

Radiologická fyzika a radiobiologie

1. přednáška



Jak to bude?

- Docházka – jak to bude?
- Více vyučujících dle tématu
- Zápočet bude formou testu ve cvičeních
- Ve cvičeních budou v kontrolních mikrotestech i nějaké otázky z přednášek (bonusové body k zápočtu)
- Zkouška ústní, okruhy budou na webu

Přehled kurzu

(v tomto kurzu jde čistě o teoretické principy)

- Úvod do radiologie
- Fyzikální jednotky
- Struktura hmoty
- Jaderný rozpad
- Základy kvantové teorie
- RTG a gama záření
- Magnetická rezonance
- Výpočetní tomografie
- Ultrazvuk

Radiologie

- „Radiologie je obor lékařství zabývající se medicínskými zobrazovacími metodami. Asi nejvýstižnější by bylo obor nazývat medicínské zobrazovací metody (angl. medical imaging), jednoslovný název radiologie je však kratší a snáze vyslovitelný.“ (nemocnice Na Homolce)

Radiologie



? Proč ji studovat ?

(protože Vás má živit!)

Radiologie

• Hrubé dělení podle principů:

➤ Rentgenové záření

➤ Jaderné záření

➤ Magnetické pole

➤ Ultrazvukové vlnění

Radiologie

• Hrubé dělení podle principů:

➤ Rentgenové záření

➤ Jaderné záření

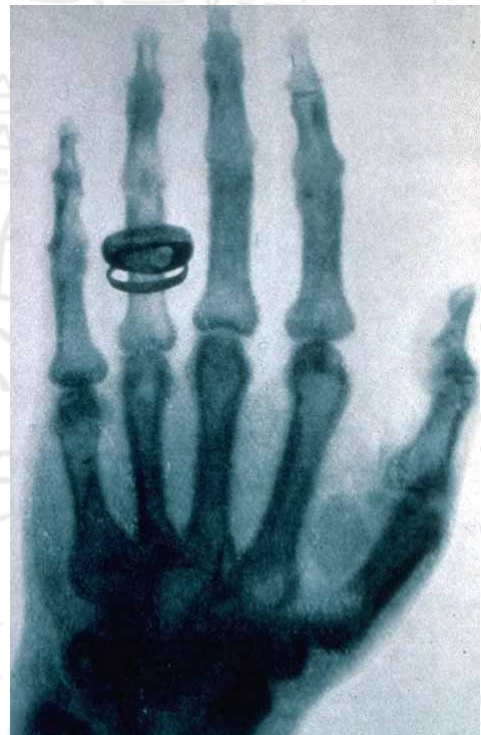
➤ Magnetické pole

➤ Ultrazvukové vlnění

Radiologie

- Wilhelm Conrad Röntgen

- 1895 – Náhodou objevuje paprsky X
- 1901 – První Nobelova cena
- Na počest Fy jednotka



$E_k = \frac{1}{2} m v^2$
 $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V\psi = E\psi$
 $U_{ef} = U_m$
 $\vec{B} = \mu_0 \frac{NI\sqrt{2}}{2\pi r}$
 $k = \rho^2 / 2m m_0 = \frac{M}{N}$
 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eUm}}$
 $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$
 $\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{J} d\vec{S}$
 $v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN}{M_m}}$
 $\lambda = \frac{h \ln 2}{T} F_h$
 $\left(\frac{E_t}{E_0}\right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$
 $E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$
 $S = \frac{1}{A} \frac{d\omega}{dt}$

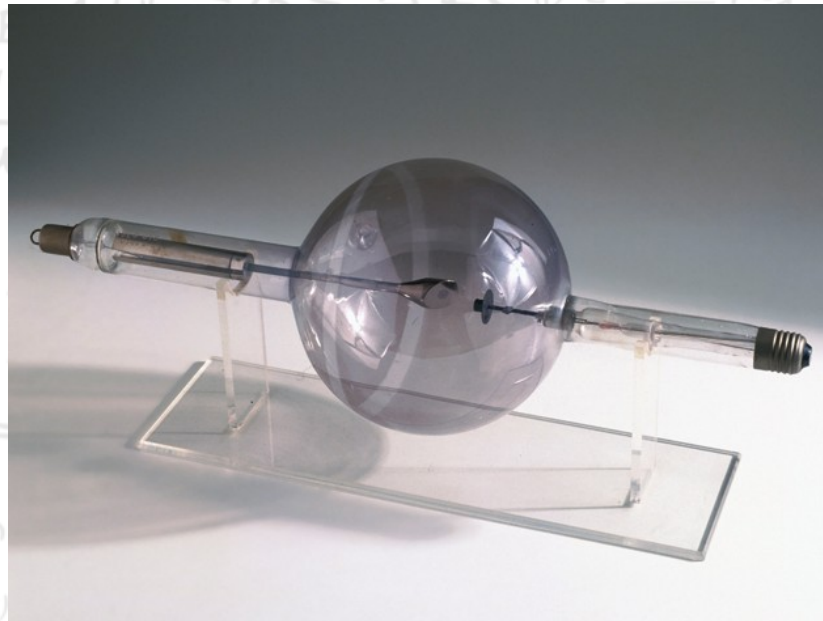
Radiologie

- William Coolidge

- 1913 Coolidgeova (lampa) trubice

- Žhavená spirálová katoda

- Lepší kontrast



Radiologie

- George Eastman

- 1889 Patent na fotografický celuloidový svitkový film (nezbytné pro další rozvoj fotografie a filmového průmyslu)
- Zakladatel firmy Kodak
- Uplatnění v radiologii
- Předtím záznamy na skleněné desky

Radiologie

- 60. a 70. léta 20. století
 - Rozvoj výpočetní techniky
 - Digitalizace signálu
 - Zesilovače, polovodiče atp.

Radiologie

- Godfrey N. Hounsfield
 - 1971 – První počítačový tomograf
 - 1979 – Nobelova cena (spolu s Allanem Cormackem)

Radiologie



$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$
$$U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2r}$$
$$k = \frac{p^2}{2m} \frac{1}{m_0} = \frac{M_r \cdot 10^{-3}}{M_r}$$
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eUm_e}}$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$$
$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN_A}{M_r \cdot 10^{-3}}}$$
$$\lambda = \frac{h \ln 2}{T}$$
$$\left(\frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$
$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$
$$S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$$

$$2 \tan \vartheta_B = \frac{m_2}{m_1} = m_{21}$$
$$pV = nRT \quad \Psi = \iint \vec{D} \cdot d\vec{S} = AD$$
$$H_\lambda = \frac{\Delta M_e}{\Delta \lambda}$$
$$V = c/\lambda \quad \Phi = NBS$$
$$\phi_e = -\frac{L}{4\pi r^2}$$
$$X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L = 2\pi f L$$
$$F_g = \frac{m_1 m_2}{(m_2 + m_1)^2}$$
$$U = \frac{W_{AB}}{e} = \frac{|E_{PA} - E_{PB}|}{e} = \frac{|\varphi_A - \varphi_B|}{e}$$
$$T = \frac{4n_1 n_2}{(n_2 + n_1)^2}$$
$$k = \pm \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (E - V_0)}$$
$$= 2\pi f$$
$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}}$$
$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\nu}$$
$$\vec{dS} = Q^*$$
$$\frac{1}{2} = U_e I t$$
$$v = \int \frac{F_n}{R}$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{CL}}$$
$$S I_m^2 = U_m^2 \left[\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right)^2 \right]$$
$$\lambda^* T = b$$
$$\int \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int \frac{\partial B}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$
$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$
$$u = U_m \sin \omega(t - \tau) = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Radiologie

• Hrubé dělení podle principů:

➤ Rentgenové záření

➤ Jaderné záření

➤ Magnetické pole

➤ Ultrazvukové vlnění

Radiologie

- Henri Becquerel

- 1896 – Objev přirozené radioaktivity uranových solí
- 1903 – Nobelova cena
- Na počest Fy jednotka aktivity

Radiologie

- Marie Curie-Skłodowska
 - Objev polonia (dle Polska)
 - Objev radia
 - Teorie radioaktivity
 - 1903 a 1911 Nobelova cena Fy a Ch
 - Pouze 4 lidé mají 2 Nobelovy ceny
 - Na počest Fy jednotka

Radiologie

- Benedikt Cassen

- 1951 – Pohybový scintigraf

- První přístroj, který zobrazoval scintigraficky distribuci radioaktivity
- Od 80. let se už nepoužívá
- Nízká účinnost
- Neumožňuje dynamickou scintigrafii (nezobrazuje změnu radioaktivity v krátkém čase)

Radiologie

- Hal Anger

- 1958 Gamakamera

- Snímá γ záření současně z celého zorného pole
 - Velmi složité zařízení, které je ovšem používáno dodnes

Radiologie

- 60. léta 20. století

- David Kuhl a Roy Edwards

- První experimentální PET (Pozitronová emisní tomografie)

- 1976 – Užití FDG v PET

- Syntéza FDG (18-fluorodeoxyglukóza)

- Dodnes se využívá při PET

- První syntéza prof. Josef Pacák (1968)

Radiologie



Jeden z prvních PET prototypů

Radiologie

• Hrubé dělení podle principů:

➤ Rentgenové záření

➤ Ionizující záření

➤ Magnetické pole

➤ Ultrazvukové vlnění

Radiologie

- Přelom 19. a 20. století
 - Zrod kvantové fyziky
 - Založena na kvantování energie a pravděpodobnostním modelu
 - Objev jaderného spinu

Radiologie

- Isidor Isaac Rabi

- 1937 – Objev jevu nukleární magnetické resonance (NMR)
- Využití Stern-Gerlachova experimentu (štěpení svazku atomů v mag. poli)
- 1944 – Nobelova cena za Fy

Radiologie

- Felix Bloch a Edward Purcell

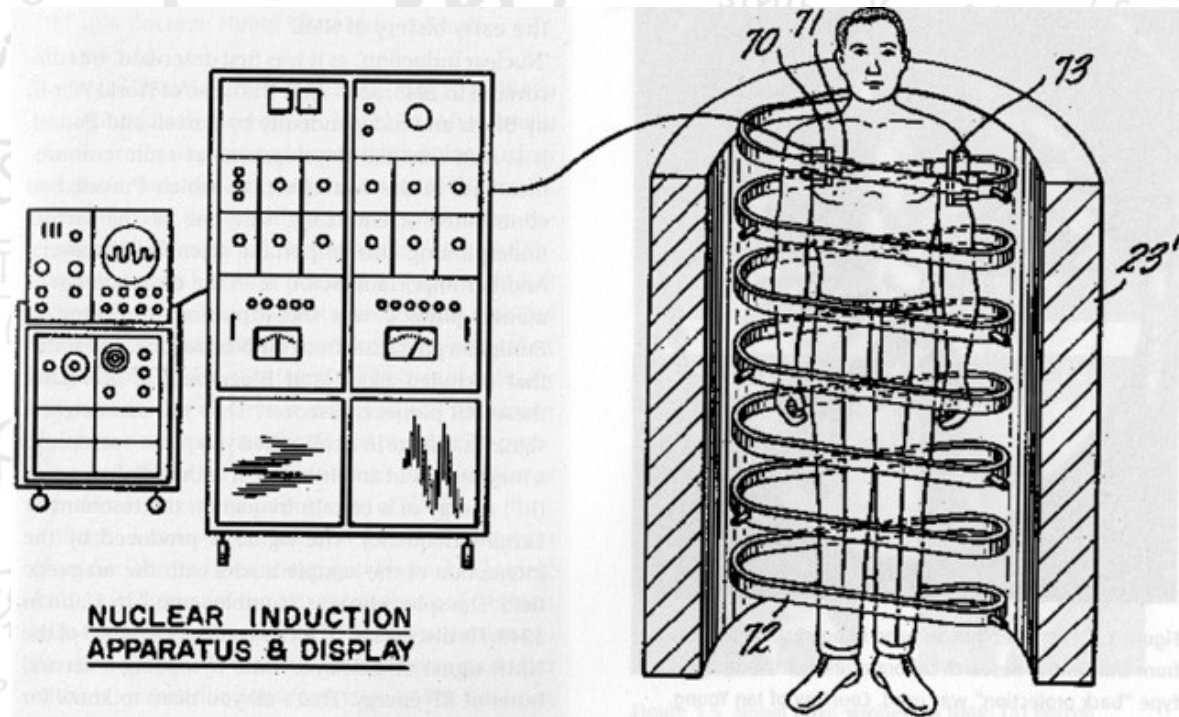
- 1945 Vylepšený Rabiho přístroj → Zrod nukleární magnetické spektroskopie

- 1946 – Blochovy rovnice – matematický popis jevu NMR

- 1952 – Nobelova cena

Radiologie

- 1971 – Raymond Damadian
 - Objev rozdílných relaxačních časů tkání
- 1977 – Konstrukce MRI skeneru



Radiologie



$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$
$$U_{ef} = \frac{U_m}{2}$$
$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2\pi r}$$
$$k = \frac{p^2}{2m} = \frac{M_r \cdot 10^{-3}}{N_A}$$
$$\lambda = \frac{h}{m v}$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$$
$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN_A}{M_r \cdot 10^{-3}}}$$
$$\lambda = \frac{h \nu}{E}$$
$$\left(\frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) + \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$
$$S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$$

$$2 \tan \vartheta_B = \frac{m_2}{m_1} = m_{21}$$
$$Me = \sigma T^4$$
$$\phi_e = \frac{L}{4\pi r^2}$$
$$U = \frac{W_{AB}}{e} = \frac{I E p A}{e}$$
$$v = \frac{nh}{2\pi r m_e}$$
$$R = \rho \frac{l}{S}$$
$$\vec{J} = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times \vec{A}$$
$$E = \frac{h \nu}{2}$$
$$f_0 = \frac{1}{T}$$
$$R = R_0 \sqrt[3]{A}$$

$$pV = nRT$$
$$\Psi = \iint \vec{D} \cdot d\vec{S} = AD$$
$$H_\lambda = \frac{\Delta Me}{\Delta \lambda}$$
$$V = c/\lambda$$
$$\Phi = NBS$$
$$\vec{B} I l = \frac{\mu I_1 I_2 l}{2\pi d}$$
$$\mu_1 \mu_2$$
$$T k = \pm \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (E - V_0)}$$
$$\omega = 2\pi f$$
$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon + \mu}}$$
$$F_x = \frac{1}{2} C_x \rho \omega^2$$
$$\frac{1}{x'} = \frac{\nu_2 - \nu_1}{\nu}$$
$$D \cdot d\vec{S} = Q^*$$
$$U_{\frac{1}{2}} = U_e I t$$
$$F_v = \int \frac{F_n}{R}$$
$$\cos \alpha$$
$$\left(\frac{1}{x_L} \right)^2 \lambda^* T = b$$
$$u = U_m \sin \omega(t - \tau) = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$H_\lambda = \frac{\Delta Me}{\Delta \lambda}$$
$$\Phi = NBS$$
$$\vec{B} I l = \frac{\mu I_1 I_2 l}{2\pi d}$$
$$\mu_1 \mu_2$$
$$T k = \pm \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (E - V_0)}$$
$$\omega = 2\pi f$$
$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon + \mu}}$$
$$F_x = \frac{1}{2} C_x \rho \omega^2$$
$$\frac{1}{x'} = \frac{\nu_2 - \nu_1}{\nu}$$
$$D \cdot d\vec{S} = Q^*$$
$$U_{\frac{1}{2}} = U_e I t$$
$$F_v = \int \frac{F_n}{R}$$
$$\cos \alpha$$
$$\left(\frac{1}{x_L} \right)^2 \lambda^* T = b$$
$$u = U_m \sin \omega(t - \tau) = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Radiologie

• Hrubé dělení podle principů:

➤ Rentgenové záření

➤ Ionizující záření

➤ Magnetické pole

➤ Ultrazvukové vlnění

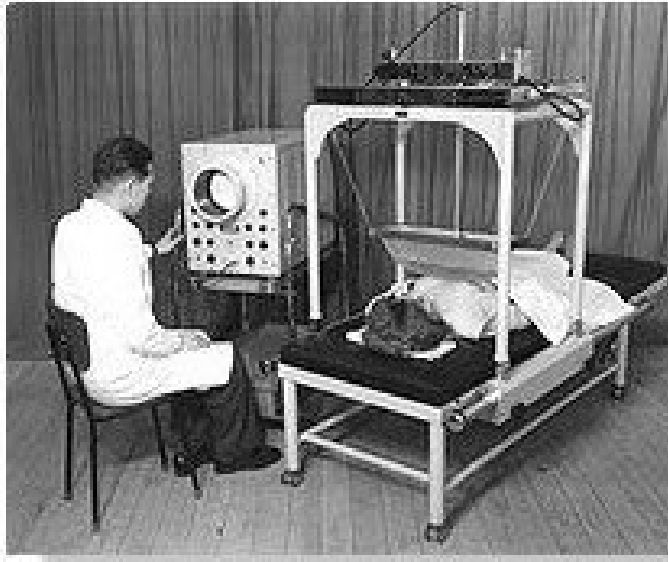
Radiologie

- 1877 – Lord Rayleigh
 - Fyzikální formulace zvuku
- 1880 – Pierre a Jacques Curieovi
 - Objev piezoelektrického jevu na krystalech použitého později k tvorbě i detekci ultrazvuku
- 1917 – Paul Langevin
 - Využití UZ u námořnictva - sonar

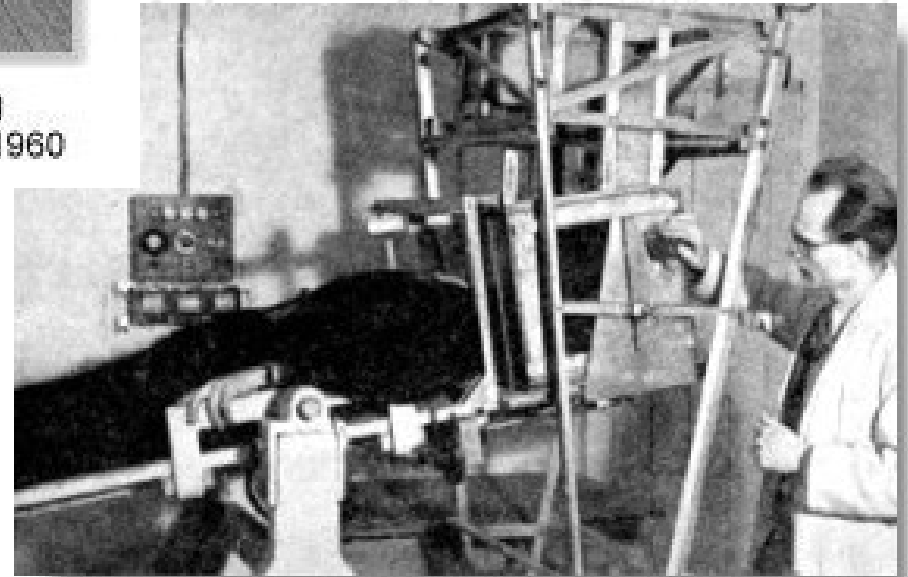
Radiologie

- Karl Dussik (Rakousko) – 1942 – průchodová metoda
- George Ludwig (USA) 1949 - První aplikace odrazu UZ na lidské tělo A-mód
- 70. léta 20. století
 - Zmenšení sond, aplikace dynamického snímání obrazu
- 1986 – Greg Devor
 - Barevné dopplerovské zobrazování

Radiologie



The water-bag B-mode scanning system, the SSD-1, from Aloka in 1960



Dussik and his ultrasonic apparatus in 1946

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$

$$U_{ef} = \frac{U_m}{B}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{r}$$

$$k = \rho \frac{v^2}{2m} m_0 = \frac{M}{N}$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$v = \sqrt{2eU/m}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{e}} \psi(\alpha)$$

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{J} d\vec{s}$$

$$C(s)$$

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN}{Mm}}$$

$$\lambda = \frac{h \ln 2}{T} F_h = \frac{h p g}{2m}$$

$$\left(\frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$

$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$$

$$2 \operatorname{tg} \vartheta_B = \frac{m_2}{m_1} = m_{21}$$

$$pV = nRT \quad \Psi = \iint \vec{D} d\vec{S} = AD$$

$$H_\lambda = \frac{\Delta Me}{\Delta \lambda}$$

$$V = c/\lambda \quad \Phi = NBS$$

$$\vec{B} I l = \frac{\mu I_1 I_2}{2\pi d} l$$

$$F_g = \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$R_m = \frac{C}{T} k = \pm \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (E - V_0)}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

Jednotky

- CGS systém (1874 – počátek 20. stol.)

- Centimetr-Gram-Sekunda

- Vhodné pouze pro laboratoř

- El. Proud – biot (10 A)

- Síla – dyne (10^{-5} N)

- Energie – erg (10^{-7} J)

- Zrychlení – galileo ($0,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)

Jednotky

- MKS systém (1889 – 1960)

- Metr-Kilogram-Sekunda

- Vhodné i mimo laboratoř

- Jednotky z 99 % shodné s SI

- FPS systém

- Foot-Pound-Second

- Dodnes využívána v USA a VB

Jednotky

- SI systém (1960)

- *Système International d'Unités*

- Vznikla na základě mezinárodní standardizace fyzikálních jednotek

- V různých odvětvích se používají různé vedlejší jednotky (eV, AU, u, Da, kWh, mAh...)

Jednotky

- Specifické jednotky předmětu

- Becquerel (Bc)

- Elektronvolt (eV)

- Gray (Gy)

- Sievert (Sv)

- Rentgen (R)

- Atomová hmotnostní jednotka (u)

Veličiny

- Existuje několik typů fyzikálních veličin

- Skalární (E, m, p, T...)

- Je vyjádřena konkrétní hodnotou, která je nezávislá na směru (T=273,15 K)

- Vektorová (\vec{v} , \vec{p} , \vec{F} , \vec{B} ...)

- Je vyjádřena vektorem, který udává jak velikost veličiny, tak směr jejího působení $\vec{v} = (2; 8; 0)$

- Tenzorová ($\vec{\sigma}$, \vec{F}_{elmag} ...)

- Je vyjádřen maticí, která udává velikost v různých směrech

$$\vec{\sigma} = \begin{pmatrix} 4 & 2 & -1 \\ 5 & 3 & 0 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} = b$$

Shrnutí

- Radiologie je s námi již přes 100 let
- Její historie a pole působnosti je velmi rozmanité a perspektivní
- Vyžaduje rozsáhlé fyzikální i biologické znalosti a analytické myšlení
- Využívá poznatky z mikrosvěta i makrosvěta
- Využívá velké množství fyzikálních jednotek a u každé je potřeba pochopit její význam

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$
$$U_{ef} = U_m$$
$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2\pi r m_e}$$
$$k = \frac{p^2}{2m} m_0 = \frac{M_r}{N_A}$$
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eUm_e}}$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$
$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J} d\vec{S}$$
$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN_A}{M_r}}$$
$$\lambda = \frac{h \nu_2}{T} F_h = \int \rho g$$
$$\left(\frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$
$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$
$$S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$$

Děkuji za pozornost

**Konec
1. přednášky**

**Prezentace vznikla v rámci projektu
fondu rozvoje MU 1515/2014**