

Vznik a šíření elektromagnetických vln

Hlavní body

- “Rozšířený Coulombův zákon“
- Elektromagnetická vlna ve vakuu
- Zdroje elektromagnetických vln
- Přehled elektromagnetických vln
- Foton – vlna nebo částice
- Fermatův princip
- Aplikace FP – zákon odrazu
- Aplikace FP – zákon lomu
(index lomu + virtuální absorpce, princip neurčitosti, disperze)
- Další aplikace FP
- Jak to vlastně funguje?

“Rozšířený Coulombův zákon” -vznik elektromagnetické vlny

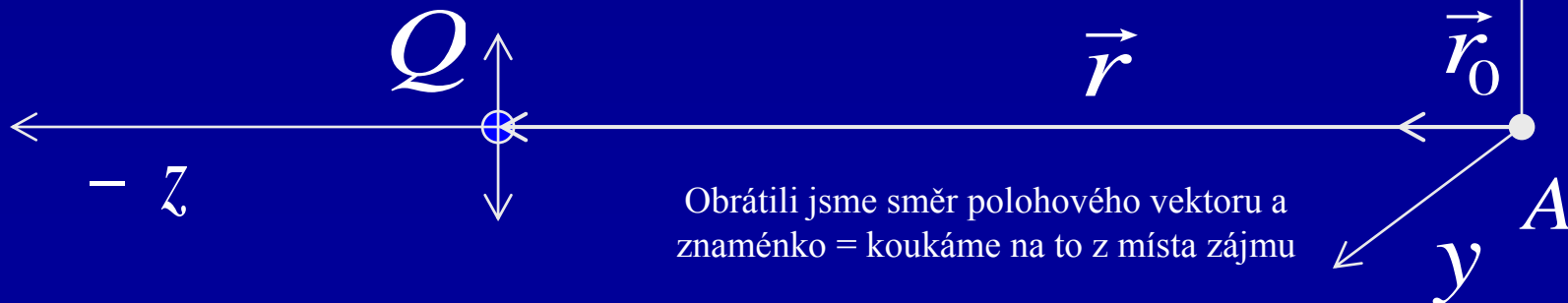
$$t' = \left(t - \frac{r'}{c} \right)$$

Zpoždění kvůli
konečné rychlosti
šíření – měli
bychom mít
“čárkovanou”
soustavu

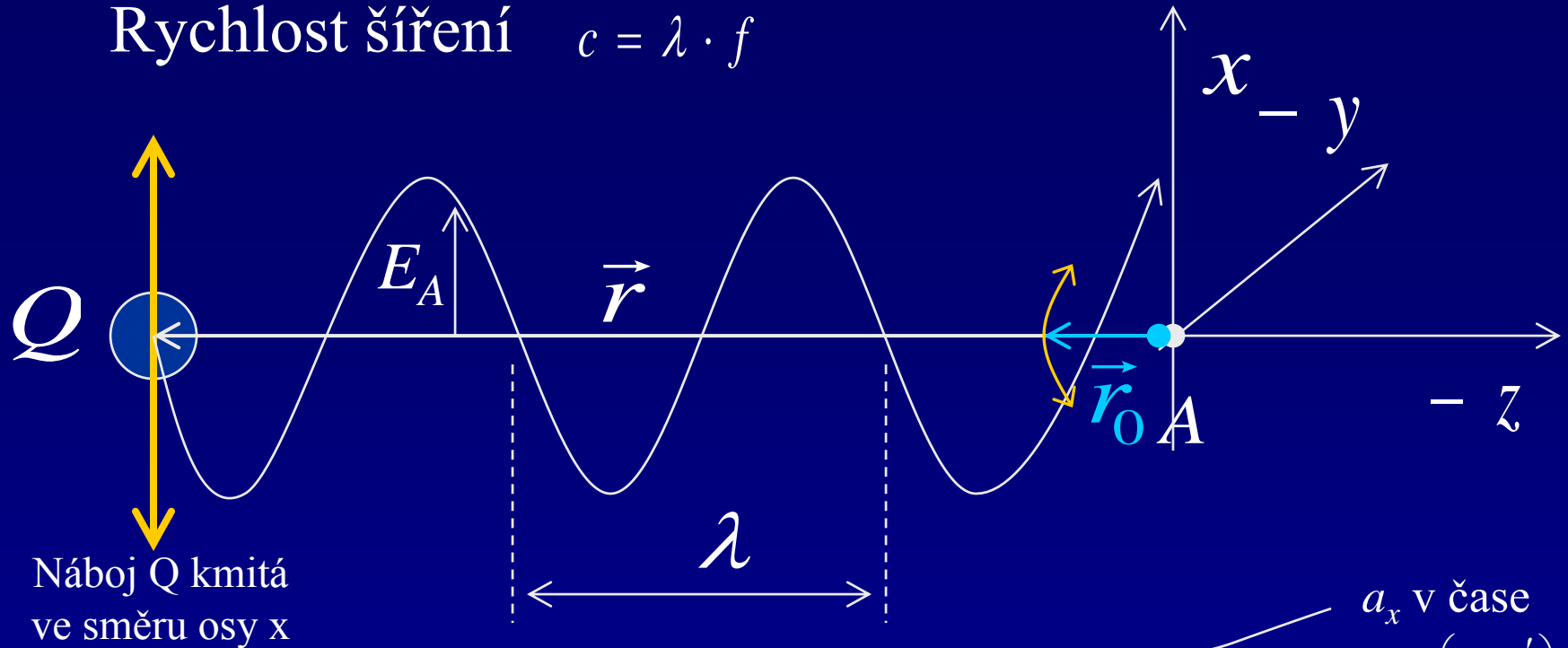
$$\vec{E}_A = \frac{-Q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{\vec{r}_0}{r^2} + \overset{\text{zpoždění}}{\left(\frac{r}{c} \right)} \overset{\text{rychlost změny}}{\frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{r}_0}{r^2} \right)} + \frac{1}{c^2} \frac{d^2}{dt^2} (\vec{r}_0) \right]$$

Pro velkou vzdálenost
máme pouze časově
proměnné elektrické pole

$$\vec{E}_A = \frac{-Q}{4\pi\epsilon_0 c^2} \left(\frac{d^2 \vec{r}_0}{dt^2} \right)$$



Rychlost šíření $c = \lambda \cdot f$



Pro velká r a malý pohyb
 $t' \rightarrow konst.$ $r' \rightarrow konst.$

$$\vec{E}_A(t) = \frac{-Q}{4\pi\epsilon_0 c^2} \frac{d^2 \vec{r}_0(t')}{dt^2} = \frac{-Q}{4\pi\epsilon_0 c^2 z'} \frac{d^2 x(t')}{dt'^2} = \boxed{\frac{-Q}{4\pi\epsilon_0 c^2 z'} a_x(t')}$$

$r' = z'$

$$\vec{r}_0 = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ r \\ r \\ r \end{pmatrix}$$

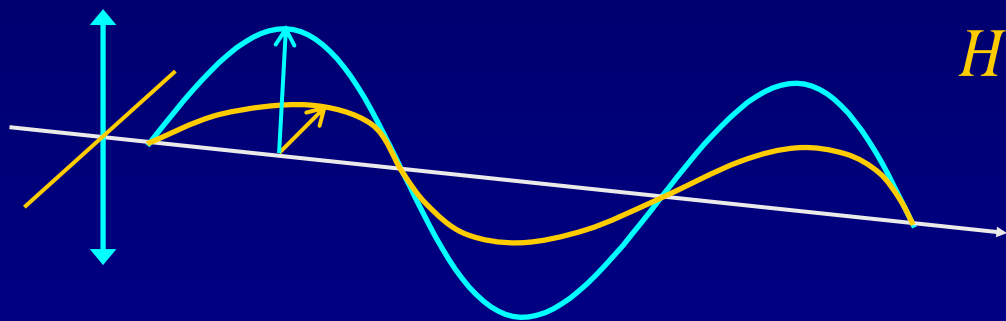
Za zrychlení si můžeme dosadit z kmitavého pohybu – sinusový průběh

a_x v čase
 $t' = \left(t - \frac{r'}{c} \right)$

Elektromagnetická vlna

Elmag. vlna vzniká zrychleným pohybem náboje

Pro harmonický pohyb:



$$H(x, t) = H_0 \sin \omega \left(t \mp \frac{x}{c} \right)$$

H je kolmé na E

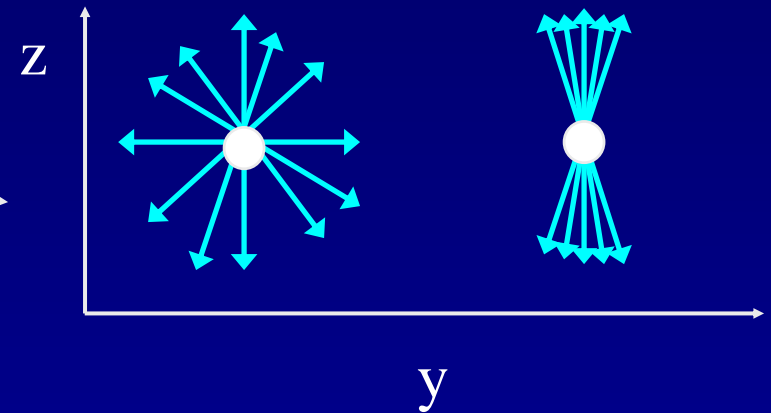
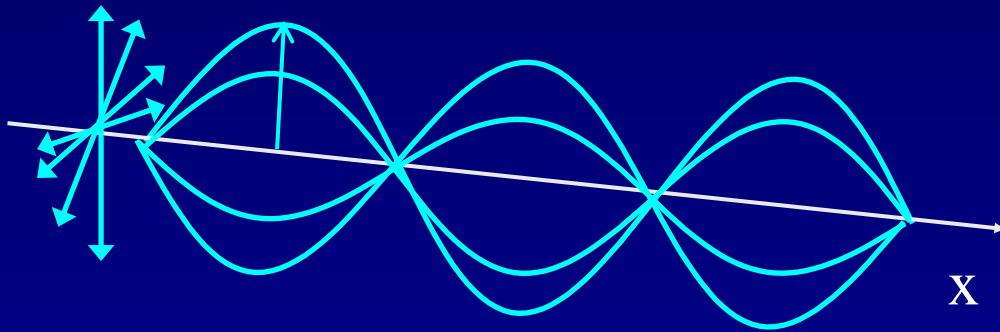
$$E(x, t) = E_0 \sin \omega \left(t \mp \frac{x}{c} \right)$$

Rychlost šíření elmag. vlny c je rovna $\sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Elmag. vlna představuje v daném místě proměnné elektrické a magnetické pole

Elektromagnetická vlna - polarizace

Elmag. vlna obecně nevykazuje žádnou směrovost v rovině kolmé na směr šíření (y - z) – není polarizovaná



$$E(x, t) = E_0 \sin \omega \left(t \mp \frac{x}{c} \right)$$

Vlnu lze polarizovat tvarem vysílače, polarizačními filtry, odrazem. Polarizace je zřídka stoprocentní. Lasery produkují vysoce polarizované světlo.

Zdroje elektromagnetického vlnění

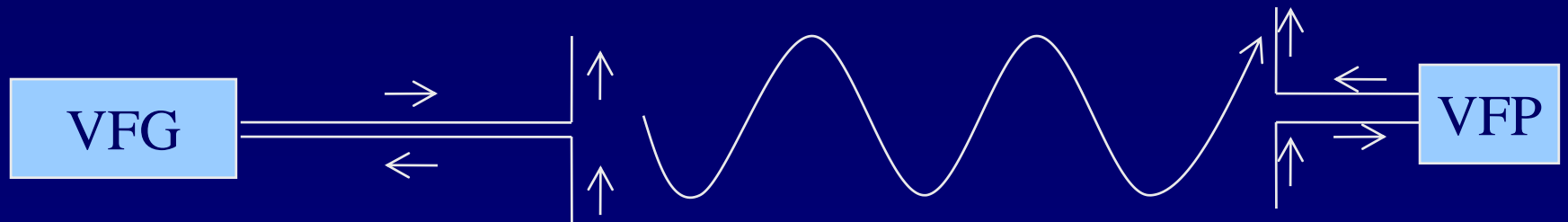
Zdojem EMV je zrychlený pohyb náboje

(nebo časově proměnné elektrické pole, které pohyb vyvolává)

Konkrétními zdroji jsou např.

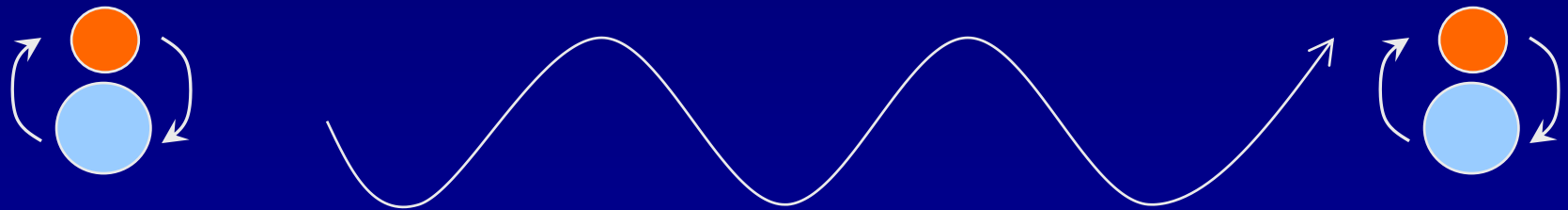
- Dipolová anténa
- Pohyb polarizované molekuly
- Energetické změny v atomech, popř. pevných látkách

Dipolová anténa

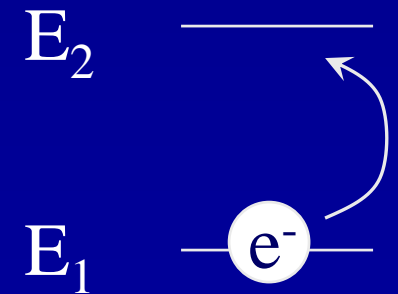
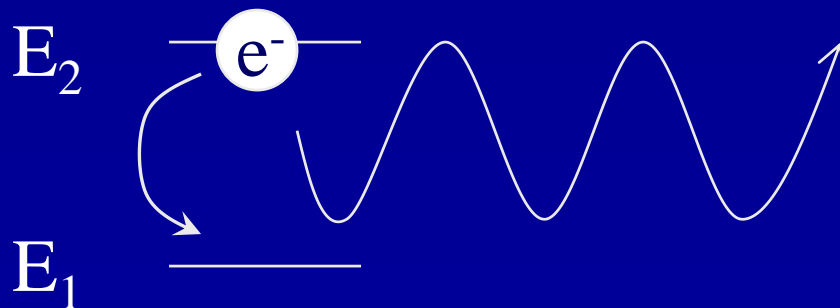


Přijímač


Rotace polarizované molekuly



Energetické změny v atomech



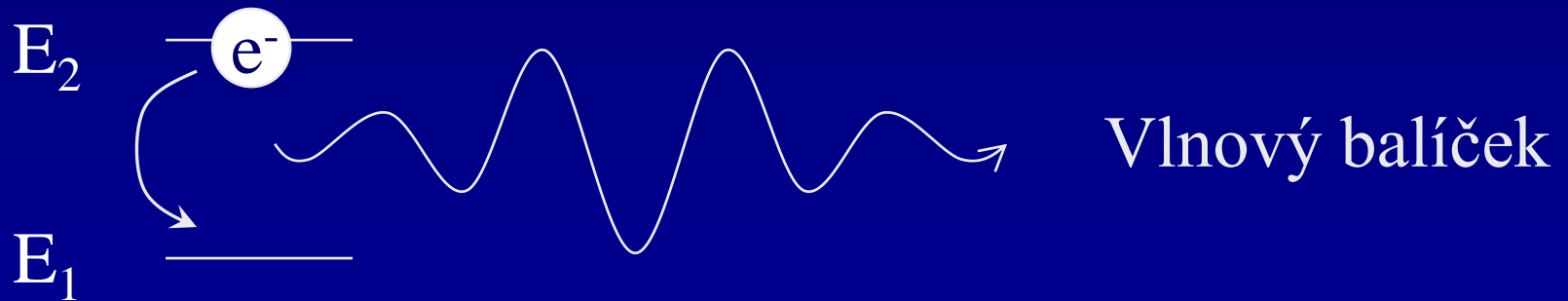
Přehled elektromagnetického záření

Název	Frekvence (s^{-1})	Vlnová délka
Rádiové vlny	$10^5 - 10^8$	1 – 10000 m
Mikrovlny	10^{11}	0,001 - 1 m
Infračervené záření	10^{13}	0,8 – 100 mm
Viditelné záření	10^{14}	0,35 - 0,8 μm
		
Ultrafialové záření	$10^{16} - 10^{17}$	0,01 - 0,35 μm
Rentgenové záření	10^{18}	0,01 – 10 nm
Záření gama	10^{20}	0,0001 – 0,01 nm
Kosmické záření	až 10^{23}	až 0,000001 nm

Vlna nebo částice

- Čím je vyšší frekvence záření, tím víc se projevuje částicový charakter záření.
- Některé jevy nelze bez této představy vysvětlit (fotoefekt)

Vyzáření fotonu je časově omezený proces:



Elektromagnetické záření je uvolňováno v kvantech o energii

$$E = h f = \frac{h c}{\lambda} \quad (J) \quad \longrightarrow \quad \text{FOTON}$$

Vakuum není “NIC“

1. Je to prostředí, které má vlastnosti jako je

permitivita $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$

permeabilita $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ m kg C}^{-2}$

2. Je prostředím pro šíření elektromagnetických vln

Rychlost šíření vakuum:

jiné prostředí:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} < 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

index lomu $n = \frac{c}{v}$

3. A je prostředím kvantových fluktuací (princip neurčitosti)

Index lomu

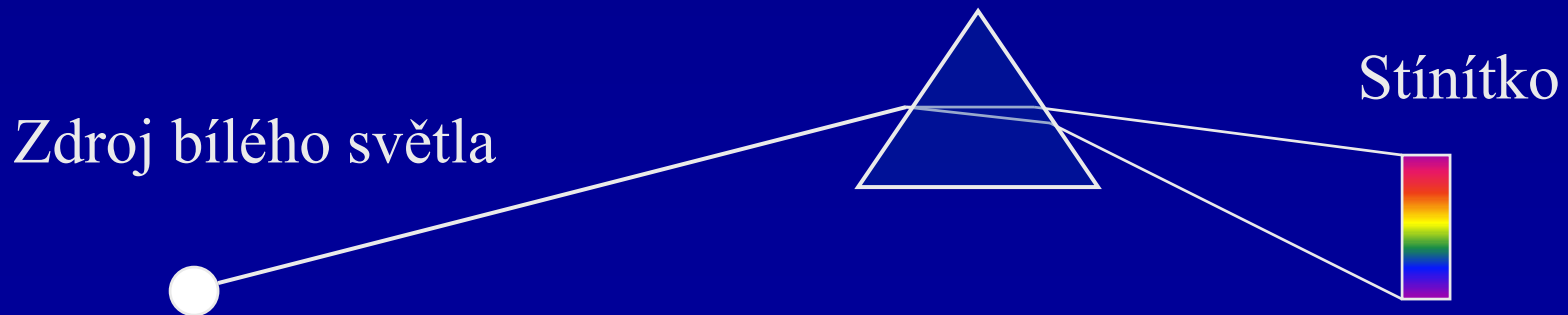
Proč se šíří foton v jakémkoli jiném prostředí pomaleji než ve vakuu?

Důvodem je jev virtuální absorpce fotonu související s principem neurčitosti:

$$h = \Delta E \cdot \Delta t$$

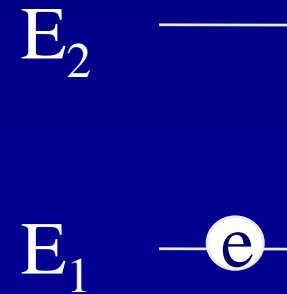
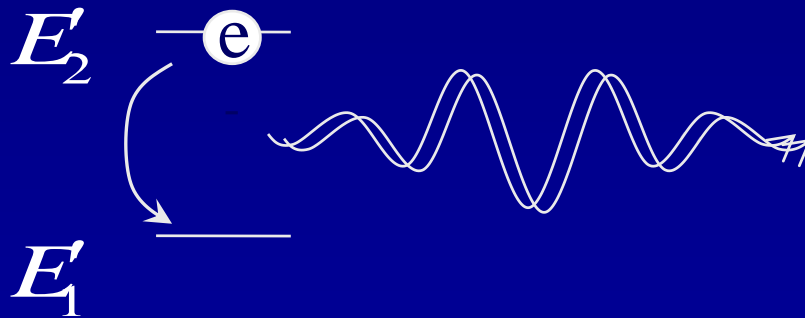
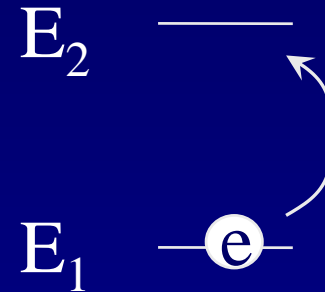
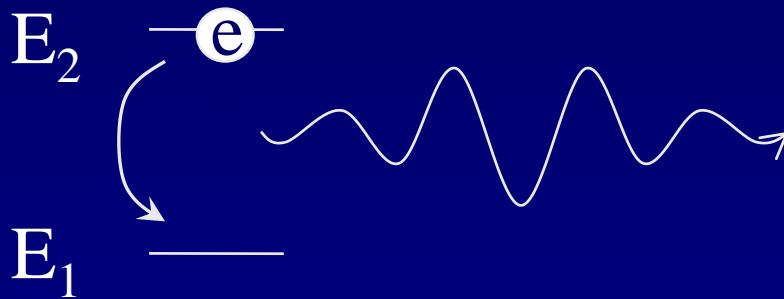
Z tohoto důvodu je rychlost šíření záření v “jiném“ prostředí frekvenčně závislá, což vede k **disperzi** záření

I úhel lomu je tedy frekvenčně závislý



Index lomu - proces (virtuální) absorpce

Vyzářený foton může být absorbován na jiném místě :



$$\Delta E' = E'_2 - E'_1 < E_2 - E_1$$

$$\Delta E' + \Delta E_{vac} = E_2 - E_1$$

$$h = \Delta E_{vac} \cdot \Delta t$$

Minimální shrnutí

- Zrychlený pohyb náboje → **elektromagnetické záření**
- Směr šíření je kolmý na směr zrychleného pohybu
- Šíří se v kvantech o energii $E = hf$ $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js
 f je frekvence
- Rychlost šíření ve vakuu je $c = 3 \cdot 10^8$ ms⁻¹, v jiném prostředí je nižší

Šíření elektromagnetických vln

Fermatův princip

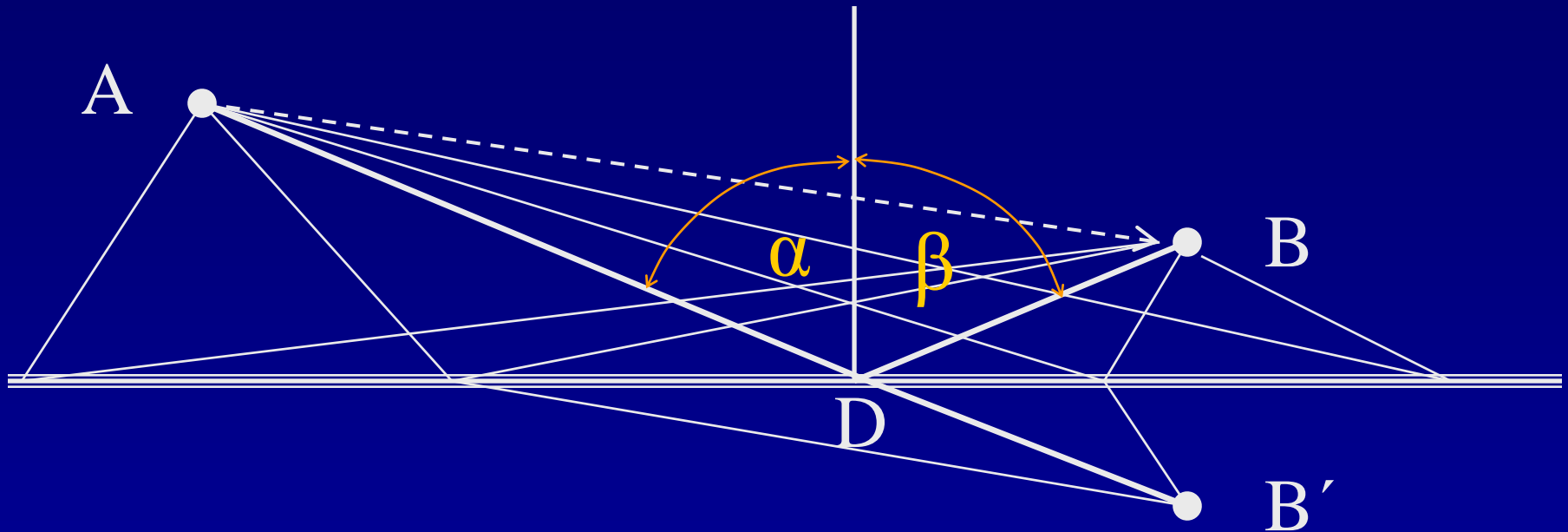
- Paprsky se šíří přímočaře (1.N.Z.)
- Jakým způsobem se záření šíří např. z bodu A do bodu B nám říká Fermatův princip:

Záření se šíří z bodu A do bodu B po takové dráze, že čas potřebný k překonání této vzdálenosti nabývá extrémní hodnoty:

absolutní i lokální minima (maxima)

Fermatův princip

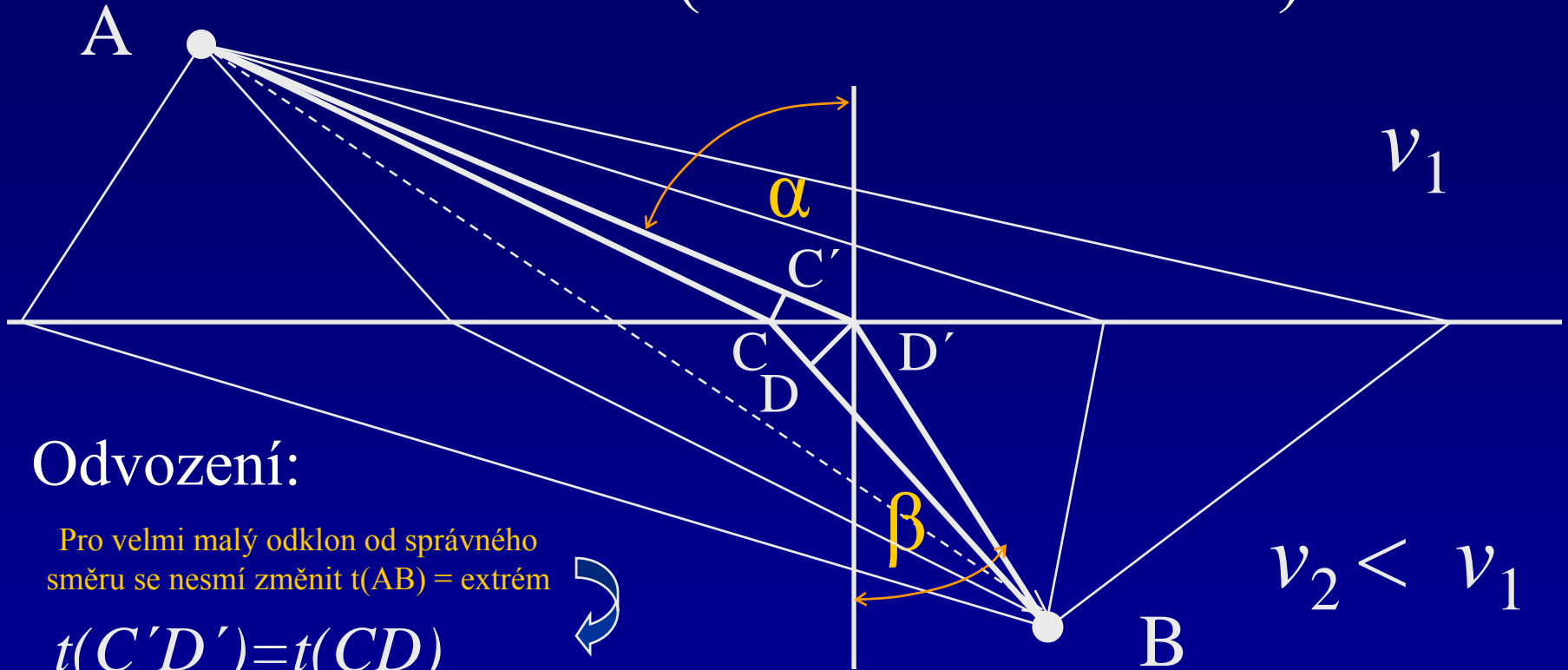
- zákon odrazu v homogenním prostředí



- při odrazu nastává lokální minimum při podmínce

$$\alpha = \beta$$

Fermatův princip - zákon lomu (záchrana tonoucího)



Odvození:

Pro velmi malý odklon od správného směru se nesmí změnit $t(AB) = \text{extrém}$

$$t(C'D') = t(CD)$$

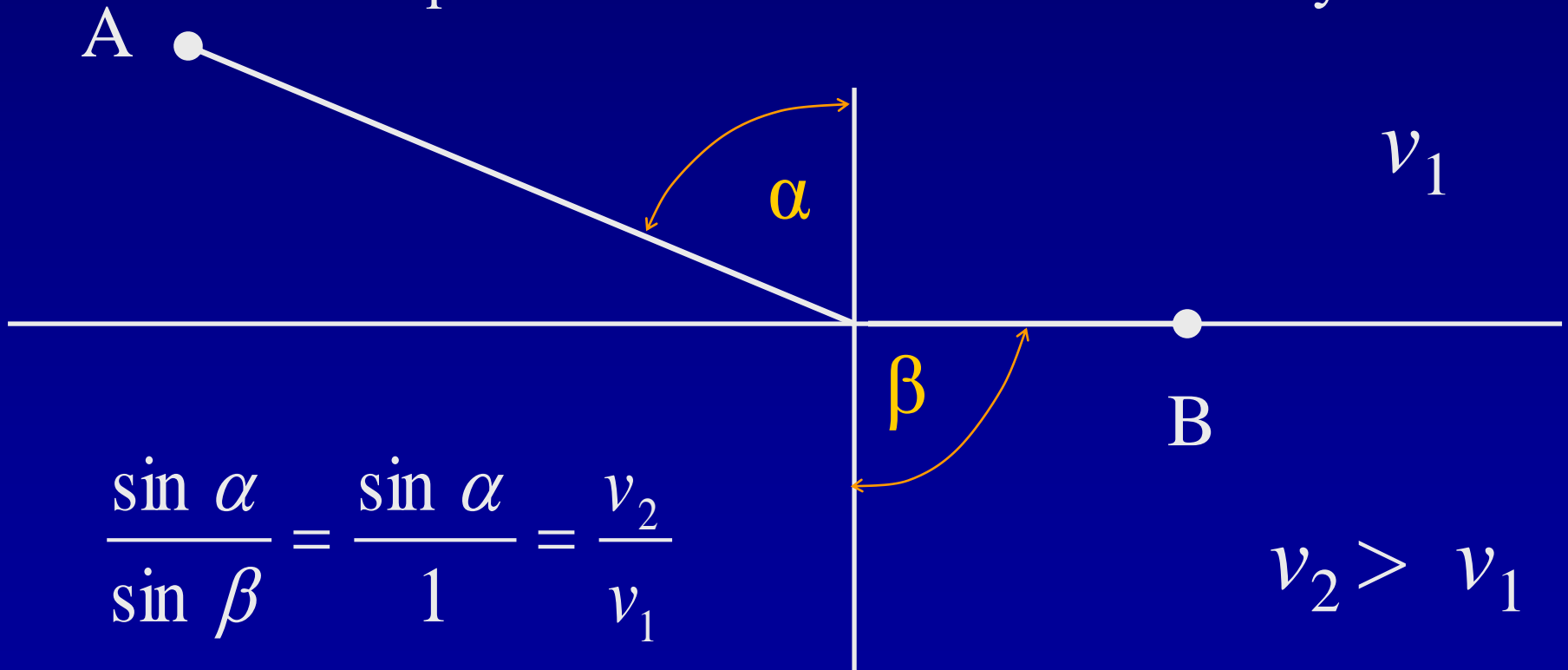
$$C'D'/v_1 = CD/v_2$$

$$CD' \sin \alpha / v_1 = CD' \sin \beta / v_2 \quad \Rightarrow$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}$$

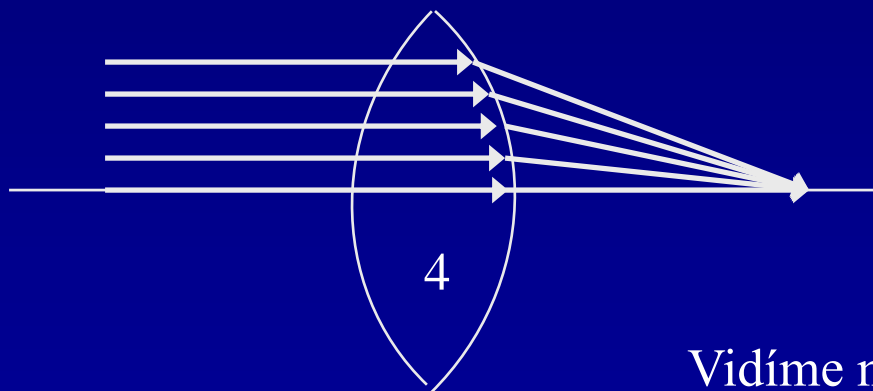
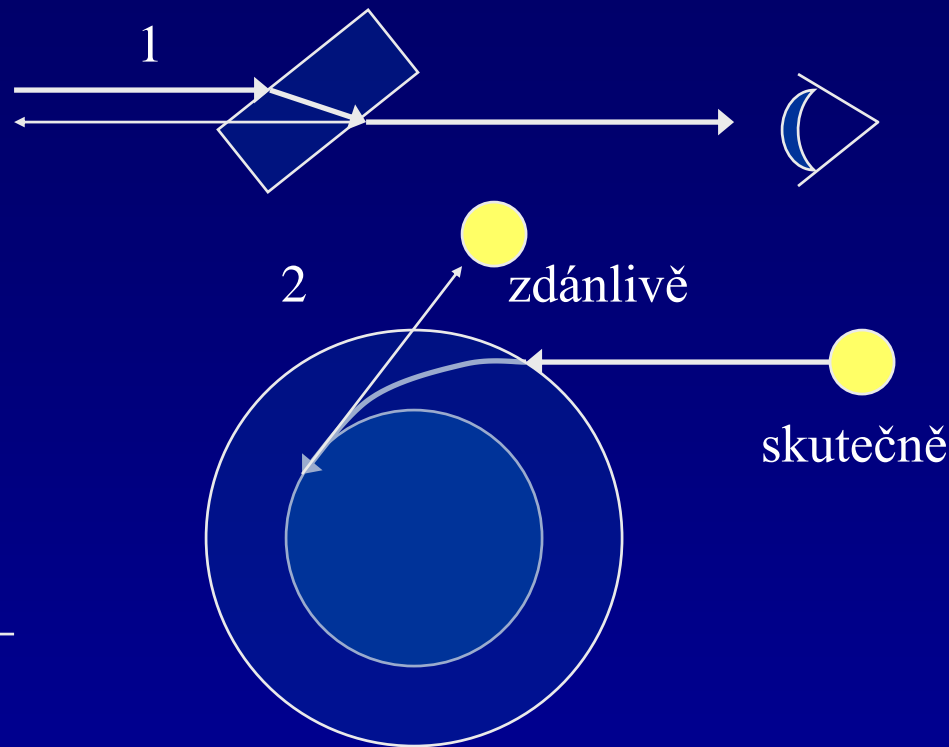
Úplný odraz

Pokud postupujeme opačně, z opticky hustšího do opticky řidšího nalézáme kritický uhel, při kterém dochází k úplnému odrazu – nevidíme do vody

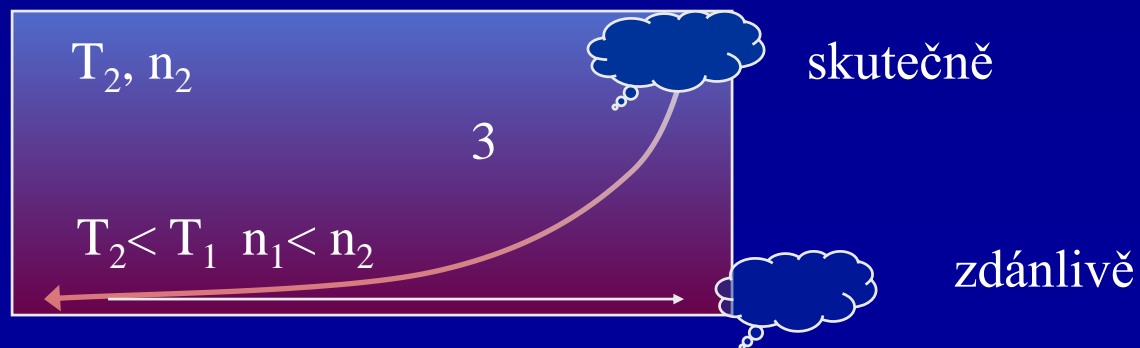


Další aplikace Fermatova principu

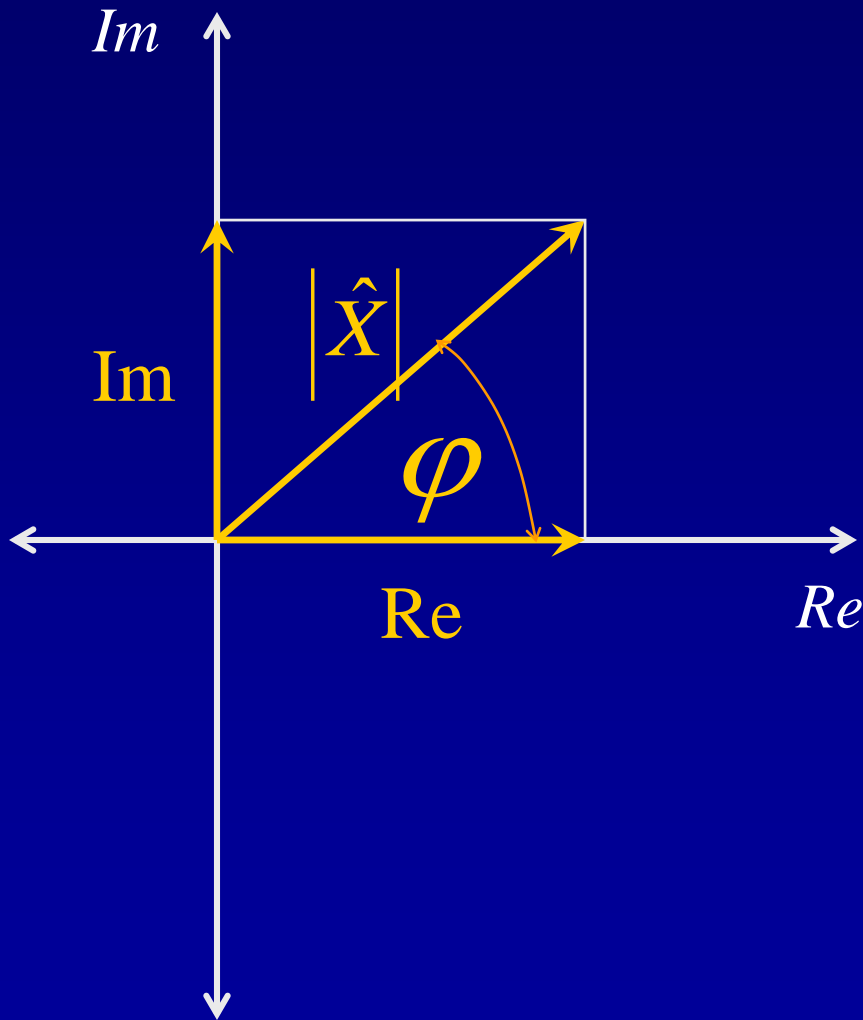
1. Posun paprsku
2. Západ slunce
3. Fata Morgana
4. Optická čočka



Vidíme na zemi to, co je na obloze



Jak to funguje?

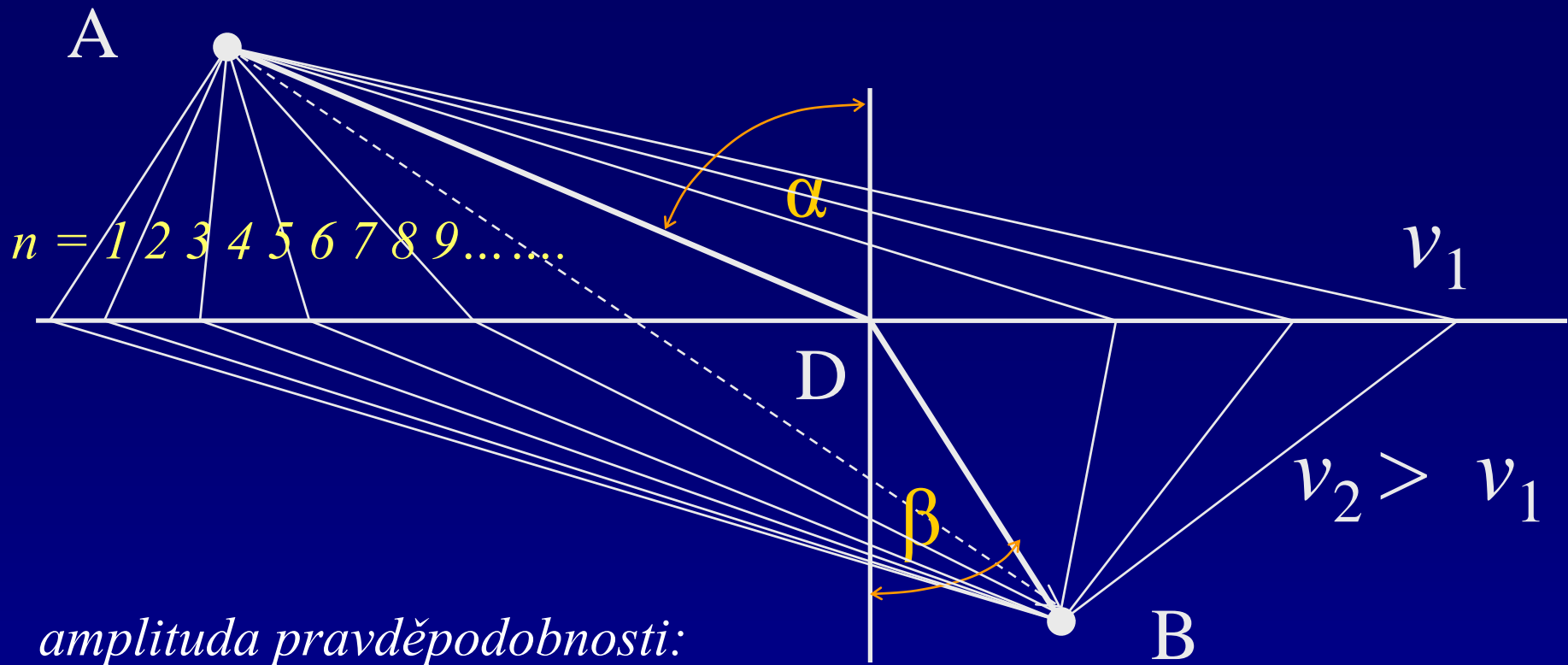


Komplexní číslo:

$$\hat{X} = Re + i Im$$

$$\hat{X} = |\hat{X}| \cdot (\cos \varphi + i \sin \varphi)$$

$$\hat{X} = |\hat{X}| \cdot e^{i\varphi}$$



$$\hat{X}_n = |\hat{X}| \cdot e^{i\varphi} \quad \varphi \approx \text{času } t_{AB}$$

$$A \rightarrow B \approx \sum_n \hat{X}_n^2$$

