

Elektromagnetické pole

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho^*$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

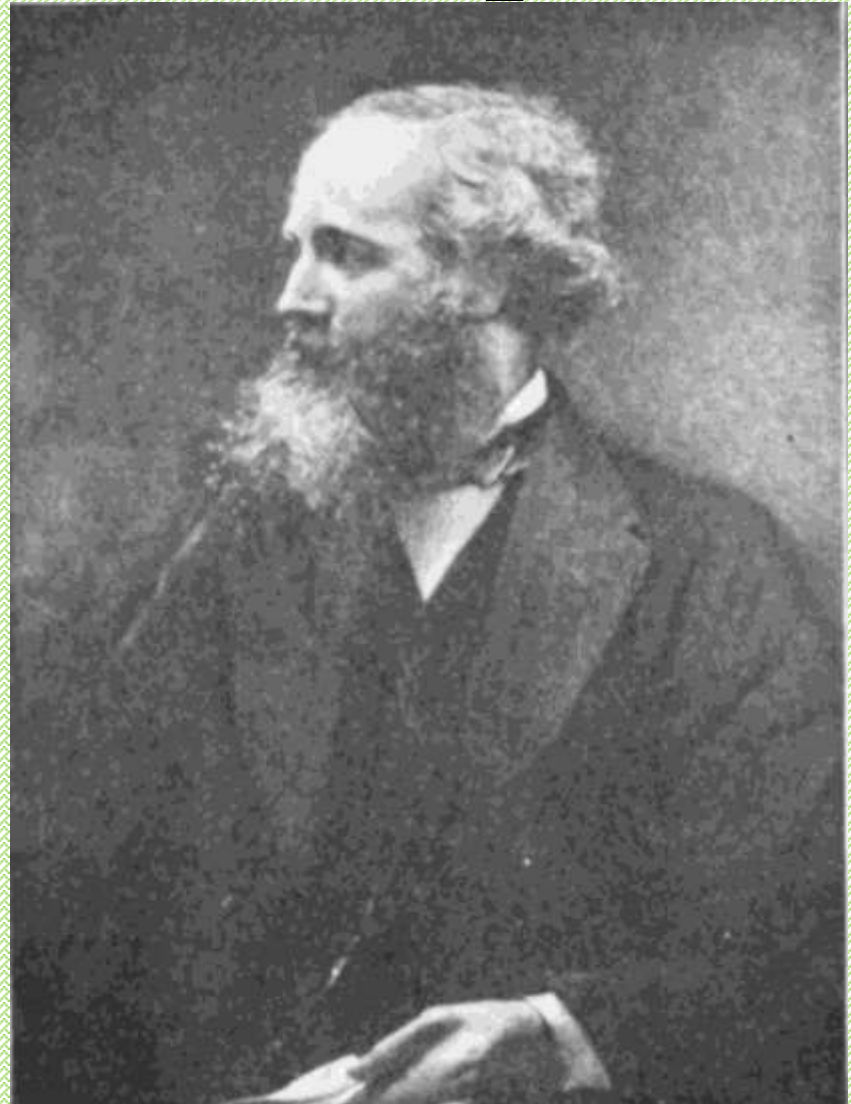
$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{i} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\vec{i} = \gamma \vec{E}$$

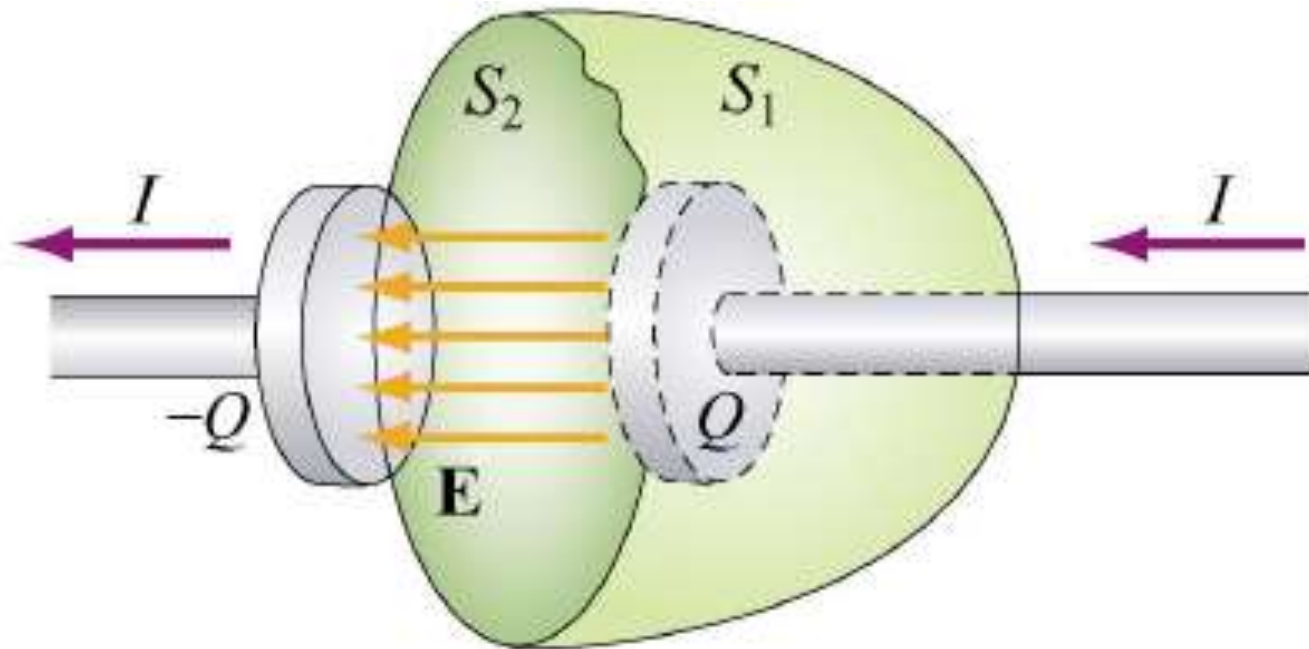
$$\vec{F} = Q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$



Maxwellův proud

$$\oint_{C(S)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I = \iint_S \vec{i} \cdot d\vec{S}$$



Halliday, Resnik, Walker: Fyzika

$$I = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dU}{dt} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{l} \frac{d}{dt} \left(\frac{Dl}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} \right) = A \frac{dD}{dt} = \frac{d(AD)}{dt} = \frac{d\Psi}{dt}$$

$$Q = CU \quad C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{l} \quad U = El = \frac{Dl}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}$$

$$\Psi = \iint_{S_2} \vec{D} \cdot d\vec{S} = AD$$

$$\oint_{C(S)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \left(\sum I + \sum \frac{d\Psi}{dt} \right)$$

$$\oint_{C(S)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \left(\sum I + \frac{d}{dt} \iint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} \right) = \iint_S \left(\vec{i} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_{C(S)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_S \left(\vec{i} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

Ampérův – Maxwellův zákon

Maxwellovy rovnice

$$\oiint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q^*$$

$$\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$\oint_{C(S)} \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_{C(S)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_S \left(\vec{i} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho^*$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{i} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\vec{i} = \gamma \vec{E}$$

$$\vec{F} = Q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

Rovinná elektromagnetická vlna

prázdny prostor $\rho^* = 0, \vec{i} = 0, \varepsilon_r = \mu_r = 1$

$$\nabla^2 \vec{E} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

$$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}$$

$$v^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 \mu_r}$$

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2} = \frac{\rho}{E} \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2}$$

$$c_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2} = \frac{1}{c_1^2} \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 u = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

Řešení vlnové rovnice

Halliday, Resnik, Walker: Fyzika

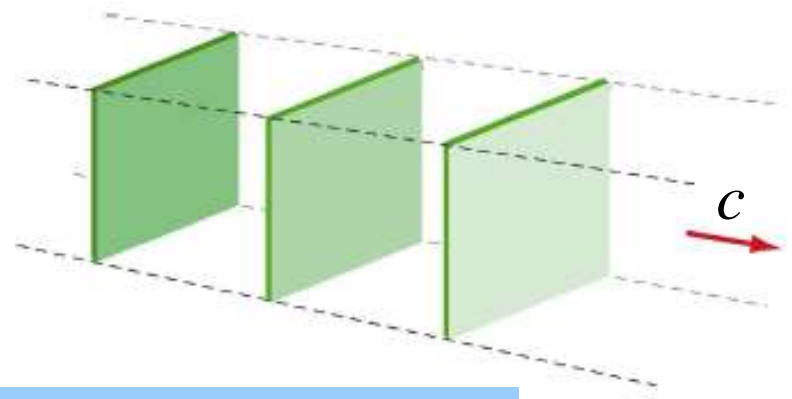
vlna: rovinná, lineárně polarizovaná, šířící se ve směru osy x

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial y} = \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial y} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial z} = 0$$

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{rot } \vec{B} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{\partial B_x}{\partial t} = 0$$

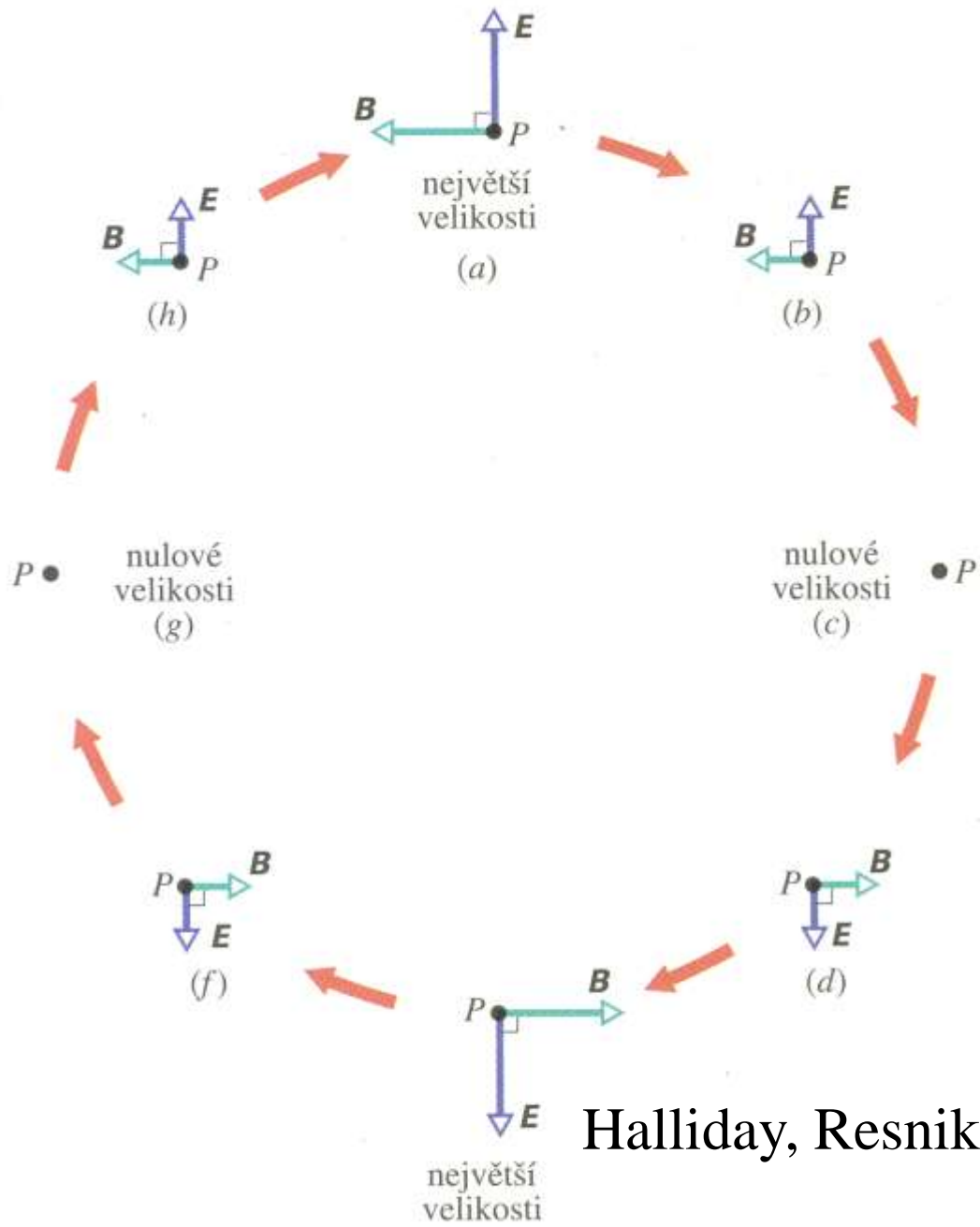
elektromagnetické vlnění je příčné



harmonická vlna:

$$\vec{E} = (0, E_y, 0), \quad E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$\left(\text{rot } \vec{E}\right)_y = \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -\frac{\partial B_y}{\partial t} = 0 \Rightarrow B_z = B_z(t) \Rightarrow \vec{E} \perp \vec{B}$$



Halliday, Resnik, Walker: Fyzika

$$\left(\text{rot } \vec{B}\right)_y = \frac{\partial B_x}{\partial z} - \frac{\partial B_z}{\partial x} = -\frac{\partial B_z}{\partial x} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial E_y}{\partial t}$$

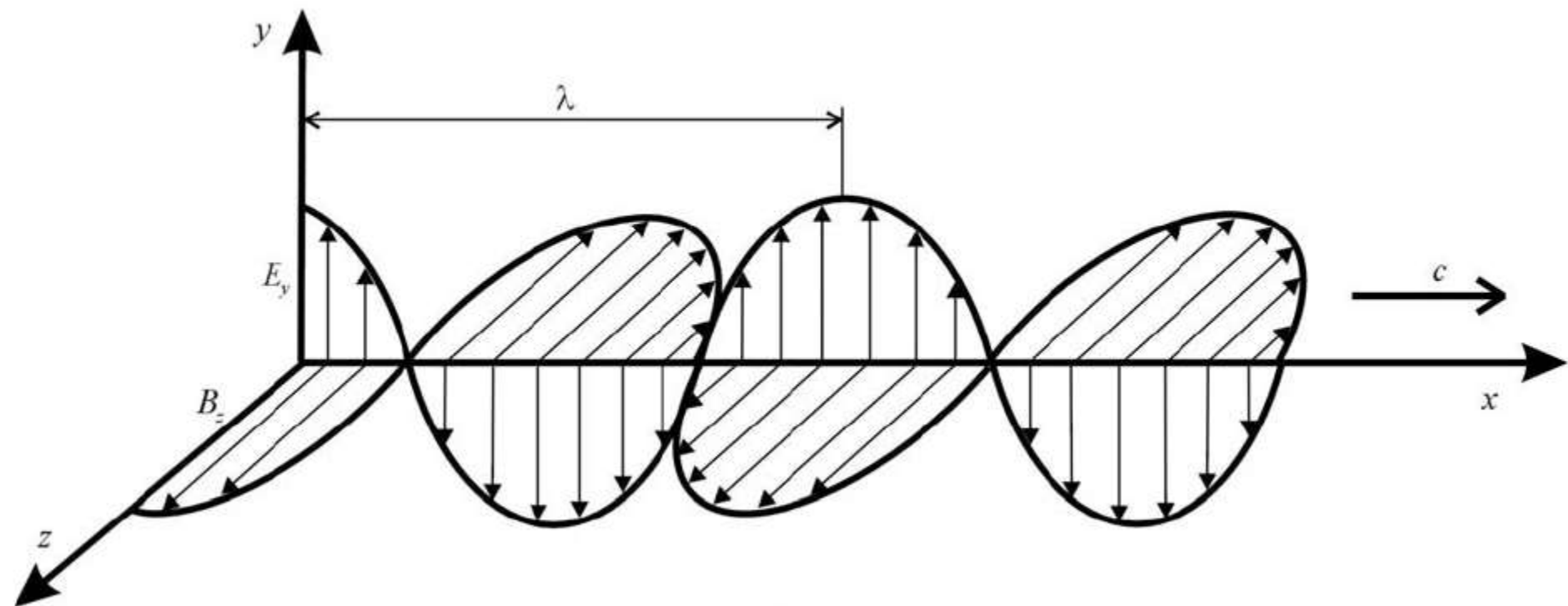
$$-\frac{\partial B_z}{\partial x} = -\varepsilon_0 \mu_0 \omega E_0 \cos(kx - \omega t)$$

$$\left(\text{rot } \vec{E}\right)_z = \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = \frac{\partial E_y}{\partial x} = -\frac{\partial B_z}{\partial t}$$

$$-\frac{\partial B_z}{\partial t} = kE_0 \cos(kx - \omega t)$$

$$B_z = \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} E_0 \sin(kx - \omega t) = B_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$\frac{E_y}{B_z} = \frac{E_0}{B_0} = \frac{E}{B} = c$$



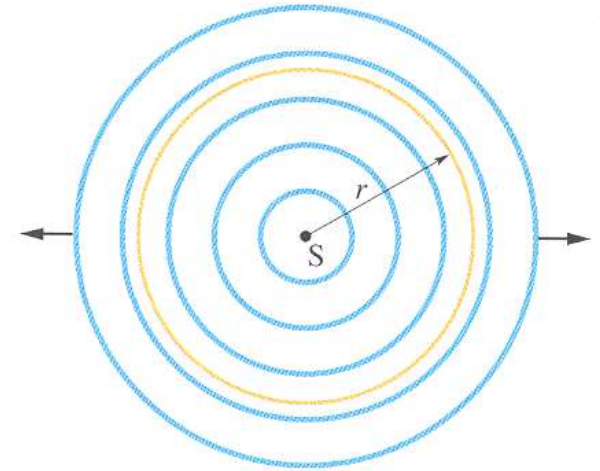
Přenos energie elektromagnetickým vlněním

(plošná) hustota toku energie $S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$$

Poyntingův vektor

$$P = \iint_A \vec{S} \cdot d\vec{A} \quad \text{zářivý tok}$$



harmonická elektromagnetická vlna ve vakuu

$$S = \frac{1}{\mu_0} E_0 B_0 \sin^2(kx - \omega t)$$

$$\bar{S} = \bar{I} = \frac{1}{2\mu_0} E_0 B_0 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_0^2 = \frac{1}{2\mu_0} c B_0^2$$

Halliday, Resnik, Walker: Fyzika

Hustota energie elektromagnetického pole

$$w = w_e + w_m$$

$$w = \frac{1}{2} (\vec{E} \cdot \vec{D} + \vec{H} \cdot \vec{B})$$

$$\bar{I} = c\bar{w} = \bar{S}$$

$$w = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} \quad \text{ve vakuu}$$

Hybnost elektromagnetické vlny \vec{p}

Hybnost elektromagnetické vlny \vec{p}

$$p = \frac{W}{c}$$

tlak záření p_{rad}

úplná absorpce $p_{rad} = \frac{S}{c}$

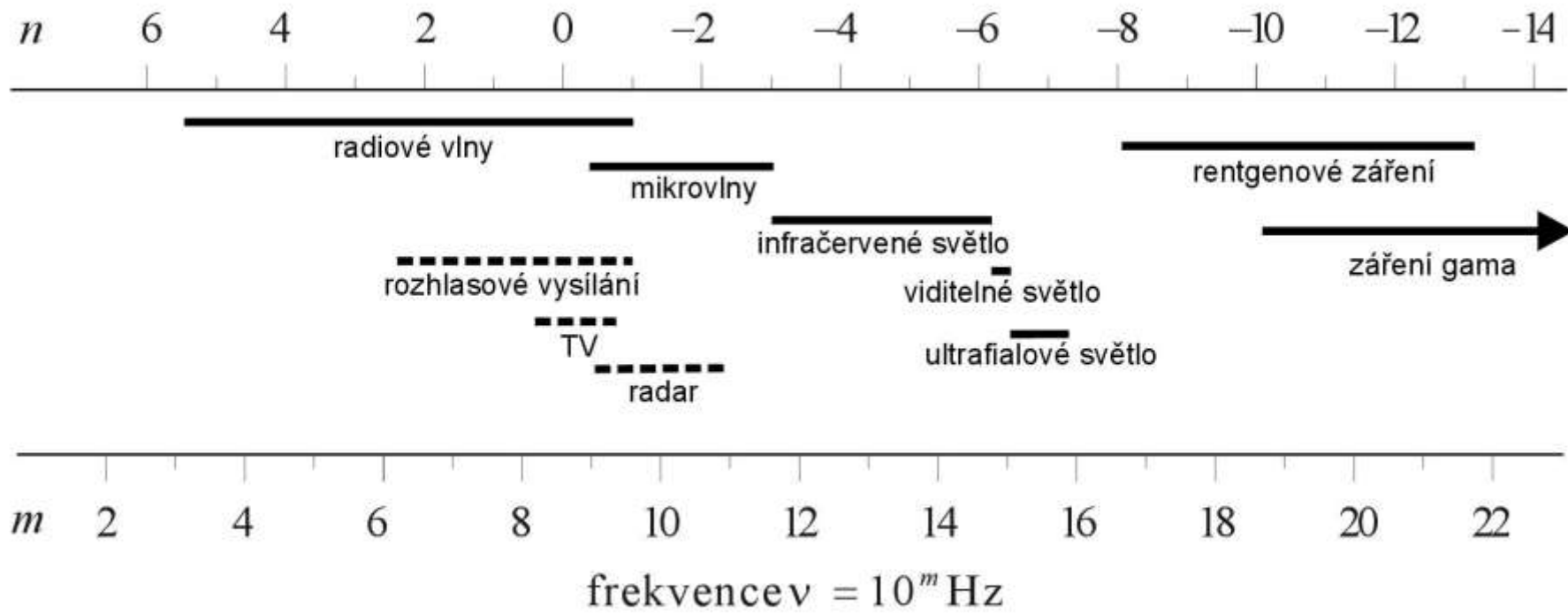
úplný odraz $p_{rad} = \frac{2S}{c}$

reálné těleso $\frac{S}{c} < p_{rad} < \frac{2S}{c}$

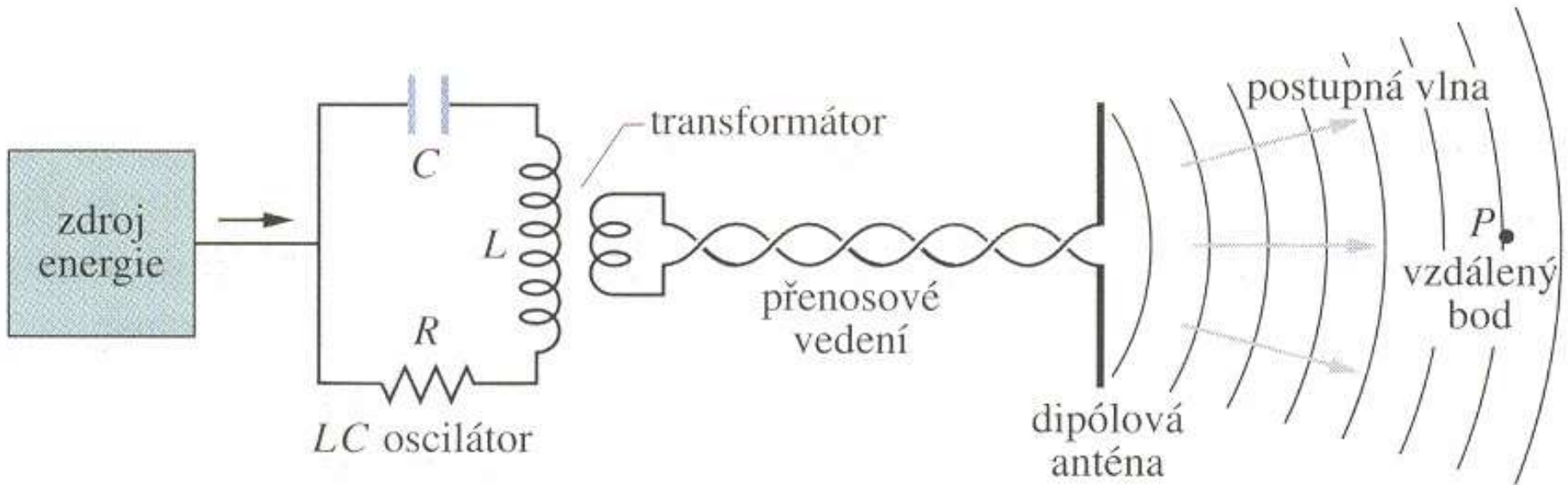
Spektrum elektromagnetických vln

rádiové vlny	$10^{-1} \text{ m} - 10^5 \text{ m}$
mikrovlny	$10^{-3} \text{ m} - 0,3 \text{ m}$
infračervené záření	$0,7 \cdot 10^{-6} \text{ m} - 10^{-3} \text{ m}$
viditelné světlo	$(0,35 - 0,75) \cdot 10^{-6} \text{ m}$
ultrafialové záření	$(0,06 - 0,35) \cdot 10^{-6} \text{ m}$
záření X	$10^{-8} \text{ m} - 10^{-13} \text{ m}$
záření gama	$10^{-14} \text{ m} - 10^{-10} \text{ m}$

vlnová délka $\lambda = 10^n m$



Obr. 5.3



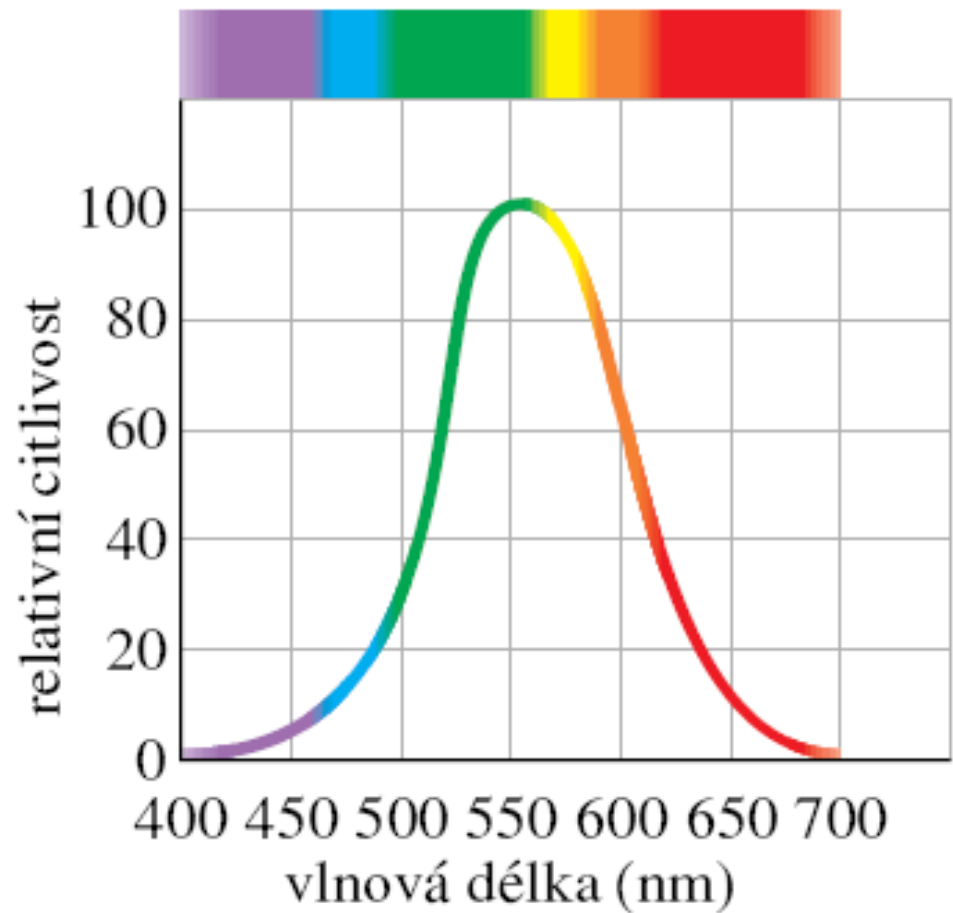
Halliday, Resnik, Walker: Fyzika

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1341-obrazova-a-zvukova-technika>

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1386-modulace-analogovym-signalem>

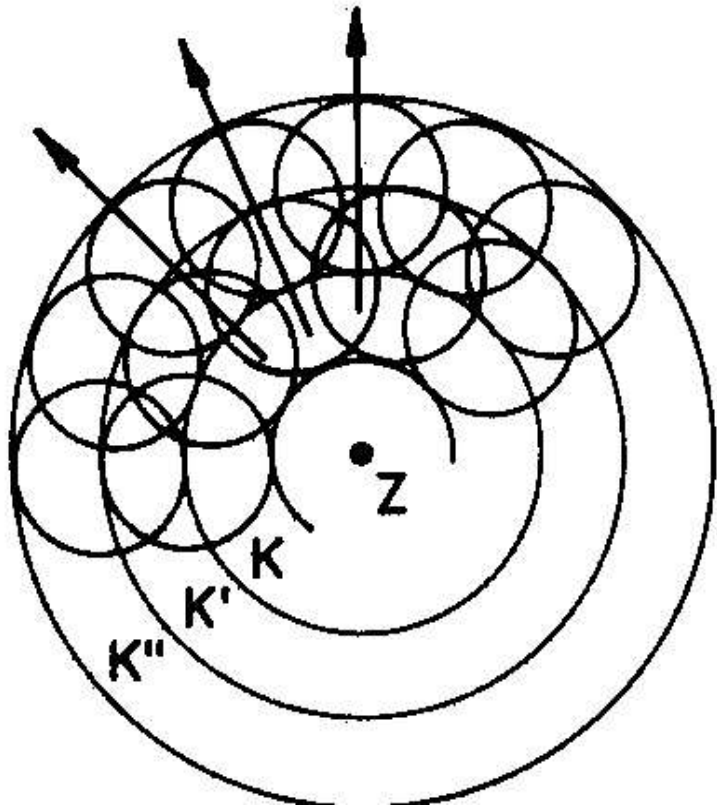
[Amplitudová modulace](#)

[Frekvenční modulace](#)

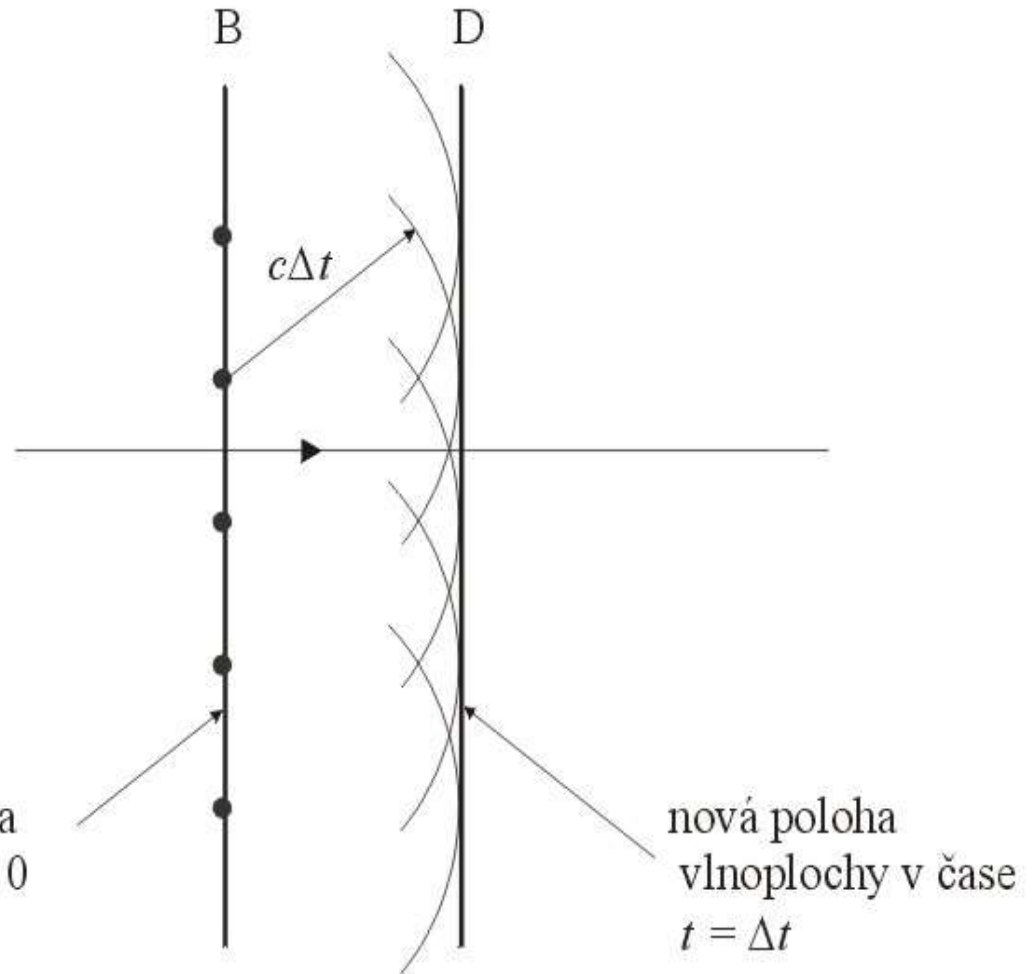


Halliday, Resnik, Walker: Fyzika

Huygensův princip



vlnoplocha
v čase $t = 0$

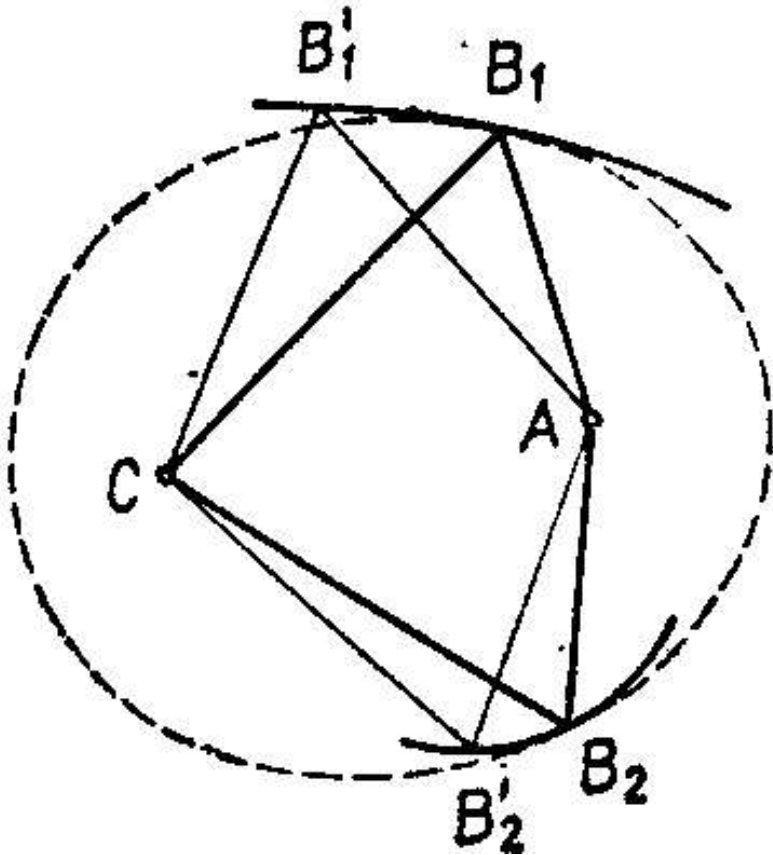


nová poloha
vlnoplochy v čase
 $t = \Delta t$

<http://fyzika.jreichl.com/main.multimedia/list/?type=video>

Fermatův princip

Světlo se v prostoru šíří z jednoho bodu do druhého po takové dráze, že doba potřebná pro proběhnutí této dráhy má extrémní hodnotu.



$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$$

absolutní index lomu

Optika

- geometrická
- vlnová
- kvantová