

A photograph of a car driving on a wet, two-lane road that stretches into the distance. A vibrant rainbow is visible in the sky, its colors reflecting on the wet pavement. The road is flanked by dense evergreen forests, and the sky is a clear, pale blue. The overall scene is serene and evokes a sense of a journey through nature.

Elektromagnetické vlny.

Přednášející:

RNDr. František Adamec, CSc.

Ústav fyziky a biofyziky JČU v Českých Budějovicích

Na základě učebnic:

Halliday, Resnick

Fundamentals of Physics 8th Edition, Wiley 2005

Feynman, Leighton, Sands

Feynmanovy přednášky z fyziky

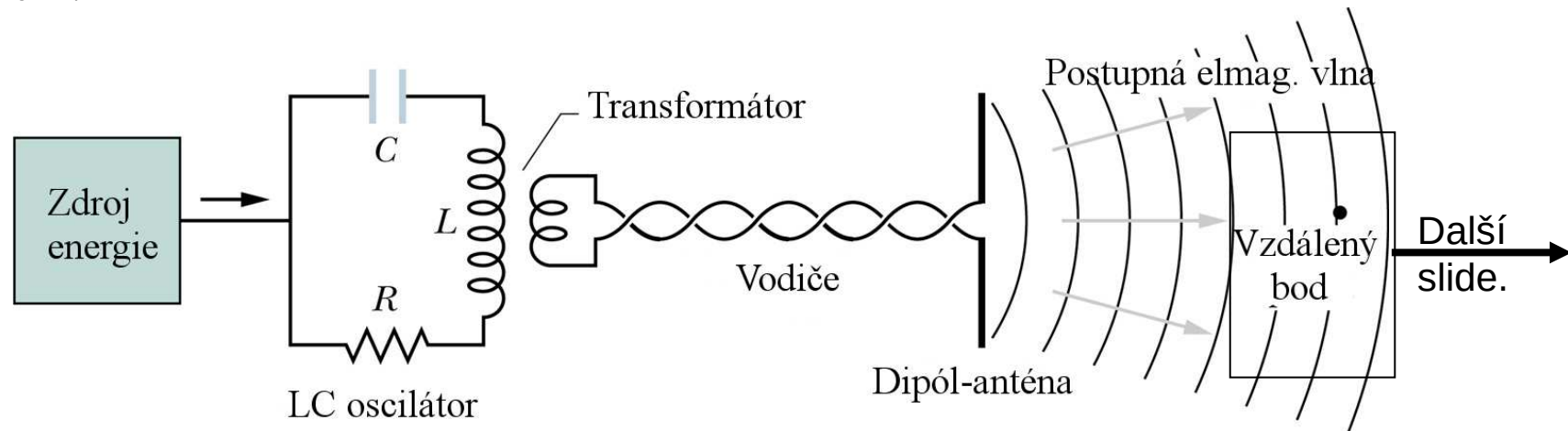
Fragment 2000

Eugene Hecht, Optics 4th edition

Postupná elektromagnetická (EM) vlna.

Zdrojem RTG záření, γ záření, ultrafialového záření, viditelného a infračerveného záření jsou děje na atomární úrovni. Zdrojem radiových vln jsou elektronická zařízení.

LRC oscilátor je zdrojem proměnného elektrického proudu, který následně vyvolá oscilující elektromagnetické pole šířící se prostorem jako elektromagnetické (EM) vlnění.

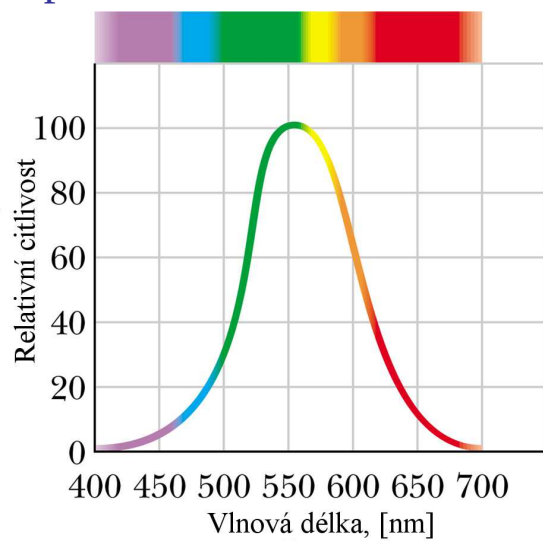


Frekvence kmitání:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

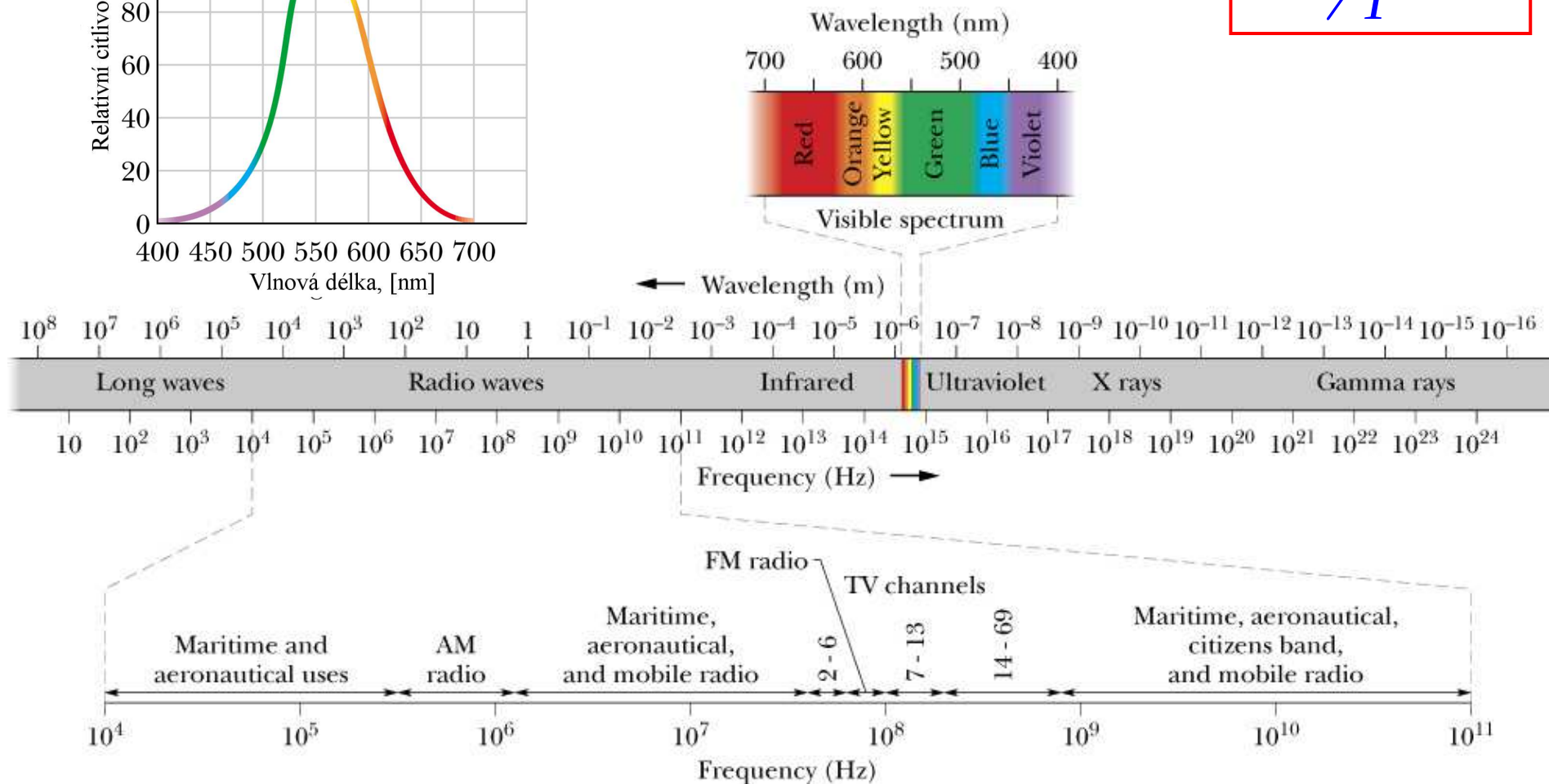
Spektrum elektromagnetických vln.

Spektrální závislost relativní spektrální citlivosti oka.

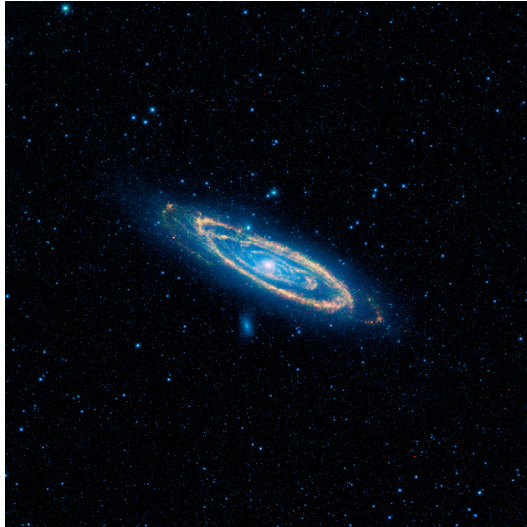


Mezi rychlostí c elektromagnetické vlny, vlnovou délkou λ a frekvencí ν platí vztah:

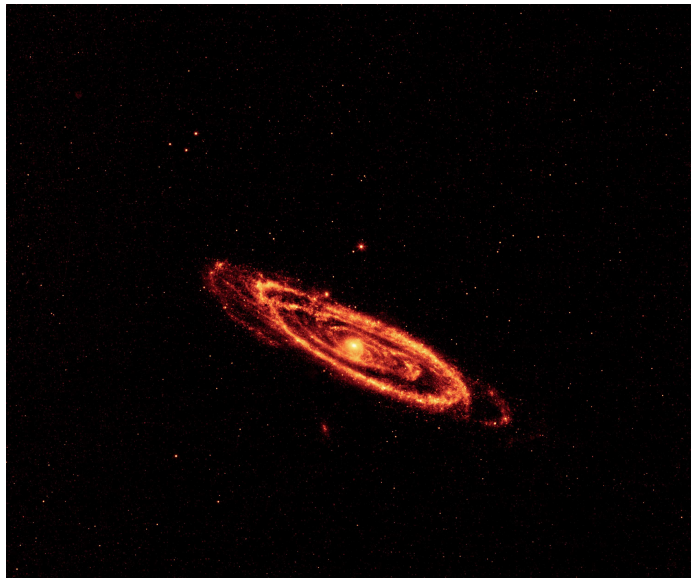
$$c = \lambda / T = \lambda \nu$$



Galaxie M31 Andromeda.



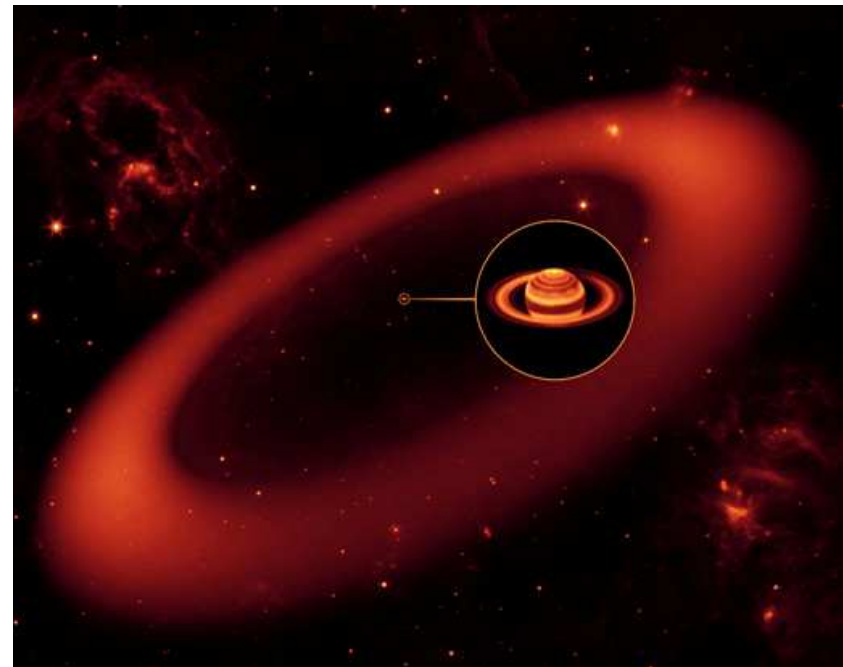
3.4 a 4.6-mikronů modrá; 12-mikronů zelená; 22-mikronů červená



12 micronů oranžová, 22 micronů červená



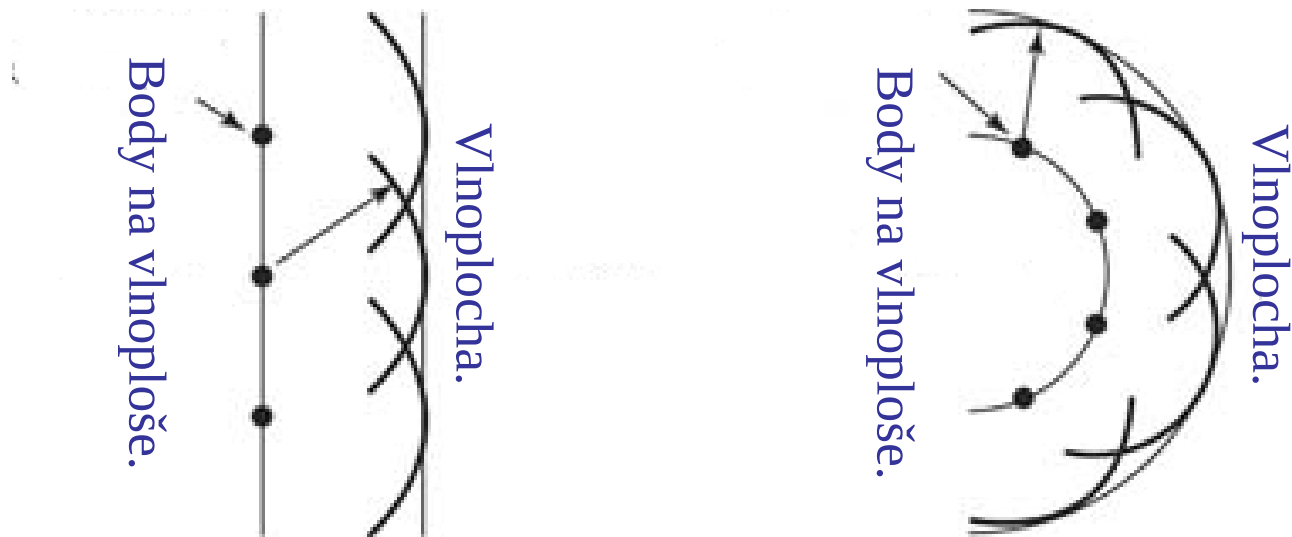
Ultrafialová oblast



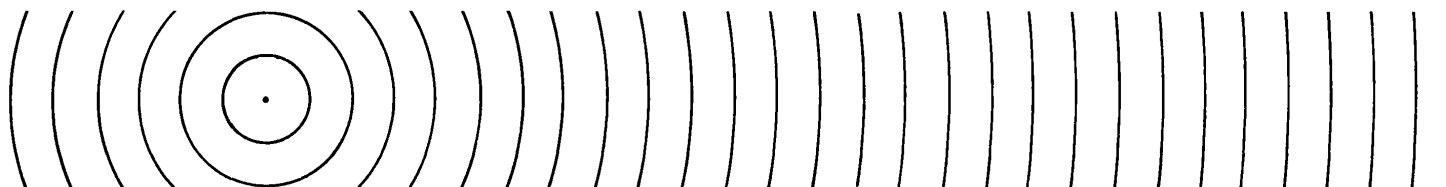
Saturn super prstenec.

Kulová a rovinná vlnoplocha.

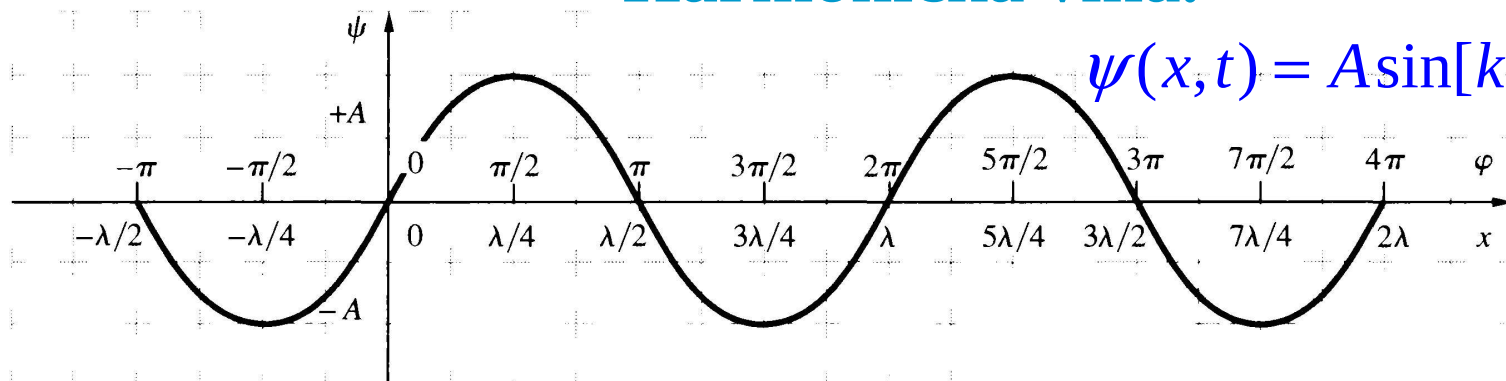
Vlnoplocha je myšlená plocha (množina bodů) proložená body se stejnou fází postupující vlny. Jednotlivé body na vlnoploše jsou zdroji vlnění.



Tvar vlnoplochy závisí na vzdálenosti od zdroje vlnění. V blízkosti zdroje jsou vlnoplochy kulovými plochami – **sférická vlna**, naopak ve velké vzdálenosti můžeme zanedbat zakřivení vlnoplochy a uvažovat vlnu jako **rovinnou vlnu**.



Harmonická vlna.



$$\psi(x, t) = A \sin[k(x \mp ut) + \phi]$$

$$u = \lambda \nu$$

Periodou vlnění v prostoru je **vlnová délka**, periodu v čase pak **perioda**. Veličinu k nazýváme **vlnové číslo**, veličinu κ **vlnočet**, veličinu ν nazýváme **frekvence** vlnění, 2π násobek frekvence označujeme **úhlová frekvence** ω . Fázové posunutí označujeme **počáteční fáze** ϕ , rychlost šíření fáze vlny ϕ nazýváme **fázová rychlost** u .

$$\phi = (kx \mp \omega t + \phi)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad \kappa = \frac{1}{\lambda}, \quad \nu = \frac{1}{T}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Různé formy zápisu harmonické vlny:

$$\psi = A \sin k(x \mp ut) \quad \psi = A \sin 2\pi(\kappa x \mp \nu t) \quad \psi = A \sin(kx \mp \omega t)$$

$$\psi = A \sin 2\pi\left(\frac{x}{\lambda} \mp \frac{t}{T}\right) \quad \psi = A \sin 2\pi\nu\left(\frac{x}{u} \mp t\right)$$

Rychlost šíření a energie elektromagnetické vlny.

Rychlost šíření fáze elektromagnetické vlny závisí na permitivitě a permeabilitě prostředí. Ve vakuu je rychlost elektromagnetické vlny dána permitivitou a permeabilitou vakua:

$$\begin{aligned}\epsilon_0 &= 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ s}^2 \text{ C}^2 \text{ m}^{-3} \text{ kg}^{-1} \\ \mu_0 &= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ m kg C}^{-2}\end{aligned} \rightarrow \epsilon_0 \mu_0 \approx 11,12 \cdot 10^{-18} \text{ s}^2 \text{ m}^{-2}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx \frac{1}{\sqrt{11,12 \cdot 10^{-18} \text{ s}^2 \text{ m}^{-2}}} \approx 3 \cdot 10^9 \text{ ms}^{-1}$$

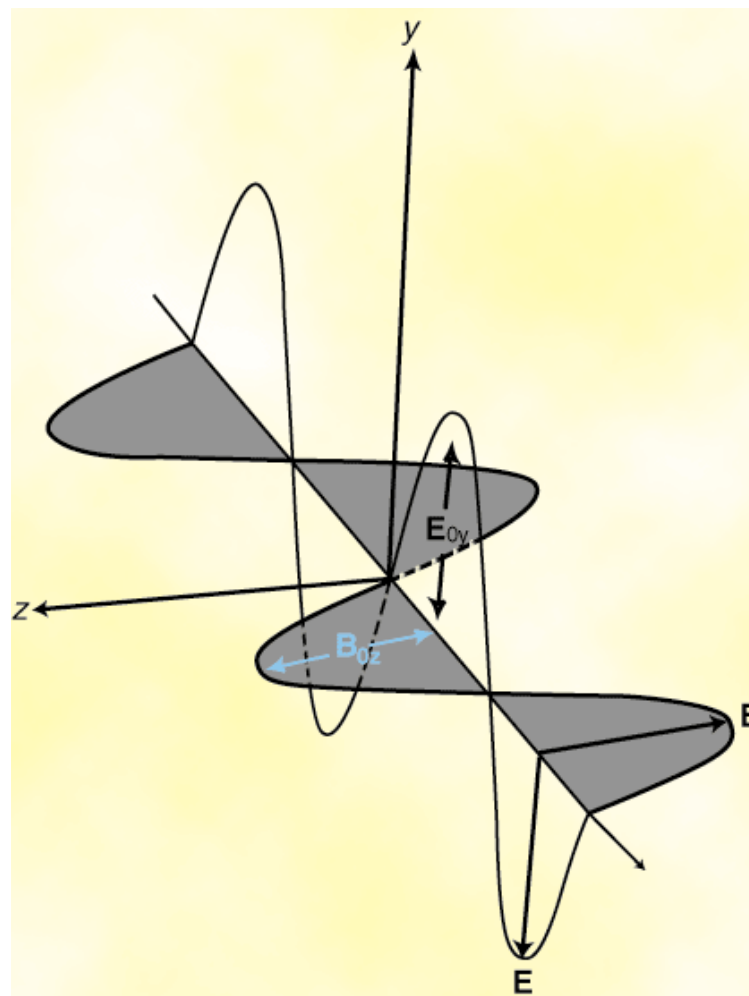
Elektromagnetická vlna přenáší energii S jejíž velikost je dána vztahem:

$$S = \frac{1}{\mu_0} EB$$

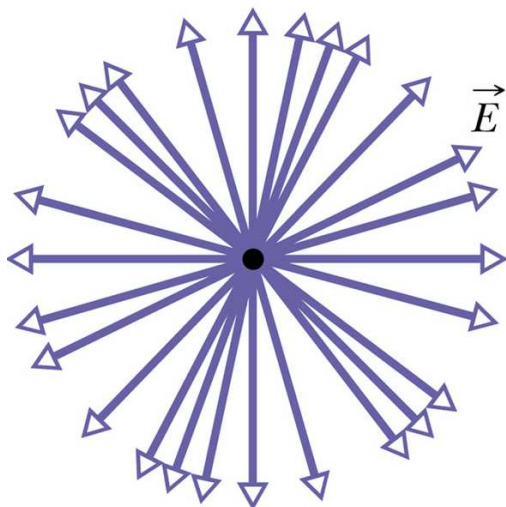
Mezi velikostmi intenzity elektrického pole E a magnetické indukce B platí vztah:

$$E = cB,$$

Elektromagnetická vlnění je příčné vlnění.

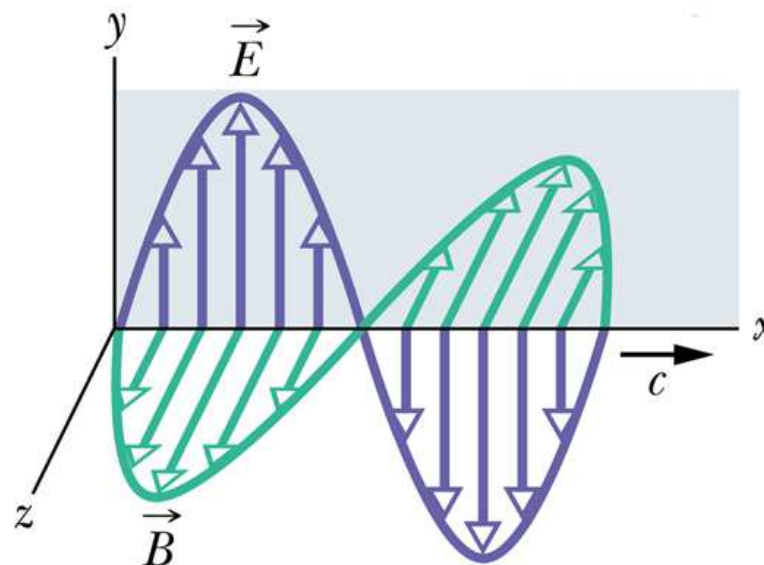
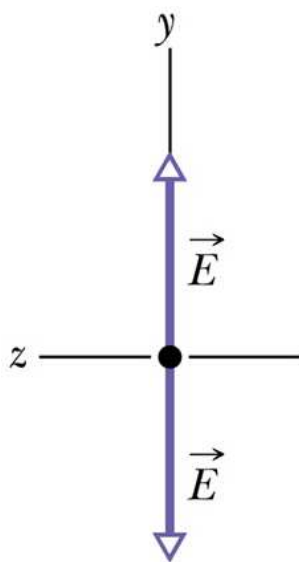


Polarizovaná elektromagnetická vlna.



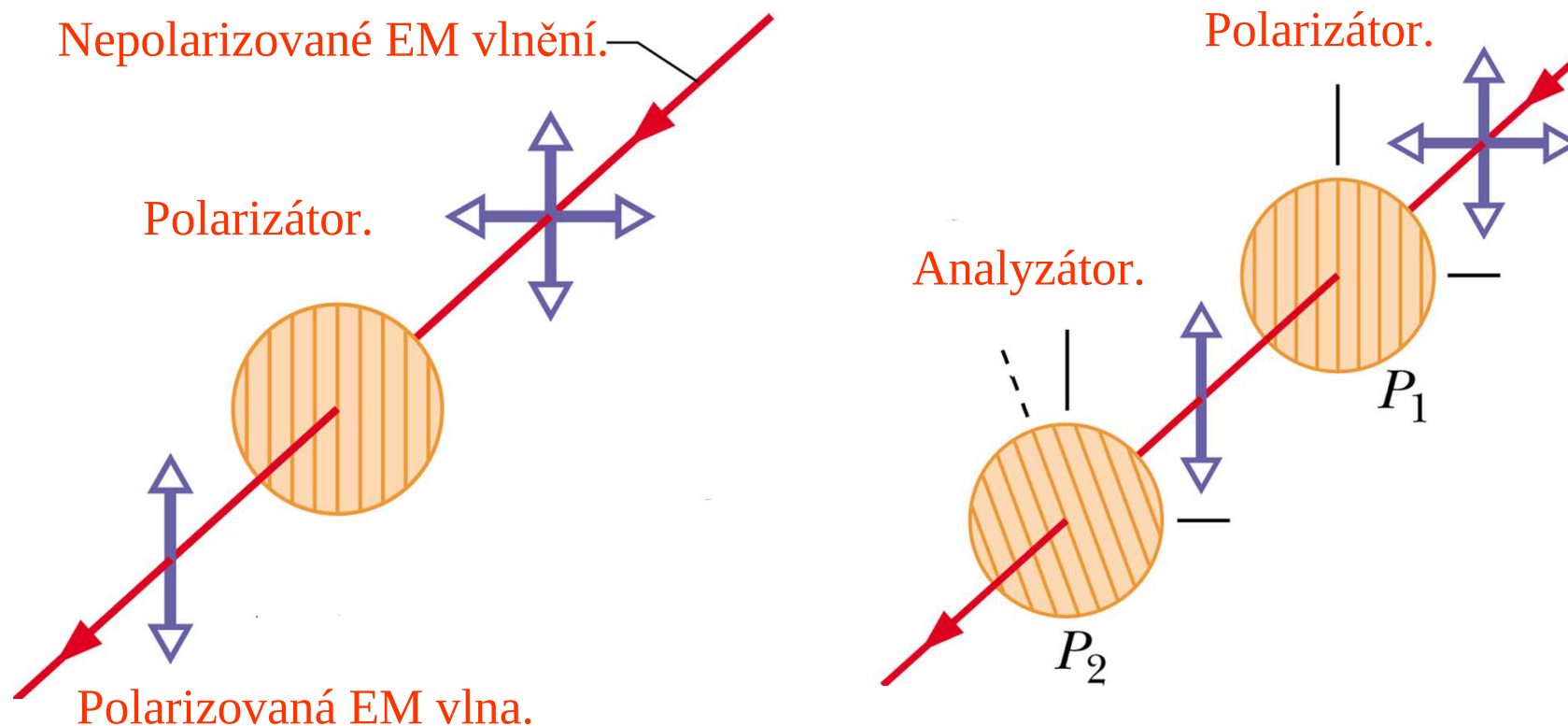
Směr vektoru elektrické intenzity $\vec{E}$ postupné elektromagnetické vlně míří obecně v libovolném směru kolmém na směr šíření vlny – **vlnění je nepolarizované**.

Kmitá-li vektor elektrické $\vec{E}$ pouze v jednom směru kolmém na směr šíření vlny pak je – **vlnění polarizované**.



Polarizace elektromagnetické vlny.

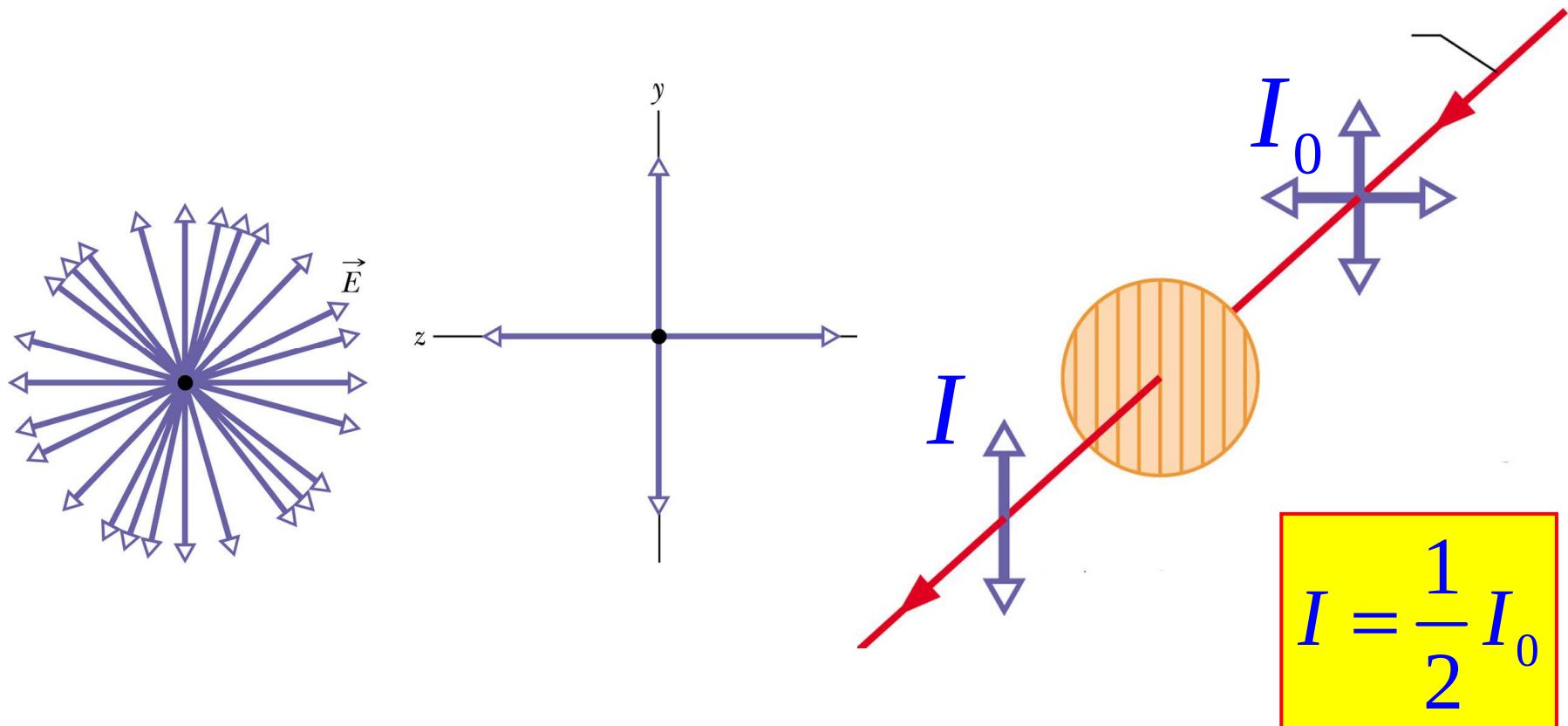
Polarizaci elektromagnetické vlny lze provést několika různými způsoby. Prvek, který vybírá z nepolarizované EM vlny jeden směr v němž kmitá vektor **E** nazýváme **polarizátor**.



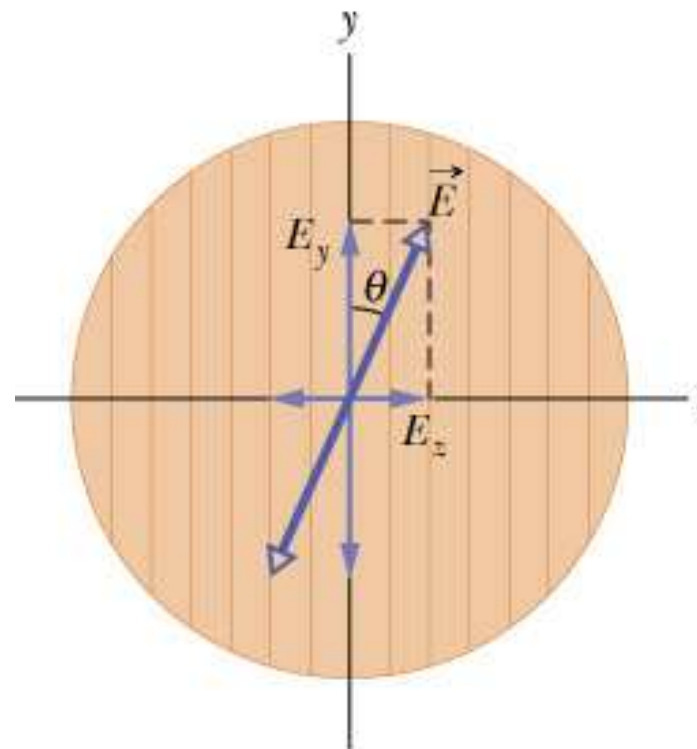
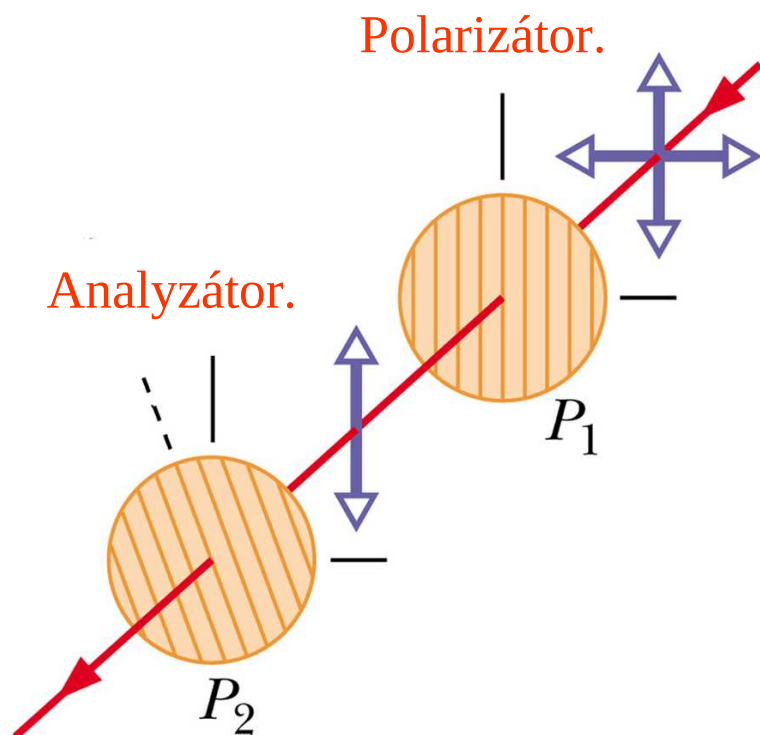
Jak zjistím, jaká je polarizace elektromagnetické vlny? Použiji druhý polarizátor – **analyzátor** – a najdu polohu, kde je intenzita procházející EM vlny maximální.

Intenzita polarizované elektromagnetické vlny.

Nepolarizovanou vlnu můžeme zobrazit tak, že pro každý směr kmitů rozložíme vektor $\mathbf{E}$ do složek E_y a E_z . Pak předpokládejme, že nepolarizované EM vlnění prochází polarizátorem orientovaným s osou y . Intenzita elektromagnetického vlnění za polarizátorem pak bude dána pouze součtem složek E_y od všech směrů v nichž vektor $\mathbf{E}$ kmitá. Složka ve směru osy z je potlačena.



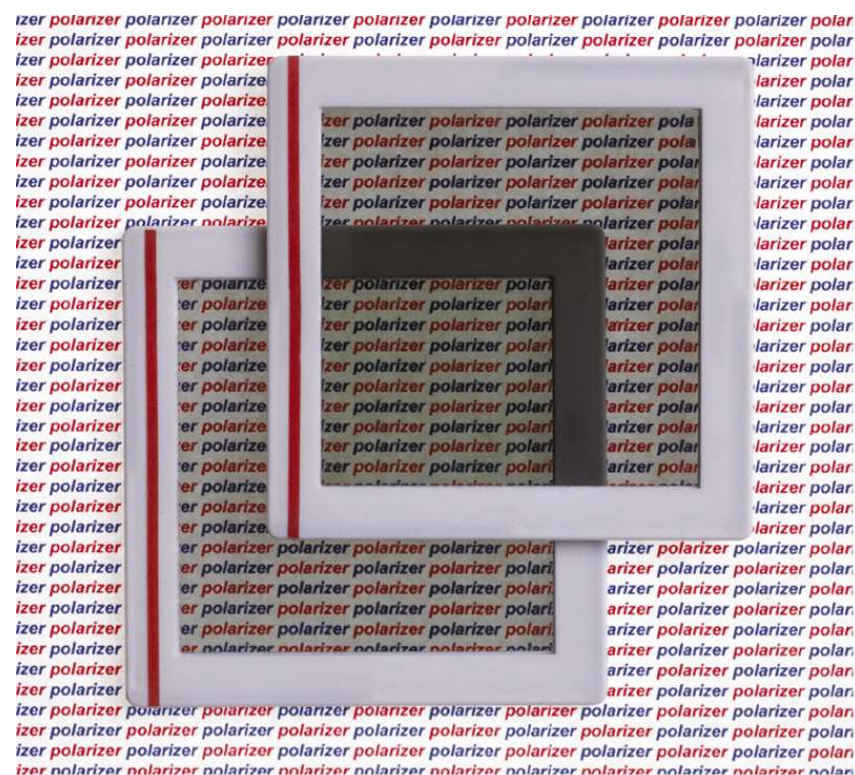
Intenzita polarizované elektromagnetické vlny.



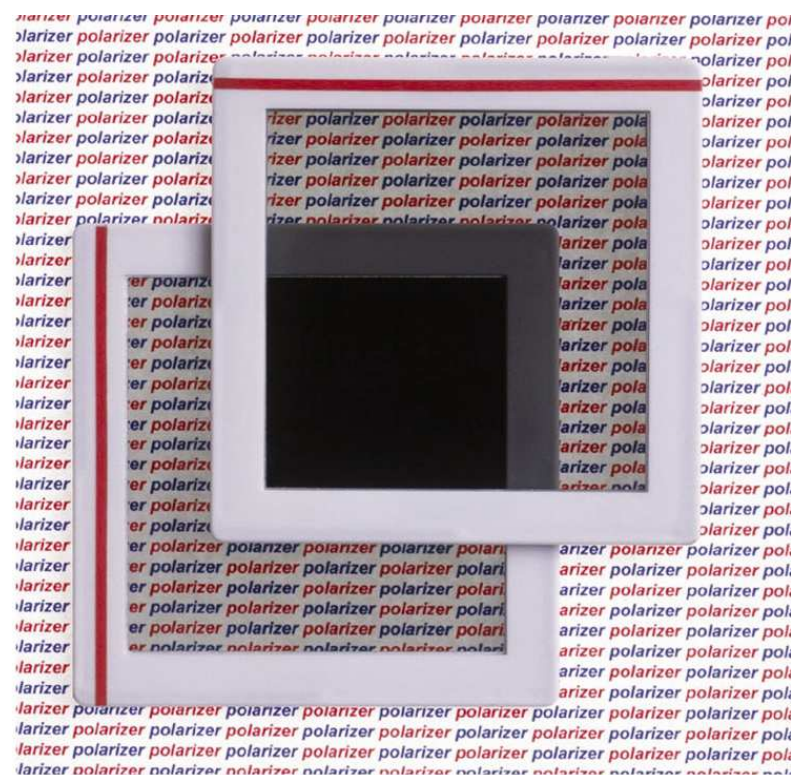
$$E = E_y = E \cos \theta$$

Intenzita EM za analyzátozem je dána vztahem:

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$



(a)



(b)

- a) polarizační směry obou polarizátorů jsou orientovány shodně, světlo prochází.
- b) polarizační směry jsou na sebe kolmé, světlo zkříženými polarizátory neprochází.