

Radiologická fyzika a radiobiologie



4. cvičení



Opakování

1. Jakou hmotnost a vlnovou délku má elektron při rychlosti $0,7c$ a klidové hmotnosti $m_{0e} = 9,1093 \cdot 10^{-31} \text{kg}$? [Řešení](#)

2. Jakou rychlost musí mít neutron, aby měl vlnovou délku 20fm ?

$m_{0n} = 1,674 \cdot 10^{-27} \text{kg}$? [Řešení](#)

Rozpady

1. Jakou vlnovou délku a do jaké kategorie záření patří foton při přechodu technecia z metastabilního stavu ^{99m}Tc (99,0492) do základního ^{99}Tc (98,9062)?
2. Jakou rychlostí se bude pohybovat alfa-částice (4,002603) při rozpadu francie 221 (221,014254) na astat 217 (217,0047188)?

[Řešení](#)

[Řešení](#)

Rozpady

3. Jakou frekvenci bude mít foton při gama-rozpadu metastabilního neodymu $^{145\text{m}}\text{Nd}$ (145,1036) do základního stavu (144,912573)?

[Řešení](#)

Poločas

4. Máme 10^9 jader. Konstanta rozpadu $\lambda = 1,768 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Kolik nám zbyde jader po 4 po 8 a po 12 hodinách?

[Řešení](#)

5. Po 2 dnech radioaktivní přeměny nám zůstalo $6 \cdot 10^5$ jader. Konstanta rozpadu je $\lambda = 3,838 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$. Kolik jsme měli původně jader?

[Řešení](#)

Poločas

6. Máme 10^{23} jader. Konstanta rozpadu $\lambda = 8,768 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. Jaký má daný izotop fyzikální poločas rozpadu?

[Řešení](#)

7. Po 30 letech naměříme aktivitu cesia 137 v 1 dm^3 půdy $3 \cdot 10^5 \text{ Bq}$. Konstanta rozpadu je $\lambda = 7,462 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}$. Kolik jader obsahuje vzorek a kolik jich obsahoval před 30 lety?

[Řešení](#)

Poločas

8. Po 100 letech obsahuje vzorek 120000 jader radioaktivního izotopu s poločasem rozpadu 17,76 let. Kolik jader obsahoval vzorek před 100 lety.

[Řešení](#)

9. V 50kg rudy je obsaženo 67% UO_2 a zbytek není aktivní. Kolik bude obsahovat uranu za 200 let? $T_{1/2} = 4,471 \cdot 10^9$ let. Předpokládejme, že jde o izotop 238.

[Řešení](#)

Poločas

10. Výpočtem odhadněte, který izotop má delší poločas alfa rozpadu. Své tvrzení odůvodněte. ^{236}U nebo ^{226}U ?

$$M(^{236}\text{U}) = 236,045568$$

$$M(^{226}\text{U}) = 226,029338$$

$$M(^4\text{He}) = 4,0026032$$

$$M(^{232}\text{Th}) = 232,038055$$

$$M(^{222}\text{Th}) = 222,018468$$

[Řešení](#)

Radiační vs. Tepelná zátěž

- Dávka γ záření 3 Gy je smrtelná pro 50% zasažených osob.
- Jaký by byl nárůst teploty, pokud by se tato energie absorbovala ve formě tepla?

$$Q = mC\Delta T$$

- Předpokládejme, že tělo má stejnou měrnou tepelnou kapacitu jako voda $C=4180\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}\text{K}^{-1}$

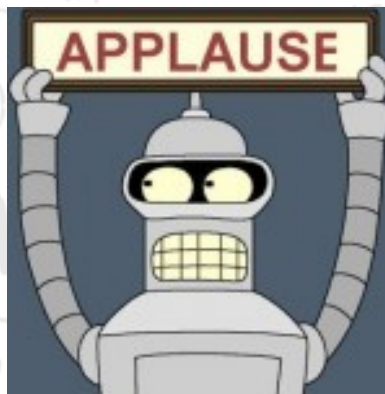
Radiační vs. Tepelná zátěž

- Dávka γ záření 3 Gy odpovídá energii na jednotku hmotnosti 3 J.Kg^{-1}

$$\Delta T = \frac{Q}{mC} = \frac{3 \text{ J.Kg}^{-1}}{4180 \text{ J.Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} = 0,717 \text{ mK}$$

- Je zřejmé, že ionizující záření nemá tepelně destruktivní účinky

Konec 4. cvičení



Na e-learningu
bude cvičení

Dodatky 1

1. Jakou hmotnost a vlnovou délku má elektron při rychlosti $0,7c$ a klidové hmotnosti $m_{0e} = 9,1093 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

$$m = m_0 \gamma \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$m = 9,1093 \cdot 10^{-31} \cdot 1,40028$$

$$m = 1,27555 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad \lambda = \frac{h}{m_0 \gamma v} \quad \lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{1,27755 \cdot 10^{-30} \cdot 0,7c}$$

$$\lambda = 2,4697 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Konec 1. dodatku

[zpět](#)

Dodatky 2

2. Jakou rychlost musí mít neutron, aby měl vlnovou délku 20fm?

$$m_{0n} = 1,674 \cdot 10^{-27} \text{kg}$$

$$\lambda = \frac{h}{m_0 \gamma v}$$

$$\lambda = \frac{h}{m_0 v} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

/ umocnit na 2.

$$\lambda^2 = \frac{h^2}{m_0^2 v^2} \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)$$

/ roznásobit

$$\lambda^2 = \frac{h^2}{m_0^2 v^2} - \frac{h^2 v^2}{m_0^2 v^2 c^2}$$

/ pokrátit a +druhý člen

$$\lambda^2 + \frac{h^2}{m_0^2 c^2} = \frac{h^2}{m_0^2 v^2}$$

[zpět](#)

Dodatky 2

2. Jakou rychlost musí mít neutron, aby měl vlnovou délku 20fm?

$$m_{0n} = 1,674 \cdot 10^{-27} \text{kg?}$$

$$\lambda^2 + \frac{h^2}{m_0^2 c^2} = \frac{h^2}{m_0^2 v^2}$$

$$\left(\lambda^2 + \frac{h^2}{m_0^2 c^2} \right) v^2 = \frac{h^2}{m_0^2} \quad / \text{ závorka}$$

$$v^2 = \frac{h^2 m_0^2 c^2}{m_0^2 (h^2 + m_0^2 \lambda^2 c^2)}$$

$$v = \sqrt{\frac{h^2 c^2}{(h^2 + m_0^2 \lambda^2 c^2)}} = 0,0658c$$

Konec 2. dodatku

[zpět](#)

Dodatky 3

1. Jakou vlnovou délku a do jaké kategorie záření patří foton při přechodu technecia z metastabilního stavu ^{99m}Tc (99,90640592) do základního ^{99}Tc (98,90625474)?

$$\Delta M = 0,00015118u = 2,5104 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\Delta E = \Delta M c^2 = 2,25936 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$\Delta E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad \lambda = \frac{hc}{\Delta E}$$

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2,25936 \cdot 10^{-14}} = 8,82055 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

Jedná se o gama záření

Konec 3. dodatku

[zpět](#)

Dodatky 4

2. Jakou rychlostí se bude pohybovat alfa-částice (4,002603) při rozpadu francie 221 (221,014254) na astat 217 (217,0047188)?

Vycházíme ze zákona zachování p a E

$$\vec{p}_{\text{pred}} = \vec{p}_{\text{po}} = 0$$

$$\vec{p}_{\text{po}} = \vec{p}_{\alpha} + \vec{p}_{\text{As}} \rightarrow |\vec{p}_{\alpha}| = |\vec{p}_{\text{As}}|$$

Dodatky 4

2. Jakou rychlostí se bude pohybovat alfa-částice (4,002603) při rozpadu francie 221 (221,014254) na astat 217 (217,0047188)?

$$E_{Fr} = m_{0Fr} c^2 \quad E_{As}^2 = m_{0As}^2 c^4 + p_{As}^2 c^2$$

$$E_{\alpha}^2 = m_{0\alpha}^2 c^4 + p_{\alpha}^2 c^2$$

$$E_{Fr}^2 = (E_{As} + E_{\alpha})^2$$

$$E_{Fr}^2 = E_{As}^2 + E_{\alpha}^2 + 2E_{As}E_{\alpha}$$

$$(E_{Fr}^2 - E_{As}^2 - E_{\alpha}^2)^2 = 4E_{As}^2 E_{\alpha}^2$$

Dodatky 4

2. Jakou rychlostí se bude pohybovat alfa-částice (4,002603) při rozpadu francie 221 (221,014254) na astat 217 (217,0047188)?

$$(E_{Fr}^2 - E_{As}^2 - E_{\alpha}^2)^2 = 4E_{As}^2 E_{\alpha}^2$$

$$(m_0^2 c^4 - m_{0As}^2 c^4 - p_{As}^2 c^2 - m_{0\alpha}^2 c^4 - p_{\alpha}^2 c^2)^2 = 4(m_{0As}^2 c^4 + p_{As}^2 c^2)(m_{0\alpha}^2 c^4 + p_{\alpha}^2 c^2)$$

substituce: $(m_0^2 - m_{0As}^2 - m_{0\alpha}^2)c^4 = \theta$

víme: $|\vec{p}_{\alpha}| = |\vec{p}_{As}|$

$$(\theta - 2p_{\alpha}^2 c^2)^2 = 4(m_{0As}^2 c^4 + p_{\alpha}^2 c^2)(m_{0\alpha}^2 c^4 + p_{\alpha}^2 c^2)$$

$$(\theta - 2p_{\alpha}^2 c^2)^2 =$$

$$4(m_{0As}^2 m_{0\alpha}^2 c^8 + (m_{0\alpha}^2 + m_{0As}^2)p_{\alpha}^2 c^6 + p_{\alpha}^4 c^4)$$

Dodatky 4

2. Jakou rychlostí se bude pohybovat alfa-částice (4,002603) při rozpadu francie 221 (221,014254) na astat 217 (217,0047188)?

$$(\theta - 2p_{\alpha}^2 c^2)^2 = 4(m_{0As}^2 m_{0\alpha}^2 c^8 + (m_{0\alpha}^2 + m_{0As}^2) p_{\alpha}^2 c^6 + p_{\alpha}^4 c^4)$$

$$\theta^2 - 4\theta p_{\alpha}^2 c^2 + 4p_{\alpha}^4 c^4 = 4(m_{0As}^2 m_{\alpha}^2 c^8 + (m_{0\alpha}^2 + m_{As}^2) p_{\alpha}^2 c^6 + p_{\alpha}^4 c^4)$$

$$\theta^2 - 4m_{0As}^2 m_{0\alpha}^2 c^8 = 4(m_{0\alpha}^2 + m_{As}^2) p_{\alpha}^2 c^6 + 4\theta p_{\alpha}^2 c^2$$

Dodatky 4

2. Jakou rychlostí se bude pohybovat alfa-částice (4,002603) při rozpadu francie 221 (221,014254) na astat 217 (217,0047188)?

$$\theta^2 - 4m_{0As}^2 m_{0\alpha}^2 c^8 = 4(m_{0\alpha}^2 + m_{As}^2) p_{\alpha}^2 c^6 + 4\theta p_{\alpha}^2 c^2$$

$$\begin{aligned} & \left((m_0^2 - m_{0As}^2 - m_{0\alpha}^2) c^4 \right)^2 - 4m_{0As}^2 m_{0\alpha}^2 c^8 = \\ & 4(m_{0\alpha}^2 + m_{As}^2) p_{\alpha}^2 c^6 + 4(m_0^2 - m_{0As}^2 - m_{0\alpha}^2) p_{\alpha}^2 c^6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left((m_0^2 - m_{0As}^2 - m_{0\alpha}^2) \right)^2 c^8 - 4m_{0As}^2 m_{0\alpha}^2 c^8 = \\ & 4 m_0^2 p_{\alpha}^2 c^6 \end{aligned}$$

Dodatky 4

2. Jakou rychlostí se bude pohybovat alfa-částice (4,002603) při rozpadu francie 221 (221,014254) na astat 217 (217,0047188)?

$$\left((m_0^2 - m_{0As}^2 - m_{0\alpha}^2) \right)^2 c^8 - 4m_{0As}^2 m_{0\alpha}^2 c^8 = 4 m_0^2 p_\alpha^2 c^6$$

$$(m_0^4 + m_{0As}^4 + m_{0\alpha}^4 - 2m_0^2 m_{0As}^2 - 2m_0^2 m_{0\alpha}^2 + 2m_{0As}^2 m_{0\alpha}^2) c^8 - 4m_{0As}^2 m_{0\alpha}^2 c^8 = 4 m_0^2 p_\alpha^2 c^6$$

$$(m_0^4 + m_{0As}^4 + m_{0\alpha}^4 - 2m_0^2 m_{0As}^2 - 2m_0^2 m_{0\alpha}^2 - 2m_{0As}^2 m_{0\alpha}^2) c^8 = 4 m_0^2 p_\alpha^2 c^6$$

$$\frac{(m_0^4 + m_{0As}^4 + m_{0\alpha}^4 - 2m_0^2 m_{0As}^2 - 2m_0^2 m_{0\alpha}^2 - 2m_{0As}^2 m_{0\alpha}^2) c^2}{4m_0^2} = p_\alpha^2$$

[zpět](#)

Dodatky 4

2. Jakou rychlostí se bude pohybovat alfa-částice (4,002603) při rozpadu francie 221 (221,014254) na astat 217 (217,0047188)?

$$p_\alpha = \frac{m_{0\alpha}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} v$$

$$p_\alpha^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = m_{0\alpha}^2 v^2$$

$$p_\alpha^2 = m_{0\alpha}^2 v^2 + \frac{p_\alpha^2 v^2}{c^2}$$

$$p_\alpha^2 = \left(m_{0\alpha}^2 + \frac{p_\alpha^2}{c^2}\right) v^2$$

$$\frac{p_\alpha^2 c^2}{m_{0\alpha}^2 c^2 + p_\alpha^2} = v^2$$

$$\sqrt{\frac{p_\alpha^2 c^2}{m_{0\alpha}^2 c^2 + p_\alpha^2}} = v$$

Dodatky 4

2. Jakou rychlostí se bude pohybovat alfa-částice (4,002603) při rozpadu francie 221 (221,014254) na astat 217 (217,0047188)?

$$\frac{(M_0^4 + M_{0As}^4 + M_{0\alpha}^4 - 2M_0^2 M_{0As}^2 - 2M_0^2 M_{0\alpha}^2 - 2M_{0As}^2 M_{0\alpha}^2)u^2 c^2}{4M_0^2} = p_\alpha^2$$

$$\frac{(221,0142^4 + 217,00471^4 + 4,002603^4 - 4,6005 \cdot 10^9 - 1,5651 \cdot 10^6 - 1,5088 \cdot 10^6)u^2 c^2}{1,9538 \cdot 10^5} = p_\alpha^2$$

$$\frac{49228,32 u^2 c^2}{1,9538 \cdot 10^5} = p_\alpha^2 = 0,25196 u^2 c^2 = 6,2526 \cdot 10^{-38}$$

$$\sqrt{\frac{p_\alpha^2 c^2}{M_{0\alpha}^2 c^2 + p_\alpha^2}} = v = \sqrt{\frac{5,6274 \cdot 10^{-21}}{1,2122 \cdot 10^{-32}}} = 681344 = 0,0022c$$

Konec 4. dodatku

Dodatky 5

3. Jakou frekvenci bude mít foton při gama-rozpadu metastabilního neodymu ^{145m}Nd (144,913016) do základního stavu (144,912573)?

$$\Delta M = 0,000443$$

$$\Delta E = 0,000443uc^2 = hf$$

$$\frac{0,000443uc^2}{h} = f$$

$$9,99084 \cdot 10^{19} \text{ Hz} = f$$

Konec 5. dodatku

[zpět](#)

Dodatky 6

4. Máme 10^9 jader. Konstanta rozpadu $\lambda = 1,768 \cdot 10^{-5}$. Kolik nám zbyde jader po 4 po 8 a po 12 hodinách?

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N = 10^9 e^{-1,768 \cdot 10^{-5} t}$$

$$N_4 = 10^9 e^{-1,768 \cdot 10^{-5} \cdot 14400}$$

$$N_4 = 7,77523 \cdot 10^8$$

$$N_8 = 6,00985 \cdot 10^8$$

$$N_{12} = 4,65903 \cdot 10^8$$

Konec 6. dodatku

[zpět](#)

Dodatky 7

5. Po 2 dnech radioaktivní přeměny nám zůstalo $6 \cdot 10^5$ jader. Konstanta rozpadu je $\lambda = 1,838 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Kolik jsme měli původně jader?

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N e^{\lambda t} = N_0$$

$$6 \cdot 10^5 e^{1,838 \cdot 10^{-5} t} = N_0$$

$$1,4371 \cdot 10^7 = N_0$$

Konec 7. dodatku

[zpět](#)

Dodatky 8

6. Máme 10^{23} jader. Konstanta rozpadu $\lambda = 8,768 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. Jaký má daný izotop fyzikální poločas rozpadu?

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$\ln 2 = \lambda t_{1/2}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$\frac{\ln 2}{\lambda} = t_{1/2}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda t_{1/2}$$

$$790,541 \text{ s} = t_{1/2}$$

Konec 8. dodatku

[zpět](#)

Dodatky 9

7. Po 30 letech naměříme aktivitu cesia 137 v 1 dm³ půdy 3.10⁵ Bq. Konstanta rozpadu je $\lambda = 7,2811 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$ Kolik jader obsahuje vzorek a kolik jich obsahoval před 30 lety?

$$R = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$R = \lambda N$$

$$N = \frac{3 \cdot 10^5}{7,2811 \cdot 10^{-10}} = 4,1202 \cdot 10^{13}$$

Dodatky 9

7. Po 30 letech naměříme aktivitu cesia 137 v 1 dm³ půdy 3.10⁵ Bq. Konstanta rozpadu je $\lambda=7,2811 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$ Kolik jader obsahuje vzorek a kolik jich obsahoval před 30 lety?

$$R = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N_0 = \frac{R}{\lambda} e^{\lambda t}$$

$$N_0 = 5,974 \cdot 10^5$$

Konec 9. dodatku

[zpět](#)

Dodatky 10

8. Po 100 letech obsahuje vzorek 120000 jader radioaktivního izotopu s poločasem rozpadu 17,76 let. Kolik jader obsahoval vzorek před 100 lety.

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$N_0 = N e^{\lambda t}$$

$$\frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \lambda = 1,23758 \cdot 10^{-9}$$

$$N_0 = 5,9451 \cdot 10^6$$

Konec 10. dodatku

[zpět](#)

Dodatky 11

9. V 50kg rudy je obsaženo 67% UO_2 a zbytek není aktivní. Kolik bude obsahovat uranu za 200 let?

$T_{1/2} = 68,81$ let. Předpokládejme, že jde o izotop 232.

$$m_{\text{UO}_2} = 50 \times 0,67 = 33,5 \text{ kg}$$

$$n_{\text{UO}_2} = \frac{m_{\text{UO}_2}}{M_{\text{UO}_2}} = \frac{33500}{232,03715 + 31,989828}$$

$$n_{\text{UO}_2} = 126,8809 \text{ mol}$$

$$N_U = 126,8809 \times 6,022 \cdot 10^{23}$$

$$N_U = 7,64076 \cdot 10^{25}$$

[zpět](#)

Dodatky 11

9. V 50kg rudy je obsaženo 67% UO_2 a zbytek není aktivní. Kolik bude obsahovat uranu za 200 let?

$T_{1/2} = 68,81$ let. Předpokládejme, že jde o izotop 232.

$$N_U = 7,64076 \cdot 10^{25}$$

$$\frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \lambda = 3,1942 \cdot 10^{-10}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N = 1,01903 \cdot 10^{25}$$

$$n = 16,9217 \text{ mol}$$

$$M_{\text{UO}_2} = 4,467 \text{ kg} \sim 8,934 \%$$

Dodatky 11

9. V 50kg rudy je obsaženo 67% UO_2 a zbytek není aktivní. Kolik bude obsahovat uranu za 200 let?

$T_{1/2} = 68,81$ let. Předpokládejme, že jde o izotop 232.

Nejde to jednodušeji?

Dodatky 11

9. V 50kg rudy je obsaženo 67% UO_2 a zbytek není aktivní. Kolik bude obsahovat uranu za 200 let?

$T_{1/2} = 68,81$ let. Předpokládejme, že jde o izotop 232.

$$m_{\text{UO}_2} = 50 \times 0,67 = 33,5 \text{ kg}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \lambda = 3,1942 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$$

$$m = m_0 e^{-\lambda t}$$

$$m = 4,467 \text{ kg}$$

Konec 11. dodatku

[zpět](#)

Dodatky 12

10. Výpočtem odhadněte, který izotop má delší poločas alfa rozpadu. Své tvrzení odůvodněte. ^{236}U nebo ^{226}U ?

$$M(^{236}\text{U})=236,045568 \quad M(^{226}\text{U})=226,029338$$

$$M(^4\text{He})=4,0026032 \quad M(^{232}\text{Th})=232,038055$$

$$M(^{222}\text{Th})=222,018468$$

$$\Delta M_{236} = 0,0049098$$

$$\Delta M_{226} = 0,0082668$$

$$\Delta E_{236} = 0,0049098uc^2$$

$$\Delta E_{226} = 0,0082668uc^2$$

$$\frac{\Delta E_{226}}{\Delta E_{236}} = 1,68373$$

$$T_{1/2} = 2,343 \cdot 10^7 \text{ let}$$

$$T_{1/2} = 269 \text{ ms}$$

Konec 12. dodatku

[zpět](#)

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

$2 \operatorname{tg} \vartheta_B = \frac{m_2}{m_1} = m_{21}$ $\rho V = nRT \Psi = \iint \vec{D} d\vec{S} = AD$ $H_\lambda = \frac{\Delta Me}{\Delta \lambda}$
 $\phi_e = \frac{L}{4\pi r^2}$ $\int \frac{\Delta \varphi}{2\pi} = \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{x_2 - x_1}{\lambda} S_2$ $V = c/\lambda$ $\Phi = NBS$
 $X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L = 2\pi f L$ $F_m = \vec{B} I l = \frac{\mu I_1 I_2}{2\pi d} l$
 $U = \frac{W_{AB}}{q} = |E_{PA} - E_{PB}|$ $I_m = 4n_1 n_2$ $F_q = \frac{m_1 m_2}{2\pi d}$
 $E = \frac{Ec}{\sin(\omega t + \phi)} dy$ $T_k = -\frac{1}{\hbar^2} (E - V_0)$
 $\sin \beta = \frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1}$ $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$
 $\phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t} \frac{m_1}{x} + \frac{m_2}{x'} = \frac{m_2 - m_1}{r}$
 $\vec{D} d\vec{S} = Q^*$
 $R = \frac{U}{I} F_v = \int \frac{F_n}{R}$
 $S I_m^2 = U_m^2 \left[\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{x_c} - \frac{1}{x_L} \right)^2 \right]$ $\lambda^* T = b$
 $p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$
 $u = U_m \sin \omega(t - \tau) = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$

Prezentace vznikla v rámci fondu rozvoje MU 1515/2014