

# 01. Biosignály

## Organismus

= je soustava (systém) schopná reakce na vnější podněty, rozmnožování, růstu a stabilní existence

Základní složkou živých organismů jsou buňky.

- **prokaryotická buňka** (jednobuněčné organismy, tvoří tkáně)
- **eukaryotická buňka** (diferenc. jádro, biomembrány)

**Lidský organismus** je složitý systém, jehož vlastnosti téměř nikdy nelze definovat s matematickou přesností.

## Biosignály – klasifikace, povaha a typy biosignálů

= děj nesoucí užitečnou informaci o organismu a jeho částech

Signál je **znamení**, **záměrný fyzikální jev**, nesoucí **informaci** o nějaké události, povel vyžadující provedení určité akce nebo zahájení činnosti, nebo výstraha před hrozícím nebezpečím.

Pomocí signálů jsou přenášeny zprávy – data.

Signály obecně také dělíme na **deterministické** a náhodné či **stochastické**.

- **Deterministickými** jsou ty signály, které mohou být exaktně popsány matematickými funkcemi nebo vyjádřeny graficky
  - EKG
- **Stochastický** signál je vzorkem funkce stochastického procesu
  - EMG, EEG

Dle časového charakteru máme signály **spojité** a **diskrétní**.

- **Spojitý čas** (res., libovolná nezávislá proměnná)
  - spojitý - lze si ho představit jako plynulý
  - deterministický signál - modelem je funkce
  - stochastický signál - modelem je spojitý náhodný proces
- **Diskrétní čas**
  - čas je definován jen v izolovaných okamžicích
  - mezi okamžiky nemusíme vidět - např. čas mezi měřeními
  - mezi okamžiky nemusí být signál definován - např. natalita
  - deterministický signál - modelem je posloupnost
  - stochastický signál - modelem je diskrétní náhodný proces

# Zpracování biosignálů, Snímače biosignálů, Elektrody

## Zpracování biosignálů



## Snímače biosignálů

Ke snímání používáme:

- **Snímače (senzory)** – slouží ke snímání elektrických biosignálů a jejich funkci plní elektrody
- **Měniče (transducery)** – slouží ke snímání neelektrických biosignálů a zároveň mění původní energetický impuls na elektrický signál.

Pro zachování co nejvyšší kvality převedeného signálu je nutné vyšetřované místo, či samotný subjekt dostatečně připravit, např.:

- aplikace gelu při sonografi
- očištění pokožky při EEG
- zabránění dýchání nosem při zátěžových testech

## Elektrody

= tvoří periferní část spojující přístroj s tělem

Máme elektrody aktivní a pasivní

- U **aktivních** elektrodiagnostických metod elektrody slouží jako **senzory detekující** elektrické signály vytvářené různými tkáněmi.
- U **pasivních** elektrodiagnostických metod slouží pro **přenos stimulujících proudů**.

## Mikroelektrody

Slouží k záznamu bio potenciálů z izolovaných buněk

- Mají malý průměr (0,5 - 1  $\mu\text{m}$ )
- Skleněné mikroelektrody lze získat ulomením hrotu skleněných kapilár vytažených do špičky, vnitřní prostor kapiláry je naplněn roztokem KCl o koncentraci 3 M

## Makroelektrody

- Povrchové elektrody - zajišťují vodivé spojení s povrchem těla
- Jehlové elektrody - přímo s tkání

Snímání bioelektrické aktivity i aplikace dráždivých proud se může dít **bipolárně** nebo **unipolárně**.

- Při **bipolární** aplikaci jsou **obě elektrody aktivní**
- Při **unipolární** aplikaci je jen **jedna elektroda diferentní** (umístěna v **aktivní oblasti**) a **druhá indiferentní** (většinou velkoplošná) je umístěna do elektricky **inaktivní oblasti**

# 02. Lékařská technika

## Biomedicínské inženýrství, Rozdělení lékařské techniky

=Biomedicínské inženýrství je interdisciplinární profesní a vědecký obor

Uplatnění:

- Vývoj, konstrukce, a použití přístrojové diagnostické, terapeutické a laboratorní techniky
- Vývoj i aplikace umělých náhrad nefunkčních částí lidského těla (kloubů, některých žláz a orgánů, atd.)
- Vývoj biokompatibilních materiálů, tj. materiálů, které při kontaktu s živým organismem minimalizují nežádoucí reakce jak organismu, tak materiálu samotného

Lékařskou techniku lze rozdělit na na **diagnostické** a **terapeutické** přístroje

- **Diagnostické přístroje** = přístroje jsou určeny pro **sledování životních funkcí** pacienta
  - transport signálu především **ve směru od sledované osoby** k přístroji
  - elektrokardiografy, elektroencefalografy, ultrazvukové diagnostické systémy, tonometry, pulsní oxymetry
- **Terapeutické přístroje** = přístroje jsou určeny pro **ovlivnění stavu pacienta**
  - transport signálu především **ve směru od přístroje** ke sledované osobě
  - kardiostimulátory, defibrilátory, ultrazvukové terapeutické systémy, radioterapeutické systémy

## SÚKL, Zákon o zdravotnických prostředcích

### Státní ústav pro kontrolu léčiv (SÚKL)

= úřad České republiky, organizační složka státu zřízená Ministerstvem zdravotnictví České republiky

Jejím úkolem je dohlížet na to, aby se v České republice **používaly** pouze **jakostní**, **bezpečné** a **účinné** léky, jakož i **funkční** a **bezpečné** zdravotnické pomůcky respektive prostředky zdravotní techniky

### Zákon o zdravotnických prostředcích

Dne **7. 11 2017** nabyl účinnosti zákon o zdravotnických prostředcích

Zákon **č. 366/2017 Sb.** o zdravotnických prostředcích aktualizoval zákon **č. 268/2014 Sb.** a zákon **č.123/2000 Sb.**

- V mnohém změnil praxi subjektů, které na českém trhu se zdravotnickými prostředky obchodují nebo s nimi jinak nakládají.

- Vzhledem k tomu, že stát má zájem o větší kontrolu nad tím, jaké konkrétní výrobky jsou na místní trh dodávány, bude jednou z podstatných změn výrazně rozšířená oznamovací, resp. notifikační povinnost
- Svěřuje významnou část agendy specializovanému orgánu – Státnímu ústavu pro kontrolu léčiv (SÚKL).

## Technické normy ve zdravotnictví, Elektromagnetická kompatibilita

### Technické normy ve zdravotnictví

Nařízení č. 336/2004 Sb. (změna 65/2011 Sb.) kterým se stanoví technické požadavky na zdravotnické prostředky

Ted' jich pár uvedu (4fun):

- 8500 - Lékařské nástroje a přístroje
- 8517 - Zdravotnické laboratoře
- 8521 - Přístroje pro anestezii a umělé dýchání
- 8527 - Zdravotnické zařízení
- 8529 - Chirurgické implantáty
- 8530 - Aktivní implantabilní zdravotnické prostředky
- 8540 - Provozní zkoušky a provozní opatření
- 8542 - Materiály pro zdravotnické účely
- 8550 - Systémy jakosti ve zdravotnictví
- 8551 - Požadavky na provoz zdravotnických laboratoří
- 8552 - Všeobecné předpisy a směrnice pro výroby zdravotnické techniky
- 8553 - Zařízení zdravotnických pracovišť
- 8557 - Lékařské nástroje
- 8558 - Lékařské pomůcky
- 8559 - Lékařské nástroje
- 8560 - Nástroje a pomůcky pro zubní lékařství
- 8561 - Lékařské stříkačky
- 8562 - Zařízení a přístroje pro krevní převod
- 8563 - Dentální materiály
- 8570 - Diagnostické systémy in vitro
- 8575 - Zdravotnické prostředky složené z živočišných tkání

ČSN EN 60601-1 Zdravotnické elektrické přístroje

Část 1: Všeobecné požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost  
(platné pro ČR a EU)

ČSN EN 60601-2-25 Zdravotnické elektrické přístroje

Část 2: Zvláštní požadavky na bezpečnost elektrokardiografů

ANSI1, AAMI2 standards (platné USA, celosvětově)

## Elektromagnetická kompatibilita

= schopnost zařízení uspokojivě fungovat v elektromagnetickém prostředí, aniž by samo způsobovalo nepřijatelné elektromagnetické rušení jiného zařízení v tomto prostředí

Dělí se na dvě podkategorie:

- EMI - **elektromagnetická interference** (rušení)
- EMS - **elektromagnetická susceptibilita** (odolnost)

Zařízení, přístroj, pevná instalace, sestava zařízení či přístrojů musí být před jejich uvedením na trh posouzena podle nařízení vlády č. 616/2006 Sb., O technických požadavcích na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility.

Shoda výrobku je osvědčována vydáním ES prohlášení o shodě a opatřením výrobku označením **CE**

Nařízení č. 54/2015 Sb. o technických požadavcích na zdravotnické prostředky § 13, 14

Elektrická bezpečnost a elektromagnetická kompatibilita:

Zdravotnický prostředek musí být navržen a vyroben tak, aby bylo na nejnížší možnou míru sníženo riziko vzniku elektromagnetických polí, která by mohla narušit provoz jiných zdravotnických prostředků nebo zařízení v jejich obvyklém prostředí.

## 03. Metrologie

(Nemáme v přednáškách)

System kvality, Podnikové řízení  
kvality, Certifikace

Metrologie, Metrická konvence, ČMI

Důležité zákony, vyhlášky a normy v  
metrologii.

# 04. Bioelektrické signály

## Akční potenciály

= speciální vlastnost vyhrazená buňkám dráždivých tkání – tedy svalové, srdeční a nervové

= náhlá změna membránového potenciálu

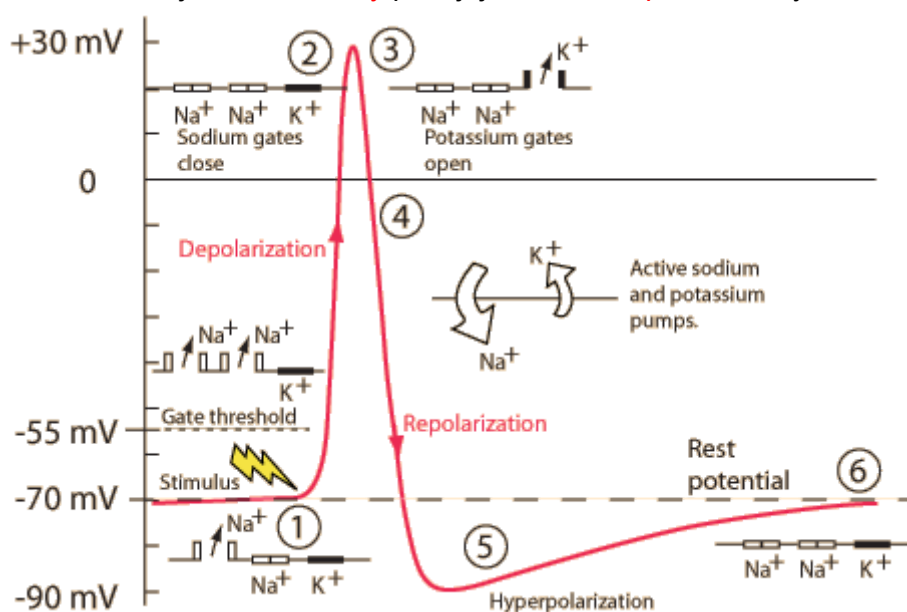
Obvykle je zahájen jako změna polarity membrány (např. z -90 mV na +35 mV) a pokračuje obnovou do výchozího stavu

Celý tento děj trvá zhruba půl milisekundy a membrána dráždivé buňky projde několika stavy

Stavy akčního potenciálu:

1. Klidový stav
2. Depolarizace
3. Přestřelení
4. Repolarizace
5. Hyperpolarizace

Vznik akčního potenciálu si vysvětlujeme tak, že **následkem podráždění se otevřou iontové kanály**, čímž se **změní propustnost membrány** pro některé ionty, které začnou procházet. Za **normálních** okolností je **vnitřek buňky** proti jejímu okolí **záporně** nabitý.



## Srdce, Elektrická srdeční aktivita

### Srdce

= svalový orgán se čtyřmi dutinami, který funguje jako kontinuálně pracující pumpa

Pohání krev přes cévy do všech částí těla a tím umožňuje výživu a výměnu látek ve tkáních.

Každou **systolou** je tak ze srdce vypuzeno průměrně asi 70 ml krve.



Srdce je tvořeno speciální **příčně pruhovanou svalovinou** (myokardem), jejíž elektrofyzilogickou zvláštností je **dlouhá doba trvání akčního potenciálu** (200-300ms)

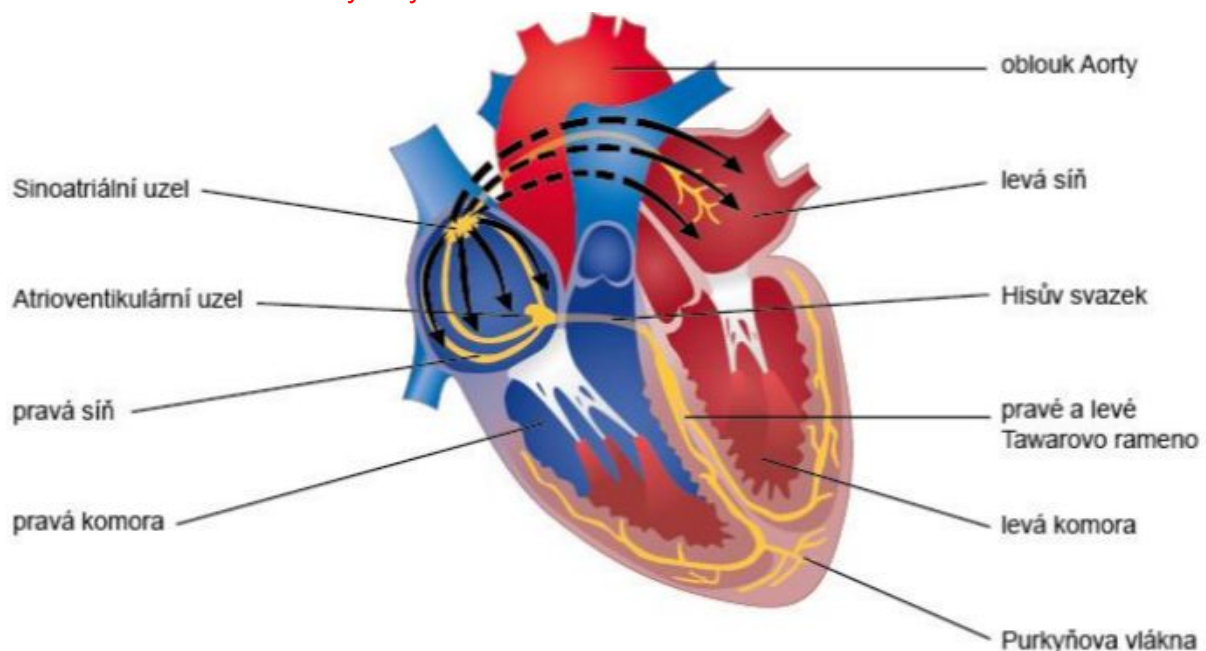
- Rychlá **depolarizační** fáze je způsobena **influxem** (vtokem) **sodných iontů** do vlákna myokardu.
- Dlouhé trvání **depolarizace** je připisováno účinku **vápenatých iontů**, vstupujících do vlákna

## Elektrická srdeční aktivita

Místem primární srdeční **automacie** (generátorem impulsů) je **sinoatriální uzel** v oblasti **pravé předsíně** při vstupu horní duté žíly (15x5 mm, ve středu jsou samoexcitanci buňky s tvorbou akčních potenciálů s frekvencí cca **60-100x/min**).

Odtud se podráždění šíří svalovinou předsíní k uzlu **atrioventrikulárnímu** (s vlastní frekvencí **AP 50/min**), ležícímu v oblasti septa na rozhraní předsíní a komor

Ten je výchozím bodem vodivého systému komor **Hisova svazku**, **pravého a levého Tawarova raménka** a **Purkyňových vláken**



Buňky srdečního svalu (kardiomyocyty) lze na základě jejich funkce rozdělit do 2 skupin:

- Buňky mající schopnost **autonomně vytvářet vzruchy** a tyto vzruchy následně rozvádět po celém srdci.
  - takovéto buňky jsou souborně označovány jako **převodní systém srdeční (PSS)**.
- Buňky jejichž primární funkcí je **kontrakce**. Schopnost tvorby vzruchů mají jen za patologických podmínek.
  - takovéto buňky jsou souborně označovány jako **pracovní myokard**

Srdeční cyklus se rozpadá do dvou hlavních fází:

- **Systola** je koordinovaný stah srdeční svaloviny síní nebo komor
- **Diastola** je uvolnění (relaxace) srdečního svalu - nespotřebovává energii

# EKG, Svody, Technické řešení EKG, EKG vyšetření.

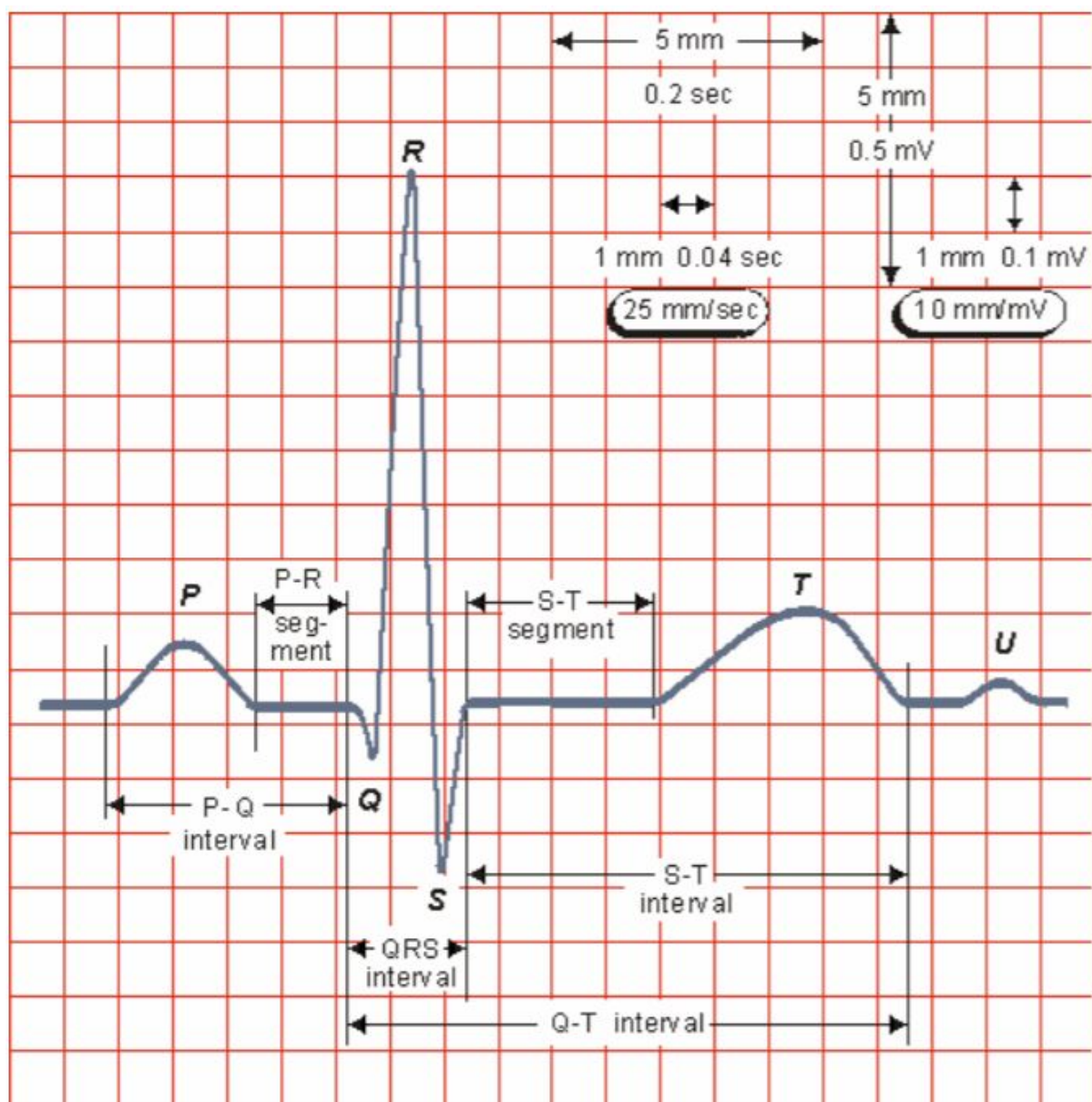
## EKG

= je základní vyšetřovací metoda v kardiologii

Principem je **snímání elektrické srdeční aktivity** a v podobě elektrokardiogramu (časový záznam EKG křivek) umožňuje její hodnocení

Většinou neinvazivní

Pomocí elektrod umístěných na kůži, ale i na stěně jícnu či přímo v srdci, měříme **rozdíl napětí** jako projev šíření akčního potenciálu myokardem



Záznam z EKG je standardizován – jeho rozlišení činí **10mm/mV** a časové měřítko se posouvá buď o **25 nebo 50 mm/s**

## Svody

V současnosti se používá 12 svodový systém (9 elektrod + země)

- 3x bipolární končetinový
- 3x unipolární
- 6x hrudní

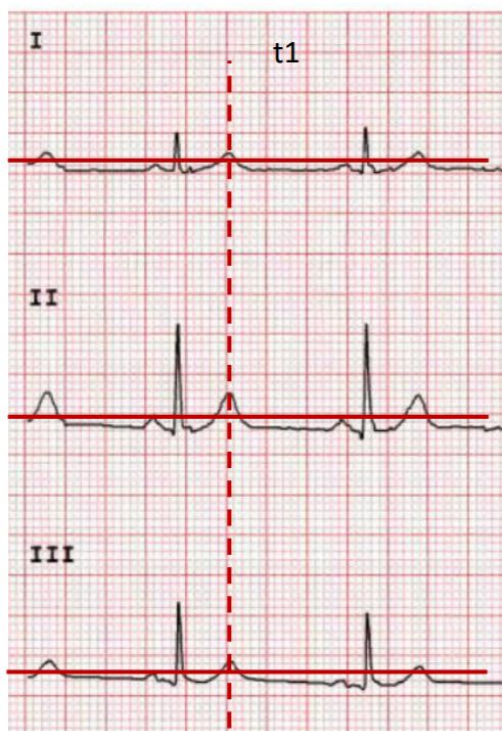
### Bipolární končetinové svody

Tyto svody tvoří tzv. Einthovenův trojúhelník v jehož pomyslném těžišti leží srdce

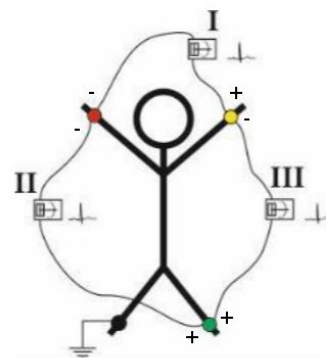
**Principem těchto svodů je zapojení a změření rozdílu potenciálů vždy dvou aktivních elektrod, jejichž polarita je předem dána**

Jednotlivé svody poté **zaznamenávají rozdíl potenciálu mezi elektrodami** a udává výslednou amplitudu.

**Vektorový součet** všech tří amplitud těchto končetinových svodů je **roven nule** (Einthovenův zákon)



Limb: 10 mm/mV



$$I. = L - R$$

$$II. = F - R$$

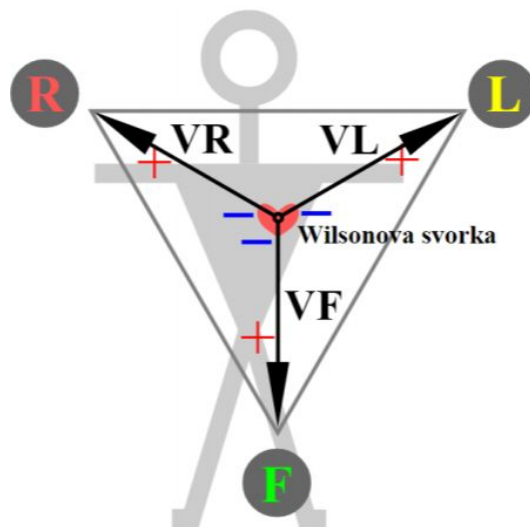
$$III. = F - L$$

Svod	Elektrody		Napětí
I.	L	R	0,1 mV
	0,2 mV	0,1 mV	
II.	F	R	0,3 mV
	0,4 mV	0,1 mV	
III:	F	L	0,2 mV
	0,4 mV	0,2 mV	

### Unipolární svody

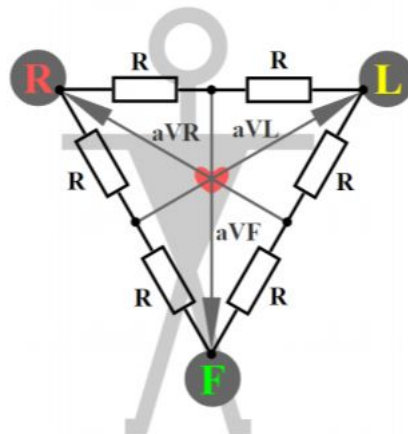
= svody, které vznikají spojením aktivní elektrody s indierentní elektrodou – **Wilsonovou svorkou**, která by díky připojení odporů měla mít trvale nulovou hodnotu

zaznamenáváme změny potenciálu na jedné elektrodě, vztažené k referenčnímu bodu



### Zesílené unipolární svody

Záznam z končetinových unipolárních svodů lze **zesílit** pokud **odpojíme aktivní elektrodu od nulové svorky**, poté **měříme potenciál mezi odpojenou a dvěma zbylými elektrodami**



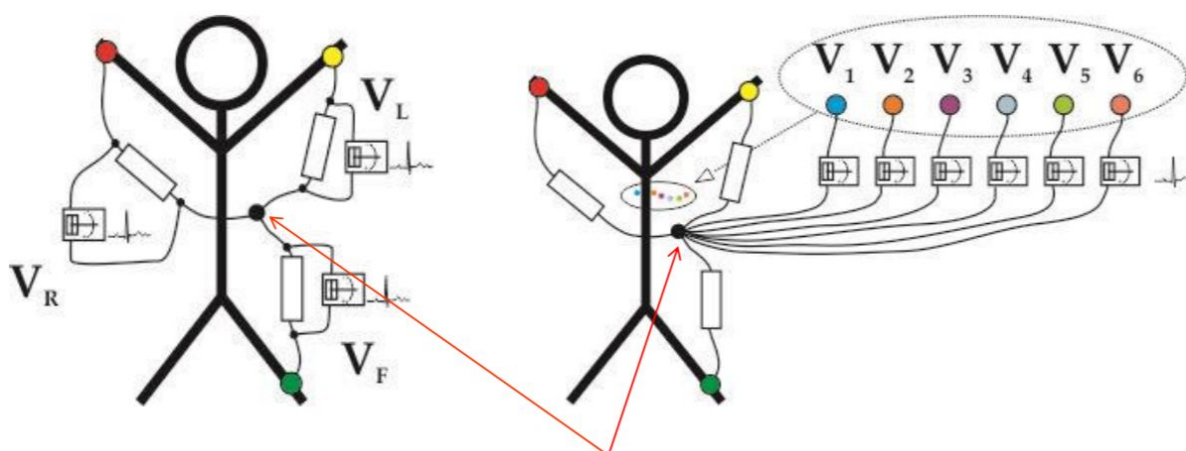
### Hrudní svody

Označují se V1 - V6

Dávají se nad a pod 4. žebro a pak někde kolem

Používají se balónkové elektrody

Při dlouhodobém používání elektrody nalepovací



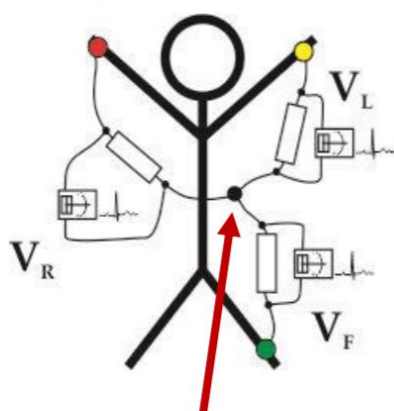
L	R	F
0,2 mV	0,1 mV	0,4 mV

$$W = (R+L+F)/3$$

$$V_R = R - W = (2R-L-F)/3$$

$$V_L = L - W = (2L-R-F)/3$$

$$V_F = F - W = (2F-L-R)/3$$



Centrální terminál  
(PRŮMĚR!!)

Svod	Elektrody	Napětí
W	<b>(R+L+F)/3</b> (0,1+0,2+0,4)/3	<b>0,23 mV</b>

Svod	Elektrody	Napětí
V <sub>R</sub>	<b>R - W</b> 0,1 - 0,23	<b>-0,13 mV</b>
V <sub>L</sub>	<b>L - W</b> 0,2 - 0,23	<b>-0,03 mV</b>
V <sub>F</sub>	<b>F - W</b> 0,4 - 0,23	<b>+0,17 mV</b>

## Technické řešení EKG

Na vstupu EKG svodů jsou použity **diferenční zesilovače s vysokou vstupní impedancí**, která neovlivňuje měření

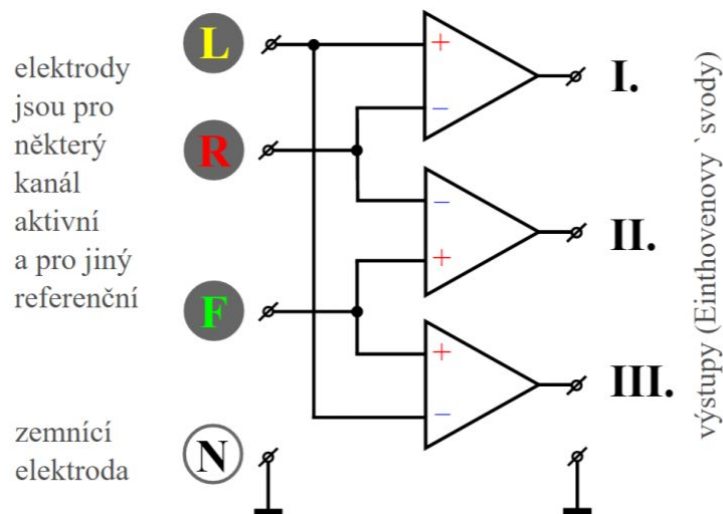
Diferenční zesilovač má dva vstupy, **přímý** (označený symbolem +) a **invertovaný** (označený symbolem -).

Na svém výstupu zesiluje diferenci (rozdílové napětí) mezi oběma vstupy:

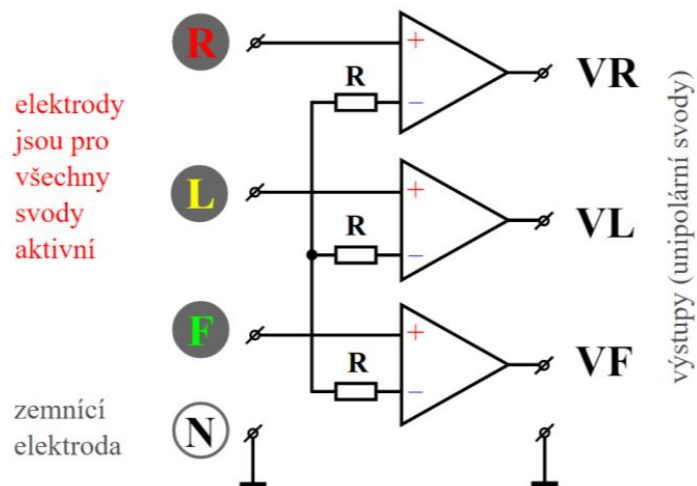
- rostoucí potenciál na **přímém vstupu** působí **vzrůst napětí na výstupu** zesilovače
- rostoucí potenciál na **invertovaném vstupu** působí **pokles napětí na výstupu** zesilovače



### Technické řešení Einthovenova trojúhelníku



### Technické řešení Unipolárního zapojení



## EKG vyšetření

EKG je základním vyšetřením při **podezření na onemocnění srdce**. Používá se při diagnostice ischemických změn srdečního svalu, to jest změn z nedostatku kyslíku, jejichž nejzávažnějším projevem je smrt srdečních buněk z nedostatku kyslíku – infarkt myokardu. provádí se v rámci **předoperačního vyšetření** před **plánovaným výkonem** v **celkové anestézii** nebo v rámci **celkového interního vyšetření**

## Holter

Při tomto vyšetření má na sobě vyšetřovaná osoba připevněn přístroj 24, popř. 48 hodin. Elektrody jsou na hrudníku a přístroj se upevní kolem pasu, pacient s ním může jít normálně do práce a provozovat jakoukoli jinou běžnou činnost.

Toto vyšetření je důležité zvláště pro diagnostiku **poruch srdečního rytmu**, které se **vyskytují občasně**, pro potvrzení či vyloučení souvislosti některých potíží s onemocněním srdce.

## Ergometrie (zátěžové EKG)

Cílem ergometrického vyšetření je diagnostika onemocnění věnčitých tepen (ICHS) na základě EKG změn a typických klinických obtíží vznikajících při fyzické zátěži

## Jícnové EKG

Jedná se o méně rozšířené vyšetření, při kterém musí být pacient na lačno

Elektroda se mu zavede do jícnu ústy nebo nosem, díky tomu se dostane velmi blízko levé síně a získá se kvalitnější křivka, než při klasickém záznamu EKG

# 05. Funkční diagnostika

## Základní měření pacienta, Monitor životních funkcí, Měřené parametry

### Základní měření pacienta

U pacienta se měří tyto základní fyziologické funkce:

- **Tělesná teplota:** vyjadřuje rovnováhu mezi teplem vyráběným uvnitř organismu a jeho výdejem a ztrátami
- **Pulz:** tlaková vlna vyvolaná vypuzením krve z levé komory do aorty
- **Krevní tlak (TK):** tlak, kterým působí krev na stěnu tepen.
  - Rozlišujeme tlak arteriální (systolický, diastolický) a tlak venózní.
  - Není-li řečeno jinak, myslí se krevním tlakem tlak arteriální
- **Dýchání:** Je základní životní potřebou, zajišťuje příjem kyslíku a výdej oxidu uhličitého.
  - Dýchání dělíme na vnitřní a vnější.
  - Je to jediná vůlí ovlivnitelná fyziologická funkce

### Monitor životních funkcí

= zařízení sloužící ke sledování zdravotního stavu pacienta

Skládá se z jednoho, nebo více senzorů, zpracovávání dat z těchto senzorů a zobrazovacího zařízení

Může obsahovat **komunikační rozhraní** pro zaznamenávání, zpracovávání, či zobrazování biometrických dat **mimo samotný monitor**

Využívány na operačních sálech, JIP či ARO odděleních pro zajištění stálého dohledu nad pacientem

### Měřené parametry

- **Krevní tlak:**
  - měřen pomocí neinvazivní metody nazývané **Oscilometrická metoda**, která je založena na měření změn tlaku v natlakované manžetě
- **Srdeční tep:**
  - odečítán například při měření EKG nebo při měření okysličení krve pomocí pulsní oxymetrie
  - obsluhující personál může vybrat z kterého průběhu bude tep vypočítán.
- **EKG:**
  - záznam časové změny elektrického potenciálu způsobeného srdeční aktivitou
  - je to základní údaj sledovaný monitorem



- jednodušší přístroje umožňují pouze základní třísvodové měření EKG, mnoho moderních přístrojů však umí měřit všech 12 svodů
- **Kyslíková saturace:**
  - měří se obvykle optickou metodou nazývanou pulsní oxymetrie, pomocí kolíčkového senzoru umístěného na prstu horní končetiny nebo ušním lalůčku.
  - dochází k měření procenta hemoglobinu, ke kterému je navázán kyslík.
  - jedná se tedy o periferní kyslíkovou saturaci, často označovanou jako SpO<sub>2</sub>.
- **Dechová frekvence:**
  - při měření dechové frekvence patientský monitor obvykle snímá transtorakální impedanci typicky mezi dvěma EKG elektrodami nalepenými na těle resp. hrudníku pacienta
  - při pohybu hrudníku při dýchání dochází k změnám transtorakální impedance a patientský monitor může zobrazit dechovou křivku a číselnou hodnotu počet dechů za minutu
- **Tělesná teplota:**
  - může se měřit kontaktně pomocí teploměru nebo bezkontaktně pomocí optickým metod.
- **Respirační parametry**
- **Invazivní měření tlaku:**
  - měření tlaku pomocí manžety je možné provádět pouze v určitých časových intervalech
  - pokud je nutné měřit krevní tlak souvisle, je nutné provést katetrizaci pacienta pro invazivní měření tlaku.
- **Srdeční výdej:**
  - pro toto měření je rovněž nutná katetrizace

## Pneumologie, Plíce, Vyšetřovací metody, Umělá plicní ventilace

### Pneumologie

= lékařský obor zabývající se výzkumem, diagnózou, prevencí a léčbou **plicních onemocnění** a **poruch dýchacího ústrojí**, především pak **dolních dýchacích cest**, dále na onemocnění pohrudnice a mediastina (mezihrudí).

### Plíce

= párový orgán, který umožňuje **výměnu plynů mezi krví a vzduchem** a se skládají z miliónů **tenkostěnných váčků**, **plicních sklípků**, **alveol**, které jsou opředeny **krevními kapilárami** přechod plynů závisí na parciálním tlaku těchto plynů v atmosféře a na parciálním tlaku plynů v neokysličené krvi, která vstupuje do plic

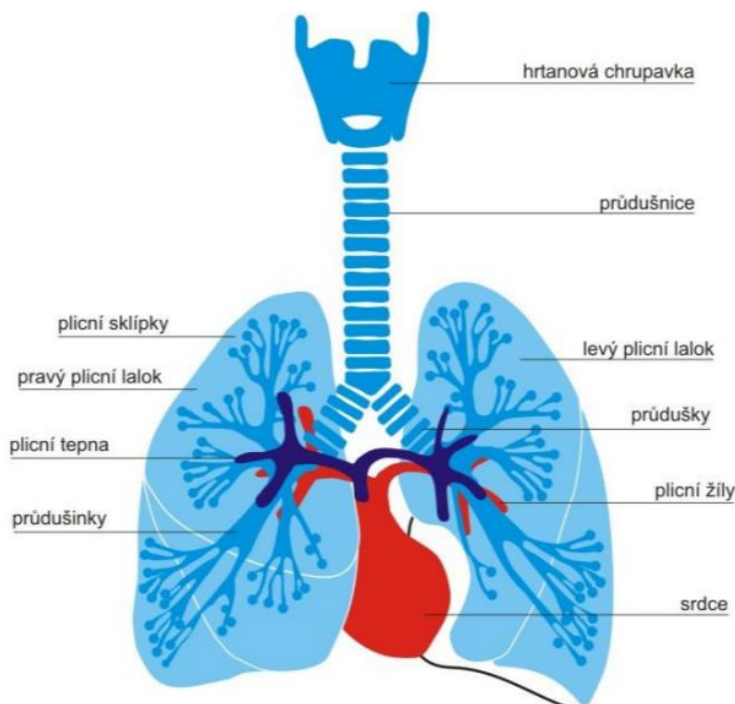
## Stavba plic

Plíce jsou rozčleněné na laloky, u člověka má **pravá** plíce laloky **tři**, menší **levá** má **dva**, každá plíce má zhruba trojúhelníkovitý tvar, levá plíce je menší než pravá. Každý lalok je dále rozdělen **vazivovými přepážkami**, které vycházejí z poplicnice, na **bronchopulmonální segmenty**.

Každý segment má vlastní přívod vzduchu i krve.

**Vnitřek plic** se skládá z rozvětvlujících se průdušek, tedy **dolních cest dýchacích**, a dýchacího oddílu, části, kde dochází k výměně plynů.

**Alveoly** (neboli plicní sklípky) jsou tenkostěnné váčky, ve kterých probíhá difúze dýchacích plynů.



## Vyšetřovací metody

### Spirometrie

= spočívá v měření plicní ventilace, získané hodnoty jsou významné při vedení umělé plicní ventilace a při diagnostice plicních onemocnění.

Měřené parametry dělíme na:

- **Statické** – velikost alveolárního prostoru → informují o případných restričních poruchách.
- **Dynamické** – záznam proudění vzduchu v dýchacích cestách → informují o obstrukčních poruchách.

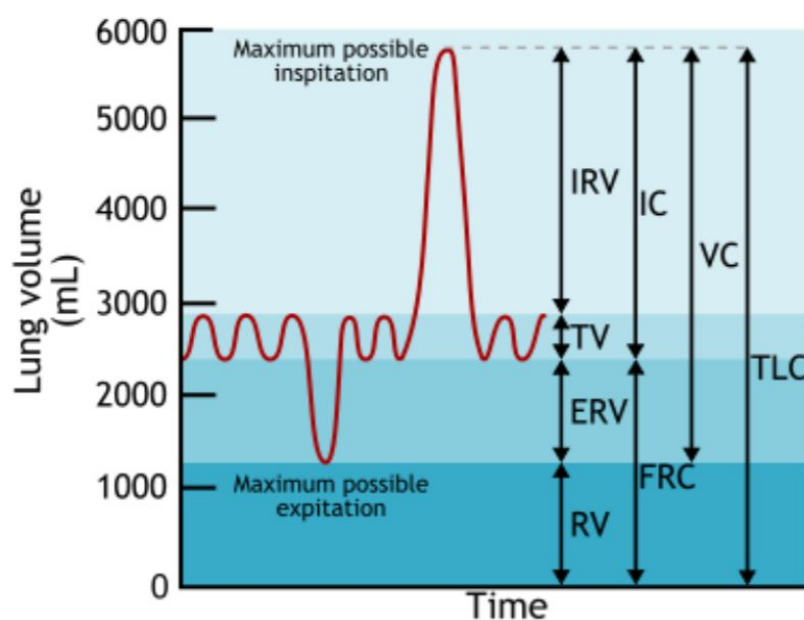
### Objemy plic

Statické objemy:

- **Dechový objem** ( $V_t$ ) je množství vzduchu, které přejde do plic při každém vdechu (nebo množství, které se vypudí při každém výdechu).  $V_t$  0,5 l.
- **Inspirační rezervní objem** (IRV) je vzduch, který se vdechne při maximálním inspiračním úsilí nad dechový objem. IRV 3 l.
- **Expirační rezervní objem** (ERV) je objem vypuzený aktivním expiračním úsilím po pasivním výdechu. ERV 1,2 l.
- **Vitální kapacita** (VC) je největší množství vzduchu, které lze vydechnout po maximálním inspiračním úsilí a stanoví se často klinicky jako index plicní funkce. VC 5 l.

Dynamické objemy:

- **Časová vitální kapacita (FEV 1):**
  - je část vitální kapacity vydechnutá v průběhu první vteřiny (také se nazývá rozepsaný výdech vitální kapacity nebo usilovný expirační objem za 1 s);
  - poskytuje cennou informaci při onemocněních, jako je například astma, při němž je následkem zúžení dýchacích cest zvýšený odpor dýchacích cest, vitální kapacita může být normální, ale časová vitální kapacita je výrazně snížena.
- **Maximální výdechový proud vzduchu (PEF)** je 12 m/s.
- **Minutová plicní ventilace** – respirační minutový objem (MV):
  - 6–8 litrů/min (např. pro 6 l – 500 ml/dech × 12 dechů/minutu)
- **Maximální volná ventilace (MMV)** je největší objem vzduchu, který lze dopravit do plic za jednu minutu volným úsilím.
  - MVV až 200 litrů/minutu.



Plicní objemy a kapacity:

**TLC** - celková kapacita plic (total lung capacity)

**VC** - vitální kapacita

**RV** - reziduální objem (volume)

**IC** - inspirační kapacita

**FRC** - funkční reziduální kapacita

**IRV** - inspirační rezervní objem

**TV** - dechový (tidal) objem

**ERV** - expirační rezervní objem

## Body Pletysmografie

= poskytuje informace o mechanických a elastických vlastnostech plic

Pletyzmograf = **vzduchotěsně uzavřená kabina**, ve které se nachází vyšetřovaný, který **dýchá vzduch zevnitř či zvenku kabiny**, čímž se v **kabině mění tlak** a tyto změny jsou rovny **dechovému objemu nebo alveolárnímu tlaku** (měří se tlakový spád mezi alveoly a ústní dutinou a současně i průtok plynu dýchacími cestami).

Registraci výše zmíněného získáváme tzv. **uzávěrovou křivku**, která se zobrazuje v souřadnicovém systému

## Další vyšetřovací metody

- **Impulsní oscilometrie:**

- Dává informace o odporech v dechových cestách (centrálních i periferních)
- S úspěchem se dá využít u pacientů neschopných provést usilovné dechové manévry, které jsou potřebné u spirometrických vyšetření
- **Rhinomanometrie:**
  - měření průchodnosti nosních průduchů
- **Vyšetření ústních tlaků:**
  - vyšetření síly dechových svalů při nádechu a výdechu nejen u plicních, ale i u neurologických onemocnění
- **Měření plicní difúze:**
  - pomáhá objasnit poruchy výměny plynů mezi plícemi a krví
- **Pulsní oxymetrie:**
  - je neinvazivní vyšetření, kterým měříme nasycení krve kyslíkem (saturaci hemoglobinu)
  - senzor pulzního oxymetru vyzařuje světlo dvou vlnových délek, které proniká tkání (většinou prstem ruky)
  - obě vlnové délky jsou odlišně absorbovány saturevaným a desaturevaným (okysličeným a neokysličeným) hemoglobinem. Přístroj vyhodnocuje kolik kterého světla bylo absorbováno a vypočítá saturaci kyslíkem
  - spolu s tím je automaticky měřena i tepová frekvence

## Umělá plicní ventilace

= způsob dýchání, kdy mechanický přístroj **plně** nebo **částečně** zajišťuje průtok plynů dýchacím systémem

Používá se ke **krátkodobé** nebo **dlouhodobé** podpoře nemocných, u kterých došlo k závažné poruše ventilační nebo oxygenační funkce respir. systému nebo taková porucha aktuálně hrozí

Dělení ventilačních režimů:

- dle stupně ventilační podpory
  - plná ventilační podpora
  - částečná ventilační podpora
- dle synchronie s dechovou aktivitou nemocného
  - synchronní
  - asynchronní

## EMCO, Anesteziologické přístroje

### Extrakorporální membránová oxygenace (EMCO)

= metoda využívající v **intenzivní medicíně**, která umožňuje **dočasně** nahradit funkci plic a srdce

Jedná se o systém podobný mimotělnímu oběhu, kdy pomocí jednoho katetru je **ze žilního systému odebírána krev**, která je následně hnána přes **oxygenátor** a **pumpována zpět** do těla do žilního nebo arteriálního systému cestou druhého katetru

# Anesteziologické přístroje

Slouží k podávání celkové inhalační anestezie a skládá se ze **zdroje medicínálních plynů, dávkovacího zařízení, směšovače, odpařovače, dýchacího systému** a přídatných zařízení

Dělení anesteziologických přístrojů:

- z technického hlediska:
  - **Otevřené:**
    - nosnou směsí pro inhalační anestetikum je okolní vzduch a dýchací cesty pacienta jsou trvale v kontaktu s atmosférou prostředí
  - **Polootevřené:**
    - inhalační anestetikum je transportováno směsí anesteziologických plynů jednocestným systémem, přičemž čerstvé plyny jsou striktně odděleny od vydechovaných prostřednictvím ventilu
  - **Polozavřené:**
    - dýchací systém může být jednocestný nebo uspořádaný do anesteziologického okruhu, dochází k částečnému zpětnému vdechování vydechovaných plynů, takže musí být zařazen pohlcovač CO<sub>2</sub>
  - **Zavřené:**
    - dýchací systém je uspořádán do anesteziologického okruhu, směs plynů je (po absorpci CO<sub>2</sub> v celém rozsahu reinalována), dodávka čerstvých plynů odpovídá metabolické spotřebě pacientem, používá se zřídka
- dle zpětného vdechování:
  - bez zpětného vdechování
  - s částečným zpětným vdechováním
    - příkon čerstvých plynů je vyšší než jejich spotřeba
  - s úplným zpětným vdechováním
    - příkon čerstvých plynů odpovídá spotřebě pacientem
- dle směru proudění plynů:
  - **jednocestné systémy**
    - jednou hadicí jsou přiváděny čerstvé plyny a druhou odváděn vydechovaný vzduch pacient
  - **anesteziologické (dýchací) okruhy**

## Anesteziologický okruh

= systém do kruhu uspořádaných hadic, v němž je zapojen pohlcovač CO<sub>2</sub> a směr proudění plynů určují ventily

# Sluch, Audiometrie, Vyšetření sluchu

## Sluch

**Připncip sluchu:** zvukové vlny vstupují do ucha, jsou zachyceny bubínkem a předány do hlemýžďe pomocí sluchových kůstek. V hlemýždi se zvuk přeměňuje na proměnlivý tlak kapaliny, jíž je hlemýžď vyplněn. Tyto změny jsou zachyceny stereocilií na vláskových buňkách a převedeny na nervové impulsy, které putují do mozku sluchovým nervem. Lidské ucho je **neuvěřitelně citlivé**, protože je schopno zachytit široké frekvenční pásmo od nízkých tónů při **20 Hz až do pištění při 20 kHz**, což představuje rozsah více než **osmi oktáv**. Hlasitost se určuje v decibelech (dB)

**Nulová hodnota** na této stupnici určuje práh slyšitelnosti; přitom každé **desetinásobné zvýšení hlasitosti** je vyjádřeno **přidáním 10 dB** na této stupnici

## Poruchy sluchu

Podle místa poškození rozlišujeme poruchy:

- centrální
- periferní
  - převodní
  - percepční
    - kochleární
    - rektokochleární

Nebudu se učit, co který pojem znamená...

## Vyšetření sluchu

- **Vyšetření pomocí řeči**
- **Vyšetření ladičkami:**
  - důležité k odlišení převodní a percepční nedoslýchavosti
  - Weberova zkouška (W), Rinneho zkouška (R), Schwabachova zkouška (Sch)
- **Tónová audiometrie**
- **Audiometrie řeči**
- **Nadprahová audiometrie:**
  - pro rozlišení poruchy ve vláskových buněk nebo v n. VIII.
- **Otoakustické emise:**
  - objektivní vyšetření sluchu novorozenců
- **Objektivní audiometrie**
- **Tympanometrie**
- Vyšetření při podezření na simulaci

## Vyšetření pomocí řeči

provádí se plným hlasem, nebo šepotem

Používají se slova, která obsahují nízké, střední a vysoké formanty:

- **hluboké:** slova s „u“ – hůl, půl, auto, ucho
- **střední:** slova s „a“ a „o“ – voda, kabát, tabák, zahrada, okno
- **vysoké:** slova s „i“, „e“ a se sykavkami – měsíc, tisíc, číslice

## Tónová audiometrie

Provádí se přístrojem, který generuje tóny o určitém kmitočtu (Hz) a intenzitě (dB)

Provádí v rozsahu **125 Hz do 10 kHz**, od **-10 dB do 100 dB**.

Má za cíl vyhledat sluchový práh – nejnižší intenzitu při dané frekvenci, kdy vyšetřovaný tón slyší

## Audiometrie řeči

Význam pro stanovení účelnosti nošení sluchadel

Používáme slovní sestavy o 10 slovech s vyvážením slov se středními, vysokými a nízkými formantami

Přehrávají se pacientovi v různé intenzitě a on je opakuje.

Zanáší se počet správných odpovědí v závislosti na intenzitě

## Tympanometrie

= objektivní vyšetřovací metoda k testování funkce středního ucha a mobility bubínku a kůstek středního ucha změnou tlaku vzduchu v ušním kanálku

Metoda měří přímo **mechanické a akustické vlastnosti bubínku** a nepřímo tím měříme vlastnosti převodního systému pomocí odrazu zvuku (V podstatě měříme komplianci (poddajnost) bubínku)

# 06. Ultrasonografie a endoskopie

## Ultrazvuk, Vlastnosti ultrazvuku, Generování a detekce ultrazvuku

### Ultrazvuk

Zvuk je mechanické vlnění, tedy takové vlnění, jehož nositelem jsou částice prostředí, kterým se vlnění šíří

Na rozdíl od elektromagnetického vlnění (např. světla), jehož nositelem jsou fotony, se nemůže zvukové vlnění šířit nehmotným prostředím (vakuum)

**Ultrazvuk** je mechanické vlnění, jehož frekvence je **vyšší než 20 000 Hz (20 kHz)**

V medicíně se používá ultrazvuk jak pro účely diagnostické (**zobrazovací, kmitočty 1–40 MHz**) tak pro účely terapeutické (**0,8 – 1 MHz, v chirurgických oborech i 20 – 100 kHz**).

### Vlastnosti ultrazvuku

Šíření ultrazvukového vlnění **není spojeno s přenosem hmoty** – její částice **pouze kmitají** na místě okolo své rovnovážné polohy, přenáší se však **energie**

Rozeznáváme dva typy vlnění:

- postupné **podélné vlnění**:
  - částice pružného prostředí **kmitají ve směru**, kterým vlnění postupuje
  - vzniká v tělesech všech skupenství, která jsou pružná při změně objemu (tzn. při stlačování a rozpínání)
- postupné **příčné vlnění**:
  - vlnění, kdy hmotné body pružného prostředí **kmitají kolmo na směr**, kterým vlnění postupuje

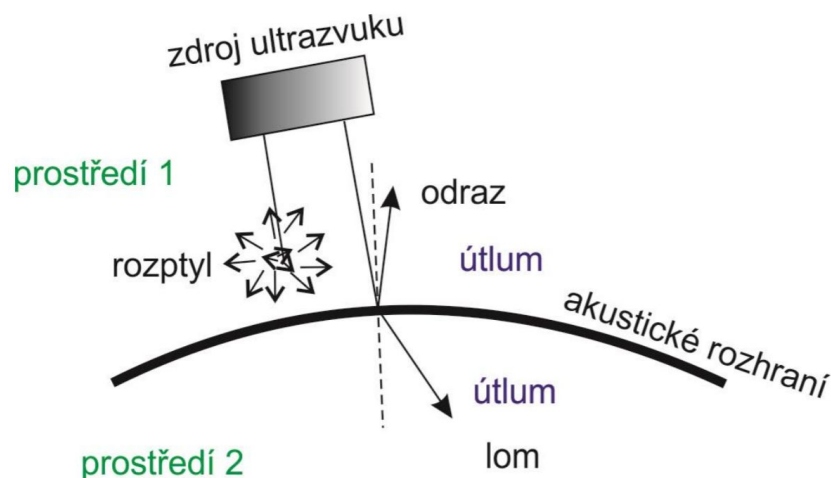
### Akustická impedance

Rychlost šíření UZ v daném prostředí spolu s hustotou tohoto prostředí udávají veličinu, která kvantitativně popisuje interakci mezi UZ vlněním a prostředím

Impedance je ta vlastnost prostředí, která brání vnější síle (vlnění) vytvářet v něm zóny zvýšeného a sníženého tlaku, tedy podléhat periodickému zředování a zhušťování



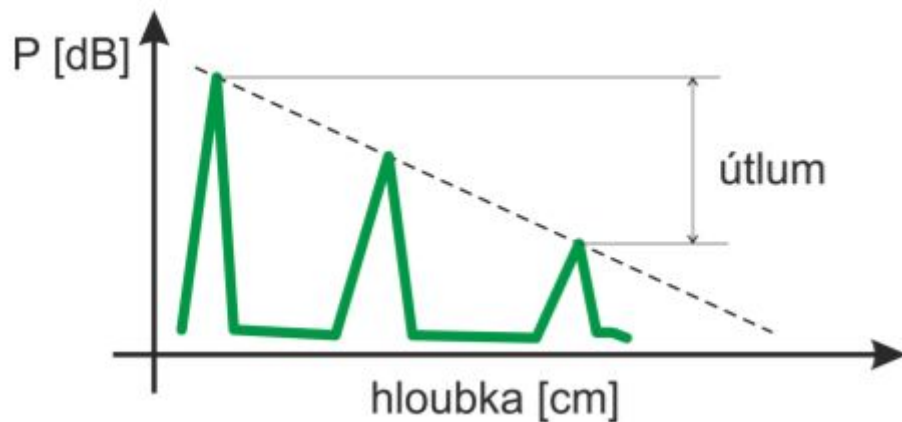
## Způsob šíření ultrazvuku prostředím



Mezi základní vlastnosti patří:

- Odráz:
  - vzniká na přechodu dvou homogenních rozhraní o velikosti větší, než je šířka svazku daná jeho vlnovou délkou - například povrchy orgánů
  - odraz je tím intenzivnější, čím rozdílnější je hustota obou prostředí
  - množství odražených vln závisí na impedanci hraničních prostředí
  - při velkém rozdílu akustických impedancí dvou médií dochází k úplnému odrazu všech UZ vln na tomto rozhraní.
- Lom:
  - UZ se lomí na rozhraní dvou prostředí, nedopadá-li vlnění na toto rozhraní kolmo
  - láme se od kolmice z řidšího do hustšího prostředí, tedy opačně než u světla.
  - může způsobit zkreslení sonografického obrazu.
- Absorpce ultrazvuku:
  - UZ postupně **ztrácí svou energii při průchodu hmotným prostředím**. Tuto energii předává UZ vlnění do okolí ve formě **tepelné energie**, jejíž množství je v případě interakce diagnostického ultrazvuku s biologickými tkáněmi až na výjimky zanedbatelné
  - absorpce se **zvyšuje s frekvencí**
  - absorpce je **vysoká v plících**, **menší v kostech**, **nejmenší v měkké tkáni**
  - s absorpcí souvisí schopnost UZ pronikat prostředím
- Rozptyl:
  - UZ se rozptyluje na mikroskopických rozhraních struktur, které jsou menší než je jeho vlnová délka a převládá v nehomogenním prostředí
  - tento jev je nazýván **Rayleighovým rozptylem** a vzniká na rozhraní s malými rozměry, např. na krevních buňkách
  - k dalším jevům, které vznikají interakcí UZ s prostředím pak patří interference vznikající při rozptylu, které jsou zdrojem obrazových artefaktů a difrakce, tedy ohyb vlnění, který má také vliv na kvalitu obrazu
- Frekvence a vlnová délka:

- v medicíně se pohybují v rozmezí  $= 0,77 \text{ mm}$  až  $0,05 \text{ mm}$  pro kmitočty  $f = 2 \text{ MHz}$  až  $30 \text{ MHz}$
- Útlum ultrazvuku:
  - jestliže vyjádříme hladinu intenzity UZ v decibelech, tj. na základě logaritmu poměru intenzity prošlé a původní, vidíme, že amplitudy odražených vln (ech) klesají lineárně



- Rychlost šíření ultrazvuku:
  - závisí na elasticitě  $K$  a hustotě  $\rho$  prostředí
  - čím je hustota prostředí vyšší (vazby mezi částicemi těsnější), tím rychlejší a efektivnější je přenos kmitů
  - proto se ultrazvuk nejrychleji šíří v pevných látkách (např. kostech) a nejpomaleji v plynech (vzduch)
  - v kapalinách a materiálech s vysokým obsahem vody (např. měkké tkáně) se průměrně šíří rychlostí  $1540 \text{ m/s}$
- Rozlišení ultrazvuku:
  - s vyšší frekvencí vln se zvyšuje rozlišení, ale stoupá také absorpce (snižuje se hloubka zobrazení)

## Generování a detekce ultrazvuku

Magnetostrikční měniče (Magnetostrikční jev – změna objemu feromagnetické látky vlivem okolního magnetického pole)

Piezoelektrické měniče:

- **nepřímý piezoelektrický jev** je založený na deformaci určitých materiálů **vlivem elektrického napětí přivedeného** na jejich povrch
- **přímý piezoelektrický jev** je jev při kterém **vzniká elektrický náboj** na piezoelektrickém materiálu při jeho deformaci).

# Využití ultrazvuku v medicíně

## Měření vzdálenosti

Máme-li k dispozici dostatečně přesný měřič času (osciloskop), můžeme sledovat dobu, za kterou urazí ultrazvukový puls vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem

## A-MÓD (Amplitude Mode)

Zobrazení v A-módu je založeno na tom, že **jednotlivé odrazy** registrované přijímací částí ultrazvukové sondy jsou zobrazeny na monitoru osciloskopu jako **impulsy na časové ose** (osa X).

Osa bývá ocejchována v jednotkách vzdálenosti (předpokládá se konstantní rychlost šíření ultrazvuku ve sledovaném prostředí)

**Výška** (amplituda) jednotlivých impulsů odpovídá **stupni odrazivosti jednotlivých akustických rozhraní**, kterými prochází ultrazvuková vlna

Tento způsob zobrazování se nazývá **jednorozměrný** a má význam pro sledování vzdálenosti jednotlivých akustických rozhraní na kterých se odráží ultrazvuková vlna

## B-MÓD (Brightness Mode)

**Odražené ultrazvukové vlny** od jednotlivých prostředí jsou zobrazovány jako body, jejichž **umístění na časové ose je stejné** (ve stejné vzdálenosti), jako by tomu bylo v případě impulsů při zobrazení v A-módu

**Stupeň odrazivosti jednotlivých akustických rozhraní**, kterými ultrazvuk prochází, však není vyjádřen velikostí bodů, ale jejich **zabarvením**

**Intenzita odražených vln** je interpretována jako **odstín ze stupnice šedi** většinou v tom smyslu, že čím **větší je intenzita** odražené vlny, tím **světlejším odstínem šedi** je zobrazen jí odpovídající bod

## Echogenita (Stupeň odrazivosti)

Obrazy cystických (kapalinou naplněných) a solidních struktur jsou různé

Podle intenzity odrazů z objemu tkáně můžeme rozlišovat struktury:

- **Hyperechogenní** – světlé zobrazení struktur
- **Izoechoenní** – zhruba stejně jasná struktura jako je její okolí
- **Hypoechogenní** – tmavé zobrazení struktur
- **Anechoenní** – není patrná žádná struktura (tmavý obraz)

Vzduchové bubliny, punkční jehly a jiná silně odrážející rozhraní mohou způsobovat opakované odrazy, tzv. **reverberace**

Jedná se o artefakt způsobený silným UZ signálem přicházejícím z hranice mezi 2 prostory s výrazně odlišnou akustickou impedancí.

Typicky u zavedené jehly, kdy se nám objeví znásobení obrazu jehly s naznačeným akustickým stínem hlouběji

## M-MÓD (Motion Mode)

Jednorozměrné statické B-zobrazení ukazuje pohyby odrážejících tkání

Druhým rozměrem je u této metody čas

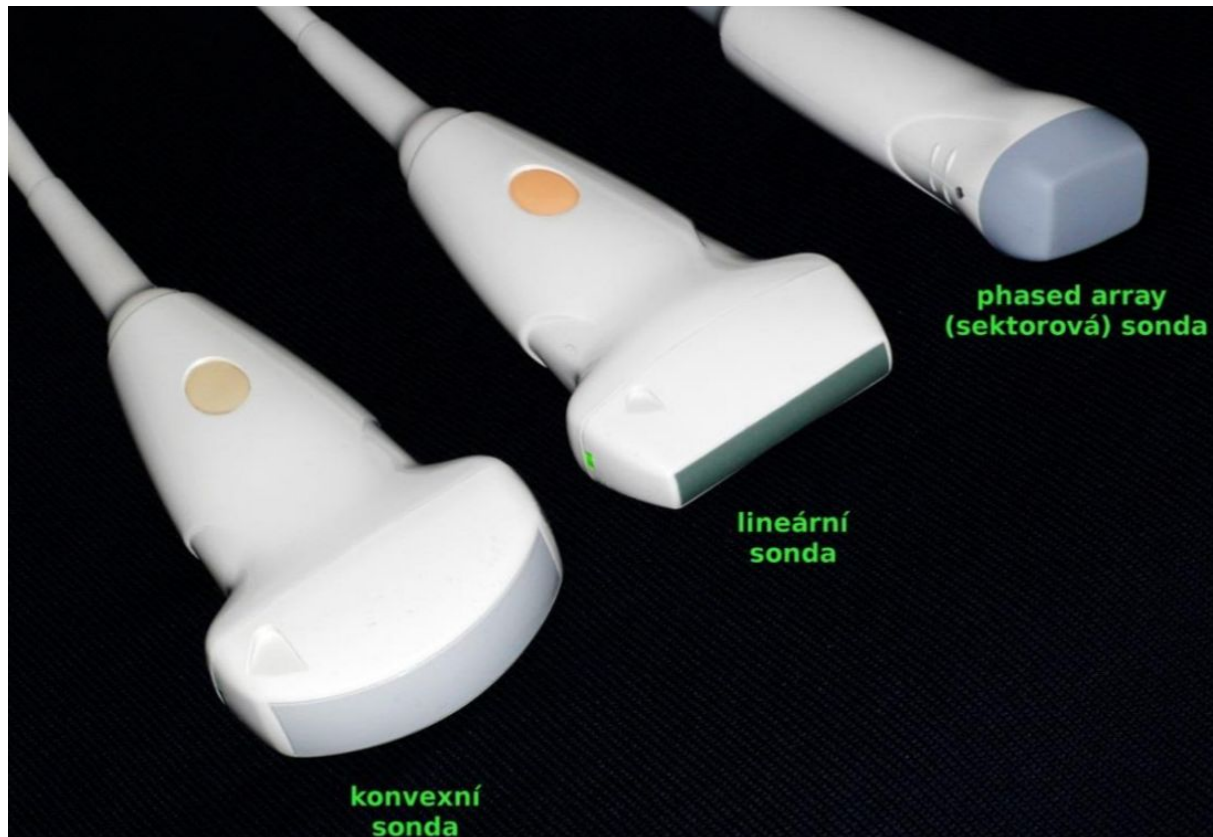
Statická sonda zachycuje odrazy od pohybujících se struktur

Světlé body se pohybují vertikálně na obrazovce, horizontální posun záznamu je způsoben pomalou časovou základnou

Zobrazené křivky představují pohyb tkáňových struktur

## Ultrasonograf, Ultrasonografické sondy, Dopplerův jev

### Ultrasonografické sondy



### Lineární sonda

= tvořena systémem velkého počtu (až 250) miniaturních piezoelektrických měničů uspořádaných do souvislé řady

## Sektorová sonda (Phased array)

= poskytuje zobrazení ve tvaru kruhové výseče

Dříve bylo takového zobrazování dosahováno mechanickým vychylováním piezoelementů, dnes se však provádí výhradně elektronicky technologií phased array

Typickým příkladem je echokardiografie, kdy je srdce možné vyšetřovat jen přes úzký mezižebří prostor

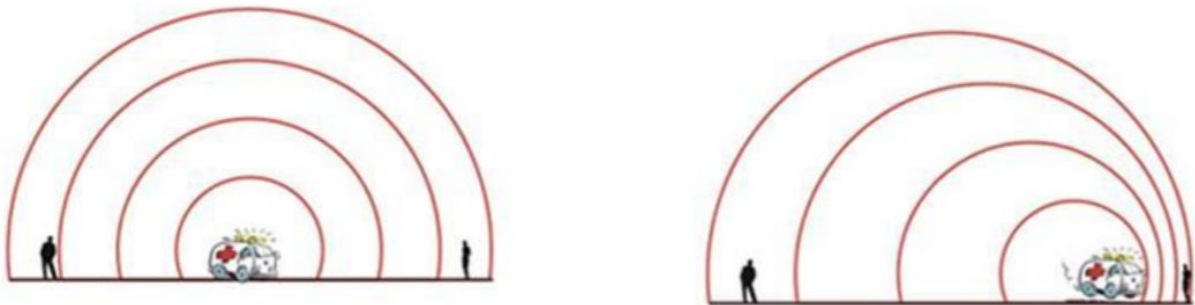
## Konvexní sonda

= spojuje výhody sektorového a lineárního zobrazení (ze kterého z principu vychází)

Uspořádáním elementárních měničů odpovídají lineární sondě, konvexní tvar plochy s měniči však poskytuje obraz, který odpovídá sektorovému záběru

## Dopplerův jev

= fyzikální jev, který se projevuje změnou vlnové délky vlnění v závislosti na vzájemném pohybu přijímače a vysílače vlnění



K Dopplerově jevu však dochází jak za situace, kdy se zdroj signálu pohybuje vůči detektoru (vpřed i vzad) tak i v situaci, kdy se detektor pohybuje vůči zdroji signálu (vpřed i vzad).

Dopplerova jevu se v medicíně využívá k měření rychlosti a zjišťování směru proudění krve

## Endoskopie, Typy endoskopů a jejich vlastnosti, Stereoskopické měření.

### Endoskopie

= metoda, která umožňuje pozorování vnitřních prostor dutých objektů, které nelze vidět přímo

Tato metoda využívá **studené světlo**. Toto světlo vzniká odfiltrováním tepelných paprsků. Je to kvůli nežádanému zahřívání distálního konce endoskopické sondy.

**Světlovod** je optický systém vedoucí světlo. Jedná se o svazek velmi tenkých skleněných vláken. V těchto svazcích nastává **úplný doraz**.

Zdrojem světla je u medicínských endoskopů většinou **xenonová výbojka** umístěná ve speciálním boxu na proximálním konci sondy

# Typy endoskopů a jejich vlastnosti

## Rigidní endoskop

Skládají se z několika částí, z nichž hlavní je optický systém, který si lze představit jako kovový tubus, který má tři hlavní části: objektiv, sadu přenášecích čoček a okulár  
Je neohebný

## Flexibilní endoskop

Základní částí těchto endoskopů je svazek (svazky) optických vláken, uložený ve flexibilním tubusu - sondě

## Videoendoskop

Od osmdesátých let minulého století

Konstrukce je obdobná jako u fibroskopů, jen pro přenos obrazu není využíván svazek optických vláken, ale miniaturní kamera, umístěná v distálním konci endoskopu

## Kapslová endoskopie

Jedná se o absolutně bezbolestné vyšetření tenkého střeva pomocí polykací kapsle velikosti větší vitamínové tablety

Kapsle má zabudovanou miniaturní kameru, kterou postupně snímá celý trávicí trakt tak, jak jím pomalu prochází.

Vyšetření trvá 12 hodin, ale člověka nijak nezatěžuje – po spolknutí kapsle může svobodně odejít, ale s připevněným snímačem a musí dostatečně pít

Po uplynutí 12ti hodin se vyšetřovaný opět dostaví do nemocnice, tentokrát aby odevzdal snímací zařízení s uloženými daty a videozáznamem

## Stereoskopické měření

Komparativní metoda využívá porovnání měřené vzdálenosti s referenčním předmětem o známé velikosti, který leží ve stejné vzdálenosti od kamery jako měřený objekt

Podmínkou přesnosti měření však je, aby oba body ležely na rovině kolmé ke kameře - toho nelze vždy dosáhnout

Je tu nějaká složitá matematika

# 07. Optika v medicíně

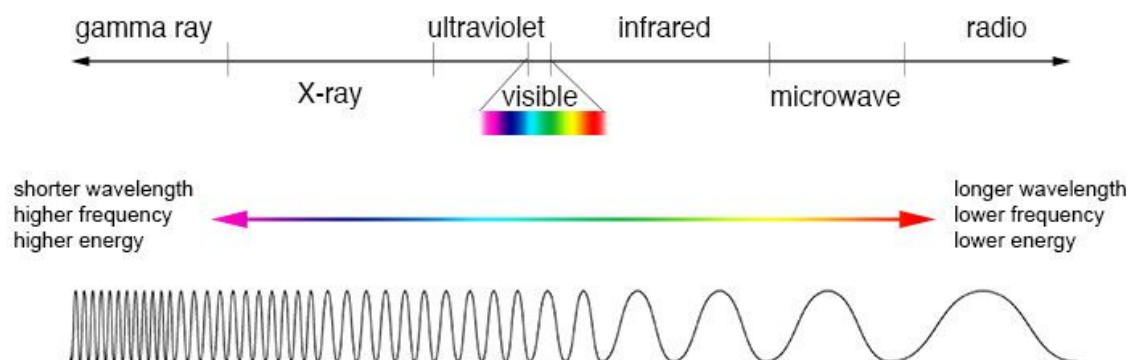
## Teoretická optika, Čocky, Vady čoček a korekce, Elektromagnetické spektrum

### Teoretická optika

Rozdělení optiky:

- **Geometrická (papřsková) optika:**
    - na světlo pohlíží jako na svazek papřsků, zanedbává jeho vlnovou povahu
    - zkoumané jevy: odraz světla, lom světla
  - **Vlnová optika:**
    - vychází z vlnové povahy světla jako elektromagnetického záření
    - zkoumané jevy: interference, difrakce (ohyb), polarizace
  - **Kvantová optika:**
    - též nazývaná fotonová, zkoumá děje, při kterých se projevuje kvantový charakter světla - to se nešíří spojitě, ale jako proud částic s určitou energií = fotonů
    - vysvětluje např. fotoelektrický jev, Comptonův jev
- ❑ **Viditelné světlo** = elektromagnetické záření v rozmezí vlnových délek 380 - 760nm
- ❑ Podle stoupající vlnové délky jsou to: **fialová**, **modrá**, **zelená**, **žlutá**, **oranžová** a **červená**
- ❑ **Infračervené světlo** = elektromagnetické záření v rozmezí vlnových délek 760 - 1mm
- ❑ **Ultrafialové světlo** = elektromagnetické záření v rozmezí vlnových délek 400 - 10nm

### Elektromagnetické spektrum



## Čočky

Optická soustava dvou centrovaných ploch, nejčastěji kulových, popř. jedné kulové a jedné rovinné plochy.

Materiál čočky je charakterizován **indexem lomu**, který je vždy **větší než jedna**, a **indexem absorpce**, který je pro vlnové délky v rozsahu použitelnosti čočky **blízký nule**

Paprsek, dopadající na libovolné místo povrchu čočky se **uvnitř čočky láme** podle Snellova zákona a podle stejného zákona se **lomí na protilehlém povrchu** a malá část světla se **odráží zpět**

## Vady čoček

- Chromatická aberace = barevná vada čočky způsobená závislostí ohniskové vzdálenosti čoček na vlnové délce světla, protože čočky lámou světlo každé barvy jinak (červená nejméně, fialová nejvíce)
- Sférická aberace je optická vada zobrazení, kdy se světelné paprsky na okraji čočky lámou víc, než poblíž optické osy

## Fotometrie, Spektroskopie, Spektrofotometrie, Refraktometrie

### Fotometrie

= oblast optiky popisující světlo a jeho účinky na lidské oko a definice fotometrie je „měření světla, které je detekováno lidským okem“

### Spektroskopie

Elektromagnetická spektroskopie zkoumá, jak se mění u elektromagnetického záření intenzita záření s vlnovou délkou záření (tzv. spektrální rozdělení). Změny spektrálního rozdělení mohou nastat např. při:

- průchodu prostředím: absorpční spektrum
- odrazu na rozhraní dvou prostředí: reflexní spektrum
- vyzařování světla prostředím: luminiscenční nebo fluorescenční spektrum

umožňuje bezkontaktně a nedestruktivně získávat informace o dané látce (složení, teplotě apod.)

### Spektrofotometrie

Metoda založená na interakci EM záření s analyzovaným roztokem, kdy je část záření absorbována částicemi vzorku



Absorpcí fotonu vzniká excitovaný atom, kdežto část záření projde roztokem a je následně detekována přístrojem

Množství světla propuštěného, odraženého nebo pohlceného jistou látkou je závislé na vlnové délce záření a na koncentraci zkoumané látky

## Refraktometrie

= metoda pro měření indexu lomu látek pevných, kapalných i plyných, při které se využívá mezního úhlu lomu, respektive úplného odrazu světla

**Index lomu** je charakteristickou veličinou látek, je znakem jejich čistoty a pomocí něho lze určit také koncentraci

# Mikroskop, Princip mikroskopu, Vlastnosti ovlivňující zobrazení mikroskopem

## Mikroskop

= optický přístroj pro zobrazení malého sledovaného objektu ve větším zvětšení



## Princip mikroskopu

Jednoduchý mikroskop je složen ze **dvou spojných soustav čoček**, které mají společnou optickou osu.

Část mikroskopu, která je nazývána **objektiv**, má **malou ohniskovou vzdálenost** (řádově v milimetrech).

Pozorovaný předmět se umísťuje **blízko před předmětové ohnisko**, takže vzniká skutečný, **zvětšený a převrácený obraz**.

Tento 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 nesplývají, ale jsou od sebe vzdáleny o hodnotu optického intervalu, jehož hodnota se u mikroskopu pohybuje mezi 15 cm a 20 cm

## Vlastnosti ovlivňující zobrazení mikroskopem

- Mez rozlišení mikroskopu = vzdálenost dvou bodů objektu, kdy je ještě rozlišíme, tzn. nesplynou v bod jeden
  - Mez rozlišení ovlivňují: **Ohyb a interference světla**, **Numerická apertura**, **Kondenzor**, **Vady čoček**
- Abbeho kritérium rozlišitelnosti
  - Pro vznik rozlišeného sekundárního (skutečného) obrazu optické mřížky musí primární obraz obsahovat nejen maximum nultého řádu, ale navíc alespoň maximum prvního řádu
  - Obraz vzniká superpozicí svazků různých ohybových maxim – tzn. obraz je tím kvalitnější, čím větší množství ohybových maxim se jeho vzniku účastní.
  - Pokud jsou dva objekty tak blízko sebe, že jejich rozptylové kroužky se zčásti překrývají, nebudou rozlišeny a budou zobrazeny jako jeden
- Numerická apertura (NA)
  - Vyjadřuje v mikroskopii účinnou světelnost objektivu.
  - Jedná se o bezrozměrné číslo, které je číselným měřítkem pro schopnost mikroskopické optiky zachycovat informace, obsažené v pozorovaném objektu.
  - Platí, že lepší kvalitu má ten objektiv (při totožném zvětšení), který má vyšší numerickou aperturu

## Typy mikroskopů, AFM, EBM, CFM, FRM

### Mikroskop atomárních sil (AFM)

K detekci slouží vzájemná meziatomová přitažlivost.

Detekuje se pohyb zkoumacího hrotu při průchodu nad vzorkem  
Umí zobrazovat i nevodivé vzorky  
Základem AFM je velmi ostrý hrot, který je upevněn na ohebném nosníku

## Elektronový mikroskop (EBM)

Fotony jsou nahrazeny elektrony a skleněné čočky EM čočkami.  
Elektrony mají podstatně kratší vlnovou délku než má viditelné světlo, má elektronový mikroskop mnohem vyšší rozlišovací schopnost a může tak dosáhnout mnohem vyššího efektivního zvětšení (až 1 000 000×) než světelný mikroskop

## Konfokální mikroskop (CFM)

Druh optického mikroskopu, jehož výhodou je vyšší rozlišovací schopnost daná detekcí světla pouze z ohniskové roviny mikroskopu.

- **Rastrující konfokální mikroskop** - skenující zařízení zařizuje posun ohniska excitujícího laserového paprsku
- **Konfokální mikroskop s rotujícím diskem** - místo skenujícího zařízení obsahuje rotující Nipkowův kotouč, na kterém je mnoho navzájem oddělených clonek

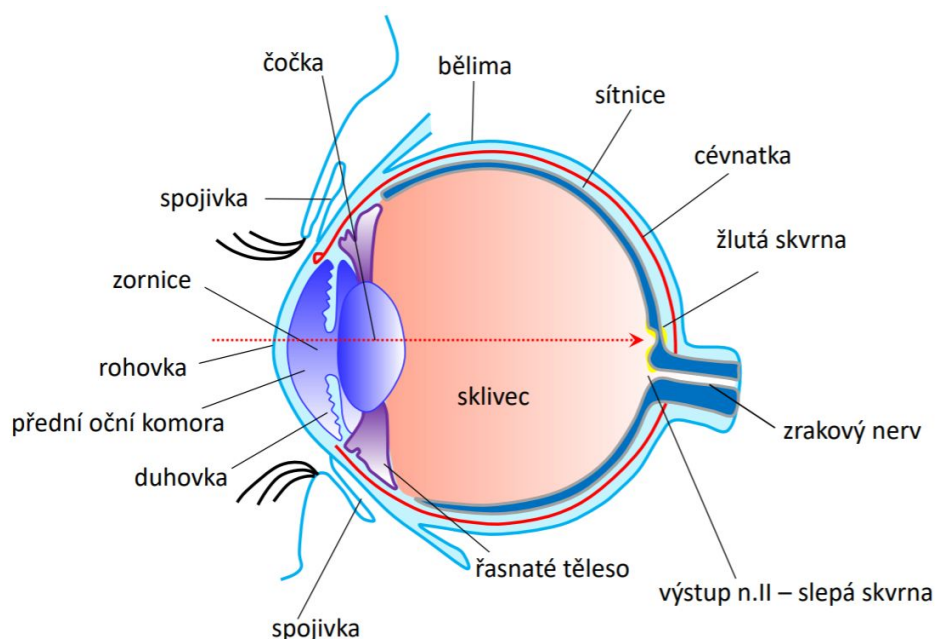
## Fluorescenční mikroskop (FRM)

Světelný mikroskop umožňující detekci a pozorování fluoreskujících látek ve vzorku  
Fluorescence vzniká ozářením vzorku zářením o patřičné vlnové délce, což vede k vybuzení molekul fluorescenční látky (fluoroforu) a k následnému návratu na původní energetickou hladinu za současného vyzáření fotonů světla  
Fluorescenční mikroskopie je v současnosti jednou ze základních metod zkoumání mikrosvětla v experimentální biologii

## Oční optika, Zrak, Oční vady

### Zrak

= smysl, který umožňuje živočichům vnímat světlo, různé barvy, tvary  
Pro člověka je to smysl nejdůležitější, asi 80 % všech informací vnímáme zrakem



## Oční optika - akomodace

**Akomodace** je proces, který zvětšuje zakřivení čočky a pomáhá k zaostření blízkých předmětů na sítnici oka

**Blízký bod** = bod ležící nejbližší oku, který lze při maximální akomodaci vidět ostře, u dětí několik cm od oka, s věkem se vzdaluje od oka

**Daleký bod** = nejvzdálenější bod od oka, který lze ještě vidět ostře bez akomodace, leží ve vzdálenosti více než 6 m od oka

**Akomodační šíře** = rozdíl optické mohutnosti neakomodované a plně akomodované čočky, tedy rozdíl hodnot vzdáleností blízkého a vzdáleného bodu

- jednotkou je dioptrie (D)
- vliv věku → s věkem se zmenšuje (po 40.-50. roce života se rovná 0 – oko přestane akomodovat)

## Oční vady

- **Krátkozrakost:**
  - příliš dlouhý bulbus, nebo velká lomivost optické soustavy
  - korekce: rozptylnými čočkami
- **Dalekozrakost:**
  - příliš krátký bulbus, nebo malá lomivost optické soustavy
  - korekce: spojnými čočkami
- **Vetchozrakost:**
  - ztráta akomodační schopnosti (optické pružnosti) čočky související se stářím
  - korekce: spojnými čočkami
- **Astigmatismus:**
  - oko nemá ve všech poledníkových rovinách stejnou optickou mohutnost → nerovnoměrné zakřivení rohovky
  - korekce:

- **Glaukom** - zelený zákal:
  - skupina klinicky odlišných onemocnění různé etiologie, která způsobují neuropatii zrakového nervu a vedou k ireverzibilnímu poškození zrakových funkcí
- **Poruchy barvocitu:**
  - ztráta vnímání **červené** barvy = protanopie
  - ztráta vnímání **zelené** barvy = deuteranopie
  - ztráta vnímání **modré** barvy = tritanopie

## Vyšetřovací metody v očním lékařství

### Vyšetření zrakové ostrosti

**Zraková ostrost** (visus) = schopnost oka rozeznávat kontrastní detail  
 vyšetřuje se čtením písmen (textu) od větších postupně k malým

- nejdříve oko pravé, pak levé, nakonec obě
- při vyšetření jednoho oka je druhé oko zakryté
- hodnotí se visus do dálky a do blízka

### Vyšetření barvocitu

zhodnocení defektů vnímání barev

zdravé oko vnímá 3 barvy – červenou, zelenou, modrou

Stilingovy pseudochromatické tabulky

Ishiharovy barevné testy

- body různých barev a jasu vytvářející obrazce
- barvoslepé oko není schopné rozeznat obrazec od pozadí

### Štěrbínová lampa

= speciální mikroskop pro vyšetření přední části oka

Vyšetřuje: usazení čočky, její pohyb na rohovce, usazeniny na čočce, onemocnění spojivky, rohovky, zornice a slzných kanálků

### Oftalmoskopie

= vyšetření očního pozadí

### Perimetrie

= vyšetření rozsahu zorného pole a jeho event. výpadků (skokomů)

## Tonometrie

= vyšetření nitroočního tlaku (NOT) = výsledek poměru mezi tvorbou a odtokem nitrooční tekutiny a je důležité pro diagnostiku glaukomu

## Heidelberg retina tomograph (HRT)

= jeden z nejúčinnějších nástrojů preventivní kontroly onemocnění velmi nebezpečného zeleného zákalu

Jedná se o laserový skenovací systém poskytující kvantitativní popis topografie terče zrakového nervu a posouzení jeho změn v čase

## Optická koherentní tomografie (OCT)

Neinvasivní, nekontaktní, transpupilární zobrazovací diagnostická metoda, která umožňuje provést a znázornit řezy sítnicí s vysokou rozlišovací schopností

Používá se především při poruchách sítnice, diagnostice makulárních chorob, tedy u pacientů s cukrovkou, vysokým krevním tlakem, závažným dědičným očním onemocněním, věkem podmíněnou makulární degenerací

## Ultrazvuk oka

Jedná se o metodu popisnou, která poskytuje informaci především o přítomnosti, velikosti a druhu léze

## Fotodynamická terapie

diagnostická a léčebná metoda využívaná zejména při léčbě tumorů založená na aplikaci fotosenzitivní látky, jež se po aplikaci hromadí přednostně v nejrychleji proliferujících (tedy nádorových) buňkách

Po ozáření světlem určitého spektra způsobí smrt odpovídajících buněk

Následně je aplikováno světlo specifické vlnové délky, látka světlo absorbuje a produkuje reaktivní (singletový) kyslík, který nádor ničí.

Používá se v urologii, onkologii, dermatologii, pneumologii, gynekologii, atd

# 08. Ionizující záření a jeho detekce

## Druhy a vlastnosti ionizující záření, radionuklid, ochrana před radiací

### Druhy a vlastnosti ionizujícího záření

**Ionizující záření** je souborné označení pro záření, jehož kvanta mají dostatečně **vysokou energii** na to, aby **přímo či nepřímo** odtrhovaly (tj. **ionizovaly**) podél své dráhy z elektronového obalu atomů **elektrony**

Tímto procesem vzniká z daného atomu kladný iont, zatímco uvolněný elektron reaguje s dalším atomem a dává iont záporný – vzniká iontový pár.

**Iontové záření** je tedy **přenos energie**, který může být buď ve formě **hmotných částic**, či ve formě **vln elektromagnetického záření**.

Druhy ionizujícího záření:

- **rentgenové záření**
- **záření  $\alpha$**  (proud heliových jader  $2\text{ }^4\text{He}$ )
- **záření  $\beta$**  (proud elektronů nebo pozitronů)
- **záření  $\gamma$**  (fotony)
- **neutronové záření** (proud neutronů)

Dle náboje rozdělujeme záření na:

- **elektroneutrální** = fotony (RTG, záření gamma), neutrony, ionizují sekundárně (prostředníkem bývají elektrony)
- **polární** = elektrony, pozitrony, protony, štěpné produkty primární ionizace

Dle částic rozdělujeme záření na:

- **elektromagnetické, fotonové** = rentgenová záření, záření gamma
- **korpuskulární** = elektrony, pozitrony, neutrony, produkty štěpení jader

### Alfa záření

Alfa částice se označuje symbolem  $\alpha$  nebo  $\text{He}^{2+}$

Záření alfa je **korpuskulární** (částicové) záření

Jeho částicemi je proud jader helia  $^4_2\text{He}$

Částice  $\alpha$  **vznikají při  $\alpha$ -rozpadu těžkých jader**

Vzniklé částice mají jen několik možných hodnot energie

$\alpha$ -záření má **čárové energetické spektrum**

Alfa částice se **pohybují poměrně pomalu** a mají **malou pronikavost** (lze je odstínit listem papíru), ale zato mají silné ionizační účinky na okolí.

Nebezpečná je především **vnitřní kontaminace**, tedy vpravení  $\alpha$ -zářiče do organismu.

Má nenulovou klidovou hmotnost, proto se nemůže pohybovat rychlostí světla, ale pouze nižšími rychlostmi

## Beta záření - elektron

Označuje se symbolem  $\beta^-$  (elektron)

Záření beta je korpuskulární (částicové) záření

Jeho částicemi je proud elektronů (má náboj  $1e^-$ )

$\beta^-$  lze **elektromagneticky ovlivňovat!**

Přeměna beta je druh radioaktivní přeměny, při které neutron v atomovém jádru vyzáří elektron (pozitron) a elektronové antineutrino, přičemž se neutron změní na proton.

## Beta záření - pozitron

Pozitron (neboli antielektron) je antičástice elektronu

Označuje symbolem  $\beta^+$  (pozitron)

$\beta^+$  lze **elektromagneticky ovlivňovat!**

Je to složka antihmoty, má kladný elementární elektrický náboj, spin  $1/2$  a stejnou hmotnost jako elektron

Částice  $\beta^+$  vznikají při reakci zvané pozitronová přeměna, kdy dojde k emisi pozitronu a elektronového neutrina.

## Gama radiace

Záření gama ( $\gamma$ ) je vysoce energetické elektromagnetické záření (FOTONY!)

Vzniká při **jaderných reakcích** nebo **radioaktivní přeměně** přechodem jádra z vyššího do nižšího energetického stavu, přičemž se jádro zbavuje své excitační energie

**Gama záření vzniká jen v jádře**

Lze ho považovat za záření o energii fotonů nad **10 keV**

Záření gama má **čárové spektrum**, to znamená, že daný radionuklid emituje pouze fotony s určitými energiemi, které jsou pro jeho přeměnu charakteristické.

## Rentgenové záření

Rentgenové paprsky jsou elektromagnetické ionizující záření (FOTONY!)

Jsou to fotony s energií 5–200 keV, která je dostačující k vyražení elektronu z atomového obalu (ionizaci)

**RTG záření vzniká jen v elektronovém obalu**

Vlnové délky nejenergičtější části RTG záření se částečně překrývají s těmi záření gama.

## Neutronová radiace

Neutronové záření je druh ionizujícího záření, tvořeného proudem volných neutronů

Neutronové záření je korpuskulární (částicové) záření

Neutronové záření je často nazýváno nepřímým ionizačním zářením

Vzniká při jaderném štěpení nebo fúzi, následně interagují s jádry dalších atomů a vytvářejí tak nové izotopy.



## Radionuklid

= nuklid s nestabilním jádrem, tedy s jádrem charakterizovaným přebytečnou energií, která se uvolňuje buď vytvořením nových částic (radioaktivita), nebo do elektronu v atomu  
Tímto způsobem radionuklid prochází radioaktivním rozpadem a uvolňuje buď subatomární částice nebo záření gama

Radionuklidy vznikají v přírodě nebo mohou být vytvořeny uměle

Každý radionuklid má svůj typický poločas rozpadu a druh přeměny

## Ochrana před radiací

• Základní principy ochrany před zářením - **ALARA** (= As Low As Reasonably Achievable)  
Přístup usilující, aby všechny dávky byly tak nízké, jak je rozumně dosažitelné při uvážení ekonomických a sociálních hledisek - v reálném světě to neplatí, jak jsem se mohl v nemocnici dozvědět

## Stínění

- alfa - tenká vrstva papíru nebo plastu
- beta - lehký materiál, např. 5 - 10mm plexiskla, nebo plastu
- gama - materiál s velkou hustotou - olovo, nebo beton
- neutrony - lehké materiály (polyetylen, voda, beton) často s příměsí materiálu, které velmi dobře absorbují neutrony

## Veličiny ionizujícího záření, Interakce ionizujícího ozáření

### Veličiny ionizujícího záření

Konstanty:

- **poločas přeměny** ( $T_{1/2}$ ) = doba, za kterou se přemění polovina celkového počtu atomárních jader ve vzorku.
  - jedná se o dobu, ve které dojde k přeměně poloviny atomů daného radioaktivního nuklidu
- **střední doba života** ( $\tau$ ) = čas setrvání dané entity v nestabilním stavu
- **přeměnová konstanta** ( $\lambda$ ) = pravděpodobnost jaderné přeměny, která je pro každé radioaktivní jádro charakteristická

Časově závislé veličiny:

- **celková aktivita** (A) - aktivita zářiče vyjadřuje počet radioaktivních přeměn za jednu sekundu
  - **Bequerel** (Bq) = aktivita 1Bq znamená, že ve vzorku dojde k 1 rozpadu za 1 sekundu

- Curie (Ci) = objekt má aktivitu  $A = 1\text{Ci}$ , když dojde každou sekundu k tolika rozpadům, jako v 1g radioizotopu Radium (Ra) =  $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$
- **počet částic** (N) – celkový počet atomů radionuklidu ve vzorku
- **specifická aktivita látky** (SA) – aktivita vztažená na jednotku hmoty nebo objemu této látky, ve které je radionuklid v podstatě rovnoměrně rozptýlen

#### **Absorbovaná dávka** (Gy)

- absorbovaná dávka (dávka ionizujícího záření) je fyzikální veličina, která udává energii dodanou jednotkovému množství hmoty průchodem příslušného záření
- jednotkou absorbované dávky záření je nebo  $[\text{J.kg}^{-1}]$
- dávka 1 Gy je energie 1 J absorbovaná v kilogramu látky
- jelikož převážná část absorbované energie se v konečném důsledku mění na teplo, charakterizuje nám absorbovaná dávka i množství předané tepelné energie - zahřátí ozařovaného materiálu

#### **Ekvivalentní dávka** (Sv)

- biofyzikální veličina, která popisuje biologický účinek ionizujícího záření
- závisí na absorbované dávce a typu záření
- vyjadřuje velikost dávky záření gama, která by vyvolala stejné poškození organismu, jako absorbované záření daného množství a typu
- dávkový ekvivalent se z absorbované dávky spočítá vynásobením údaje faktorem kvality záření Q a udává se v sieverttech

## Interakce ionizujícího záření

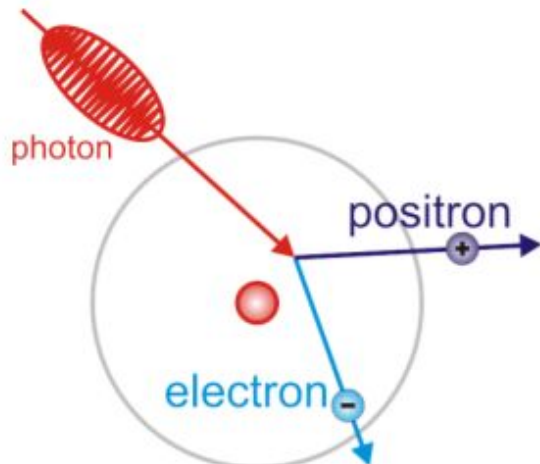
Při průchodu ionizujícího záření hmotou dochází k interakci mezi částicemi nebo fotony záření a strukturami okolních atomů, tedy jádrem a elektronovým obalem

Samotný průběh interakce závisí na charakteru záření, jeho kinetické energii a složení látky ve které interakce probíhá

Ionizující záření lze rozdělit do tří skupin

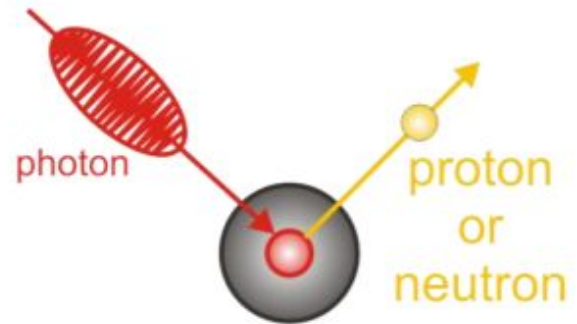
- **Elektromagnetické (fotonové) záření** – RTG a  $\gamma$  záření
- **Nabitě částice** – p,  $\alpha$ ,  $\beta$
- **Nenabitě částice** – neutrony

## Gama interaksi

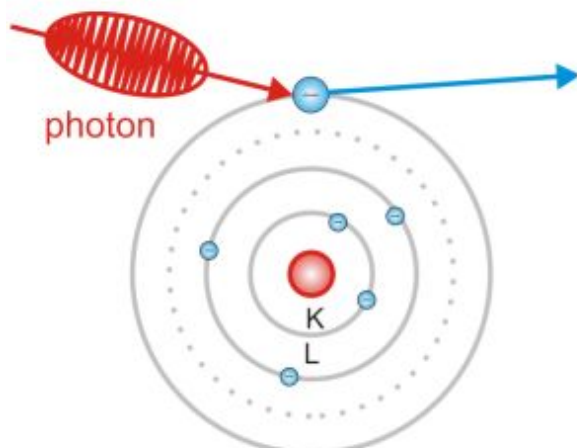


Electron-positron pair

$$E > 1.022\text{MeV}$$

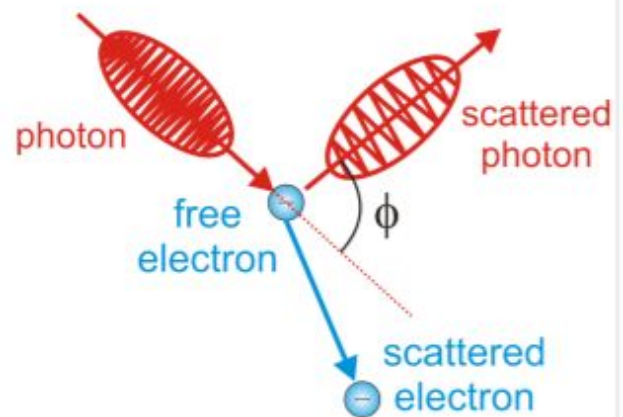


nuclear photoeffect



Photoelectric effect

$$E < 50\text{keV}$$

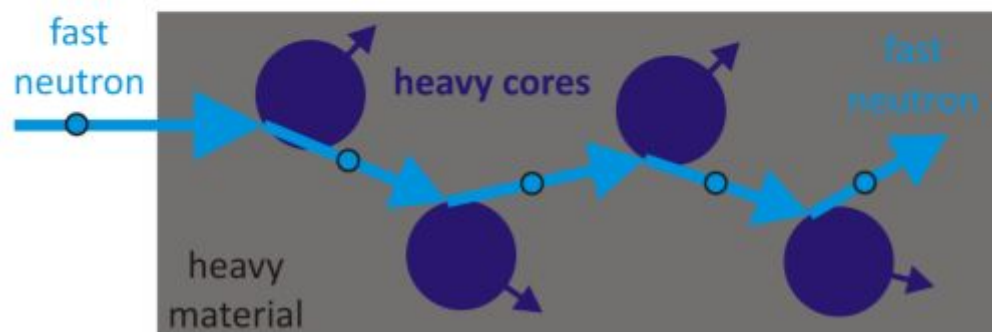
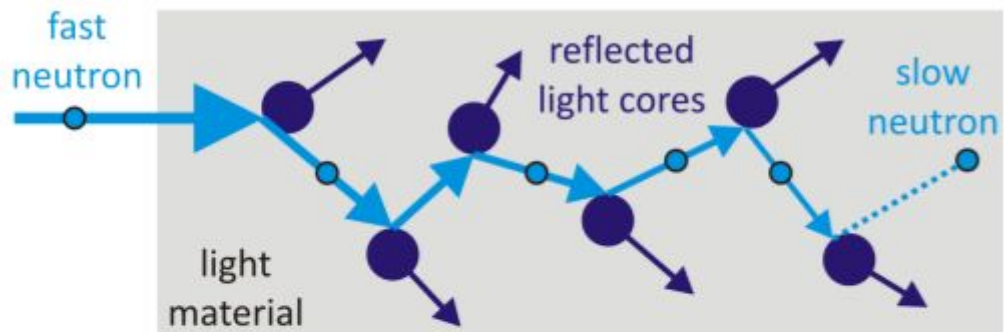


Compton's scattering

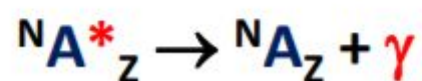
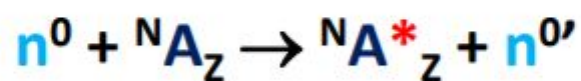
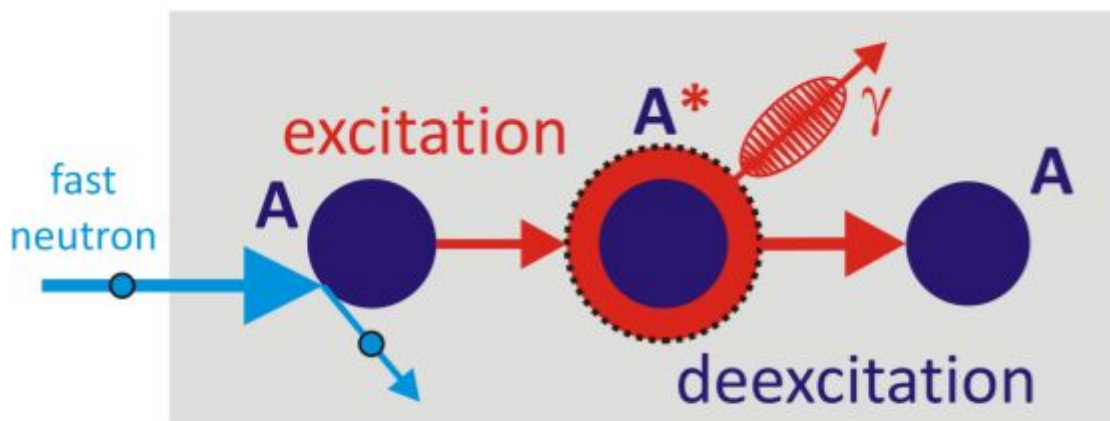
$$E = 100\text{keV} - 10\text{MeV}$$

## Neutronová interakce

### Elastic scattering



### Inelastic scattering



# Metody detekce ionizujícího záření, Detektory ionizujícího záření

## Metody detekce ionizujícího záření

Pro aplikace ionizujícího záření se využívají:

- **uzavřené zářiče** - rentgenové a radioisotopové (někdy i urychlovače částic)
- **otevřené zářiče** - radioaktivní kapaliny, plyny či aerosoly

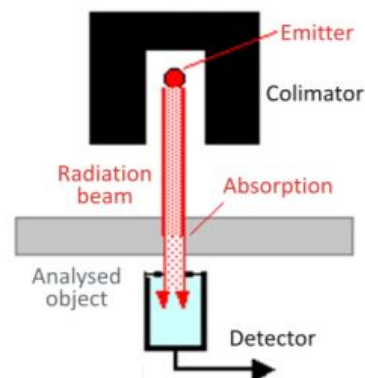
Veškeré aplikace ionizujícího záření lze rozdělit na dvě základní skupiny:

- radiační měřicí, analytické a detekční metody
  - Absorpční transmisní měření
  - Rozptylové a fluorescenční měření
  - Emisní radiační měření
  - Měření radioaktivních vzorků
- radioaktivní záření a technologické metody
  - Zde je využívána především energie předaná látce při ozařování, ionizace látek a následné fyzikální, chemické a biologické účinky ionizujícího záření v ozařovaném objektu.
  - V medicíně: radioterapie.

### Absorpční transmisní měření

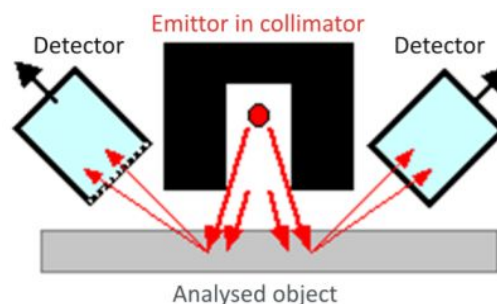
Založena na **měření absorpce záření v látkách**, nejčastěji pronikavého elektromagnetického záření RTG a gama. Vyšetřovaný objekt **leží mezi zdrojem záření a detektorem** je prozařován, přičemž detektor **měří zeslabení záření** nebo **změnu jeho spektra** při průchodu analyzovaným objektem.

V medicíně: rentgenová diagnostika



### Rozptylové a fluorescenční měření

Zdroj záření a detektor ve stejném "poloprostoru" vzhledem k měřenému vzorku. Primárním zdrojem záření ozařujeme analyzovaný předmět a detektorem měříme sekundární záření vznikající ve vzorku příslušnými fyzikálními mechanismy - Comptonovým rozptylem či vznikem charakteristického Xzáření v důsledku fotoefektu.

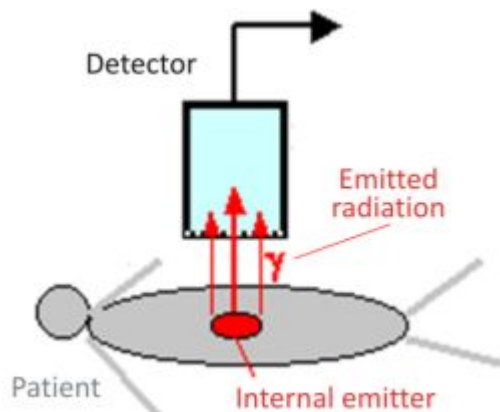


## Emisní radiační měření

Zdrojem záření je samotný vyšetřovaný objekt, který je radioaktivní

Radioaktivita je do vyšetřovaného objektu buď

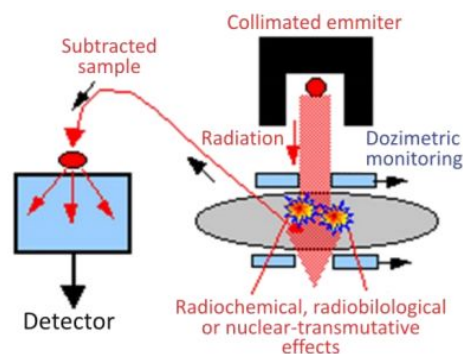
- **zavedena** (aplikována) ve formě radioindikátoru (stopovací metody, nukleární medicína - scintigrafie)
- **je uvnitř objektu indukována** ozařováním vhodným zářením, které vyvolává v jádrech vzorku jaderné reakce, při nichž se původně neaktivní jádra mění v radioaktivní (tak je tomu u aktivační analýzy, především neutronové)



## Měření radioaktivních vzorků

Vzorky jsou odebrány z ozářených materiálů nebo látek s aplikovanou radioaktivitou

Patří sem stopovací metody v biologii a medicíně (nukleární medicíně) či neutronová aktivační analýza.



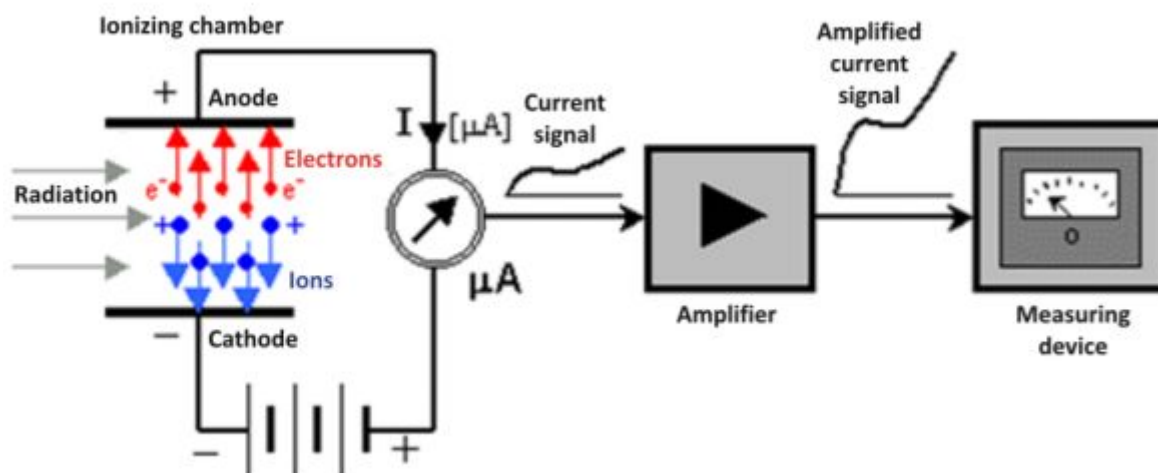
## Detektory ionizujícího záření

### Ionizační komora

Nejjednodušší elektronický detektor ionizujícího záření

Přímočaře využívá v názvu obsaženou základní vlastnost tohoto záření - ionizační účinky na látku

Je tvořena dvěma kovovými destičkami (či dráty) - elektrodami - anodou a katodou, umístěnými v plynném prostředí a připojenými v elektrickém obvodu na napětí řádově stovky voltů.





## Geiger-Müllerův detektor

= vylepšená ionizační komora

## Scintilace

= jev, při kterém vznikají slabé světelné záblesky (pulsy světla) v některých látkách při dopadu ionizujícího záření (krátce po průchodu ionizované částice)

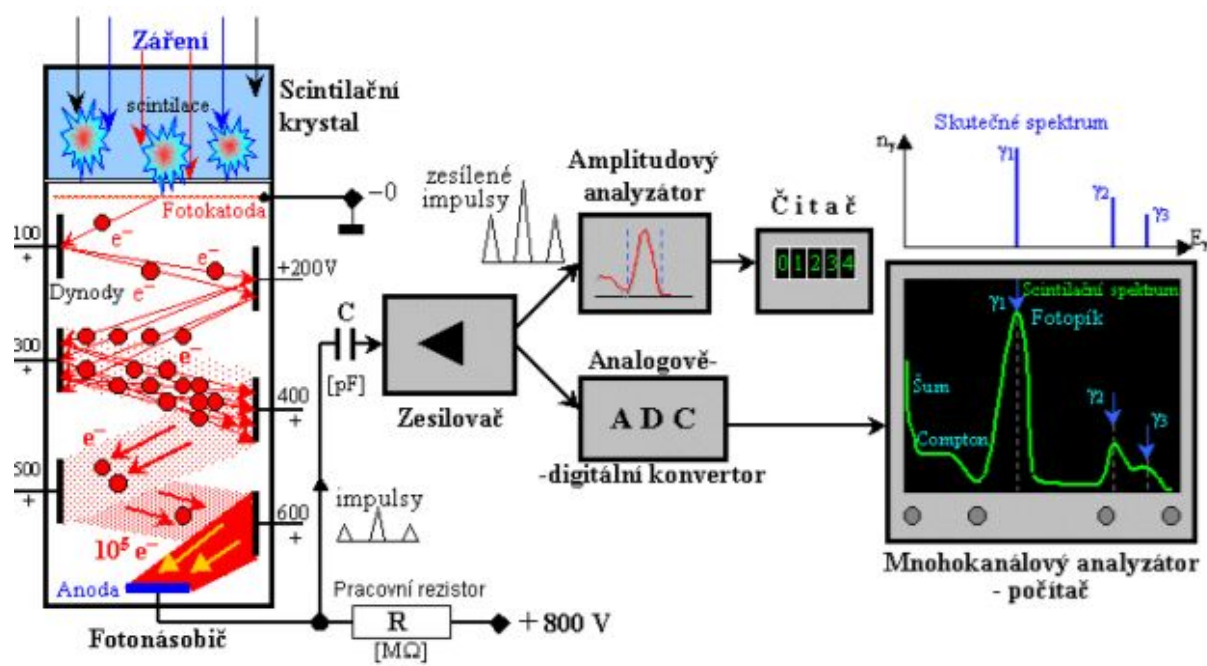
Je způsobena přenosem energie (excitací a ionizací a návratem do základního energetického stavu) dopadajícího záření na emisi scintilačních fotonů

Látky vykazující tuto vlastnost se nazývají scintilátory

Tyto světelné záblesky se pak elektronicky registrují pomocí fotonásobičů

Procesu scintilace se s výhodou využívá při detekci ionizovaných částic

**Scintilační detektor** = zařízení pro detekci ionizujícího záření založené na principu excitace elektronu do vyššího energetického stavu zářením, přičemž návrat elektronu do základního stavu se projeví jako světelný záblesk



## Dozimetr

= zařízení k měření dávek ionizujícího záření

přístroj je používán v lékařství a vojenství k měření hodnoty ozáření (kumulativní dávky ozáření)

funguje na principu změny látky v něm obsažené

Druhy osobních dozimetrů:

- **Filmové dozimetry**
  - jedná se o obdobu rentgenového filmu, který je velice citlivý na působení záření
  - hustota zčernání filmu je úměrná míře expozice

- **Termoluminiscenční dozimetry**
  - jsou založeny na citlivosti některých látek na ionizující záření, např. krystal LiF
  - po vystavení účinkům záření dochází k deexcitaci elektronů doprovázenou emisí viditelného světla
  - fotonásobič měří intenzitu emitovaného světla, která je úměrná dávce záření absorbovaného krystalem.



# 09. Radiodiagnostika

## RTG, Planární RTG zobrazení, Kontrastní média

### RTG

Rentgenové paprsky jsou elektromagnetické ionizující záření (FOTONY!)

Jsou to fotony s energií 5–200 keV, která je dostačující k vyražení elektronu z atomového obalu (ionizaci)

**RTG záření vzniká jen elektronovém obalu**

Vlnové délky nejenergičtější části RTG záření se částečně překrývají s těmi záření gama

Zdroje RTG záření:

- **přírozeným zdrojem** je záření hvězd (např. Slunce), ale i dalších kosmických zdrojů
- **umělým zdrojem** RTG záření je například rentgenka

Používané zdroje RTG produkují dva typy záření s odlišným rozložením energie ve spektru:

- Charakteristické záření
- Brzdné záření

### Vznik RTG záření

Základem mechanismu vzniku rentgenového záření je interakce elektronů uvolněných termoemisí z katody s atomy anody. Při dopadu elektronů na anodu se 99% jejich kinetické energie přemění na teplo, zbylá energie se přemění v rentgenové záření.

### Rentgenka

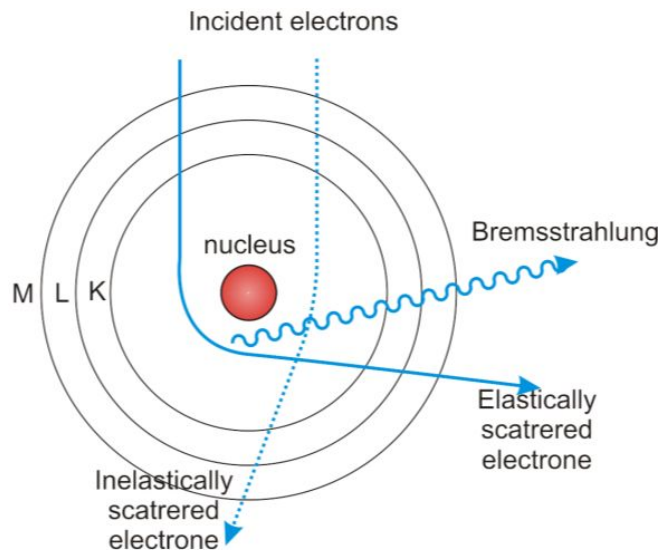
zdroj X-záření ve formě speciální vakuové elektronky

- žhavená katoda emituje elektrony, které jsou přitahovány k anodě, přičemž jsou silným elektrickým polem urychlovány na energii danou vysokým napětím (cca 20 - 200kV)
- po dopadu svazku elektronů na anodu se prudce zabrzdí, přičemž výsledek již známe..
- anoda je zhotovena z těžkého materiálu (Wolfram), který má vysokou elektronovou hustotu → dopadající elektrony jsou velkou odpudivou silou prudce brzděny, čímž se část jejich kinetické energie mění v brzdné elektromagnetické záření = X-záření
- anoda může být pevná, nebo rotační (preferuje se rotační - lépe se chladí)

### Brzdné záření

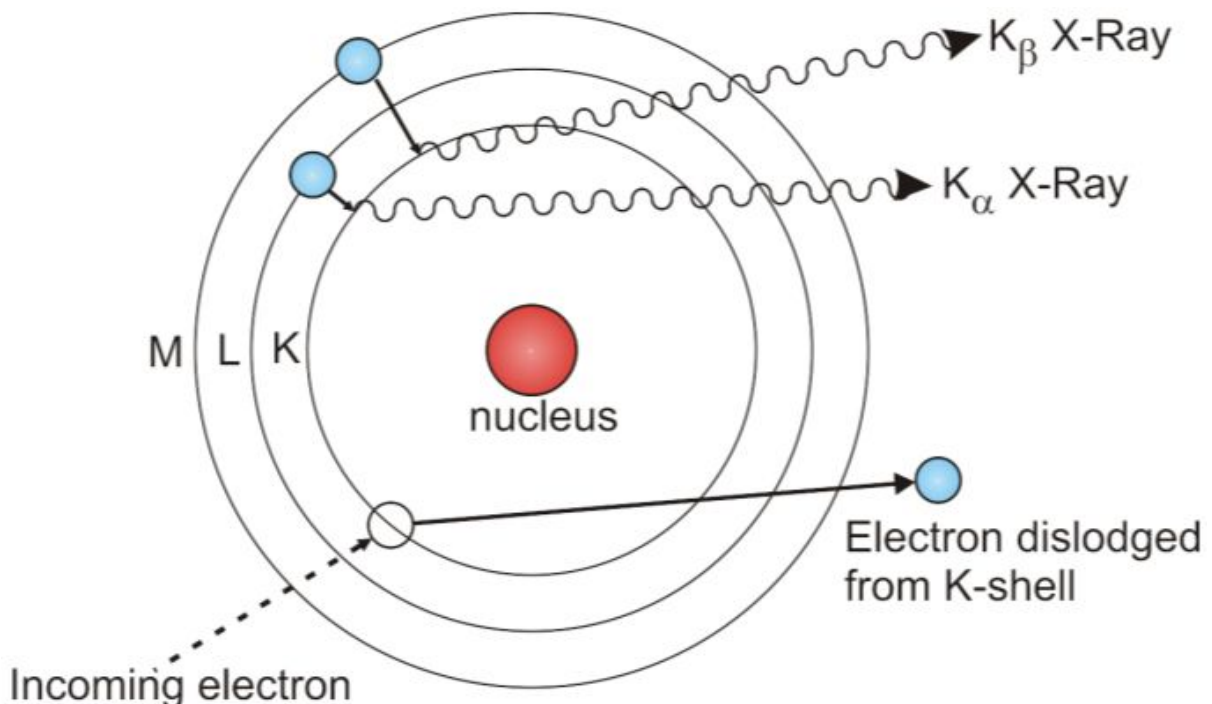
Když se rychle **letící elektron** dostane do elektrostatického **pole jádra atomů anody**, dochází k **elektromagnetické interakci**, která způsobí **zakřivení dráhy** a **prudké snížení rychlosti** elektronu. Zabrzdění elektronu způsobí, že ztratí část své kinetické energie. Tato energie se přemění na foton rentgenového záření. Tyto fotony mají různé vlnové délky a nesou různě energie, brzdná záření má proto **spojité spektrum**. S rostoucí energií elektronu **roste frekvence** vzniklého rentgenového záření, **vlnová délka** se naopak **zmenšuje**.

- používá se v lékařské diagnostice a v radioterapii



## Charakteristické záření

Mají-li elektrony dopadající na anodu **dostatečnou energii**, dochází k **předávání této energie** elektronům **vnitřní** slupky elektronového obalu, což má za následek **přemístění** (excitaci) do vyšší energetické hladiny, nebo častěji úplně **vyrazení z atomu** (ionizace). Na **uvolněné** místo pak **přeskakují** elektrony z **vyšších energetických hladin** atomu (nebo i volné elektrony), čímž se atom snaží získat zpět svoji stabilitu. Jelikož se jedná o **značné energetické rozdíly** mezi jednotlivými energetickými hladinami, je rozdíl energií **vyzářen ve formě fotonu** elektromagnetického záření, neboli charakteristického rentgenového záření. Tento typ záření **nemá spojité spektrum**.



## Kolimátor

= **olověné** (někdy i wolframové), několik cm vysoké zařízení před scintilačním krystalem, **filtrující a fokusující dopady fotonů** γ záření na scintilační krystal

**Absorbuje** všechny fotony letící **jiným než kolmým směrem** na přístroj a tím se zajišťuje optimální **ostrost** obrazu

## Planární RTG zobrazení

### Skiagrafie

= diagnostická metoda pro **zobrazení tvrdých i měkkých lidských tkání**, která využívá rentgenové záření

Funguje na principu **rozdílné hodnoty pohlcení procházejícího svazku** RTG záření v různých tkáních

Hustota zčernání filmu je úměrná množství prošlého X-záření

Vzniklý RTG fotografický obraz představuje **negativní zobrazení hustoty tkáně**: místa s nízkou hustotou (měkké tkáně) mají nižší absorpci a proto vysoké zčernání

Místa s vysokou densitou (např. kosti) více absorbují X-záření a jsou proto na filmu zobrazena světle (s nízkým zčernáním)

### Skioskopie

= diagnostická a intervenční radiologická metoda, která používá **dynamického zobrazení** RTG obrazu

Přímé vizuální pozorování obrazu prošlého RTG záření

Používá se k **vyšetřování dynamických dějů** (koronární arteriografie, transhepatální cholangiografie, ...) a při intervenčních výkonech, kde je potřebná vizuální kontrola a navigace precizních prací prováděných uvnitř organismu

Využívá **kontrastní média**, zvýrazňující vyšetřovanou oblast

Obraz z vyšetření není však zaznamenáván na film, ale pomocí zesilovače a televizního řetězce je snímán a následně **promítán na televizní obrazovce**, kterou sleduje lékař provádějící vyšetření

## Kontrastní média

Jednou z hlavních obtíží při RTG zobrazování měkkých tkání jsou **malé rozdíly v absorpci** X-záření jednotlivými tkáněmi, vedoucí k **nízkému kontrastu zobrazení** a obtížnosti rozlišení některých struktur.

Absorpční rozdíly mezi tkáněmi lze zvýšit a zlepšit tak výsledný kontrast RTG obrazu aplikací vhodných kontrastních látek

- pozitivní kontrastní látky - zvyšují absorpci X-záření
  - nejčastěji používané kontrastní látky na bázi barya a jódu
- negativní kontrastní látky - snižující absorpci X-záření
  - jsou to především plyny (vzduch, oxid uhličitý), které se aplikují do dutin
- dvojitý kontrast

- nejprve se aplikuje pozitivní kontrastní látka (baryová suspenze) a potom negativní kontrastní látka - vzduch (z šumivého prášku), který roztáhne pozitivní kontrastní látku ke stěnám vyšetřovaného objemu

## CT, Konstrukce CT, Generace CT

### Výpočetní tomografie (CT)

= zobrazovací metoda, která umožňuje za použití rentgenového záření zobrazit **celé tělo v sérii transverzálních řezů**

Výsledný obraz **vzniká matematickou rekonstrukcí** z řady rentgenových projekcí získaných postupně z různých úhlů

Výpočetní tomografie zobrazuje **měkké tkáně**, např. slezinu, pankreas, ledviny, mozek, svalstvo

### Princip snímání obrazu

Rentgenka pracuje pulzně (1 pulz trvá 1–4 ms)

Rentgenový paprsek má **vějířovitý tvar**

Rentgenové záření vniká do těla a částečně se absorbuje

Scintilační detektory zaznamenají **míru (koeficient) zeslabení záření**  $\mu$  a údaje převedou do paměti počítače

Systém **rentgenka-detektor se otáčí o určitý úhel** a děj se opakuje

Na konci vyšetření počítač zpracuje údaje a zobrazí tomogram, který je dán hodnotami absorpčních koeficientů  $\mu$  z jednotlivých míst daného řezu

Zjišťují se hodnoty absorpce rentgenového záření v malých objemových částech, **voxel**ech (volume matrix element)

Je to vlastně analogie pixelu v planárním obraze, ale každý voxel nepředstavuje dvourozměrnou jednotku, ale má také svou hloubku danou tloušťkou řezu

Výsledkem je rekonstrukce příčné vrstvy tělem

### Hounsfieldova jednotka

= výsledná hodnota absorpce voxelu

Nabývá hodnot -1000 (vzduch) až 1000 (kompaktní kost)

Na monitoru se reprezentuje v odstínech šedi (je k dispozici cca 2000 čísel)

Takové množství odstínů ale není lidské oko rozpoznat

### CT okno

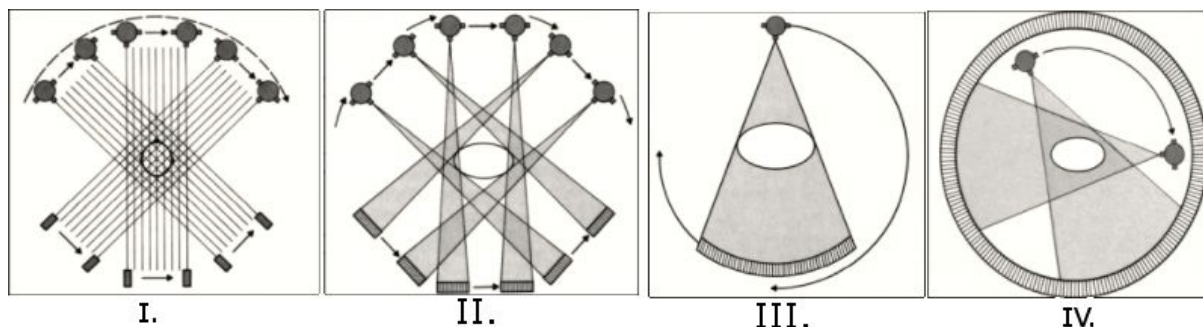
vymezuje na Hounsfieldově škále rozmezí absorpčních koeficientů (denzit) zobrazovaných v odstínech šedi

- střed okna (HU)
- šířka okna (HU)

struktury s denzitou mimo nastavení okna se zobrazují pouze černě a bíle

## Konstrukce CT dle generací

- I. rotačně-translační pohyb rentgenky a jednoho detektoru  $\approx$  minuty
- II. rotačně-translační pohyb rentgenky a 10 - 50 detektorů  $\approx$  10 - 20 vteřin
- III. rotační pohyb rentgenky a 300 - 600 detektorů  $\approx$  1 - 4 vteřiny
- IV. rotační pohyb rentgenky a cca 1000 stacionárních detektorů  $\approx$  1 - 4 vteřiny
- V. rotace paprsku je elektromagnetická - žádné mechanicky pohyblivé díly



## Scintigrafie, SPECT, PET

### Scintigrafie

= diagnostická metoda k detekci záření  $\gamma$

založena na snímání **záření emitovaného vnitřně podanými radionuklidy** (v medicíně nazývaná **radiofarmaka**)

Využívá se k měření kontaminace osob, sledování vyšetřovaného orgánu označeného radioaktivní látkou, nebo provádění různých **metabolických studií**

Scintigrafické zobrazovací systémy dělíme na:

- **planární** - jsou založené na detekci záření a jeho převedení do dvou rozměrných obrazů; těmto detektorům se také říká gamakamery
  - **Angerova gamakamera** - malé rozlišení
  - **Multidetektorová kamera** - mnoho samostatných detektorů místo jednoho velkoplošného
  - **Comptnova kamera** - dva za sebou následující detektory
- **tomografické** - umožňují sledovat i třetí rozměr obrazu na tomografických řezech
  - SPECT - jednofotonová emise počítačová tomografie
  - PET - pozitronová emisní tomografie

### Gamakamera

Jedná se o velkoplošný obdélníkový, nebo kruhový přístroj se scintilačním krystalem uvnitř.

Scintilační krystal je uzavřen v olověném a světlotěsném krytu. Za krystalem je poté světlovodivý materiál, který se spojuje s mnoha fotonásobiči. Každá scintilace z krystalu osvětí všechny fotonásobiče, ale intenzita osvětlení těchto fotonásobičů závisí na poloze

scintilace.

Impulzy všech fotonásobičů se poté převádějí do odporové matrice, což je systém odporů, který funguje jako filtr přivedených impulzů. Vytřídí vždy dva největší impulzy pro souřadnice x a y. Tyto impulzy jsou pak zvýrazněny vychylovacími destičkami osciloskopu, kdy se na obrazovce objeví světelný bod. Tento světelný bod odpovídá místu scintilace v krystalu

## Single-Photon Emission Computed Tomography (SPECT)

= jednofotonová emisní výpočetní tomografie je diagnostická zobrazovací metoda pacientovi je podáváno radiofarmakum emitující gama záření (nejčastěji  $^{99m}\text{Tc}$ )

### Princip

Gama kamera (1 a více scint. kamer) pomalu rotuje kolem těla pacienta, snímá scintigrafické obrazy z různých úhlů a pak pomocí počítačové rekonstrukce vytváří obrazy příčných řezů, z nichž pomocí počítačové grafiky lze zkonstruovat i prostorové (3-rozměrné) obrazy rozložení radioindikátoru v orgánech uvnitř těla

### Výhody

- vyšší kontrast snímků a především možnost kvantifikace radiofarmaka ve tkáni
- menší radiační zátěž než CT

### Nevýhody

- někdy až velmi nepřesné výsledky kvantifikace vlivem oslabeného záření
- radiační zátěž závisí na aktivitě a efektivním poločasu použitého radiofarmaka
- dlouhá doba vyšetření

## PET

= pozitronová emisní tomografie je diagnostická zobrazovací metoda umožňující na tomografických řezech sledovat rozložení radiofarmaka v těle pacienta; je používána zejména v neurologii, kardiologii a onkologii; metoda s velmi vysokou přesností

### Princip

Pacientovi je podán zdroj beta záření

Rozpadající se radiofarmakum produkuje pozitrony, které ihned anihilují s elektrony za vzniku dvou fotonů záření gama; fotony odlétají v právě opačném směru se stejnou energií 511keV; detekovaný je pouze foton, ke kterému byl na detakčním prstenci zachycen i jeho protějšek

Tomografický obraz je výsledkem zpracování velkého množství zachycených párů

### Provedení detektorů

sudý počet detektorů rotujících kolem pacientova těla

Několik set až tisíce pevných detektorů uspořádaných v přístroji v několika prstencích; protilehlé detektory ve stejném prstenci jsou spojeny tak, aby mohly registrovat pouze takové páry fotonů, které s nimi reagují ve stejném čase.

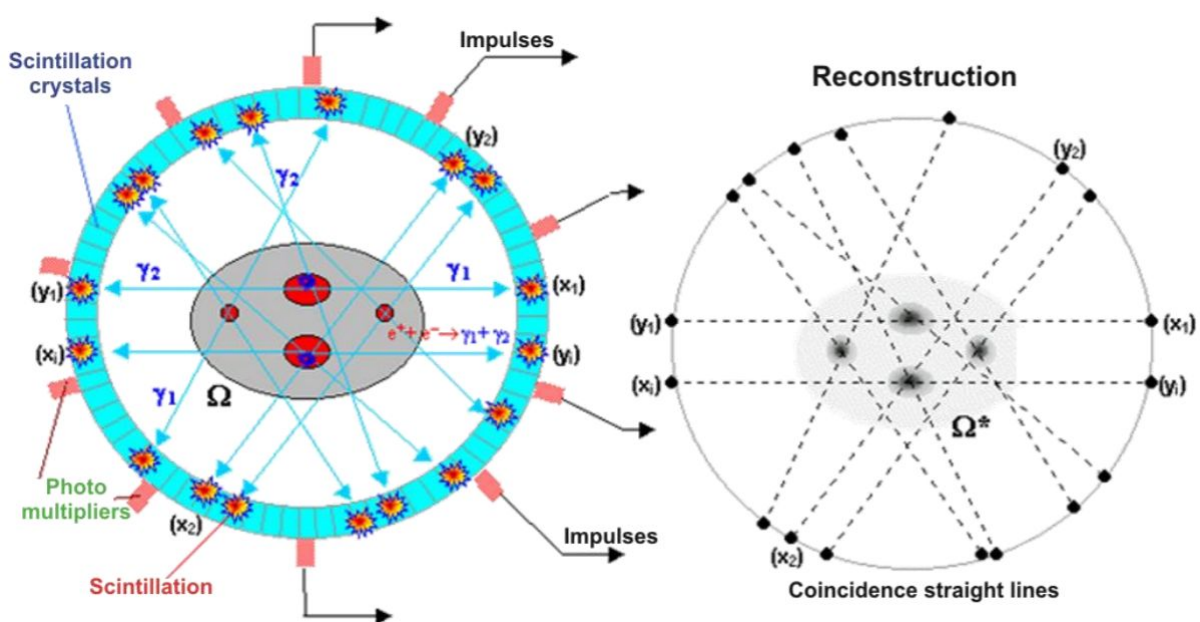
Jako detektory nejsou scintilátory s běžnými krystaly kvůli vysoké energii fotonů, proto se používají scintilátory s krystaly o větší hustotě a s vyšším atomovým číslem (germaniová sůl bismutu a fluorid barnatý)

### Výhody

- velká diagnostická přesnost
- prostorová rozlišovací schopnost
- vyšší detekční účinnost než SPECT, kvůli absenci užití kolimátorů

### Nevýhody

- technická náročnost
- pořizovací cena přístroje



## Nukleární magnetická rezonance (NMR)

= značně složitá fyzikálně elektronická metoda

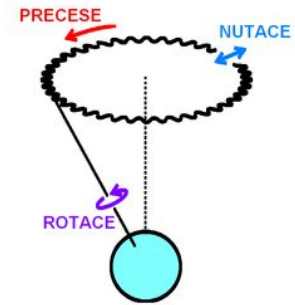
Základním principem je **magnetický moment protonu vodíku**, jež se vyskytuje v **liché formě** = má **nenulový magnetický moment**; další vhodné atomy prvků  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{31}\text{P}$

### Princip

Jádra atomů s **lichým atomovým číslem** (např. H) jeví **rotační pohyb** (spin). Následkem toho mají magnetický moment. Umístíme-li je do **homogenního magnetického pole** H, přizpůsobí se magnetické momenty průběhu pole. Po vyslání pulsu vysokofrekvenčního elektromagnetického vlnění (radiofrekvence RF - pro vodík cca 42.5 MHz) kolmo na osu homogenního pole se magnetické momenty jader souhlasně vychýlí o 90° nebo 180°



(precese). Pro maximální účinek musí frekvence RF vlnění mít určitou hodnotu, která je pro jádra určitého prvku přímo úměrná intenzitě zevního magnetického pole - být v rezonanci se spontánní frekvencí jader. Po skončení impulsu se magnetické momenty vracejí k původní orientaci (relaxace). Během vychýlení **indukují v měřicí cívice signál**, který se během relaxace snižuje. Jeho intenzita je úměrná počtu jader ve vyšetřovaném objemu, jeho frekvence intenzitě zevního magnetického pole.



Dám do homogeního pole = podélná magnetizace → relaxace T1

Vyšlu radiofrekvenční pulz = příčná magnetizace → relaxace T2

## Relaxační časy

Po skončení elektromagnetického impulsu již není protonům dodávána energie a proto se vrací do původního, energeticky výhodnějšího, paralelního postavení a mizí jejich synchronní pohyb.

T1 relaxace = čas, za jaký dojde k obnovení podélného vektoru magnetizace na 63%

- 300 - 2000 ms

T2 relaxace = doba potřebná k rozfázování původně synchronní precese po 180° pulzu

- 30 - 150 ms

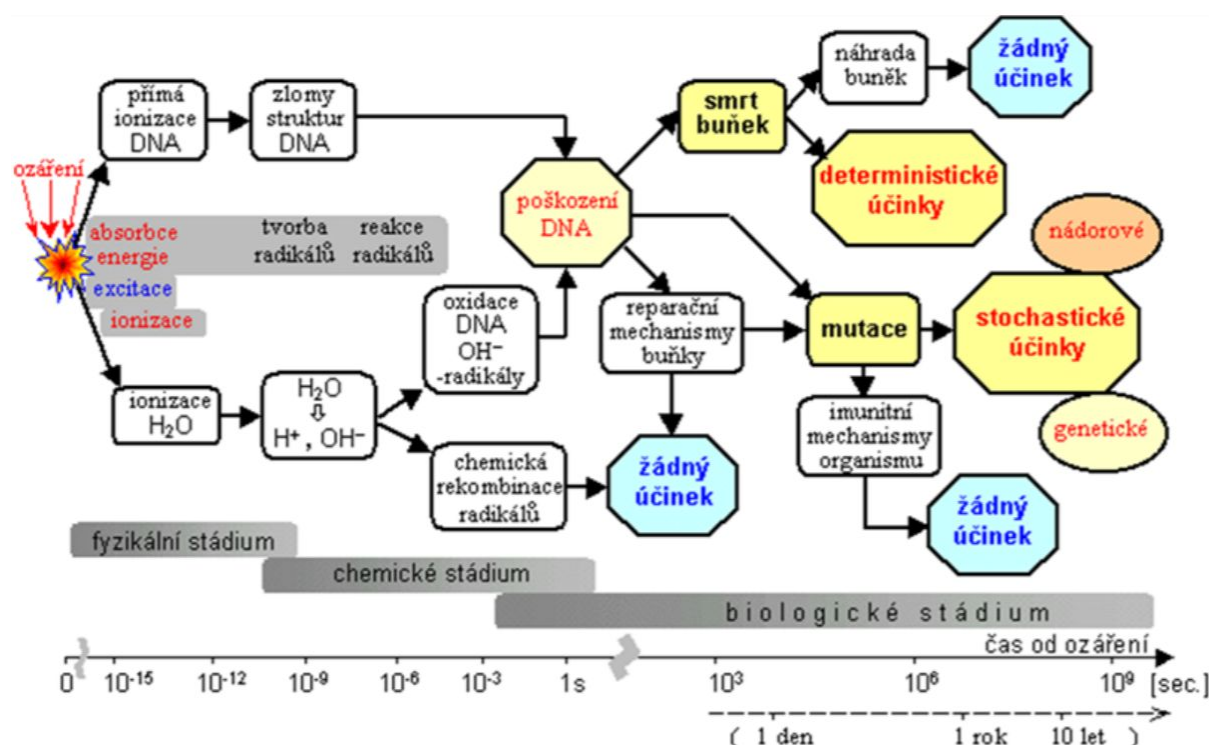
T1 časy jsou 2 - 10x delší, než časy T2



# 10. Radioterapie

## Biologické účinky ionizujícího záření, Radiační poškození

### Biologické účinky ionizujícího záření



- **přímý radiační účinek**
  - absorpce ionizační energie v jádře buňky
  - změny chemických vazeb způsobují inaktivaci nebo smrt
  - převážně u buněk s nízkým obsahem vody (adipocyty)
- **nepřímý radiační účinek**
  - Absorpce je ovlivněná obsahem vody v buňce
  - radiolýza vody způsobuje vznik agresivních volných radikálů
    - vznikají H<sup>+</sup> a OH<sup>-</sup> radikály
  - radikály reagují s DNA a způsobují zlomy, které vedou ke zpomalení metabolismu, mutace nebo smrt
- **kyslíková ingerence**
  - vyšší koncentrace kyslíku v tkáních zvyšuje radiosensitivitu → nádorová terapie

# Radiační účinky

## Stochastický účinek

= pozdní náhodný účinek záření

- jedná se o účinek bezprahový  $\Leftrightarrow$  se stoupající dávkou neroste závažnost poškození, ale pravděpodobnost jeho výskytu
- buněčným podkladem stochastických účinků jsou mutace a maligní transformace do několika buněk

## Deterministický (nestochastický) účinek

= nenáhodné s prahovou hodnotou (1 - 3 Gy)

- nad prahovou dávkou roste závažnost poškození přibližně lineárně
- vyvolávají charakteristický klinický obraz - akutní nemoc z ozáření, akutní lokální poškození, nenádorová pozdní poškození, poškození plodu v děloze
- každý orgán má jinou prahovou hodnotu ozáření
- buňky jsou citlivější, pokud se nacházejí ve stádiu dělení

# Následky ozáření, Nemoc z ozáření

## Nemoc z ozáření (ARS)

Akutní nemoc z ozáření (akutní postradiační syndrom) se rozvíjí po jednorázovém ozáření celého těla nebo jeho větší části dávkou asi od 1 Gy výše

V závislosti na stupni ozáření převládají v klinickém obraze příznaky od **poškození krvetvorných orgánů a trávicího ústrojí** až k **poškození centrálního nervového systému**

## Akutní poškození kůže

Nejčastější typ poškození při **nehodách s přenosnými zdroji ionizujícího záření**

Od **3 Gy výše**, následky individuální

Pokud se zářič vyskytl v malé blízkosti těla po určitou dobu, pak může dojít k poškození v kůži v tomto místě

Toto postižení se dělí na několik forem v závislosti na dávce, kterou kůže obdržela

## Zhoubné nádory

= nejzávažnější pozdní somatické účinky ionizujícího záření

Jednotlivé tkáně a orgány různě vnímavé na vznik nádorů po ozáření. Mezi nejvímavější patří **kostní dřeň, žaludek, tlusté střevo** a **plíce**, nově i mléčná žláza u žen

# Radioterapie, Plánování radioterapie

## Radioterapie

= využívá se především k léčbě zhoubných nádorů citlivých na záření (radiační onkologie)  
Cílem je zničení nádoru a co nejmenší poškození okolní zdravé tkáně  
Ozařování se provádí před operací i po ní, může být i samotným léčebným postupem u pokročilých neoperovatelných nádorů

## Plánování radioterapie

Proces plánování zevního ozáření zahrnuje celou řadu na sebe navazujících kroků  
Hlavním cílem je nalezení optimálních ozařovacích podmínek, aby bylo splněno hlavní kritérium radioterapie, kterým je dodání dostatečné dávky záření do nádorového ložiska za maximálního šetření zdravých tkání  
Pro plánovací cílové objemy je nezbytné dodržovat APARA princip („as precisely as readily achievable“ – tak přesné jak je jen možné dosáhnout)  
Celý průběh plánování se dá shrnout do několika kroků, které se v některých bodech liší, jedná-li se o zevní radioterapii nebo o brachyterapii

# Teleradioterapie, Brachyterapie, Protonová terapie

## Teleradioterapie

= druh léčby zářením, při němž zářič není v kontaktu se zhoubným nádorem, hloubková terapie zářením. Zářičem je např. kobaltová bomba nebo vysokoenergetické záření vzniklé v urychlovačích

## Leksellův gama nůž

= integrovaný systém, který se využívá v stereotaktické radiochirurgii při nejružnějších mozkových nemocech, jako jsou například **zhoubné a nezhoubné nádory mozku, cévní malformace mozku**

Je založen na **fokusem gama záření** z velkého počtu radioaktivních zdrojů, což umožňuje dosáhnout vysoké přesnosti zaměření ošetřované léze

Díky **malé dávce jednotlivých zářičů** se ale nepoškodí okolní tkáň, léčebné účinky má jen na místo, kam směřují všechny zářiče

Přístroj funguje na principu polosféry, tedy helmy, do které je upevněná hlava

V helmě je umístěno 201 kobaltových zářičů, které jsou všechny zaměřeny na jedno místo, které ozáří

Vylepšenou verzí pak je Kybernetický gama nůž, kdy se místo helmy používá robotická ruka

## Brachyterapie

= využívá se zejména pro léčbu zhoubných onemocnění

Nejčastěji se brachyterapie uplatňuje v léčbě nádorů **děložního čípku, prostaty, prsu a kůže**, ale lze ji využít i pro léčbu nádorů v mnoha jiných anatomických lokalizacích

Pro brachyterapii je typický velký dávkový gradient mezi ozařovanou tkání a okolní zdravou tkání

Výhodami brachyterapie je aplikace vysoké dávky záření do léčené oblasti, šetření okolních zdravých tkání díky prudkému poklesu dávky s rostoucí vzdáleností a aplikace účinné dávky v krátkém čase, což snižuje efekt obnovy nádorových buněk

## Protonová terapie

Hlavní výhodou protonové terapie je minimální poškození okolní tkáně a s ním spojené vedlejší účinky běžné radioterapie

Na rozdíl od běžné radioterapie, při které částice předávají maximum své energie tkáním před tumorem a po předání energie tumoru stále pronikají do tkání za tumorem

Využívá se při léčbě tumorů v blízkosti vitálně důležitých struktur (nádory mozku, krku, očí, slinivky břišní, jater, nebo prostaty), kde je důležité minimalizovat poškození okolní tkáně

Protóny předávají tkáním **před nádorem jen minimální množství energie** a po předání maxima své energie (Braggův vrchol) nádoru se zastavují

To dovoluje použití větší dávky záření a z ní vyplývající vyšší pravděpodobnost likvidace nádoru

Jelikož je Braggův vrchol široký jen několik milimetrů, je potřeba protóny urychlené cyklotronem rozptýlit, aby pokryly celé ložisko

Toho se docílí pomocí pomůcek (rozptylovací filtry, modulační kotouče, kompenzátory)