

Cvičenie 02: Základy optoelektroniky

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.
(lubos.ovsenik@tuke.sk)

[https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/
Cvicenia/Cv02](https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/Cvicenia/Cv02)

Kvantum energie fotónu

$$E_{\text{fot}} = \hbar\omega = h.f$$

- $\hbar = h / 2\pi = 1,054 \cdot 10^{-34}$ Js je Planckova konštanta
- $\omega = 2\pi f$ je kruhová frekvencia
- $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js
- $1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}$ J

Rýchlosť šírenia svetla

- svetlo sa šíri vo **vákuu** rýchlosťou $c = 2,997925 \cdot 10^8 \approx 3 \cdot 10^8$ m/s
- rýchlosť šírenia svetla v atmosfére (vzduchu) je približne **rovnaká** ako vo vákuu (pre všetky vlnové dĺžky), ale v rôznych materiáloch (ako napr. vo vode, v skle a pod.) sa svetlo šíri menšou rýchlosťou, ktorá vo všeobecnosti môže závisieť od vlnovej dĺžky - látky majú tzv. **disperzné vlastnosti**

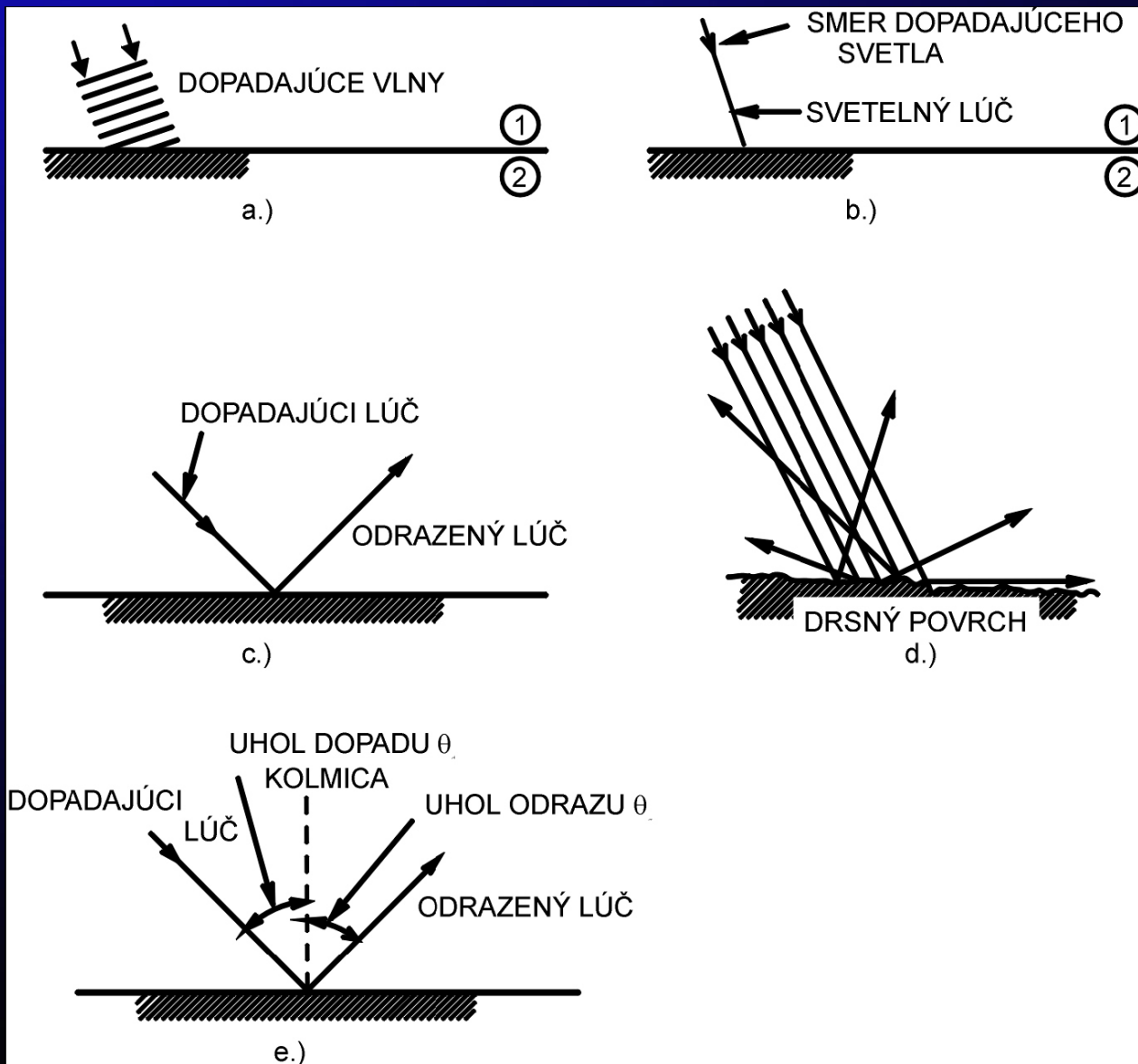
Disperzné vlastnosti látok

- podľa toho, ako preniká svetlo cez kvapaliny, plyny a tuhé látky, môžeme ich klasifikovať ako
 - **priehľadné (transparentné)** sú také látky, ktoré na svetlo prechádzajúce cez ne, majú malý, alebo zanedbateľný vplyv (napr. veľmi čistá voda, sklo, umelé hmoty, vzduch a pod.)
 - **priesvitné** látky prepúšťajú svetlo čiastočne
 - **nepriehľadné** látky svetlo neprepúšťajú

Šírenie svetla

- svetlo sa v homogénnom izotropnom prostredí šíri priamočiarno z bodového zdroja ako guľová vlna
 - vo veľkej vzdialenosti od zdroja (obr. 1a) ho môžeme nahradiť systémom dopadajúcich **rovinných vln**
 - systém dopadajúcich vln možno nahradiť jedinou priamkou, nazývanou **svetelným lúčom** (obr. 1b), ktorá má smer dopadajúceho svetla - takýto postup sa nazýva **geometrická optika**

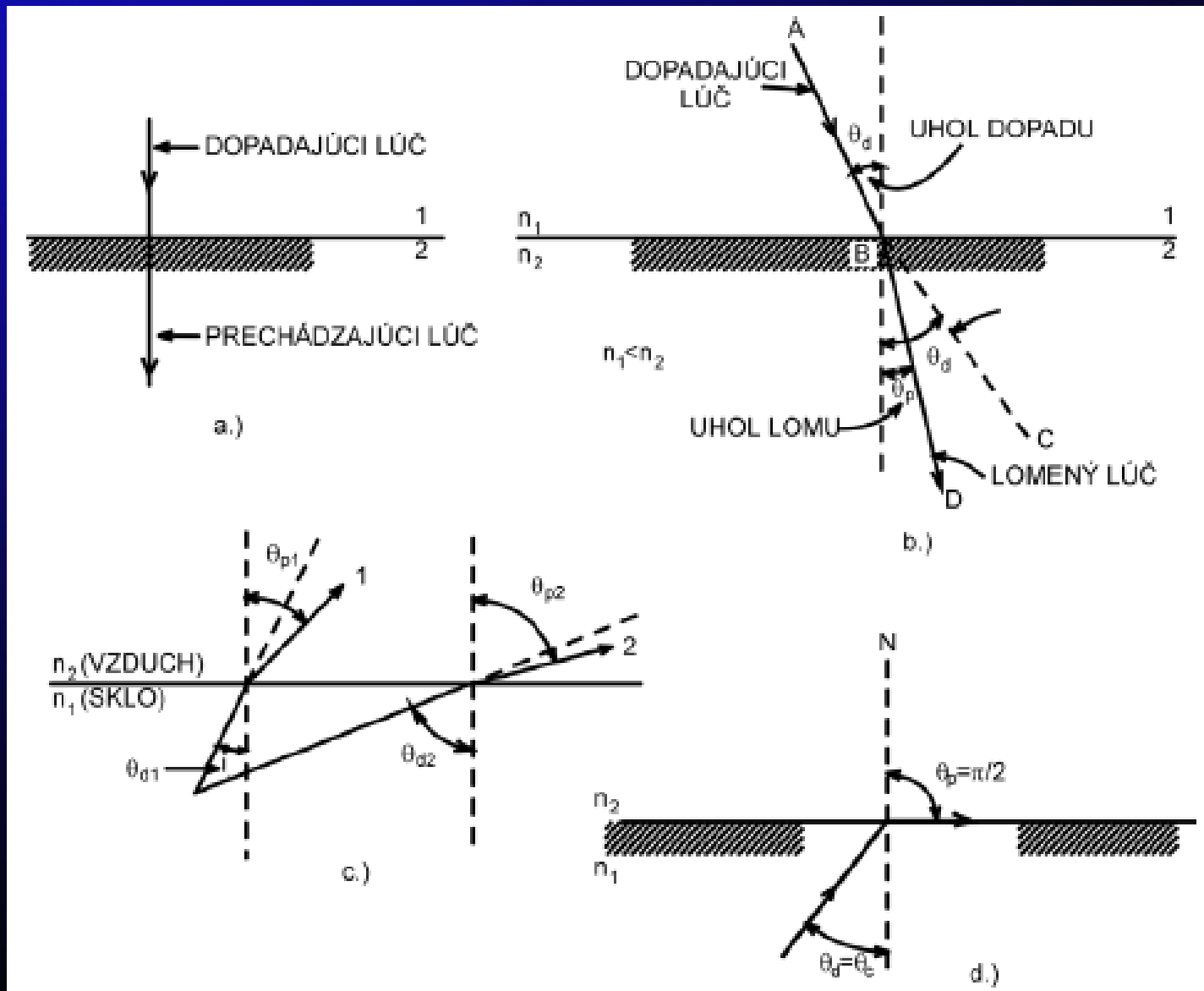
Obr. 1 Dopad svetla na rozhranie: a.) dopadajúce vlny, b.) svetelný (optický) lúč, c.) regulárny odraz, d.) difúzny odraz, e.) zákon odrazu



Odraz svetla

- pri dopade svetla na rozhranie (povrch určitého predmetu) dochádza k **odrazu svetla**
 - ak svetlo dopadá na rovný a vyleštený povrch, dochádza (obr. 1c) k **regulárnemu odrazu** (na zrkadlách (napr. na vrstve vylešteného striebra))
 - keď povrch objektu má nerovnosti, alebo je drsný (vzhľadom na vlnovú dĺžku dopadajúceho svetla), dochádza k **difúznemu odrazu** (obr. 1d) (na každom neluminiscenčnom objekte – bez difúzneho odrazu by sme tieto objekty nevideli)
 - pre dopad svetla na rovinný povrch platí **zákon odrazu** (obr. 1e), uhol dopadu θ_d sa rovná uhlu odrazu θ_o (t.j. $\theta_o = \theta_d$) a dopadajúci a odrazený lúč ležia v **rovine dopadu**, rovina dopadu je určená dopadajúcim lúčom a kolmicou dopadu

Obr. 2 Lom světla na rozhraní: a.) kolmý dopad, b.) šikmý dopad (lom ku kolmici), c.) šikmý dopad (lom od kolmice), d.) totální odraz



Lom svetla

- pri dopade svetla na rozhranie dvoch optických prostredí vzniká vo všeobecnosti okrem odrazu aj **lom** svetelného lúča (obr. 2)
 - pri kolmom dopade na rozhranie (obr. 2 a) sa časť svetelnej energie dopadajúceho lúča odráža, časť preniká do druhého prostredia a tvorí prechádzajúci lúč - **Snellovho zákona lomu**
 - keď dopadá svetelný lúč na rozhranie dvoch bezstratových dielektrík (obr. 2b) pod uhlom θ_d , potom sa lomený lúč šíri v druhom prostredí pod uhlom θ_p , pričom platí Snellov zákon lomu

$$n_1 \sin \theta_d = n_2 \sin \theta_p \Rightarrow \frac{\sin \theta_p}{\sin \theta_d} = \frac{n_1}{n_2} = n_{12}$$

– n_{12} je **relatívny index lomu**

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{c}{v_1}}{\frac{c}{v_2}} = \sqrt{\frac{\epsilon_{r1}\mu_{r1}}{\epsilon_{r2}\mu_{r2}}}$$

■ n_{12} je **relatívny index lomu**

- v_1, v_2 sú **rýchlosti šírenia svetla** v uvažovaných prostrediach
- $\epsilon_{r1}, \epsilon_{r2}, \mu_{r1}, \mu_{r2}$ sú relatívna **permitivita** a permeabilita v uvažovaných prostrediach

Kritický uhol dopadu

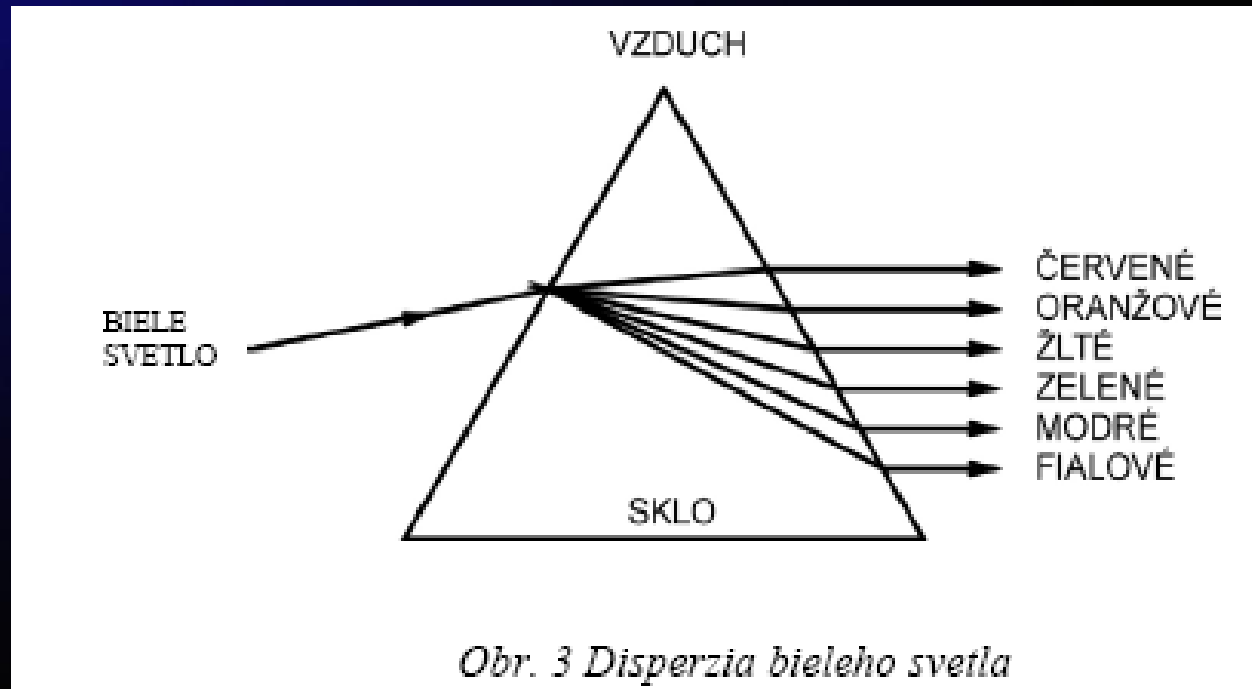
- keď svetlo dopadá na rozhranie z opticky hustejšieho prostredia (napr. skla, typická hodnota $n_1 \in (1,5; 1,9)$, t.j. $n_1 > n_2$ (obr. 2c), potom sa lúč v druhom prostredí láme smerom od kolmice ($\theta_p > \theta_d$) a pre určitý uhol $\theta_d = \theta_c$ (tzv. **kritický uhol dopadu**) bude $\theta_p = \pi/2$, t.j. lomený lúč sa bude šíriť **pozdĺž rozhrania** oboch prostredí (obr. 2d).
 - pre **veľkosť kritického uhla** θ_c platí

$$n_{12} = \sin \theta_c = 1 \Rightarrow \theta_c = \arcsin \frac{1}{n_{12}} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

- pre uhly $\theta_d > \theta_c$ je $\sin \theta_p > 1$ - **neexistuje** teda v tomto prípade v druhom prostredí homogénna lomená vlna, dochádza k **úplnému (totálnemu) odrazu** a pozdĺž rozhrania sa môže šíriť povrchová vlna

Lúč

- zatiaľ sme uvažovali svetelný lúč len s jedinou vlnovou dĺžkou, tzv. **monochromatický lúč**
- reálne svetelné lúče sú väčšinou tvorené s mnohými vlnovými dĺžkami a nazývame ich **polychromatickými lúčmi**
 - (obr. 3) je znázornené rozloženie bieleho svetla na jednotlivé monochromatické komponenty s využitím javu disperzie na sklenom **optickom hranole**



Obr. 3 Disperzia bieleho svetla

Príklad č. 1

Zadanie:

- Vypočítajte energiu fotónu optického žiarenia s vlnovou dĺžkou 0,85; 1,3 a 1,55 μm .

Riešenie:

- ($2,3357 \cdot 10^{-19}$, $1,5272 \cdot 10^{-19}$, $1,2809 \cdot 10^{-19}$ – s **nárastom vlnovej dĺžky** svetelného signálu jeho **energia klesá**)

Príklad č. 2

Zadanie:

- Vypočítajte kritický uhol lomu na rozhraní dvoch optických prostredí s indexom lomu $n_1 = 1,52$ a $n_2 = 1,49$.

Riešenie:

- $(78,59^\circ = 78^\circ 35' 52'' - n_1 > n_2)$

Príklad č. 3

Zadanie:

- Vypočítajte vlnovú dĺžku a frekvenciu optického žiarenia s energiou fotónu 1; 2; a 3eV.

Riešenie:

- (1,2393 μm =241,903THz, 0,61965 μm =483,8069THz, 0,4131 μm =725,714THz – z **nárastom energie svetla** **priamoúmerne klesá** jeho vlnová dĺžka a **stúpa** frekvencia)

$$E_{\text{fot}} = 1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Príklad č. 4

Zadanie:

- Vypočítajte index lomu n_2 na rozhraní dvoch optických materiálov s indexom lomu $n_1 = 1,5$, ak na tomto rozhraní má byť kritický uhol lomu $80,40^\circ$.

Riešenie:

- (1,478994056)

Ďakujem za pozornosť