment součin velikosti proudu ve smyčce vodiče a plochy tímto vodičem uzavřené. Je to vektor kolmý k této ploše. Určuje kroutivou sílu působící na smyčku v magnetickém poli o indukci B .

Mezi magnetickým momentem jádra μ a jeho spinovým momentem hybnosti (čili točivostí) existuje vztah přímé úměry ($\mu = \gamma \cdot S$), γ je gyromagnetický poměr

Magnetický moment je vektor, který má směr osy "rotace" jádra. Bez vnějšího magnetického pole jsou magnetické momenty jader neuspořádané. Jejich výslednice v objemové jednotce látky -vektor magnetizace-je roven nule.

Larmova frekvence

Vložíme-li jádra s nenulovým magnetickým momentem do vnějšího silného stacionárního (a homogenního) magnetického pole o indukci B , budou mít snahu orientovat svůj vlastní magnetický moment ve směru (nebo proti směru) vektoru indukce B .

Tato změna orientace vyvolá kroutivý moment, který se projeví precesí jader

Osa rotace jader, přesněji vektor jejich momentu hybnosti i magnetického momentu, počnou konat stejný pohyb jako osa setrvačnicku, která byla vychýlena ze svého původního směru.

Vektory magnetických momentů jader začnou opisovat plášť kužele, jehož osa má směr magnetické indukce vnějšího pole. Frekvence tohoto precesního pohybu -Larmorovy precese -je označována jako Larmorova frekvence ω a je dána výrazem:

$$\omega = \gamma \cdot B$$

ω = rezonanční frekvence, γ = gyromag. Konstanta, B = statické pole

Relaxační časy

Systém může přijmutím kvanta energie elmg záření o frekvenci rovné frekvenci Larmorovy precese dostat se do vyššího energetického stavu. Takto se zvětší počet jader o vyšší energii. Vektor magnetizace nebude nulový a jeho složka ve směru osy z (longitudinální magnetizace) bude mít opačný směr. Současně dojde k fázovému sladění precese. Objeví se rotující složka magnetizace v rovině xy (transverzální magnetizace) -do precesního pohybu bude uveden i vektor magnetizace. Návrat do základního stavu (relaxace) je možný vyzářením kvanta elmg energie -rezonančního signálu, tj signálu NMR, nebo bez emise elmg záření. V souvislosti s relaxací hovoříme o dvou relaxačních časech:

T1-longitudinální- čas potřebný k návratu "populace" jader do původního „neexcitovaného" stavu (přesněji 63 %). Je silně ovlivněn interakcí magnetických momentů s magnetickými poli okolních jader, hovoříme o spin-mřížkové relaxaci. V biologickém prostředí má hodnoty 300 až 2000 ms.

T2-transverzální-2x -10krátší než T1. Při přechodu "populace" jader do vyššího energetického stavu došlo k fázovému sladění Larmorovy precese -vektor příčné čili transversální magnetizace nemá nulovou hodnotu svého průmětu do roviny xy, tj. roviny kolmé k B. Transverzální neboli spin-spinová relaxace je dobou potřebnou k "rozfázování" precese a obnovení původní nulové hodnoty vektoru transversální magnetizace (přesně k poklesu transversální magnetizace na 37 % maximální hodnoty).

Magnetická rezonanční tomografie (MRI -Magnetic Resonance Imaging)

Je-li vyšetřovaná část těla v homogenním magnetickém poli, pak RF impuls o patřičné energii vyvolá vznik NMR-signálu v celém objemu části těla a informace o lokálních hodnotách rezonance je ztracena. Vytvoříme-li však gradient poleve směru osy z (v praxi osa těla), pak bude rezonanční podmínka splněna jen pro jádra v tenkém "plátku"tkání ležícím v rovině xy. Ve směru osy x nebo y můžeme také vytvořit gradient pole, čímž ve zmiňovaném "plátku" vytvoříme tenký "proužek" rovnoběžný s osou y nebo x. Nastavování gradientů se děje v různých impulsových režimech MRI

Takto však lze získat prostorově specifickou informaci o velikosti rezonančního signálu.

Celkovou plošnou i prostorovou informaci o rozložení rezonujících jader můžeme získat algoritmy

Obecné poznatky o magnetismu:

- **Flemingovo pravidlo**
 - Flemingovo pravidlo levé ruky umožňuje určit směr síly, kterou působí magnetické pole na vodič, který se v tomto poli nachází. Toto pravidlo říká, že pokud prsty ukazují směr proudu a indukční čáry vstupují do dlaně, pak palec ukazuje směr síly, kterou působí magnetické pole na vodič s proudem

Magnetická indukce

- Je fyzikální veličina, která vyjadřuje silové účinky magnetického pole na částice s nábojem
- Magnetická indukce je vektorová veličina
- Značka veličiny: B
- Základní jednotka: Tesla, zkratka T
- Magnetickou indukci si představujeme jako sílu, kterou magnetické pole působí na pohybující se elektrický náboj. Velikost magnetické indukce B v určitém místě magnetického pole je definována jako maximální síla F_{max} ,

$$B = \frac{F_{max}}{Qv}$$

kterou působí pole na náboj Q, který se pohybuje rychlostí v, tzn.

- Na výpočtu magnetické indukce mezi dvěma rovnoběžnými vodiči s proudem je založena definice 1 ampéru

Magnetický (indukční) tok

- Slouží pro kvantitativní popis elektromagnetické indukce. Vyjadřuje úhrnný tok magnetické indukce procházející určitou plochou.

- Symbol: Φ [fí]
- Základní jednotka: Weber, značka jednotky Wb
- Rozměr jednotky: $Wb = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
- Výpočet
 - Je definován jako součin velikosti magnetické indukce B a kolmého plošného obsahu S .
$$\Phi = BS \cos \alpha,$$
 - kde B je velikost indukce magnetického pole, S je plocha, a α je úhel, který svírá normálový vektor plochy s vektorem magnetické indukce

B. Molekulární biofyzika

1. Skupenské stavy hmoty

• PLYNY

- Molekuly jsou rozloženy řídce, lze zanedbat objem a přitažlivé síly
- Molekuly se neustále rychle pohybují a mění směr
- Stavová rovnice plynu : $pV=nRT$
 - R - plynová konstanta = $8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{Na} \cdot T$
 - T - teplota, k - Boltzmanova konstanta
 - Boltzmanova konstanta $k = \frac{R}{Na} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
 - Čím je větší teplota, tím je větší rychlost
 - $v_{ef} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$
- Celková energie postupného pohybu plynu
 - $U_p = \frac{3}{2}RT$
- Pohyby molekul plynu
 - rotace (kolem os)
 - vibrace (podél spojnice atomů - přibližování a vzdalování)

• KAPALINY

- Jsou jen nepatrně stlačitelné
- Nelze zanedbat vzájemnou soudržnost molekul
- Mají menší objemovou závislost na teplotě než plyny
- **izotropní** - jsou to „běžné kapaliny“ mají ve všech směrech stejné fyz. vlastnosti
- **anizotropní** - tekuté krystaly - „mezoforní stav“, obsahují skupiny vzájemně orientovaných molekul
 - **smektický** (mýdlový) stav - uspořádané do rovin, které po sobě mohou klouzat (uspořádání molekul u příčně pruhozaného svalstva)
 - **nematický** (vláknovitý) - orientované shluky

• TUHÉ LÁTKY

- Atomy jsou navzájem spojeny do krystalické mřížky - vykazují určité prostorové uspořádání
- **Mřížky**
 - **Iontové** - stavební jednotky jsou ionty (např. NaCl)
 - **Atomové** - stavěné z atomů (např. krystal grafitu)
- V krystalech krystalických hydrátů je voda vázána na kationy nebo aniony, může vstupovat do mezer mezi vrstvami mřížky apod.
- Krystalickou strukturu kovů tvoří „elektronový plyn“ kladně nabitých iontů
- Molekulové krystaly - stavební jednotky jsou molekuly
- V krystalech ledu hrají důležitou roli tzv. **vodíkové můstky**

- **PLASMA**

- Je tvořeno společně neutrálními elektrickými nebitými částicemi
- Je podobné plynnému skupenství

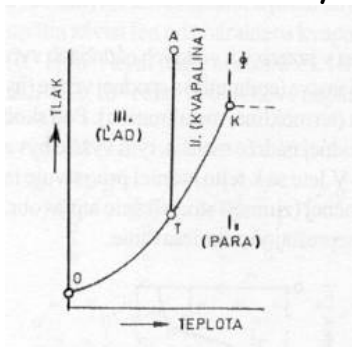
- Vzniká z plynného skupenství částečnou **ionizací** molekul plynu
 - Přechod mezi skupenstvími však není vůbec ostrý
 - $E_k = \frac{3}{2} kT$ - závislost kinetické energie na teplotě
- **Neizotermické plasma**
 - Mísí se plasma s ionty vysoce zahřátými a ionty s pokojovou teplotou
- **Degenerované plasma**
 - Důsledkem vysokého tlaku dochází k zhroucení elektronových obalů a zbudou jen holá jádra - tím vzniká plasma
 - Existuje např. v nitru hvězd
- **Využití:** zářivky, elektronky, iontové zdroje...

- **Skupenské přeměny látek**

- **Tání** - následkem tepelného pohybu se částice rozkmitají tak moc, až opustí svá místa v mřížce a ta se rozpadá - bod tání
- **Tuhnutí** - při ochlazení, musí se vytvořit zárodky krystalické mřížky - dokud ne, jedná se jen o podchlazenou kapalinu - bod tuhnutí
- **Kondenzace** - náhlým ochlazením syté páry, přechod z plynné do kapalné fáze
- **Vypařování** - převládá-li pohyb molekul z kapalné do plynné fáze
- **Nasycená pára** - bod rovnováhy mezi kapalinou a její párou, je dán tlak a teplota
- **Přehřátá pára** - přesycená pára, která by pokračovala ve vypařování
- **Sublimace** - tuhá fáze přechází do plynné fáze

2. Gibbsovo fázové pravidlo, fázový diagram vody

- Disperzní systém - soustava, která obsahuje alespoň dvě fáze nebo dvě složky
 - Jedna fáze nebo složka, **disperzní podíl**, je více nebo méně rozptýlena v druhé fázi/složce, **disperzním prostředí**
- Obsahuje-li disperzní systém dvě fáze, existuje mezi nimi určitá hranice, říkáme, že systém je **heterogenní** (nestejnorodý)
- Obsahuje-li disperzní systém dvě složky a jen jednu fázi, je obvykle složka disperzního podílu tak rozptýlena v disperzním prostředí, že zde nelze mluvit o žádném rozhraní, systém je **homogenní**
 - Např. cukr ve vodě - je jednofázový, homogenní, dvousložkový systém
 - Vícefázové systémy jsou zpravidla i vícesložkové
 - Dvofázový jednosložkový systém - chladnoucí tavenina
- **Gibbsův zákon fází**
 - Udává vzájemný vztah mezi počtem složek (s), fází (f) a stupňů volnosti (v) heterogenní soustavy, což je počet proměnných, které definují rovnovážný stav a které lze nezávisle měnit, aniž se tím změní počet přítomných fází: $f + v = s + 2$
 - Určuje stupeň volnosti (stav nezávislých parametrů, které ho definují)
 - U jednosložkových soustav mohou být v rovnováze nanejvýš 3 fáze
- **Fázový diagram vody**



- bod, ve kterém se rovnovážné křivky jednosložkové soustavy (vody) protínají se označuje jako **TROJNÝ BOD**
- na ose X je vynesena teplota, na ose Y tlak
- každý stav je charakterizován tlakem a teplotou (bodem v diagramu)
- v trojném bodě jsou v rovnováze všechny tři fáze vody (plynná, kapalná i tuhá)

- fázová E - je to E potřebná k převedení z jednoho do jiného skupenství

3. Voda jako rozpouštědlo

- Voda je biologicky nejdůležitějším rozpouštědlem
- Ve vodním prostředí probíhá většina životních procesů, tvoří disperzní prostředí pro makromolekuly a umožňuje jejich vzájemné interakce
- Voda je složkou krve, potu, moči, žaludečních a střevních šťáv...
- Atomy v molekule vody nejsou v jedné přímce, ale leží v rozích rovnoramenného trojúhelníku - úhel vazby 105°
- Molekula má charakter dipólu (na straně kyslíku záporný, na straně vodíku kladný náboj)
- Elektron vodíku může být sdílen s atomem kyslíku jiné molekuly vody - **vodíkový můstek**
- Díky vodíkovým můstkům je voda schopna vytvářet řetězce, které mají na jednom konci kladný, na druhém záporný náboj - proto je voda **polární rozpouštědlo**
 - Nabité konce vytrhnou atom z krystalické mřížky
- Mol. vody jsou organizovány tak, že každá molekula přitahuje 4 další molekuly za vzniku čtyřstěnu - základ krystalické stavby ledu
- Následkem dipólového charakteru se v ní el. Nabitá tělíska přitahují slaběji a i jejich silové působení na okolí je menší - tuto vlastnost charakterizuje veličina **permitivita**
- **Fyzikální vlastnosti vody**
 - **Polární rozpouštědlo**
 - **Specifické varné teplo**
 - **Specifické skupenské teplo tání - $335 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$**
 - **Anomálie vody** - hustota vody je MAX při $3,98$ stupních, zabraňuje promrzání vod v přírodě - život pod ledem
- **Těžká voda**
 - Místo vodíku je deuterium
- **Voda v organismu**
 - Slouží k rozpouštění látek
 - Hydratační voda - fixována na hydrofilní koloidy
 - Část vody v organismu vzniká v chemických reakcích
 - Nedostatek potravin - až 60 dnů, vody - po 6 dnech smrt
 - Funkce: rozpouštědlo, disperzní prostředí, prostředí pro chemické reakce, fyzikální transport v těle, termoregulace

4. Klasifikace disperzních systémů

- Disperzní systémy lze třídit podle různých kritérií (velikost částic, skupenství disp. Prostředí...)
- Dispersní systém obsahuje alespoň 2 fáze / složky, přičemž 1 je rozptýlená v druhé
 - Disperzní podíl v disperzním prostředí
- Velikost částic se dá vyjádřit tzv. **stupněm disperzity** (jednotka m^{-1})
 - Monodisperzní systém - všechny částice mají stejnou velikost (x polydisperzní)
 - **Analytické disperze** do 1 nm (jdou identifikovat jen chemicky - analyticky)
 - **Koloidní disperze** 1 - 1000 nm
 - **Hrubé disperze** 1 mikrometr a větší
 - **Souvislá hmota** částice větší než 1 mm
- **Heterogenní systém** - podíl je vůči prostředí ohraničen (olej ve vodě)
- **Homogenní systém** - pokud jsou 2 složky v 1 fázi - rozptýleno v malých částech
- **Opticky stejnorodé látky** - složky nelze opticky rozlišit

- **Ve směsích plynů platí**
 - **Daltonův zákon:** celkový tlak směsi = součtu parciálních tlaků složek $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$
 - **Amagatův zákon** $V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$
- **V plynech, rozpuštěných v kapalinách platí Henryho zákon**
 - *Váhové množství plynu rozpuštěné za dané teploty v kapalině je přímo úměrné tlaku plynu nad kapalinou* $\frac{m}{V_{kap}} = kP$
 - Je-li C_{kap} koncentrace plynu v kapalně fázi vyjádřena v počtu molů na litr, platí $c_{kap} = \alpha^* P$, kde α^* se nazývá **Bunsenův absorpční koeficient**.
 - Je-li V_{kap} objem kapaliny, v níž je rozpuštěn 1 mol plynu, a V_{pl} objem 1 mol plynu, platí
 - $\frac{V_{pl}}{V_{kap}} = \alpha$, kde α je **Ostwaldův absorpční koeficient**
 - Pozn. Rozpustnost plynů v kapalině s rostoucí teplotou klesá
- Další disperzní systémy (páry kapalin v plynech, páry tuhých látek v plynech, směsi kapalin, pravé roztoky, koloidní roztoky)
- **Sedimentace**
 - Klesání částic ve směru působení gravitačního pole
 - Proti pohybu částic bude působit odporová síla dána **Stokesovým zákonem**
 - $F_{odpor} = 6\pi\eta r v$ - v je rychlost, η je viskozita

5. Elektrické vlastnosti koloidů, elektrokinetický potenciál

- Mezi el. vlastnosti koloidů ve vodném prostředí patří
 - **Existence jejich el. dvojvrstvy**
 - el. dvojvrstva může vzniknout iontovou adsorpcí nebo el. Disociací
 - Vlastností koloidních částic je jejich pohyb ve stejnosměrném el. Poli
- **Elektrokinetický potenciál**
 - Je potenciální rozdíl mezi rozhraním přilínajícího kapalného filmu a mezi ostatní kapalnou fází
 - Velikost tohoto potenciálu je rozhodující pro pohyb částice v el. Poli
 - Volná elektroforéza a elektroforéza na nosičích

6. Princip elektroforézy

- Vlastností koloidních částic je jejich pohyb v stejnosměrném elektrickém poli
- Využívá se existence elektrické dvojvrstvy u koloidů
- Tohoto se využívá při elektroforéze
- Částice, které nesou různý náboj mají různou velikost a putují různou rychlostí v el. poli
- Důležitou roli hraje **elektrokinetický potenciál**
- Je potenciální rozdíl mezi rozhraním přilínajícího kapalného filmu a ostatní kapalnou fází
- Dáme-li do roztoku, který obsahuje částice s určitým elektrokinetickým potenciálem stejnosměrný proud - ponoříme anodu a katodu - začnou se částice pohybovat různou rychlostí k opačně nabitým elektrodám
- **Volná elektroforéza**
 - Lze oddělovat složky roztoku, oddělení není však dokonalé a ostré
- **Elektroforéza na nosičích**
 - Slouží k dokonalému rozdělení, jako nosiče se používají silikagely, hedvábí, celulóza, škrob, **papír**

7. Transportní jevy

- Děje, které probíhají v daném prostředí v důsledku pohybu a vzájemné interakce molekul, přičemž dochází k přenosu některé molekulární veličiny
- **Viskozita** - transport hybnosti
- **Vedení tepla** - transport kinetické energie
- **Difúze** - transport samotných molekul
- Jevy lze matematicky popsat kvůli existenci gradientu určité fyzikální veličiny - gradient rychlosti, teploty, koncentrace
- Podrobnosti viz. Otázka 8 a 9

8. Viskozita a její měření

- Transport hybnosti
- Předpokládejme, že kapalina proudí v trubici
- Různé vrstvy kapaliny proudí různou rychlostí v důsledku vnitřního tření
- Stýkají-li se tyto vrstvy plochami A , vzniká mezi nimi tečné napětí $\sigma = F/A$;
- **Platí vztah:** $\sigma = \eta \cdot \frac{\Delta v}{\Delta x}$ (dynamická viskozita) [$Pa \cdot s$]
- η je koeficient tření nebo viskozita, v je rozdíl rychlostí a x je vzdálenost vrstev
- kromě dynamické viskozity existuje i **kinematická viskozita** $\nu = \frac{\eta}{\rho}$, jednotka [$m^2 \cdot s^{-1}$]
- viskozita je funkcí teploty, u kapalin se stoupající teplotou klesá, protože se míň shlukují molekuly
- můžeme měřit molekulovou hmotnost, látky s vyšší mol. hm. mají vyšší viskozitu
- měření viskozity má význam při stanovení počtu erytrocytů (případná patologie)
- **Měření viskozity**
 - **Kapilární viskozimetry**
 - Jsou založeny na měření doby, za kterou proteče při laminárním proudění danou kapalinou při přetlaku určitý objem kapaliny
 - Ostwaldův viskozimetr
 - **Tělískové viskozimetry**
 - jsou založeny na platnosti Stokesova vztahu
 - $F_{ODPOR} = 6\pi\eta r v$
 - např. Stokesův nebo Hopplerův viskozimetr
- *v lékařství - Nessuv viskozimetr - 2 trubičky -s vodou a krví, podtlak balónkem, porovná, odečtu.*

9. Difúze, 1. Fickův zákon

- Transport molekul
- Samovolné pronikání molekul do řidšího prostředí - po koncentračním spádu
 - Snaha o dosažení rovnoměrné koncentrace
- Umožňuje látkovou výměnu
- Difúze je jedním z nejdůležitějších fyzikálních procesů, který umožňuje pohyb látek uvnitř buněk s látkovou výměnou
- **1. Fickův zákon**

- $$\frac{n}{A \tau} = -D \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

D - difúzní koeficient [m^2/s] - počet molů co projde za 1s průřezem $1m^2$ při jednotkovém koncentračním spádu - závisí na t a c , A průřez nádoby, dc rozdíl koncentrací, dx rozdíl výšek, t - čas, znaménko - tam je proto, že směr vektoru gradientu koncentrace směřuje od nižších koncentrací k vyšším

10. Jevy na rozhraní fází (povrchové napětí, adsorpce)

- **Povrchové napětí**
 - Výsledkem působení sil na povrchu kapaliny, směřujících do jejího nitra, je snaha kapaliny zaujmout co nejmenší povrch
 - Povrchové napětí na rozhraní kapalina - plyn je síla, která působí kolmo na jednotku délky povrchu kapaliny [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$]
 - **Kapilární konstanta** je práce, kterou je potřeba vykonat na zvětšení povrchu kapaliny o 1 m^2 - má stejnou jednotku jako povrchové napětí
 - **Povrchově aktivní látky** - látky, které snižují povrchové napětí kapalin
 - Kapilární elevace - u smáčivých kapalin, působením síly povrchového napětí
- **Adsorpce**
 - Na fázových rozhraních je větší koncentrace částic v roztoku rozpuštěných
 - Tím se sníží povrchové napětí
 - Proti tomu působí difuze, výsledkem je ustanovení určité rovnováhy
 - **Gibbsova adsorpční rovnice**
 - $\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc}$ kde Γ je povrchová koncentrace látky, a dc je derivace povrchového napětí vzhledem ke koncentraci

11. Koligativní vlastnosti roztoků

- Vlastnosti roztoků které závisí na tom, kolik částic disperzního podílu je v daném objemu rozpuštěno
- Nezávisí však na velikosti, tvaru a chemickém složení disperzního podílu
- Obecně lze psát $\Phi = k \cdot c_m$, kde Φ je kterákoliv z veličin – tzn. že tyto veličiny jsou přímo úměrné koncentraci c
- Lze stanovit molární koncentraci $c_m = \frac{c_g}{M}$
- Patří sem
 - **Snížení tenze par**
 - **Ebulioskopie** - zvýšení bodu varu
 - **Kryoskopie** - snížení bodu tuhnutí
 - **Osmotický tlak**
 - **Podrobnosti viz otázky 12 a 13**

12. Roultovy zákony, ebulioskopie a kryoskopie

- **Snížení tenze par**
 - Rozpuštěním určité látky v rozpouštědle se zmenší jeho parciální tlak par z hodnoty p_0 na hodnotu p , rozdíl lze zapsat:
 - **1. Raoultův zákon**
 - $\frac{\Delta p}{p_0} = \frac{n_2}{n_2 + n_1}$, kde n_2 a n_1 značí počet částic rozpuštěné látky a rozpouštědla
- **Ebulioskopie**
 - Rozpuštěním netěkavé látky v rozpouštědle se zvýší jeho bod varu
 - Pro zvýšení bodu varu dT_v platí vztah
 - $\Delta T_v = K_e \cdot c_m$, kde K_e je ebulioskopická konstanta rozpouštědla, kterou lze nalézt v tabulkách, nevím nakolik je to podstatné, nicméně její jednotka je $[\text{kg} \cdot \text{K} \cdot \text{mol}^{-1}]$

- **Kryoskopie**
 - Rozpuštěním netěkavé látky v rozpouštědle dojde též ke snížení bodu tuhnutí roztoku proti bodu tuhnutí čistého rozpouštědla
 - Snížení bodu tuhnutí je přímo úměrné počtu rozpuštěných částic
 - $\Delta T_t = -K_k \cdot c_m$, kde K_k je kryoskopická konstanta daného rozpouštědla

13. Osmotický tlak

- **Osmóza** je děj, který probíhá, jsou-li dva roztoky s různou koncentrací rozpuštěných částic odděleny polopropustnou membránou
- Osmotický tlak lze definovat, jako tlak potřebný k zastavení osmózy
- K osmóze může docházet mezi každými dvěma roztoky o různém osmotickém tlaku
- **Hypotonický roztok** - roztok o nižším osmotickém tlaku
- **Hypertonický roztok** - roztok o vyšším osmotickém tlaku
- **Izotonický roztok** - dva roztoky o stejném osmotickém tlaku
- **Rozpouštědlo proudí směrem z hypotonického do hypertonického prostředí!**
- Velikost osmotického tlaku vystihují **van't Hoffovy zákony**
 - 1. za konstantní T je osm. Tlak přímo úměrný počtu částic v roztoku
 - $\Pi = k \cdot c_m$
 - 2. Při dané koncentraci se osm. Tlak mění s teplotou podle vztahu
 - $\Pi = c_m RT$
 - 3. Při stejných osm.tlacích je ve stejných objemech různých roztoků při stejné teplotě stejný počet mol rozpuštěných látek
- Buňka může díky semipermeabilní membráně osmoticky vyměňovat vodu s prostředím
- V organismu neustále dochází k novým biochem.pochodům, probíhají koncentrační změny
- Orgány jsou schopny regulovat osmotický tlak - **osmoregulace**
 - Ledviny - vylučují moč
- **Hemolýza** - prasknutí červené krvinky v hypotonickém prostředí

14. Fyzikální metody měření koncentrace roztoků

- Používají se různé metody - viz. Otázky 15 - 19
- **Kolorimetrie** - Určování koncentrace roztoků, vycházející z porovnávání extinkce, používá se bílé světlo
- **Absorpční fotometrií** určujeme koncentraci roztoků na základě měření extinkce při konst. tloušťce roztoku
- **Spektrální fotometre** se používá monochromatické světlo při vln. délce absorpčního maxima
- **Refraktometrie** - index lomu roztoku závisí na jeho koncentraci

15. Absorpční fotometrie

- Absorpční fotometrií určujeme koncentrace roztoků na základě měření extinkce při konstantní tloušťce roztoku
- Používáme světlo, které pomocí filtru vymezíme na vlnové délky, které patří barvě doplňkové k barvě roztoku
 - Tím na malou změnu koncentrace připadá co největší změna extinkce
- Extinkci můžeme měřit vizuálně nebo pomocí některého z fotoelektrických indikátorů (fotonka, fotočlánek)
 - Extinkce - viz. Otázka E3

16. Polarimetrie

- Metoda založená na optické stáčíivosti některých látek pro lineárně polarizované světlo
- Úhel stáčíivosti je úměrný tloušťce vrstvy a přibližně úměrný čtverci vlnové délky světla
- Stáčení roviny lineárně polarizovaného světla je způsobeno tím, že paprsek se při průchodu látkou rozdělí na 2 paprsky kruhově polarizované ve vzájemně opačných směrech a při výstupu z látky se zase skládají v jeden lineárně polarizovaný
- Optická otáčivost
 - Je úhel stočení roviny polarizovaného světla dělený tloušťkou vrstvy opticky aktivní látky
 - $[\alpha] = \frac{100\alpha}{lq}$ - měrná stáčíivost, q je počet gramů látky ve 100 ml roztoku, tloušťka l je v dm, jednotka měrné otáčivosti je $\text{ml}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dm}^{-1}$

17. Refraktometrie

- Měření indexu lomu světla
- Absolutní index lomu světla n je definován jako poměr fázové rychlosti světla ve vakuu k fázové rychlosti světla v , kterou se šíří daným prostředím
- Relativní index lomu $n_{12} = n_2/n_1$
- Velikost indexu lomu světla je ovlivněna teplotou, tlakem vzduchu a vlhkostí
- Jeho měření se provádí refraktometrickou metodou, založenou na měření mezního úhlu

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

18. Kolorimetrie

- Kolorimetrie je metoda určování koncentrace roztoků
- Vycházející z porovnávání extinkce, používá se bílé světlo

19. Nefelometrie

- Koloidní disperze mají též optické vlastnosti
- Zabývá se měřením intenzity difuzně rozptýleného světla
- Rozptýlené světlo vychází z roztoku všemi směry (tzv. světlo **Tyndalovo**) a měří se pod úhlem, který je odlišný od směru dopadajícího záření
- Vzorek roztoku umístěný v kyvetě je osvětlován světlem ze zdroje, detektor světla měří intenzitu rozptýleného světla ve směru **kolmém** na svazek dopadajícího světla

20. Laplaceův zákon

- Vztah mezi napětím T ve stěně pružné membrány uzavírající objem kapaliny s rozdílem tlaků P uvnitř a vně membrány je dán rovnicí
 - $P = T(1/R_1 + 1/R_2)$
 - R_1, R_2 jsou hlavní poloměry křivosti membrány v daném bodě
 - Pro membránu válc tvaru $P = T/R$
 - Pro kouli $P = 2T/R$

21. Dynamika krevního oběhu

- tlak: $P=F/S$ (Pa)
 - **Pascalův zákon**: tlak v tekutinách má ve všech směrech stejnou velikost, tlaky ve všech bodech horizontální roviny jsou stejné, tlak roste s hloubkou pod volným povrchem
- hydrostatický tlak $P=h\rho g$
- **Laplaceův zákon**: vztah mezi napětím T (N.m⁻¹) ve stěně pružné membrány uzavírající objem kapaliny s rozdílem tlaků uvnitř a vně membrány je dán: R jsou poloměry křivost membrány
 - pro membránu válce je poloměr nekonečně velký $P=T/R$, koule $P=2T/R$
- **rovnice kontinuity**
 - pro ustálené proudění ideální kapaliny tubicí i nestejném průřezu platí, že součin průřezu S a rychlosti průřezem je konst.
- **rovnice Bournoulliho** - $1/2\rho v^2 + h\rho g + P = \text{konst}$
- vnitřní tření kapalin - rychlost proudění klesá od středu k okraji
- objemový tok - objem kapaliny protékající trubicí o poloměru R , délce l , při talkovém spádu P za čas
- odpor proudění - při viskozitě závisí na geometrii cév
- tlak v artériích klesá od aorty k arteriolám, v žilách pomalu, sž před pravou komorou nejméně
- k arteriálnímu tlaku se přičítá hydrostatický tlak krve (hlava je půl metru nad srdcem atd.)
- při vyšším g je tlak nižší než atmosferický - černá slepota

22. Krevní tlak a jeho měření

- tlak vznikající činností srdce žene krev
- tlaková amplituda - rozdíl mezi systolickým a diastolickým tlakem
- systolický k vytlačení krve do aorty a k udělení deformace stěn
- diastolický - pohánění krve v periferních částech oběhu
- tlak lze měřit přímo nebo nepřímo
- nepřímo: ruka ve výši srdce, tlak uzavře tepnu, vypouštění vzduchu, poslech kdy jde zase krev = systola, pak dosáhne maxima a zase klesá = diastola

23. Fyzikální zákony plynů významné při dýchání

- transport:
- **1, konvektivní transport v dýchacích cestách** - kyslík do alveolů, CO_2 ven
- **2, difúzní výměna mezi alveoly a krví v plicních kapilárách** - kyslík z alveolů do krve, váže se na hemoglobin v erytrocytech, oxid naopak
- **3, konvektivní transport krevním řečištěm** - kyslík krví do levé komory a systému arterií a zásobuje orgány, oxid z kapilár do pravé komory srdeční a plic
- **4, difúzní výměna mezi kapilárami v tkáních a buňkami** - z krve do buněk, kde je třeba na oxidační děje, oxid z buněk do kapilár
- V ALVEOLECH JE PODTLAK
- uplatnění: **Boyle-Mariottův zákon, Guy-Lussacův, stavová rovnice, Daltonův** - (součet parciálních složek je tlak je roven celkovému tlaku)
- rozpustnost plynů v kapalině je určena **Henryho zákonem** $C=a * P$ (a je Bunsenův koeficient rozpustnosti)- při konstantí T je množství plynu rozpuštěného v kapalině přímo úměrné parciálnímu tlaku plynu v plynné fázi - množství plynů v krvi ale neodpovídá fyziologické rozpustnosti, protože jsou vázané a to nezvyšuje tlak
- tlak kyslíku klesá z vnějšku dovnitř, oxid naopak

C. Bioenergetika a tepelná technika

1. Tepelná kapacita

- Stejná množství různých látek potřebují k ohřátí o 1 K různá množství tepla
- Měrné teplo (tepelná kapacita) C je množství tepla potřebné k ohřátí 1 kg látky o 1 K
 - $C = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT}$, [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
 - Někdy je vztahována na 1 mol a pak se jedná o molární teplo
 - Molární měrná tepla plynů spolu souvisejí vztahem $C_p - C_v = R$

2. Měrná skupenská tepla

- K vyvolání přechodu nějaké složky z jedné fáze do jiné fáze je nutné látce dodat (popř. odebrat) určité množství tepla
- Toto množství tepla, které je nutné přidat nebo odebrat látce se nazývá **skupenským teplem**
 - Množství tepla, které je nutné přidat či odebrat 1 kilogramu látky se nazývá **měrným skupenským teplem**
 - Množství tepla, které je nutné přidat či odebrat 1 molu látky se nazývá **molárním skupenským teplem**
- **Skupenské teplo tání** je teplo, které přijme pevná látka při přechodu na kapalinu během tání
- **Skupenské teplo tuhnutí** je teplo, které odevzdá kapalina při přechodu na pevnou látku během tuhnutí
 - Velikost skupenského tepla tuhnutí je pro stejnou látku stejná jako velikost skupenského tepla tání
- **Skupenské teplo varu** je teplo, které přijme kapalina při přechodu v plyn během vypařování při teplotě varu
- **Skupenské teplo** je teplo, které odevzdá plyn při přechodu v kapalinu během kondenzace.
- **Skupenské teplo sublimace** je teplo, které odevzdá pevná látka při přechodu v plyn během sublimace (tedy bez předchozího tání)
- Skupenské teplo značíme L nebo l a jednotka je joule - J

3. Aktivní a pasivní transport buněčnou membránou

- **Aktivní transport**
 - Některé látky jsou čerpány proti koncentračnímu spádu
 - Při takovém transportu musí systému být dodána energie (práce)
 - Velikost této práce
 - $W = nRT \cdot \ln(c_2/c_1)$
 - n je množství látky přenesené přes membránu z místa s koncentrací c_2 na místo s konc. c_1
 - probíhá-li tento transport přes el. Polarizovanou membránu, je celková práce rovna práci vzhledem ke koncentračnímu gradientu a vzhledem k elektrickému gradientu
 - $W = nRT \cdot \ln(c_2/c_1) \pm nFz(E_1 - E_2)$
 - F je Faradayova konstanta, z je valence iontů a E_1-E_2 je rozdíl potenciálů na stranách membrány
- **Prostá difúze** - přenos molekul
- **Elektrodifúze iontů** - snaha o vyrovnání náboje na membráně
- **Přestup iontovými kanálky** - pomocí specifických kanálků v buň. Membráně
- **Pasivní zprostředkovaný transport** - pomocí přenašeče ve směru koncentračního spádu
- **Skupinový přenos**
- **Exocytosa a endocytosa** - transport bílkovin v buňce

4. Stavové veličiny, vratné a nevratné děje

- **Stavová veličina** neboli veličina kvality je veličina, která popisuje stav tělesa nebo soustavy těles
- Není podstatné jakým způsobem se soustava do těchto stavů dostala
- Mezi stavové veličiny patří:
 - **Objem**
 - **Tlak**
 - **Teplota**
 - **Vnitřní energie**
 - **Počet částic**
- Termodynamické děje lze rozdělit na:
 - **Vratné (reverzibilní) děje**
 - Vratné děje jsou takové, u nichž lze původního stavu dosáhnout obrácením pořadí jednotlivých úkonů
 - (nepatrnou změnou nějaké veličiny můžeme obrátit směr průběhu reakce)
 - **Nevratné (ireverzibilní) děje**
 - Děje, které probíhají bez vnějšího působení pouze v jednom směru, tzn. původního stavu nelze dosáhnout přesně stejným postupem v obráceném pořadí
 - K dosažení původního stavu je nutno vynaložit určitou energii, která nepatří dané soustavě

5. Termodynamické věty

- Tři základní principy, na nichž je vybudována termodynamika
- 1. systém může konat práci jen tehdy, poklesne-li jeho vnitřní energie nebo je-li mu dodáno teplo. Není možno sestrojiti stroj, který by konal kladnou práci bez dodání energie - nelze sestrojiti *perpetuum mobile*
 - $dU = dQ - dW$
- 2. Nelze sestrojiti cyklický tepelný stroj tak, aby v průběhu celého cyklu pouze odebral teplejší lázni teplo a veškeré je změnil na práci (ekvivalentní formulací je princip růstu entropie)
 - $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$
- 3. žádným konečným pochodem nelze dosáhnout teploty absolutní nuly
 - Ekvivalentní formulace: entropie soustavy při absolutní nule je rovna nule

6. Volná entalpie

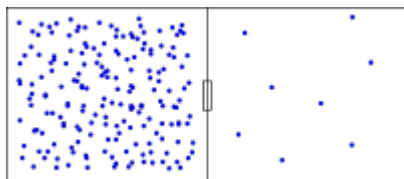
- Volná entalpie je stavová funkce
- Značíme G , tzv. **Gibbsova funkce**
 - $G = H - TS$
 - Platí za konst. tlaku
 - Její úbytek při izotermicko izobar. ději se rovná maximální užitečné práci, kterou systém vykoná
 - Max. užitečná práce je celková reverzibilní práce, zmenšená o práci proti vnějšímu tlaku

7. Entropie

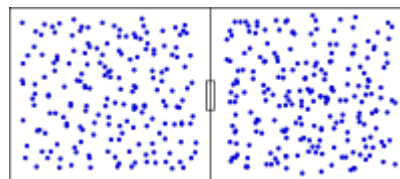
- Je obecně veličina udávající míru neuspořádanosti zkoumaného systému nebo také míru neurčitosti daného procesu
- Termodynamická funkce, která charakterizuje míru degradace energie
- Je stavovou funkcí, přičemž je globální veličinou
- Při **vratném!** izotermickém ději je nekonečně malý přírůstek entropie
- Entropii značíme S , její jednotka je $J \cdot K^{-1}$

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \quad \text{Q teplo, T teplota}$$

- $dS = S_2 - S_1 = Q_r/T$
- Pro všechny děje platí $\Delta S \geq 0$



Termodynamický systém s nízkou entropií - nízkou neuspořádaností, a tedy vysokou schopností konat práci



Termodynamický systém s vysokou entropií - vysokou neuspořádaností, a tedy nízkou schopností konat práci

8. Entalpie

- Zvyšuje-li systém svůj objem o dV proti vnějšímu tlaku p , koná přitom mechanickou práci $dW = p dV$
- Při konstantním tlaku můžeme psát $dQ = dU + p \cdot dV$
- Byla zavedena veličina **H, entalpie** nebo tepelný obsah (teplo za konst. tlaku)
 - $H = U + p \cdot V$ (U - vnitřní energie, pV je objemová práce)
 - Její změna ΔH spojená s přechodem systému ze stavu 1 do stavu 2 při konstantním tlaku, představuje množství tepla, které soustava přijímá nebo odevzdává

9. Vnitřní energie a volná energie

- Teplo Q a práce W dodané systému v průběhu určité reakce jsou obecně závislé na reakční cestě a nejsou stavovými veličinami
- Stavovou veličinou je však jejich lineární kombinace $\Delta U = Q - W$, protože zvyšuje přírůstek **vnitřní energie** systému
- Vnitřní energie
 - Vnitřní energie U je součet všech druhů energie v systému
 - Dodáním tepla dQ a práce $-dW$ se zvýší vnitřní energie
 - $dU = dQ - dW$
- Systém může konat práci jen tehdy, poklesne-li jeho vnitřní energie nebo je-li mu dodáno teplo
- **Volná energie:**
 - Volná energie, nebo **Helmholtzova funkce F**
 - Platí za **konstantního objemu**
 - Definována vztahem $F = U - TS$
 - Její úbytek se rovná maximální práci, kterou systém vykoná při izotermickém reverzibilním ději

- Celková vnitřní energie se skládá z *volné energie*, kterou lze přeměnit na práci, a z *energie vázané* o velikosti $T \cdot S$

10. Chemický potenciál

- míra afinity látky - jak moc to je ochotna reagovat
- Probíhají-li v systému chemické reakce, mění se tím jeho složení a tím i jeho stav
- Proto je stav většiny systémů definován dvěma ze stavových veličin a navíc počtem molů daní látky, n
- Každý druh energie je možné vyjádřit jako součin svou faktorů intenzitního a kapacitního
 - Kapacitním faktorem je přírůstek molů dané složky i , Δn_i
 - Intenzitním faktorem je chemický potenciál μ_i
 - Přírůstek energie je tedy $\Delta E = \mu_i \Delta n_i$
- $\mu_i = (\partial G / \partial n_i)_{T, p}$ - změna molární Gibbsovy energie
- $\Sigma = \mu_i dn_i$
 - $dn_i > 0$ pro vznikající produkty
 - $dn_i < 0$ pro látky do reakce vstupující
- Celková změna entropie $T \cdot dS = dU + p \cdot dV - \Sigma \mu_i \cdot dn_i$

11. Odvádění tepla z organismu

- Teplo vytvořené svalovou prací a metabolismem živin
- Energetický obrat organismu závisí na povrchu těla
- Teplota má vliv na rychlost chem.reakcí
- Odvod tepla:
 - **Zářením** - závisí na povrchu a barvě
 - **Prouděním**
 - **Vedením** - přenos na chladnější místa
 - **Vypařováním**
- **Tepelná pohoda závisí na:**
 - Teplotě, vlhkosti, proudění vzduchu

12. Termostat, měření a regulace teploty

- Teplota je objektivní míra tepelného stavu látky
- Jednotkou teploty je 1 kelvin (K)
- Vztah s celsiovou teplotou $T (K) = 273,15 + t$ (ve stupních celsia)
- Měření teploty
 - **Kapalinové teploměry**
 - Založené na teplotní roztažnosti kapaliny
 - Plní se rtuťí, toluenem, obarveným etylalkoholem)
 - **Lékařský teploměr**
 - Slouží pro měření tělesné teploty
 - Náplň rtuťová
 - Zařízení na měření maximální teploty, po měření je nutno ho setřepat
 - **Kalorimetrický teploměr**
 - Slouží k měření malých teplotních změn v rozsahu stupnice
 - Jeho kapilára je na dolním konci rozšířena, čímž se podstatně zkrátí délka teploměru při zachování podrobného dělení stupnice
 - **Termistor**
 - Měření teploty termistorem je realizováno měřením jeho elektrického odporu
 - S rostoucí teplotou stoupá hustota elektronů v polovodičích a tím roste i jejich odpor

- Přesnost je velká - až mK
 - V lékařské praxi není plně využita
 - **Termočlánky**
 - Vodivý pruh je tvořen dvěma různými kovy, které jsou spájeny
 - V obvodu vzniká rozdíl potenciálů, který je přímo úměrný rozdílu teplot
- **Regulace teploty**
 - Používají se různé zařízení pro udržování konstantní teploty
 - Termostaty, sušárny, inkubátory...
 - Regulace teploty se provádí automaticky
 - Přístroj pro měření teploty sám přes pomocné zařízení (relé) podle potřeby zapíná nebo vypíná vytápění/chlazení
 - K hrubé regulaci se dobře hodí bimetalický teploměr
 - Je založen na teplotní roztažnosti pevných látek
 - Je spojen s mechanickým spínačem, pokud se dostatečně „roztáhne“, sepne spínač
 - Pro přesnější regulaci je vhodný kontaktní teploměr
 - Rtuťový teploměr s dvěma kontakty, jeden je spojen s rtutí a druhý zasahuje shora do kapiláry

13. Tepelná zařízení

- **Termostaty**
 - Zařízení, ve kterých vnitřní prostředí zachovává volitelnou teplotu s minimálními odchylkami
 - Užívají se v laboratořích
 - Používají se vodní i vzduchové, jde o komoru s dvojitými stěnami
 - Skříň je vyhřívána elektrickými topnými tělesy
- **Sterilizátory a autoklávy**
 - Přístroje ke sterilizaci nástrojů, ob vazů apod.
 - Nejdokonalejší sterilizace je v autoklávech, kde se používá přehřátá pára o zvýšeném tlaku (ne všechny nástroje to snesou)
- **Vodní lázně**
- **Temperované operační stoly**
 - Používají se v souvislosti s umělým, podchlazením
 - Ve stole je potrubí, kde podle potřeby proudí teplá nebo studená voda
- **Chladicí zařízení**
 - Kompresorové - kompresor stlačuje plyn, který se chladí okolním vzduchem a kapalní, ve výparníku se kapalina odpařuje a plyn se rozpíná - značné ochlazení
 - Absorpční

D. Fyzikální a fyziologická akustika

1. Zvukové vlnění, mechanická impedance zvuku

- zvuk - vibrace pružného prostředí ve frekvenčním rozsahu ucha 16Hz-20kHz
- infrazvuk - nižší
- ultrazvuk - vyšší
- fyziologická akustika - akustika sluchu a řeči - zabývá se hlasitostí, výškou - subjektivní odraz v mozku
- fyzikální akustika - fyzikální vlastnosti šíření
- při **zvukovém vlnění** dochází ke kmitání částic prostředí
- v kapalném a plynném prostředí se zvuk šíří jako podélné vlnění
- v tuhém jako podélné i příčné, rychlost je různá, podélné rychlejší
- rychlost šíření zvukové vlny - závisí na vlastnostech prostředí (tlak, hustota), v plynech (**Poissonova konstanta** - poměr měrného tepla při konstantním tlaku ku měrnému teple při konstantním objemu)

$$c = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}}$$

- v kapalinách a tkáních (K je modul objemové pružnosti - poměr změny tlaku ku změně objemu)

$$c = \sqrt{\frac{\kappa R T}{M}} \quad c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

- délka zvukové vlny $\lambda = \frac{c}{f}$

- **rychlost zvuku ve vzduchu 344m/s**
- **akustická rychlost** - rychlost kmitavého pohybu částic prostředí
- **efektivní akustická rychlost** $v = v_{\max} / \sqrt{2}$
- při volném šíření platí $p_{ef} = v_{ef} \rho c$
- **akustický odpor** - akustická impedance

$$z = \frac{p_{ef}}{v_{ef}} = \rho c$$

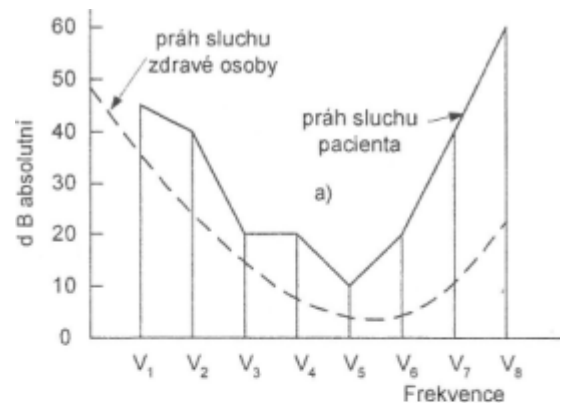
2. Intenzita zvuku, zvukový tlak

- **Intenzita zvuku** - energie, která projde jednotkovou plochou orientovanou kolmo na směr šíření zvuku za čas $I = v_{ef} p_{ef}$ ($W \cdot m^{-2}$)
- **prahová intenzita zvuku** - to už ucho slyší, vyjadřuje se v belech nebo decibelech (logaritmus poměru intenzity kterou určujeme ku intenzitě kterou bereme za základ - nulová hladina)

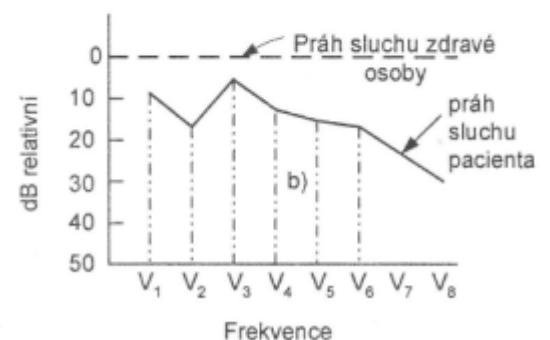
$$L = \log \frac{I}{I_0} \quad (B)$$

- **zvukový tlak** - v místě amplitudy akustické rychlosti částic prostředí je maximální akustický tlak způsobený zhušťováním a zředováním prostředí

$$p = p_{\max} \sin(2\pi f t + \frac{\pi}{2})$$



Obr. 6.9: Audiogram v hladině zvuku



Obr. 6.10: Audiogram nad prahem

3. Dopplerův jev

- **Dopplerův jev** - změna frekvence vln přijímaných pozorovatelem, způsobená relativním pohybem pozorovatele nebo zdroje zvuku
- když je pozorovatel v klidu a zdroj se pohybuje (zdroj emituje vlnění) rychlosti v_{zdr} tak pozorovatel přijímá vlnovou délku (znaménko je podle toho, jestli se zdroj vzdaluje nebo přibližuje)

$$\lambda = \lambda_0 \pm \frac{v_{zdr}}{f_0}$$

- když se pohybuje zdroj i pozorovatel pak je pozorovaná frekvence (horní znaménka se užívají, když se vzájemně přibližují a dolní když se oddalují)

$$f = f_0 \frac{c \pm v_{zdr}}{c \mp v_{poz}}$$

- když se zdroj pohybuje rychleji než zvuk, tak za ním zůstává vlna kuželovitého tvaru s vrcholem v bodě, kde je zrovna zdroj - nadzvuková letadla --> rázová vlna

4. Sluchové pole, hladiny hlasitosti

- **sluchové pole**: zvukovou E vnímá člověk subjektivně, různá intenzita je různá hlasitost, každé slyšitelné frekvenci odpovídá určitá prahová intenzita
- práh sluchu - nulová izofóna - místa se stejnou **hladinou hlasitosti**
- práh bolesti 130dB

- spektrum zvuku: čisté tóny se v přírodě prakticky nevyskytují - spíš šумы, nebo složené
- tón: periodický zvuk
- komplexní tón: součet jednotlivých tónů, které jsou násobkem určité základní frekvence --> součet transportované energie $W=W_1+W_2+\dots$
- zabarvení zvuku - umožňuje rozlišit zdroj tónu o stejné výšce
- souhlásky: periodické, samohlásky: šумы

5. Biofyzika slyšení

- zachycení sluchovým analyzátozem (uchem)
- vnější - zachycování signálů, zvuková vlna je vedena k bubínku, zevní zvukovod má fci rezonátoru
- střední - převod do vnitřního ucha kde jejich E podráždí sluchové buňky, převod chvění z bubínku na oválné okénko - energie se přenáší z plynného do kapalného prostředí, takže při přechodu z bubínku na okénko, které je mnohem menší se zvětší asi 20x tlak
- vnitřní ucho - tlakové změny na membráně okénka rozechvívají tekutinu vnitřního ucha, podráždění receptorových buněk, přenášení signálu do mozku
- převod zvukových signálů na nervové vzruchy

6. Weber-Fechnerův zákon v akustice

- vztah mezi podmětem a počítkem: počíttek - rozpoznání podmětu, jeho typ a síla, podmět - musí mít minimální intenzitu
- závislost velikosti počítku na podmětu:
 - **Weberův psychofyzikální zákon** (R-response, S-stimulus) $R=\log S+k$

7. Audiometrie, audiogramy

- audiometr - přístroje které vyrábějí slyšitelné tóny s nastavitelnou frekvencí a intenzitou
- zdrojem kmitů je generátor sinusových kmitů
- zvukovou energii přenáší do ucha sluchátko
- ohlušovač vytváří šumy do zdravého ucha aby se nezkrusily výsledky
- grafický záznam: audiogram

8. Piezoelektrický generátor ultrazvuku

- zvuky o frekvenci nad 20kHz jsou pro člověka neslyšitelné
- ultrazvukové kmity vytváří: mechanický, magnetostrikční, piezoelektrický generátor
- mechanické a magnetostrikční - ultrazvuk nízkých frekvencí - nevyužívají se v lékařství
- piezoelektrické: piezoel. jev = vznik kladného a záporného náboje na opačných koncích el. osy krystalu při jeho deformaci - užívá se destička z křemene, na kterou jsou napojené elektrody se střídavým napětím a destička kmitá s jeho frekvencí = převádí se elektrická energie na mechanickou, destička rozkmitá okolní prostředí

9. Fyzikální vlastnosti ultrazvukových vln

- ultrazvuk se šíří v tkáních stejnou rychlostí ale má kratší vlnovou délku
- na rozhraní mezi tkáněmi s různou rychlostí šíření dochází k částečnému odrazu a ke změně směru šíření vln --> význam pro diagnostiku (0 jsou úhly dopadu a lomu zvukové vlny)

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

- akustická impedance: pokud jsou impedance prostředí 1 a 2 různé, tak dojde při průchodu vlny k částečnému odrazu, při kolmém dopadu platí: (když je $z_2 \gg z_1$ nebo $z_1 \gg z_2$ --> $R=1$, když $z_2=z_1$ --> $R=0$)

$$R = \left(\frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \right)^2$$

10. Fyzikální princip využití ultrazvuku v diagnostice

Účinky ultrazvuku

- tepelné: při absorpci E akustické vlny dochází k jejímu předávání molekulárnímu prostředí a to se projeví zvýšenou teplotou a mech. vlna ztrácí asi 30% energie
- mechanické: průchod vlny prostředím má za následek tlakové změny (lokální) - kavitace - vznik dutinek které ale rychle kolabují --> zahušťování a zředování prostředí
- fyzikálně-chemické: lze připravit pomocí ultrazvuku jemné suspenze, emulze, pěny...
- biologické: kombinace prvních tří - strukturní změny (rozpad krvinek, porušení vodivosti nervů, změny pH) ale do jisté intenzity mají spíš biopozitivní účinek - zrychlení metabolické výměny atd., hodně vysoká intenzita --> koagulace bílkovin

Využití ultrazvuku

- léčebné účinky: hloubkový tepelný účinek, tišení bolesti, uvolnění svalového napětí, odstraňování zubního kamene...
- funkce: krystal-sonda má fci vysílače a přijímače odražených mech. kmitů, krystal detekuje odrazy a velikost echa a z jeho časového zpoždění určí hloubku odrazu
- A-obraz - záznam odrazů v závislosti na hloubce
- B-obraz - velikost echa je úměrná sytosti bodu na obrazovce (jako když se A obraz otočí o 90°)
- lineární sonda: jednotlivé krystaly jeden vedle druhého, každá dělá řádku
- sektorová sonda: rotace jednoho krystalu, pak se pootočí a udělá novou přímkou
- pravidla zobrazování: s vyšší frekvencí se zkracuje vlnová délka a je vyšší rozlišení, s nárůstem frekvence stoupá absorpce a snižuje se hloubka do které je možno zobrazit

E. Fyzikální základy použití optiky v lékařství

OPTIKA

= nauka o světle, elektromag. vlnění a vlnových délkách 380-760nm které vyvolávají zrakový vjem

- >760 nm infračervené záření
- <380 nm ultrafialové
- účinky elektromag. záření jsou ZÁVISLÉ NA ENERGII

Světlo

- geometrická optika - založena na přímočarém šíření světla
- vysvětluje ohyb, difrakční jevy, průchod v prostředích s různou hustotou
- vlnová optika: vlnové vlastnosti světla
- kvantová optika: vychází z toho, že zářivá energie je emitována v energetických kvantech pomocí fotonů

$$E = \frac{h}{f} = \frac{hc}{\lambda}$$

- $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

1. Záření těles, Stefan-Boltzmannův a Wienův zákon

- všechna tělesa emitují zářivou energii - tepelným pohybem dochází k excitaci atomů a molekul
- absorpce - přijatá energie se mění nejvíce na tepelnou
- pohltivost (koeficient absorpce) A_λ je BEZROZMĚROVÝ koeficient - poměr energie absorbované ku energii která dopadla na povrch tělesa (pro látky je to <1)
- absolutně černé těleso: pohltivost=1 pro všechny vlnové délky nezávislé na jeho teplotě

Kirchoffův zákon: poměr intenzity vyzařování energie H ku pohltivosti je fci vlnové délky a teploty tělesa

$$\frac{H}{A} = f(\lambda, T)$$

- vyplývá z něj, že čím větší je pohltivost, tím větší tmavší se jeví a tím více září když je rozžhavené

Stefan-Boltzmannův zákon

$$H = \sigma T^4$$

- koeficient úměrnosti: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
- můžeme určit teplotu tělesa je li alespoň částečně černé

Wienův zákon

- vlnová délka nejvíce zastoupená ve spojitém spektru absolutně černého tělesa je nepřímo úměrná jeho abs. teplotě $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$
- rostoucí teplotou se maximum vyzařování posouvá ke kratším vlnovým délkám (vysvětluje změnu barvy zahřívaného tělesa od červené, přes žlutou až k bílé)

2. Čočková rovnice, zobrazování čočkami

- čočka - průhledné prostředí s obvykle dvěma kulovými plochami (dvě lámavé plochy)
- malá čočka - její tloušťka je malá vzhledem k poloměrům jejích kulových ploch
- když je v homogenním prostředí pak $f = f'$
- optická mohutnost $D = \frac{1}{f}$ (když je f v metrech pak je jednotka D)
- polohu obrazu který vznikne zobrazovací čočkou - zobrazovací rovnice (čočková)

- $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \pm \frac{1}{f}$
- (kladné znaménko odpovídá čočkám, záporné rozptylkám)
- při zobrazení spojkou: obraz jakýkoliv (zvětšený, zmenšený...)
- rozptylka: zdánlivé, zmenšené, přímé
- když je více čoček pak $D = D_1 + D_2 - D_1 * D_2 v$ v...vzdálenost čoček
- když je jejich výsledná $D > 0$ ----> spojná soustava, když $D < 0$ ----> rozptylky

3. Extinkce, Lambert-Beerův zákon

- když světlo prochází prostředím, tak je část jeho E absorbována prostředím a intenzita se snižuje
- koeficient absorpce je úměrný koncentraci roztoku (koeficient=epsilon)
- extinkce E (absorbance)
- Lambert-Beerův zákon $E = \epsilon_m d$

4. Rozptyl světla

- při průchodu plynem dochází k rozptylu na malých částicích
- protože jsou částice malé, tak se nemění vlnová délka rozptýleného světla = příčný rozptyl
- intenzita světla rozptýleného do všech směrů je velmi nízká
- pro poměr světla rozptýleného ve směru (I_r) ku intenzitě dopadajícího (I_o) platí:

$$\frac{I_r}{I_o} = k * \frac{M^2}{\lambda^4}$$

- (hodnota k je závislá na koncentraci částic a úhlu pod kterým se provádí měření)
- nepružný rozptyl - na větších objektech srovnatelných s vlnovou délkou světla ----> vlnové délky rozptýleného světla jsou různé ve všech směrech
- obloha je modrá proto, že rozptyl světla přes atmosféru je velký
- červená barva (slunce) je proto, že světlo je nízko nad obzorem a tam je tloušťka rozptylujícího záření největší

5. Disperze světla

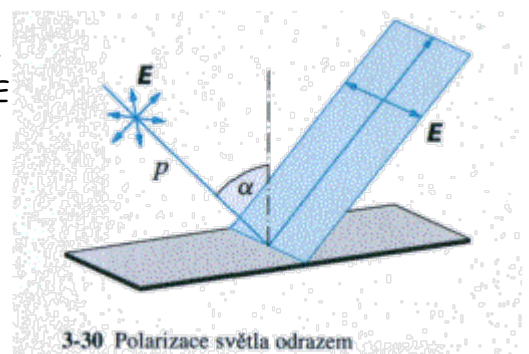
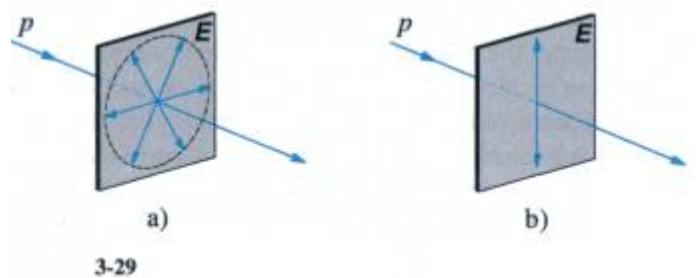
- index lomu závisí na frekvenci světla (s rostoucí frekvencí se zvětšuje)
- bílé světlo se při průchodu hranolem rozloží na své barevné složky
- při průchodu světla rozhraním optických prostředí se frekvence nemění, ale protože se mění rychlost šíření, mění se i vlnová délka
- ve vakuu je rychlost pro všechny vlnové délky stejná a disperze nenastává

6. Zákon lomu světla, využití ve spektrálním přístroji

- Zákon odrazu světla: Velikost úhlu odrazu se rovná velikosti úhlu dopadu.
- Lom světla: **Snellův zákon** - $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n$, kde n je relativní index lomu a n_1, n_2 je absolutní index lomu prostředí: $n = \frac{c}{v}$.
- Prostředí opticky hustší je prostředí, ve kterém se světlo šíří pomaleji (větší index lomu), v prostředí opticky řidším se světlo šíří rychleji (menší index lomu).
- Prochází-li paprsek z prostředí opticky hustšího do opticky řidšího, nastává lom od kolmice (úhel lomu je větší než úhel dopadu). Pokud je úhel dopadu tzv. mezní úhel ($\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}$), je úhel lomu 90° - paprsek odchází po rozhraní. Je-li úhel dopadu větší než mezní úhel, nastává tzv. úplný odraz.

7. Polarizace, interference a ohyb světla

- vektor intenzity E elektrického pole je vždy kolmý na směr, kterým se vlnění šíří
- v rovině kolmé k paprsku přirozeného světla se směr vektoru E nahodile mění (obr. 3-29a) = nepolarizované světlo
- světelné vlnění, jehož vektor E kmitá stále v jednom směru, je lineárně polarizované světlo (obr. 3-29b)
- polarizace odrazem a lomem: - nepolarizované světlo dopadá pod určitým úhlem na skleněnou desku (obr. 3-30), polarizuje se tak, že v odraženém světle vektor E kmitá kolmo k rovině dopadu



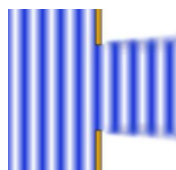
- Polarizace je však jen částečná a závisí na úhlu dopadu světla. Odražené světlo je úplně polarizované jen při určitém úhlu dopadu, jehož velikost závisí na indexu lomu pro rozhraní na kterém dochází k odrazu.
- Odražené a lomené světlo není plně polarizované. Nejlepších výsledků dosáhneme, dopadá-li světlo pod polarizačním (Brewsterovým) úhlem ($\tan \alpha_p = n$). Např.: Při odrazu na skle o indexu lomu $n = 1,5$ nastává úplná polarizace při úhlu dopadu $\alpha_B = 56^\circ$.
- K částečné polarizaci dochází také při lomu světla. V tomto případě je však polarizováno tak, že vektor E kmitá rovnoběžně s rovinou dopadu.
- polarizace dvojlomem: v opticky stejnorodém prostředí se světlo šíří všemi směry a stejnou rychlostí, ale krystaly některých látek jsou z hlediska šíření světla nestejnorodé rychlost světla v různých směrech různá
- když dopadá světlo \rightarrow nastává dvojlom
- paprsek mimořádný a paprsek řádný (oba lineárně polarizované)

- pouze u koherentních (ty, co vycházejí ze stejného zdroje) paprsků
- při průchodu paprsků např. okenní tabulkou
- část paprsků (dopadajících kolmo na tuto desku) jí projde, část paprsků se odrazí o rozhraní vzduch-sklo (přední část okna) a část od rozhraní sklo-vzduch (zadní část okna)
- vidíme dvakrát svůj obraz
- interferencí se světlo zesiluje nebo zeslabuje
- amplituda je maximální, když je dráhový rozdíl roven sudému počtu půlvln

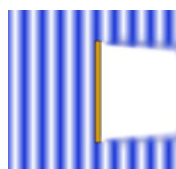
$$d=2k \cdot (\lambda/2) \quad k=1,2,3\dots$$

Ohyb světla

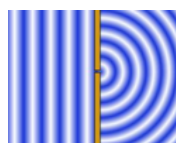
- jen na překážkách jejichž rozměry jsou řádově stejné jako je vlnová délka světla
- jestliže světelné vlnění dopadá na hranu určité překážky, nevzniká za překážkou ostrá hranice světla a stínu, světlo proniká zčásti i za překážku. Zákryt vytvořený překážkou, kam by se světlo nedostalo, kdyby nebylo ohybatelné, se nazývá geometrický stín.



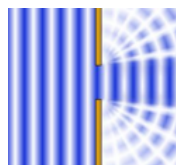
Velká štěrbinou. Po průchodu štěrbinou je vlnění omezeno rozměry štěrbinou.



Za velkou překážkou.



Za velmi malou (bodovou) štěrbinou. V takovém případě lze celou štěrbinu považovat za bodový zdroj vlnění, a podle Huygensova principu se vlnění bude šířit jako kulové vlnění do všech směrů se stejnou intenzitou.



Za štěrbinou, jejíž rozměry jsou srovnatelné s vlnovou délkou vlnění. V tomto případě dochází k interferenci jednotlivých elementárních vlnění, což má za následek, že vlnění se šíří nejen přímočaře, ale také do stran. Největší intenzita

leží ve směru šíření vlnění. Vedlejší maxima mají intenzitu nižší.

8. Refraktometrie

- měření indexu lomu látek
- platnost Snellova zákona pro lom paprsku na rozhraní dvou prostředí
- $\sin a / \sin b = n_2 / n_1 = v_1 / v_2$
- založeno na určování mezního úhlu
- Paprsek přicházející rovnoběžně s rozhraním ($\alpha = 90^\circ$) se láme pod mezním úhlem β_m
- Mezní úhel je největší úhel lomu, do prostoru za ním se paprsky lomem nedostanou
- Světlo ze zdroje dopadá na temperovaný lámavý hranol, na němž je umístěn vzorek
- Na rozhraní prostředí dojde k lomu, vystupující paprsky jsou pozorovány

9. Biofyzika vidění

- sítnice: tam receptory (tyčinky a čípky), bipolární a gangliové buňky
- uloženy ve třech vrstvách
- citlivost oka ne různé vlnové délky je každého různá
- nejcitlivější je oko na 555nm
- tři oblasti vidění:
- Denní (fotopické) - při dostatečném osvětlení, adaptace je 20-60sekund
- Noční (skotopické) - vidění je zprostředkované pouze tyčinkami, ztráta barevného vidění, vnímání pouze intenzity světla - adaptace 40-60minut
- Mezopické - závisí na osvětlení - při velké intenzitě vidí čípky, při menší tyčinky
- Trichromatický systém - RGB
- Na sítnici jsou tři druhy čípků s různou citlivostí - kombinací podráždění vznikají barvy

10. Oko, blízký a daleký bod, akomodace na vzdálenost a intenzitu

- koule 12mm, tuhý bílý obal, bělima
- vypouklina 7-8mm - tam rohovka - 2mm
- geometrická osa oka - přímka procházející středy obou koulí
- vnitřek průhledný, rozdělený čočkou na dvě části
- světlo prochází: rohovka (index 1,37), přední komora oční - tam oční mok (1,33), zadní komora - mezi zadní plochou duhovky a ciliárním aparátem - tam sklivec z 99% vody (1,33), duhovka - zornice v rozmezí 2-8mm, oční čočka - různý poloměr křivosti přední a zadní stěny (10 a 6mm)
- opt. mohutnost čočky se může měnit - je zavěšena na ciliárním aparátu, který má schopnost měnit zakřivení --> akomodace
- vzdálený bod - oko vidí ostře bez akomodace (zdravé v nekonečnu=víc než 5m)
- blízký bod - ostře při maximální akomodaci

Optická soustava oka

- středy částí jsou v jedné přímce
- průměrná opt. mohutnost je +-3D - oko v klidu, kde vzniká obraz na sítnici
- čočka 20D, rohovka 42,5D NENÍ MOŽNO SČÍTAT
- na zadní straně komory je jamka - žlutá skvrna - tam největší rozlišovací schopnost
- vizuální osa spojuje střed opt. soustavy se žlutou skvrnou

11. Krátkozrakost a dalekozrakost

Vady oka

- zdravé oko: na sítnici se zobrazí ostrý obraz pozorovaného předmětu (bod je zase bod a je na sítnici)
- astigmatismus: bod není bod protože rohovka nemá kulový tvar

Sférická ametropie

- krátkozrakost - vzdálený bod v konečné vzdálenosti, takže oko vidí ostře jenom to je předtím, jinak vzniká obraz před sítnicí - korekce rozptylkami
- dalekozrakost - vzdálený bod je v konečné vzdálenosti za okem - za sítnicí - korekce spojkami
- ČÍM BLÍŽE JE VZDÁLENÝ BOD OKU, TÍM VĚTŠÍ VADA

Astigmatismus

- bod není bod
- kvůli asymetrii opt. mohutnosti oka
- nepravidelný (nepravidelné zakřivení rohovky kvůli úrazu), pravidelný (nestejné ve všech rovinách procházejících opt. osou)

12. Fotonka, fotočlánek

Fotočlánek

- je nejčastěji používané fyzikální čidlo pro objektivní světelná měření (popř. radiometrická). Fotočlánek obsahuje detektor citlivý na světlo. Detektor převádí světlo na elektrický signál.

Fotonka

- baňka s vakuem, tam katoda a anoda mezikterými je stejnosměrné napětí
- proud neprochází, protože je tam vakuum, ale když na katodu dopadne světlo, dojde k fotoemisi elektornů, jteré jsou přitaženy k anodě
- proud který začně procházet je úměrný intenzitě světla dopadajícího na katodu

13. Emisní a absorpční spektrální analýza

- **Emisní**
 - Ke stanovení prvků - prvky v analyzovaném vorku se při vysoké teplotě vypaří, jejich atomy jsou v excitovaném stavu a jsou zdrojem záření
- **Absorpční**
 - Látka absorbuje ty vlnové délky, které by sama vysílal v rozžhaveném stavu - v okuláru je pak vidět spojité spektrum na kterém jsou tmavé čáry - to jsou vlnové délky, které látka absorbovala

14. Optické vlastnosti koloidů

- Prochází-li intenzivní světelný paprsek koloidním roztokem, můžeme jeho dráhu sledovat jako opaleskující svítivý paprsek. Tento efekt se nazývá Tyndallův jev . Jeho principem je rozptyl světla způsobený přítomností pevných částic v prostředí.
- **Tyndallův jev** je difúzní rozptyl světla, který vzniká, pokud paprsek prochází prostředím, které málo absorbuje mikroskopické částičky, které odklánějí procházející světlo, čímž se procházející paprsky stávají viditelnými.

15. Princip funkce laseru

Laser je tvořen aktivním prostředím, rezonátorem a zdrojem energie.

Zdrojem energie, který může představovat například výbojka, je do aktivního média dodávána ("pumpována") energie. Ta energeticky vybudí elektrony aktivního prostředí ze základní energetické hladiny do vyšší energetické hladiny, dojde k tzv. excitaci. Takto je do vyšších energetických stavů vybudena většina elektronů aktivního prostředí a vzniká tak tzv. inverzní populace

Při opětném přestupu elektronu na nižší energetickou hladinu dojde k vyzaření (emisi) kvanta energie ve formě fotonů. Tyto fotony následně interagují s dalšími elektrony inverzní populace, čímž spouštějí tzv. stimulovanou emisi fotonů, se stejnou frekvencí a fází, i u nich.

Díky umístění aktivní části Laseru do rezonátoru, tvořeného například zrcadly, dochází k odrazu paprsku fotonů a jeho opětovnému průchodu prostředím. To dále podporuje stimulovanou emisi, a tím dochází k exponenciálnímu zesilování toku fotonů. Výsledný světelný paprsek pak opouští tělo Laseru průchodem skrze polopropustné zrcadlo $f = (E_n - E_m)/h$

16. Optický mikroskop

- optický přístroj pro zobrazení malého sledovaného objektu ve větším zvětšení
- čočky, které tvoří objektiv a okulár.
- ze dvou spojných soustav čoček, které mají společnou optickou osu
- objektiv má malou ohniskovou vzdálenost (řádově v milimetrech)
- pozorovaný předmět se umísťuje blízko před předmětové ohnisko, takže vzniká skutečný, zvětšený a převrácený obraz
- obraz vzniká mezi druhou částí mikroskopu, tzv. okulárem, a jeho předmětovým ohniskem
- vzniklý obraz pak pozorujeme okulárem podobně jako lupou, čímž získáváme další zvětšení.
- ohnisková vzdálenost okuláru se pohybuje v řádech centimetrů
- obrazové ohnisko objektivu a předmětové ohnisko okuláru nesplyvají, ale jsou od sebe vzdáleny o hodnotu optického intervalu, jehož hodnota se u mikroskopu pohybuje mezi 15 cm a 20 cm.

Zvětšení: $Z = Z_{ob} \cdot \gamma_{ok} = \frac{\Delta}{f_1} \cdot \frac{d}{f_2}$, kde f_1 je ohnisková vzdálenost objektivu a f_2 okuláru, Δ je

optický interval mikroskopu a d je konvenční zraková vzdálenost.

Vytváří **převrácený, neskutečný, zvětšený obraz**

17. Princip funkce elektronového mikroskopu

- fotony nahrazeny elektrony a optické čočky elektromagnetickými čočkami, což je vlastně vhodně tvarované magnetické pole
- využívá se toho, že vlnové délky urychlených elektronů jsou o mnoho řádů menší než fotonů viditelného světla. Proto má elektronový mikroskop mnohem vyšší rozlišovací schopnost a může tak dosáhnout mnohem vyššího zvětšení (až 1 000 000×)
- pozorovaný předmět většinou není sám zdrojem elektronů, tak se prosvětluje svazkem z elektronového děla
- vlnová délka elektronu

$$\lambda = h / (\text{odmocnina } 2meU)$$

$$\text{protože } eU = 1/2mv^2$$

F. Elektřina v lékařství

- Podle Coulombova zákona na sebe působí dva náboje q_1 a q_2 silou
 - $F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$, kde ϵ je **permitivita**, udává se v tabulkách jako relativní permitivita $\epsilon_{rel} = \epsilon / \epsilon_0$, kde ϵ_0 je permitivita vakua
 - Vysoká relativní permitivita vody umožňuje dobrou rozpustnost řady solí
 - Buněčné membrány jsou propustnější pro ionty K^+ než pro ionty Na^+
 - K^+ má menší poloměr ve vodném roztoku
 - Potenciální energie - můžeme uvažovat jako práci, kterou musíme vykonat pro přenesení náboje q
 - $U = \frac{W}{q}$
 - Náboj umístěný v prostředí o permitivitě ϵ
 - $U = \frac{q}{4\pi\epsilon r}$
 - **Potenciál** v kterémkoliv místě je roven práci potřebné k přenesení jednotkového náboje z nekonečna do tohoto místa

1.

Donnanova rovnováha na buněčné membráně

- Membránová rovnováha mezi roztoky elektrolytů, oddělenými polopropustnou membránou, které kromě nízkomolekulárních iontů, procházejících membránou, obsahují také ionty vysokomolekulární, které membránou neprocházejí
- V rovnovážném stavu se rovnají elektrochemické potenciály vně i uvnitř.
- Gibbsova - Donnanova rovnováha
 - Popisuje vztahy mezi koncentracemi kationtů a aniontů v plazmě a intersticiální tekutině a ukazuje míru kompenzace nábojů nedifuzibilních aniontů (proteinů) přesunem difuzibilních (nízkomolekulárních) látek přes membránu oddělující tyto prostory
 - Základní vlastností membrány, pro kterou se Gibbsova-Donnanova rovnováha uplatňuje, je prostupnost pro ionty a neprostupnost pro koloidy (proteiny) s nábojem
 - Příkladem takové membrány je stěna kapilár
 - Podkladem dějů je zejména přítomnost proteinových aniontů v plazmě. Při běžném pH převládají na proteinech záporné náboje. Z tohoto důvodu se ustanovuje iontová rovnováha mezi intersticiální tekutinou a plazmou v tom smyslu, že je vyšší koncentrace kationtů (Na^+ a K^+) v plazmě a vyšší koncentrace aniontů (Cl^- a HCO_3^-) v intersticiu (kde se proteinové anionty za normálních okolností nevyskytují)
- Pro membránový potenciál $\Delta\varphi_{\text{mem}}$ platí:
 - $\Delta\varphi_{\text{mem}} = \frac{RT}{z_i F} \ln\left(\frac{a_i^{\text{ex}}}{a_i^{\text{in}}}\right)$

2.

Klidový membránový potenciál

- K pochopení toho, jak je veden signál po většině délky nervové buňky, je potřeba se seznámit s existencí membránového potenciálu. Jeho základní příčinou je různý poměr aniontů a kationtů uvnitř a vně buňky.
- Kationty draslíku jsou jako atomy malé, a proto procházejí membránou, zatímco pro anionty (fosforečnany, bílkoviny) je zcela neprostupná
- V malé míře mohou prostupovat chlór a sodík
- Nerovnováha aniontů a kationtů vzniká díky rozdílné koncentraci solí v buňce a vně buňky - zatímco vně je 5,5 mmol/l K^+ , uvnitř buňky je 155 mmol/l K^+
- Kationty draslíku se mohou mísit a "snaží" se unikat ven a tím vyrovnat koncentraci
- Pokud jich unikne dost, celý proces se zastaví, protože zbylé kationty budou uvnitř drženy přitažlivými silami, vzniklými záporným napětím
- Takto fungující membrána se též nazývá iontová pumpa
- Rovnice pro výpočet jejího napětí sestavil v 19. stol. W. Nernst, proto se nazývá Nernstův potenciál nebo klidový membránový potenciál (dále KMP, anglicky "resting potential")
- V nervových buňkách je -60 až -75 mV
- V závislosti na druhu buňky se v celém těle pohybuje od -40 do -90 mV
- Nervové, svalové a smyslové buňky mají zvláštní vlastnost rychle měnit svůj MP na základě vnějších podnětů
- KMP = -77 mV, vnitřek je oproti vnějšku záporný
- Potenciální rozdíl na polopropustné membráně ($E_M = \varphi_{\text{II}} - \varphi_{\text{I}}$), oddělující dva roztoky (I a II), které kromě nízkomolekulárních iontů, procházejících membránou, obsahují také ionty vysokomolekulární, které membránou neprocházejí. Důsledkem přítomnosti velkých iontů je nerovnoměrné rozdělení nízkomolekulárních iontů mezi roztoky po obou stranách membrány (viz Donnanova rovnováha). V rovnováze platí

$$E_M = \varphi_{II} - \varphi_I = -\frac{RT}{z_K F} \ln \frac{(a_K)_{II}}{(a_K)_I} + \frac{RT}{|z_A| F} \ln \frac{(a_A)_{II}}{(a_A)_I}$$

kde a_K , a_A jsou aktivity kationtu a aniontu v prostoru I nebo II, které se pro ideální roztoky nahrazují koncentracemi c_K a c_A , z_K , popř. z_A počet elementárních nábojů nesených kationtem, příp. aniontem ($z_A < 0$), F je Faradayova konstanta, R univerzální plynová konstanta a T absolutní teplota.

Chemický potenciál můžeme vyjádřit

$$\tilde{\mu}_i^{\text{in}} = \tilde{\mu}_i^{\text{ex}};$$

$$\mu_i^{\text{in}} + z_i F \varphi^{\text{in}} = \mu_i^{\text{ex}} + z_i F \varphi^{\text{ex}}$$

$$RT \cdot \ln a_i^{\text{in}} + z_i F \varphi^{\text{in}} = RT \cdot \ln a_i^{\text{ex}} + z_i F \varphi^{\text{ex}}$$

Pro výpočet napětí U mezi vnitřním a vnějším povrchem membrány platí

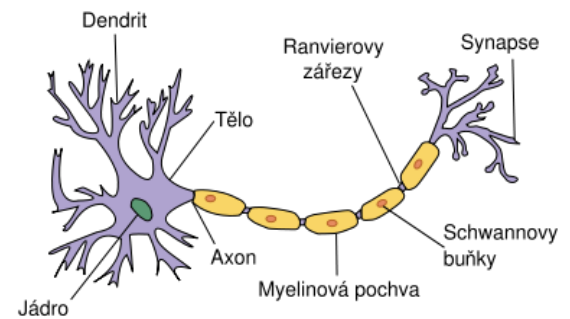
$$U_{\text{mem}} = (RT)/F \cdot \ln(c_i^{\text{ex}}/c_i^{\text{in}})$$

3. Akční potenciál a jeho snímání

- Vznikne když podráždíme neuron a on změní propustnost membrány
- Má pro danou buňku vždy stejnou hodnotu
- Průběhy akčních potenciálů znamenají závislost rozdílu potenciálů na vnitřní a vnější straně membrány na čase během činnosti vlákna
- Časovou závislost rozdílu potenciálu bychom však mohli sledovat i na povrchu celého nervu či svalu
- Napětí na membráně tedy rychle kolísá v rozpětí několika mV
- Pokud napětí na membráně stoupne (díky několika impulzům najednou) nad určitou hodnotu, otevřou se tzv. sodíkové kanály - "tunely" v cytoplazmatické membráně, které umožní snadný přesun sodíkových kationtů skrz membránu
- Jsou tvořeny několika molekulami k tomu specializovaných bílkovin, které procházejí po délce skrz buněčnou membránu (složenou z pouhých dvou vrstev tukových molekul). Právě molekulární povaha celého přesunu iontů umožňuje jejich rozdělení na propustné a nepropustné
- Sodíku je (na rozdíl od draslíku) větší koncentrace vně buňky a proto se kationty Na^+ začnou rychle přesouvat dovnitř. Napětí v buňce stoupne až na **+30 mV**.
- Protože se napětí převrátí, nazývá se tento proces **depolarizace**
- Zmíněnému napětí, při kterém se umožní přesun sodíku, říkáme **akční potenciál**, zkráceně AP. Po dosažení kladného napětí okolo 30 mV se sodíkové kanály zase uzavřou a membránový potenciál se rychle vrátí na hodnotu KMP.
- Aby se okamžitě nevytvořil další akční potenciál a celý proces nenastal znovu, je tvorba AP po určitou dobu zcela blokována, o něco později je k jeho vytvoření ještě potřeba depolarizace silnější
- Z tohoto je vidět, že signál v neuronu je povahy "všechno nebo nic"
 - Pokud původní depolarizace dosáhne určité hodnoty, vytvoří se signál, který se sám sebe zesiluje a šíří se po délce neuronu, pokud napětí nestačí, nezesílí se žádný signál
- Elektrogram
 - v unipolárním nebo bipolárním uspořádání
 - V unipolárním uspořádání je jedna elektroda přiložena na dané místo tkáně, druhá je referenční o konst. Potenciálu
 - V bipolárním uspořádání jsou obě elektrody přiloženy na různá místa téže tkáně

4. Cyklus excitability nervového vlákna

- V podstatě vzrušivost, dráždivost nervového vlákna
- Klidový potenciál
- Akční potenciál
- Transpolarizace
 - Vnitřek buňky se stává kladným
- Odpověď je otázka 3 a 4
- neurit (axon) je výběžek k vedení vzruchu
- podráždění → otevření iontových kanálků → vzroste propustnost především pro Na⁺ (600x) → rychlejší tok +iontů dovnitř → vyrovnání náboje → až transpolarizace, vnitřek je kladně nabitý → propustnější membrána pro K⁺ → rovnovážný potenciál
- Cel děj netrvá déle než 1ms



5. Šíření akčního potenciálu po nervovém vlákně

- Pro funkci nervové buňky nestačí jen vyvolat AP, je potřeba ho po ní co nejrychleji rozšířit
- Pokud by axon sestával pouze z membrány, setkali bychom se s několika značnými nevýhodami. Především by se vzniklý AP zpátky ze značné části "vybíljel" skrz membránu, kde již prošel. Toto je možné částečně napravit zvětšením průměru buňky (více zvětšíme plochu průřezu než jeho obvod). Důsledkem tohoto jevu je poměrně malá rychlost šíření AP.
- Proti zmíněnému neblahému jevu obalují axon Schwannovy buňky. Ty jsou svým účelem i vzhledem velmi specializované - mají plochý tvar a jsou zhruba čtyřikrát omotány okolo.
- Schwannovy buňky obsahují velké množství bílkoviny myelinu, který je pro elektřinu nevodivý
- Přesun AP v axonu, obaleném Schwannovými buňkami, je mnohem rychlejší a účinnější než bez nich
- V místě, kde je axon izolován Schwannovou buňkou, se signál šíří rychlostí šíření elektrického pole, tedy skoro rychlostí světla
- Jediné zpomalení nastává na membráně na Ranvierových zářezích, kde je původní membrána bez myelinu a na ní se obnoví AP
- Uvádí se, že běžná rychlost je zhruba 7 m/s
- Závisí na výše uvedených faktorech, průměru vlákna (čím větší, tím vyšší rychlost) a teplotě (se zvýšením teploty rychlost vzrůstá, chladem se dá signál přerušit)
 - Je dobré si uvědomit, že jenom než první signál dorazí z mozku do nohy na brzdovém pedálu, urazí automobil na dálnici třeba 15 metrů
- **Stručně**
 - Na jednom úseku probíhá výměna iontů napříč membránou. Usek je opačně nabitý než další úsek a snaží se vyrovnat náboj, takže vedlejší usek se taky depolarizuje a poklesne potenciál pod prahovou hodnotu. Tím vznikne akční potenciál - šíření podél vlákna
- Rychlost šíření může být i přes 100m/s

6. Účinky elektrického proudu na organismus

- V tkáních organismu je induktance zanedbatelná, proto platí $Z = \sqrt{R^2 + R_c^2}$
- Účinky proudů jsou **elektrolytické, dráždivé a tepelné**
- Odpor buněčných membrán je vyšší než odpor ostatních „částí“ těla
- **Stejnoseměrný proud** - elektrolytické účinky - prostředí organismu obsahuje ionty
 - Dráždivý účinek jen při zapnutí/vypnutí/rychlé změně proudu

- **Střídavý nízkofrekvenční** - dráždivé účinky - do 100Hz účinek s frekvencí roste a sval sebou škube
- **Střídavý vysokofrekvenční proud** - tepelné účinky

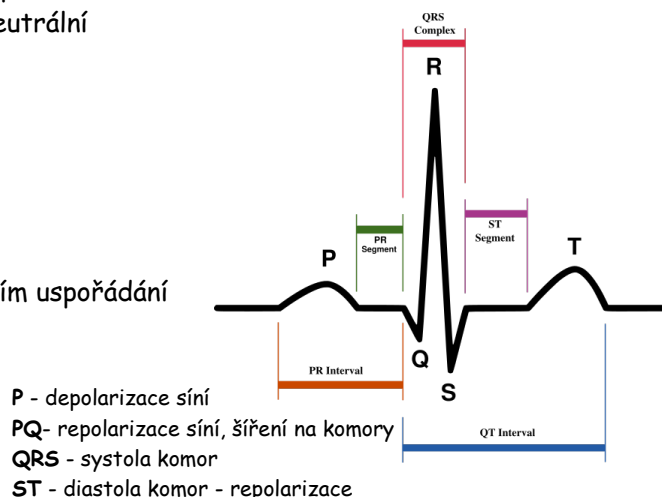
7. Použití elektřiny v terapii

- **Stejnosměrný proud**
 - Iontofóréza- iont dáme pod souhlasnou elektrodu, aby pronikl do tkáně. Ca, Cu, Zn, chinin, kokain jako kat; an-I, salicyl
 - Hlubková galvanizace - změnami mezi kat a anodou, slouží k tlumení bolesti a zánětů
- **Střídavý proud**
 - Krátké impulsy - kardiostimulace - dočasná nebo trvalá
 - Defibrilace - snaha o současnou depolarizaci všech svalových vláken srdce
 - Elektrostimulace střeva, uro, nervů
 - Elektrošok - klešťové elektrody na spánky(rychlá dávka až 160V)
- **Vysokofrekvenční terapie** - prohřátí tkání, zvýšení prokrvení
- **Vysokofrekvenční elektrochirurgie** - řezání a koagulace tkání v chirurgii
 - Výhodou je zástava krvácení v řezné ploše
 - Používají se 2 elektrody - aktivní a neutrální

8. Použití elektřiny v diagnostice

Využíváme časové závislosti rozdílu potenciálů

- Výsledek je **elektrogram**
- Svody mohou být v unipolárním nebo bipolárním uspořádání
- **Elektrokardiografie**



Impuls pro kontrakci myokardu vzniká v tzv. sinoatriálním uzlu v oblasti pravé předsíně. První vlna EKG záznamu, kterou můžeme na EKG záznamu vidět, je vlna P, depolarizace předsíní, počínající kontrakce. Depolarizace komor - tento signál je charakterizován komplexem vln QRS. Následující vlna T svědčí o následné repolarizaci komor

Einthovenovy (bipolární) svody - Měřený signál odpovídá rozdílu potenciálů mezi oběma elektrodami, jedná se proto o bipolární zapojení. Označíme pravou ruku písmenem R a levou L, signál L-R označujeme jako I. Einthovenův svod. Další elektroda je poblíž kotníku levé nohy F (foot), můžeme měřit rozdíl potenciálů F-R (II. Einthovenův svod) a F-L (III. Einthovenův svod). Elektroda N (neutrální) připojuje na pravou nohu, - uzemnění

Vektor srdeční osy Můžeme si představit, že sumační potenciál všech buněk myokardu vytváří v prostoru jakýsi elektrický dipól, který v průběhu srdeční periody mění svůj směr a svou velikost. Tento pomyslný vektor nazýváme vektorem elektrické srdeční osy. Protože se mění v čase, liší se jeho velikost i směr v okamžiku, kdy nabývají maxima různé vlny EKG záznamu. Největší a nejdůležitější je směr vektoru elektrické srdeční osy pro komplex QRS

Einthovenův trojúhelník - Představíme-li si bipolárně zapojené Einthovenovy svody I, II a III jako strany rovnostranného (tzv. Einthovenova) trojúhelníku, v jehož vrcholech jsou umístěny elektrody R, L a F, pak nám vznikne souřadný systém tří os, vzájemně natočených o 60 stupňů (počítáme i opačné směry os), do kterého se promítá vektor srdeční osy

Goldbergovy (unipolární) svody - Pro lepší rozlišení byly později doplněny Einthovenovy svody o další směry: Spojením končetinových elektrod přes stejně velké odpory byl vytvořený virtuální střed (tzv. Wilsonova svorka). Vektory nových souřadných os, které tak vznikly, si můžeme představit jako šipky, vedoucí ze středu (z těžiště) rovnostranného Einthovenova trojúhelníku směrem k jeho vrcholům, reprezentujícím elektrody R, L, F; nově vzniklé svody pak byly pojmenovány VR, VL a VF.

Hrudní svody - pro větší přesnost se používá 6 hrudních svodů, které jsou v unipolárním zapojení proti Wilsonově svorce

- **Elektroencefalografie** - snímání potenciálů z mozku
- **Elektrokortikografie** - snímání potenciálů přímo z obnažené kůry mozkové (operace)
- **Elektromyografie** - snímání potenciálů přímo ze svalů pomocí jehel
- **Elektroretinografie** - snímání potenciálů ze sítnice

9. Reobáze a chronaxie

- Dráždivost tkání (svalů) můžeme vyjádřit pomocí určitých veličin
- **Reobáze**
 - Jestliže dráždíme sval pravouhlymi proudovými impulsy, existuje určitá hodnota proudu, pod kterou nelze podráždění vyvolat
- **Chronaxie**
 - Je doba trvání impulsu nutná k podráždění svalu proudem rovným dvojnásobku reobáze

10. Princip a funkce osciloskopu

- Osciloskop slouží k vizuálnímu pozorování časových změn elektrických dějů nebo jiných dějů převedených na děje elektrické
- Složení:
 - obrazové elektronky
 - časové základny
 - zdroje žhavicího a anod. napětí pro zesilovače
 - zdroje vysokého napětí pro obrazovou elektronku
- V obrazovce dochází na rozžhavené katodě k termoemisi elektronů, které jsou fokusovány do úzkého svazku. Tento svazek po urychlení dopadá na stínítko a vyvolává světelnou stopu. Znárodnění času je zajištěno tím, že zkoumané napětí se přivádí na pár vychylovacích destiček, které kmitají. Napětí kmitů vychyluje elektronový svazek - výchylka zobrazuje časový obraz sledovaného děje

11. Impedance v obvodu elektrického proudu

- Vložíme-li střídavé napětí na vodič, který se kromě ohmického odporu vyznačuje se i určitou kapacitou a vlastní indukci, bude takto vzniklý obvod klást průchodu proudu zdánlivý odpor Z
- **Impedance** popisuje zdánlivý odpor součástky a fázový posuv napětí proti proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu dané frekvence. Podobně jako elektrický odpor charakterizuje vlastnosti prvku pro stejnosměrný proud impedance charakterizuje vlastnosti prvku pro střídavý proud. Impedance je základní vlastností kterou potřebujeme znát pro analýzu střídavých elektrických obvodů

Značka: Z

Základní jednotka: Ω

- **Výpočet impedance:** $Z = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$
 - $R, R_c = 1/(\omega C)$
 - $R_L = \omega L$
 - $Z = \sqrt{R^2 + R_c^2}$

12. Elektrochemický potenciál, Nernstova rovnice

- Elektroda v roztoku
- Dochází na ní k chemickým změnám výměnou e^-
 - elektrická reakce
- Elektrochemický potenciál $\tilde{\mu}_i = \mu_i + z_i F \varphi$ je práce potřebná k převedení 1 molu i -té složky do nitra uvažované fáze, daná jako součet chemické a elektrostatické složky
- Na elektrodě se ustaví potenciál E , jehož hodnota je dána Nernstovou rovnicí
 - $E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln K$ kde K je rovnovážná konst.
 - E - elektrický potenciál elektrody, E^0 - standardní elektrodový potenciál R - molární plynová konstanta (8,314 J/K/mol), T - teplota v kelvinech, n - počet vyměněných elektronů, F - Faradayova konstanta (96485 C/mol), a - aktivita oxidované nebo redukované formy

13. Měření elektrických veličin

Měření elektrického napětí

- Napětí = rozdíl potenciálů mezi 2 body
- Elektromotorické napětí = na svorkách nezatíženého zdroje = kterým neprochází proud
- Svorkové - na svorkách zatíženého zdroje
- Měříme voltmetrem zapojeným **paralelně**, tj vedle.
 - Nebo u střídavého proudu oscilometr, ten zobrazuje průběh napětí na čase, odečtem
- Střední hodnota napětí při sinusovém průběhu $U_{st} = 2/\pi \cdot U_{max}$
- Efektivní hodnota napětí $U_{ef} = U_{max}/\sqrt{2}$

Měření el. odporu

- 1 ohm = odpor takového proudvodiče, jímž proteče při napětí 1V proud o intenzitě 1A
- **vodivost** $G=1/R$
- Měření
 - **Přímou metodou - Ohmovou**
 - Změřím U a I a dosadím
 - Nepřesné, protože když mám voltmetr nad odporem, ampérmetr změří oboje
 - $I = I_x + I_V; R_x = U_R/(I - U_R/R_V);$
 - **Srovnávací**
 - Změříme úbytky napětí nad známým a neznámým odporem
 - $U = U_A + U_R; R_x = (U - R_A I_R)/I_R;$
 - Ohmmetr
 - svorky zapojím na konce měřeného odporu
 - Je v něm baterie a galvanometr, který když ukáže odpor
 - **Substituční**
 - Pro měření malých proudů, nahradíme měřený odpor známým odporem v obvodu a měříme intenzitu protékajícího proudu
 - $R_x = (I_n/I_x) \cdot R_n$

Měření el. proudu

- Ampérmetr zapojujeme **sériově**
 - Lze zapojit i paralelně - potřebujeme známý odpor bočníku
- Galvanometr
 - Pro měření proudu i napětí
 - Cívka se zrcátkem se vychýlí úměrně k procházejícímu proudu a zrcátko odrazí světýlko

14.

Elektrická vodivost kapalin

- Obsahuje-li roztok jednu rozpuštěnou látku je měrná vodivost přímo úměrná koncentraci této látky
- Odpor R , který klade daný vodič průchodu el. proudu je dán vztahem $R = \rho \frac{l}{q}$
 - l značí délku vodiče, q jeho průřez a ρ jeho měrný odpor
- Je-li v roztoku rozpuštěna chemicky čistá látka, bude měrný odpor záviset na koncentraci látky
- Prakticky se měření realizuje pomocí vodivostní nádoby, která obsahuje dvě platinové elektrody
 - Nádobku s měřeným roztokem zapojíme na neznámý odpor do můstku a změříme odpor.
- K měření vodivosti se užívá střídavého, nejlépe vysokofrekvenčního proudu

G. Rentgenové záření

1. Mechanismus vzniku rtg. záření a jeho spektra

- elektromagnetické záření, jehož vlnové délky leží v intervalu 10^{-8} až 10^{-12} m
- kratší vlnové délky než světlo a vyšší E
- přirozenými zdroji jsou hlavně hvězdy, uměle se získává v rentgence
 - vysoká pronikavost látkami
 - ionizace atomů absorbátoru
 - v některých materiálech vyvolává fluorescenci
 - biologické účinky
- vzniká na anodě rentgenové lampy
- při dopadu elektronů urychlených elektrickým polem na kovovou desku
- kinetická energie elektronů se mění na energii elektromagnetického záření

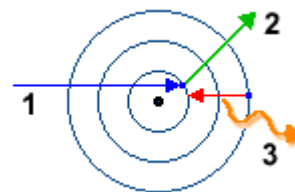
Brzdné záření

- rychle letící elektrony (1) se dopadem na anodu náhle zbrzdí a jejich kinetická energie se přemění na energii fotonů (2) elektromagnetického záření
- spektrum brzdného záření je *spojité*



Charakteristické záření

- elektron (1) dopadající na anodu může vyrazit některý elektron (2) z nejnižších hladin K nebo L atomu materiálu anody, tím vzniká neobsazené místo, které je okamžitě obsazeno jiným elektronem z vnějších hladin za vyzáření fotonu (3) rentgenového záření s energií rovnou energetickému rozdílu mezi elektronovými hladinami
- má *čárové* spektrum, které je závislé na materiálu anody



Kinetická energie E_k elektronu, dopadajícího na anodu rentgenky:

$$E_k = eU$$

Mezní vlnová délka L_m - nejkratší vlnová délka rentgenového záření, vznikajícího při určitém napětí mezi katodou a anodou:

$$L_m = \frac{hc}{eU}$$

U ... napětí mezi katodou a anodou rentgenky (V)

$e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C ... náboj elektronu

$h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J.s ... Planckova konstanta

2. Rentgenový přístroj

- zdroj záření (lampa) - skleněná nádoba s katodou a anodou - katoda je wolframová, je žhavená a elektrony jsou vypuzovány k anodě kvůli vysokému potenciálnímu rozdílu
- zdroje anodového a žhavicího napětí - transformátor - žhává katodu
- ovladače - umístěny řídicí prvky rtg
- štít, clony - aby se záření moc nerozptylovalo okolo - tubus před rentgenkou, ochranné clony (Buckyho, Lysholmova)
- chladicí systém

3. Funkce rentgenky, chlazení

- skleněná trubice s katodou a anodou, ve které je hluboké vákuum
- katoda je tvořena žhaveným wolframovým vláknem, ze kterého vylétají elektrony, jsou usměrňovány válcem do jednoho bodu na anodě
- mezi zápornou katodou a kladnou anodou je vysoké napětí a elektrony jsou vysokým napětím urychlovány a velkou rychlostí dopadají na anodu
- při dopadu se jejich kinetická energie mění na teplo (více než 99 %) a jen nepatrná část se mění na energii fotonů rentgenového záření
- anoda musí být intenzivně chlazena vodou, vzduchem nebo rotací

4. Absorpce rtg záření

- záření nejvíce pohlcováno kostmi (vápník, fosfor), méně měkkými tkáněmi a nejméně tělními dutinami a vzduchem
- zdroj záření (rentgenka) je zaměřen na vybranou část těla a procházející paprsky jsou zaostřeny na fotografický materiál, na kterém po vyvolání vznikne negativní obraz
- když záření prochází absorbatorem, dojde k rozptylu kvůli **comptonově jevu**
- foton reaguje s volnými elektrony absorbatóru a předává jim část své energie
- protože se musí zachovat hybnost, tak se elektron dá do pohybu a odchýlí se
- foton ochuzený o část energie postupuje dále
- děj se může několikrát opakovat, až foton ztratí moc energie - pokles energie závisí na úhlu o jaký se foton rozptýlí (nejvíc při 180 protože je na to nějaký hrozně složitý vzorec a je tam \cos , takže $\cos 180$ je 1)
- množství absorbované E se vyjadřuje v gray (G) $J \cdot kg^{-1}$

5. Regulace intenzity a pronikavosti rtg záření

Intenzita (množství) rentgenového záření závisí na počtu elektronů, dopadajících na anodu a reguluje se změnou proudu, kterým se žhaví vlákno katody.

Pronikavost záření se reguluje změnou velikosti napětí mezi katodou a anodou: záření je tím pronikavější, čím větší je napětí. Málo pronikavému záření se říká *měkké*, velmi pronikavé záření je *tvrdé*.

6. Clony v rtg přístroji

- zajišťuje vymezení úzkého svazku X-záření, zajišťujícího ostrý
- hned za rentgenkou se umísťuje tzv. primární clona (přesněji řečeno filtr) zhotovená nejčastěji z hliníkového plechu, která pohlcuje nízkoenergetické fotony které nejsou použitelné pro zobrazení (pronikly by pouze do podkoží), ale zvyšovaly by radiační zátěž pacienta
- mezi pacientem a filmem je pak umístěna sekundární clona (*Buckyova-Potterova* či *Lysholmova clona*), tvořená rovnoběžnými absorbními lamelami (olověnými pásky), které propouštějí pouze záření ve směru původního svazku, zatímco rozptýlené fotony (pohybující se jinými směry) pohlcuje

7. Rtg kontrast, kontrastní látky

- kontrast umožňuje rozlišení oblastí s různou absorpcí záření
- $C = \ln(I_1/I_2)$ I_1 je intenzita záření dopadající na určitou plochu štítu
 - I_2 intenzita která dopadá vedle
- Na snímku ruky jsou nejsvětlejší kosti, které pohltily nejvíce záření, svaly a jiné měkké tkáně jsou zobrazeny šedě a ostatní plocha, na kterou dopadly rentgenové paprsky přímo, je úplně černá
- **Metody pozitivně kontrastní**, které využívají látek zvyšujících absorpci rentgenového záření a vyvolávají v rtg obraze stín (na snímku světlý).
- **Metody negativně kontrastní**, které používají plynů, snižujících absorpci rentgenového záření a v rtg obraze způsobují projasnění (na snímku tmavé).
- **Metody dvojího kontrastu**, u nichž se současně využije látek obojího typu.
- většinou se používají látky obsahující atomy těžkých prvků jako je baryum (dutiny, např. žaludek) nebo jód (cévy). Vpravíme-li takovou látku do vyšetřovaného místa - zažívacího traktu, cév, žlučových či močových cest, vykazuje takto naplněná struktura výrazně zvýšenou absorpci X-záření a na rtg obraze je zřetelně a kontrastně zobrazena, včetně případných defektů a anomálií
- jestli je látka pozitivní nebo negativní se určuje podle toho, jestli má větší nebo menší absorpční koeficient než vyšetřovaná struktura

8. Princip vzniku rtg obrazu

- obraz je buď přímo viditelný na štítě nebo je vyvolán v emulzi
- vzniká díky různě absorpci záření tkáněmi
- velký kontrast je vidět mezi měkkými tkáněmi a kostí, ale mezi svalem a tukem skoro vůbec
- při delších vlnových délkách je větší kontrast
- **Skiaografie**=prosté snímkování
dopadá X-záření, prošle vyšetřovanou tkání, na fotografický film obsahující halogenidy stříbra (bromid stříbrný), v němž fotochemickou reakcí dochází k uvolňování stříbra z jeho vazby ve sloučenině - vzniká latentní obraz, který je při vyvolání ve vývojce zviditelněn pomocí hustoty zrníček koloidního stříbra; zbylý bromid stříbra se rozpustí v ustalovači. Hustota zčernání filmu je úměrná množství prošlého X-záření.
- **Skiaskopie**
přímé vizuální pozorování obrazu prošlého rtg záření na fluorescenčním stínítku ("štítě"). Přímá skiaskopie se dříve využívala velmi často, avšak vzhledem k vysoké radiační zátěži vyšetřujícího rentgenologa (a též pacienta) se od ní již ustoupilo. Nepřímá skiaskopie se provádí na přístrojích vybavených zesilovačem obrazu a elektronickým snímáním obrazu. Tato nepřímá skiaskopie se nyní používá k vyšetřování dynamických dějů

9. Využití v diagnostice

- viz 8
- CT počítačová tomografie viz 12

10. Využití v terapii

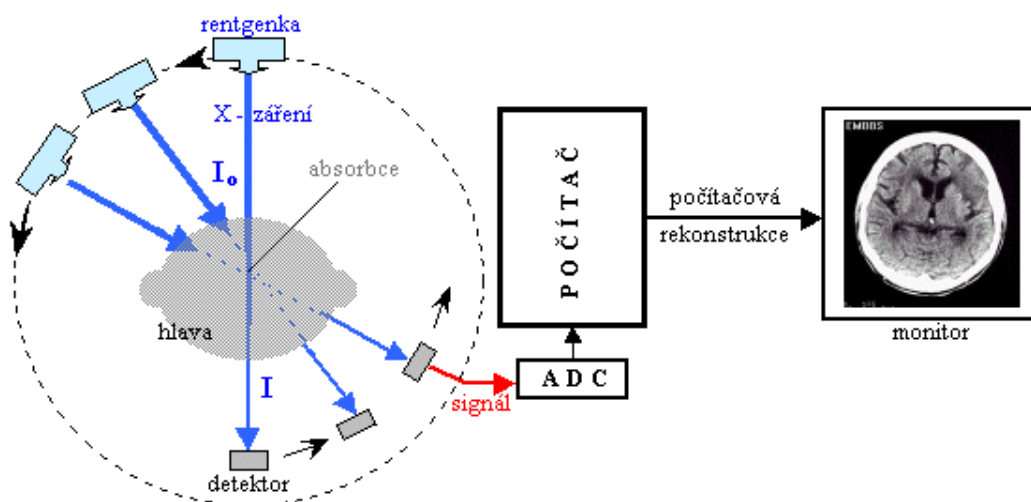
- založena na účincích ionizujícího záření (vysoké dávky záření jsou schopny inaktivovat a usmrcovat buňky nádorové)
- selektivní likvidace nádorového ložiska při co nejmenším poškození okolních zdravých tkání
- pronikavým zářením gama, vznikajícím jako brzdné záření při dopadu vysokoenergetických elektronů urychlených v betatronu či lineárním urychlovači
- nádorové ložisko se ozařuje svazkem z více směrů tak, aby izocentrum, kde se dávky sčítají, bylo lokalizováno do místa tumoru
- Leksellův gama-nůž

11. Hlubková dávka

- tři druhy dávek: dopadová, povrchová, hlubková
- dopadová: aby ionizační komůrka byla aspoň 1m od předmětů kde by mohlo vznikat rozptýlené záření
- povrchová: měří se na kůži
- hlubková dávka = $(\text{hlubková} / \text{povrchová}) * 100 (\%)$
- pro její výpočet je nutné znát: hloubku ložiska, vzdálenost mezi ohniskem rentgenky a kůží pacienta a plochu ozařovaného pole

12. CT

- klasické rtg-zobrazení je planární → CT je trojrozměrné zobrazení
- vyšetřovaná oblast se prozařuje X-zářením pod řadou různých úhlů (v rozsahu 0-180-360°)
- rentgenka a naproti ní umístěný detektor X-záření rotují kolem těla pacienta
- svazek X-záření prozařuje vyšetřovanou tkáň a jeho intenzita je detekována a převáděna na elektrický signál vyhodnocuje se zeslabení paprsku v důsledku absorpce tkání
- rekonstrukce: vznikne obraz příčného řezu vyšetřovanou oblastí
- postupným posunem pacienta můžeme vytvořit řadu obrazů příčného řezu (vrstev), které umístěny vedle sebe vytvářejí trojrozměrný tomografický obraz vyšetřované oblasti.



H. Radioaktivita a ionizující záření

1. Radioaktivní rozpad jádra

- Za časový interval dt dojde k rozpadu dn atomů radioaktivní látky rychlostí λ
 - $-dn = \lambda n dt$
 - $n = n_0 e^{-\lambda t}$
 - n... počet dosud nerozpadlých jader
 - e... základ ln (2,71)
 - λ ... rozpadová konstanta (poměr počtu jader přeměněných za dt k celkovému počtu dosud nepřeměněných)
- graf str. 168
- **aktivita A** - počet atomů, které se přemění za jednu sekundu
 - $A = \lambda N$ (Bq) - klesá exponenciálně s časem
 - 1Bq je aktivita vzorku kde se přemění 1 atom za 1s
- rozpadová konstanta λ má pro každou látku určitou hodnotu
 - $1/T_{ef} = 1/T_f + 1/T_b$
vztah efektivního, fyzikálního a biologického poločasu
- střední doba života - doba po kterou jádro existuje než se přemění

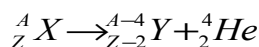
2. Druhy rozpadu

Při rozpadu musí být zachován

- Elektrický náboj
- Počet nukleonů
- Hybnost
- Energie

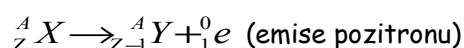
Rozpad alfa

- proud rychle letících atomů helia
- silné ionizační účinky
- nově vzniklý prvek má nukleonové číslo o 4 menší a protonové o 2 menší



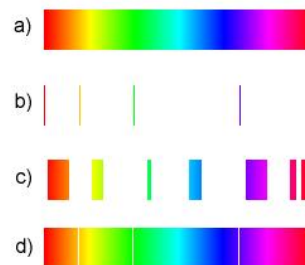
Rozpad beta

- proud elektronů, které se uvolňují v jádře při přeměně neutronu na proton
- stokrát pronikavější než záření alfa
- menší ionizační účinky
- nový prvek má protonové číslo o 1 menší



3. Energetická spektra záření

- a) spojité spektrum
- b) čárové (emisní) spektrum
- c) pásové spektrum
- d) absorpční čárové spektrum



Spektrum obsahující vlnové délky v určitém rozsahu se označuje jako **spojité spektrum**

Spektra atomů plynů často obsahují pouze sadu ostrých čar, mezi kterými se nachází tmavé (neosvětlené) pásy-**čárová**.

Pokud spektrum obsahuje sadu širších pruhů, hovoří se o **pásovém spektru**. Pásová spektra jsou obvykle pozorována u molekul.

Alfa záření - čárové

Beta záření - spojité

Gamma záření - čárové

4. Těžké, přirozeně radioaktivní prvky

- Z mateřského prvku vzniká transmutací prvek dceřiný (taky radioaktivní)
- Uran-radiová řada
 - mateřským prvek je U, končí stabilním izotopem olova
 - nukleonová čísla: $A = 4n + 2$
 - využití v medicíně - obsahuje radium a radon
- Aktiniová řada
 - aktinouran \rightarrow olovo
 - vzorec: $A = 4n + 3$
- Thoriová řada
 - thorium \rightarrow olovo
 - vzorec: $A = 4n$

5. Radioaktivní rovnováha

- stav, kdy se za jednotku času přeměňuje stejný počet atomů mateřského i dceřiného izotopu
- $A \rightarrow B \rightarrow C$
- Poločas rozpadu mateřského radionuklidu je mnohem menší než dceřiného
- Aktivita mateřského exponenciálně klesá k nule
- Aktivita dceřiného zpočátku roste a pak klesá \rightarrow rovnováha NENASTANE
 - Poločas mateřského je delší než poločas dceřiného
- Aktivita A klesá exponenciálně, počet atomů B vzroste a jeho aktivita bude klesat \rightarrow rovnováha PŘECHODNÁ
 - Poločas rozpadu je A, je tak velký, že se v době měřené prakticky nemění
- Aktivita B roste až se přiblíží aktivitě A tam nabude rovnováhy \rightarrow TRVALÁ rovnováha

6. Absorpce záření gama

- Vhodnější jsou materiály s vyšším atomovým číslem a s vysokou hustotou
- Čím energetičtější je záření, tím tlustší stínění je zapotřebí
- Vyjadřujeme polotloušťkou materiálu, tj. tloušťkou, po jejímž průchodu se původní intenzita záření sníží na polovinu
- Například záření γ , jehož intenzitu 1 cm olova zredukuje na 50 %, bude mít poloviční intenzitu také po průchodu 6 cm betonu.

7. Absorpce záření alfa a beta

- záření alfa dostatečně absorbuje i papír, ale když se vdechne nebo se dostane do rány, tak je nebezpečnější než gama
- beta záření se dá zachytit na vrstvu hliníkového plechu

8. Interakce záření s hmotou

- jaderná záření ztrácí při průchodu absorbatorem energii kvůli ionizaci, excitaci, brzděmu záření
- vzdálenost, kterou částice urazí v absorbatoru je dolet částice
- lineární přenos E (LET) je úbytek energie nabitě částice způsobený ionizací na jednotkové dráze (keV/ μm)
- některé elektrony mohou získat tak velkou E, že dále ionizují atomy prostředí - sekundární ionizace
- celková ionizace je součet primární a sekundární

Interakce záření alfa

- velká hmotnost částic, velký náboj
- ztráty při průchodu absorbatorem jsou velké - polovinu E ztrácejí ionizací a polovinu excitací

Interakce záření beta

- mnohem menší hmotnost i náboj \rightarrow dolet větší
- půlící tloušťka - tloušťka absorbatoru, která zeslabí intenzitu na polovinu
- půlící vrstva - plošná hmotnost absorbatoru ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) o hustotě, která zeslabí intenzitu elektronů na polovinu

Interakce záření gama

- zeslabení fotoefektem, Comptonovým jevem, rozptylem a tvorbou elektron-pozitronových párů

9. Kosmické záření

- ionizující záření, které dopadá na zemi ze světového prostoru
- primární složka - záření, které ještě nepřišlo do styku se zemskou atmosférou
- sekundární složka - vzniká interakcí primární složky se zemskou atmosférou - jeho složka o nižších energiích se dá odfiltrvat olověnou vrstvou síly 10cm - pronikavá složka obsahuje všechny elementární částice
- intenzita závislá na nadmořské výšce a zeměpisné šířce
- na zemi nebezpečí ozáření vyloučeno - zemské magnetické pole usměrňuje tok elektricky nabitých elektronů k pólům

10. Principy detekce ionizujícího záření

- založena na interakcích záření s látkou vhodného čidla - detektoru
- po absorpci částice vzniká na detektoru elektrický impuls
- vzniklé impulsy jsou buď jednotlivě počítány a registrovány čítačem impulsů nebo je měřena jejich střední četnost integrátorem

11. Detektory ionizujícího záření

- k přeměně zářivé energie na jinou formu E
- detektor je vstupní část přístroje
- podle druhu interakce: ionizační, scintilační..

12. Měření aktivity a faktory ovlivňující správnost měření

- je-li rozpad radioakt. jádra doprovázen vysláním jedné částice nebo kvanta záření γ , je počet částic nebo kvant emitovaných do plného prostorového úhlu za sek. roven počtu rozpadů za sek., tedy abs. Aktivitě
- faktory určující podmínky měření jsou především: geometrie měření, mrtvá doba detektoru a samoabsorpce záření ve vzorku

13. Fotonásobič + 14. Scintilační detektor

- Scintilátor - energie záření se tam mění na světelné záblesky
- Fotonásobič - registruje záblesky
- Mechanické části
- Pro měření aktivity gama
 - Nejčastěji se jako scintilátor používá krystal jodidu sodného s thaliem
 - Při průchodu částice nebo fotonu scintilátorem dochází k excitaci některých jeho atomů
 - Při deexcitaci se vyzáří foton viditelného světla který dopadá na katodu fotonásobiče, kde dojde k emisi elektronu
 - Fotoelektrony z katody jsou usměrněny aby dopadly na první dynodu
 - Jeden elektron vyrazí dva a více elektronů
 - Ve fotonásobiči je 8-14 dynod, takže počet emitovaných elektronů stoupá

15. Geiger-Mullerovy počítače

- pro měření aktivity beta
- katoda: stočený válcovitý plech
- anoda: wolframové vlákno připojené k napětí
- z trubice je vyčerpán vzduch a je tam nejčastěji argon 90% a 10% polyatomového plynu
- mezi katodu a anadou je vloženo napětí
- když do trubice vnikne nabitá částice, může ionizovat některý z atomů argonu - kladný argonový ion je přitahován k záporné elektrodě, elektron ke kladné
- lavinově se ionizují další a další
- když lavina iontů dojde k elektrodám, registrujeme impuls
- kladné ionty při neutralizaci emitují fotony v oblasti UV světla a ty mohou z katody vyrazit elektrony → nové laviny
- nežádoucí - zhašecí náplně (10% plynu)

16. Selektivní a integrální detekce záření gama

- ve spojitém spektru vznikají maxima - fotopíky ☺ - odpovídají kvantům záření gama o určité energii
- při integrální detekci registrujeme všechny impulsy, jejichž amplituda je vyšší než zvolená úroveň
- při selektivní detekci se registrují pouze ty impulzy od určité diskriminační úrovně k nastavené horné úrovni
- energetická rozlišovací schopnost R

$$R = (\Delta E / E_s) * 100 (\%)$$

E...šířka fotopíku v jeho polovině
E_s...výška fotopíku (jeho střední energie)

17. Prahové a bezprahové jaderné reakce

- prahová reakce - determinující - do určité dávky se účinky neprojevují
- bezprahová reakce - stochastické - její účinky se objevují už od hodnoty větší než nula

18. Urychlovače nabitých částic

Lineární urychlovače

- elektrostatické nebo vysokofrekvenční podle zdroje elektrické energie
- zdroj: van de Graafův generátor
- urychlovací trubice - zdroj iontů, které mají být urychleny, trubice a terčík, kde po dopadu iontů probíhají jaderné reakce
- ze zdroje iontů vylétávají ionty urychlené stejnosměrným napětím do štěrbiny a jsou urychlovány soustavou kovových válců, jejichž délka se postupně zvětšuje, ale mezera mezi nimi je stejná
- první válcová elektroda musí být opačně nabitá než ion, přitáhne jej, jde dál, tam se zase zrychlí, protože je tam jiná polarita...

Kruhové urychlovače

- k urychlení těžších částic protonů, deuteronů, alfa částic, iontů - cyklotron
- vakuová komora, kde jsou duanty na ně se přivádí napětí vytvářející střídavé pole mezi duanty
- elektron vyletí a je kladným nábojem přitahován na oběžnou dráhu, mag. pole působí že v je větší, přepolarizujeme → skáče do 2. poloviny a zvětšuje se v

19. Umělé radionuklidy

- působením částic na stabilní nuklidy se mohou získat umělé
- transurany - aktinoidy s vyšším Z než uran
- více než 1000
- samovolný rozpad umělých radionuklidů=umělá radioaktivita

20. Fyzikální, biologický, efektivní poločas

- fyzikální poločas rozpadu je doba, za kterou se rozpadne polovina atomů prvku
- když známe poločas rozpadu, lze udělat graf (třeba znám 100% původního množství v čase t a 50% v čase t₁)
- biologický poločas je doba, za kterou se z organismu vyloučí polovina podaného množství
- efektivní poločas: když je v organismu radioaktivní izotop, tak jeho rychlost úbytku je součet úbytku vylučováním a rozpadem

21. Ionizační komora

- elektronickým detektorem ionizujícího záření
- využívá ionizační účinky na látku tvořena dvěma kovovými destičkami - elektrodami (anodou a katodou), umístěnými v plynném prostředí a připojenými v elektrickém obvodu
- vnikne-li však do prostoru mezi elektrodami ionizující záření, vyraží z původně neutrálních atomů plynu elektrony a mění je na kladné ionty
- záporné elektrony putují v elektrickém poli okamžitě ke kladné anodě, kladné ionty se dají do pohybu k záporné katodě - obvodem začne protékat slabý elektrický proud
- používá v měřicích aktivity radioaktivních preparátů
- kalibrovány tak, že pro zvolený radionuklid je na displeji zobrazena jeho aktivita přímo v MBq.

22. Metody osobní dozimetrie

- osoby pracující s radioaktivními látkami jsou povinné měřit absorbovanou dávku záření
- filmový dozimetr - citlivý na ionizující záření - hustota zřernání filmu po vystavení účinkům záření a vyvolání
- film se nosí na přední straně pláště okénkem dopředu a pak se odesílá na vyhodnocení po 1měsíci
- termoluminiscenční dozimetr - je li vystaven účinkům ionizujícího záření a pak zahřát nad 100°C. dochází k deexcitaci elektronů v krystalech LiF doprovázené emisí viditelného světla

23. Jednotky expozice a dávky záření

- emise zdroje - počet částic (kvant) emitovaných zdrojem za čas - rozměr: s^{-1}
- aktivita - u radioaktivního zdroje - počet radioaktivních přeměn v daném množství radionuklidu za jednotku času - jednotka: Bq, rozměr: s^{-1}
- objemová aktivita - podíl aktivity a objemu látky - jednotka: $Bq \cdot m^{-3}$, rozměr: $s^{-1} \cdot m^{-3}$
- **expozice (ozáření)** - jednotka: $C \cdot kg^{-1}$, rozměr: $kg^{-1} \cdot s \cdot A$
- expoziční rychlost - přírůstek expozice v časovém intervalu, jednotka: $A \cdot kg^{-1}$, rozměr: $m^2 \cdot s^{-2} \cdot A$
- absorbovaná dávka - poměr energie ionizujícího záření absorbovaného hmotností látky m, $D=E/m$, jednotka: $Gy=J \cdot kg^{-1}$

24. Zásady bezpečnosti práce s radioizotopy

- vzdálenost - co největší vzdálenost od radionuklidu - dávka klesá se čtvercem vzdálenosti
- čas - snížení práce s radionuklidem co nejkratší dobu
- stínění - mezi zdroj a sebe umístíme překážku, která účinky odstíní
- pravidelné prohlídky - krevní obraz
- nosit filmový dozimetr na hrudi