11. Sweet monochromator
11. Sladký monochromátor

Říjen 2025

Zadání

Pass linearly polarised white light through a column of sugar solution. When transmitted light is observed through a polariser it may appear coloured. Rotate the polariser, and the transmitted light colour may change. Construct such a sweet monochromator and optimise for the narrowest light wavelength bandwidth.

Nechte procházet lineárně polarizované bílé světlo skrz sloupec cukerného roztoku. Pozorujeme-li prošlé světlo přes polarizátor, může vypadat zabarveně. Otočte tento polarizátor a barva prošlého světla se může změnit. Sestrojte takový sladký monochromátor a dosáhněte co možná nejužšího pásu vlnových délek světla.

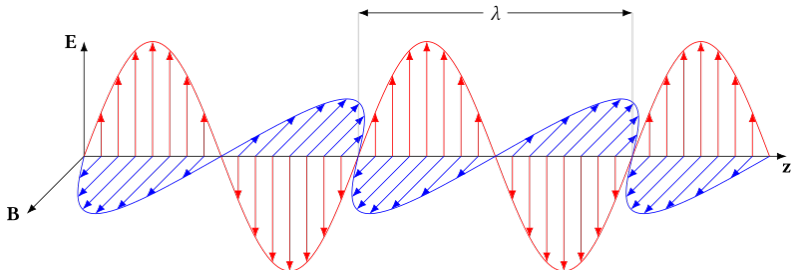
Konzultant Tomáš Ostatnický (MFF UK, tomas.ostatnicky@matfyz.cuni.cz)

Části problému

- Polarizace světla
- Optická aktivita látek
- Sestrojení experimentu
- Určení měrné otáčivosti a její disperse
- Optimalizace monochromátoru

- Intenzita elektrického pole kmitá kolmo ke směru šíření vlny:

$$\boldsymbol{E_x} = \boldsymbol{e}_x E_x \cos(\omega t - kz)$$



- Vlnový vektor $k = 2\pi/\lambda$, úhlová frekvence $\omega = kc$, kde c je rychlost světla.
- Oscilace může být i ve směru y:

$$\boldsymbol{E_y} = \boldsymbol{e}_y E_y \cos(\omega t - kz)$$

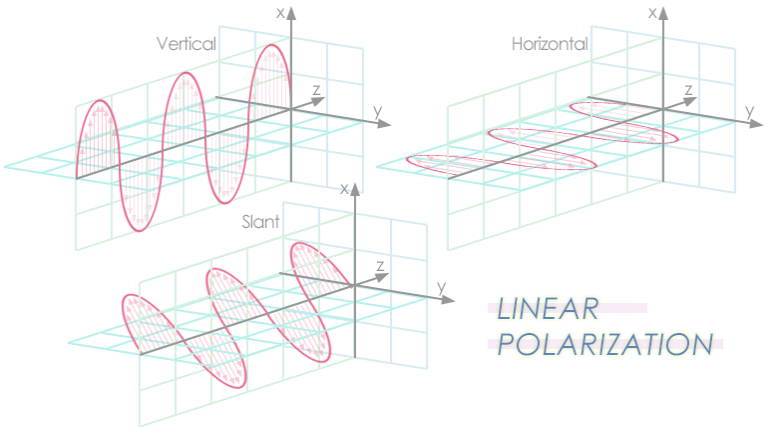
- Platí princip superpozice, pokud se výše uvedené vlny v prostoru protínají, celkové pole je:

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}_x + \boldsymbol{E}_y = \left[E_x \boldsymbol{e}_x + E_y \boldsymbol{e}_y\right] \cos(\omega t - kz)$$

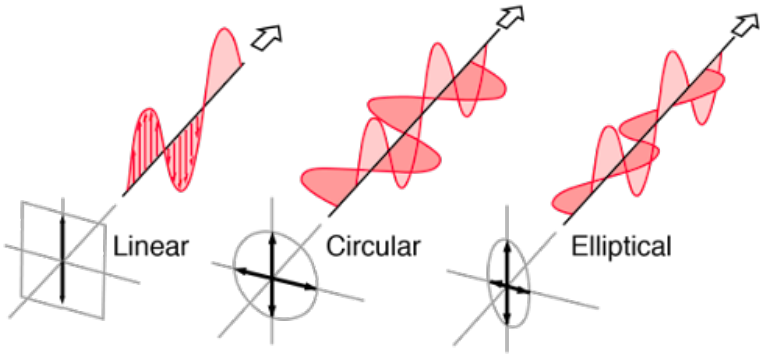
- Intenzita záření, tj. měřená veličina:

$$I_0(z) = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} |\boldsymbol{E}(t,z)|^2 dt$$

- **Polarizace**: křivka, kterou vektor intenzity elektrického pole opisuje v rovině xy pro pevně zvolené z.
- Vektor $\boldsymbol{E}$ pole $\left[E_x \boldsymbol{e}_x + E_y \boldsymbol{e}_y\right] \cos(\omega t - kz)$ se pohzbuje po úsečce — **lineární polarizace**.



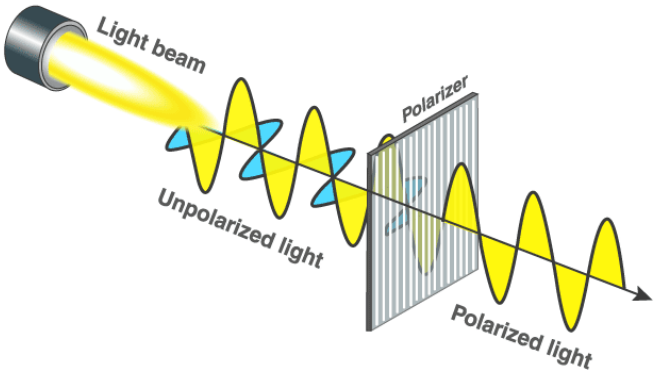
- Polarizace stočená o úhel β, platí $\tan\beta = E_y/E_x$.
- Existují i jiné polarizace, např. kruhová $\boldsymbol{E}_\circ = E_0\left[\boldsymbol{e}_x \cos(\omega t - kz) + \boldsymbol{e}_y \sin(\omega t - kz)\right]$.



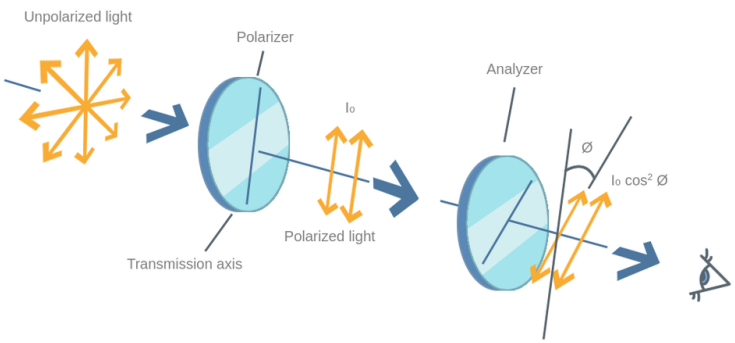
- Většina zdrojů vyzařuje nepolarizované světlo.

Polarizace světla — Malusův zákon

- Polarizaci můžeme měnit, ale i vybrat určitou složku.
- Polarizátor (polarizační filtr) nechá projít jenom pole orientované vybraným směrem.



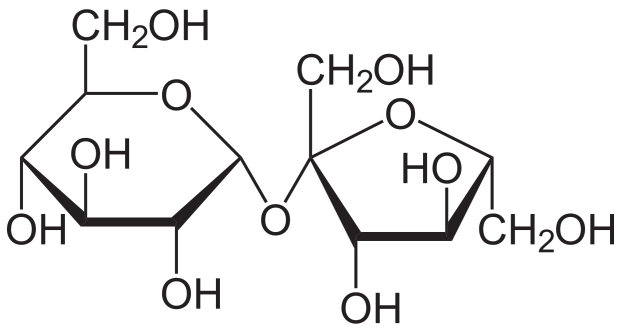
- Polarizátor vložený do lineárně polarizovaného svazku:

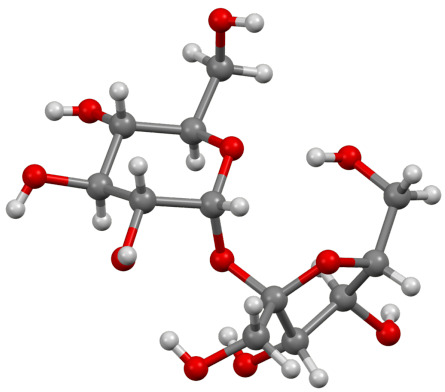


Polarizace shodná se směrem natočení polarizátoru, intenzita $I = I_0 \cos^2 \phi$, kde ϕ je úhel mezi vstupní lineární polarizací a směrem polarizátoru.

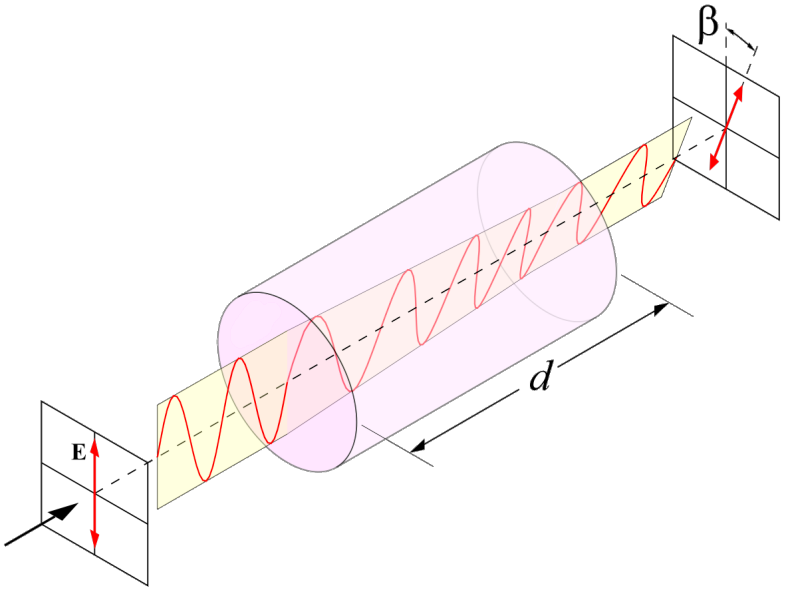
Optická aktivita látek

- Látky často mění polarizaci světla: dvojlomné (některé krystaly) nebo opticky aktivní (magentické látky, sacharidy).
- Biologicky syntetizovaná sacharóza je jeden z několika izomerů.





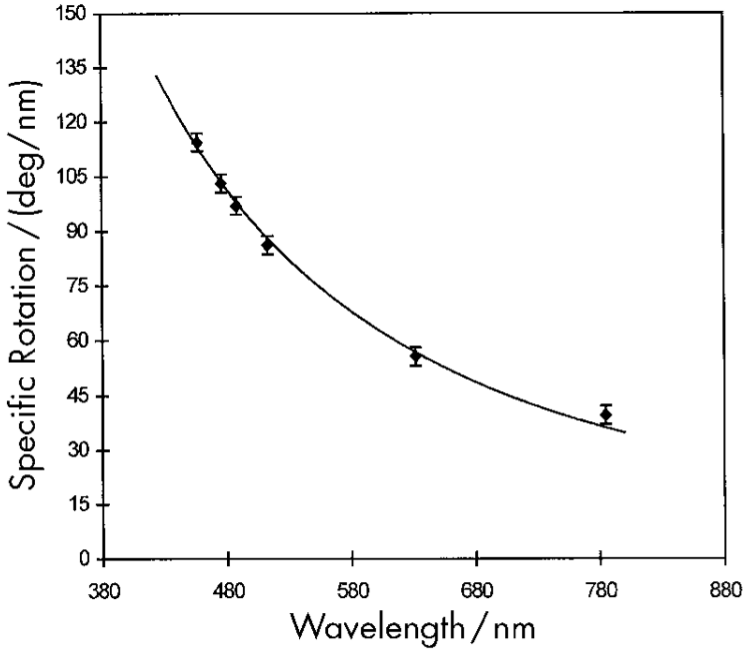
- Stáčí polarizaci světla během jeho šíření roztokem.



- Stočení polarizace během šíření sloupcem výšky L:

$$\beta = \alpha C L\,,$$

  kde α je měrná otáčivost, což je pevná charakteristika dané látky, C je koncentrace roztoku.
- Sacharóza při koncentraci 300 g/l stáčí o cca 60° ve sloupci 40 cm.
- Měrná otáčivost závisí na vlnové délce — disperse.



Experiment

- Vložte **skleněnou** nádobu s roztokem mezi lineární polarizátory, každá vlnová délka má maximum pro jiné natočení polarizátoru před detekcí.
- Ocharakterizujte měrnou otáčivost $\alpha(\lambda)$.
- Optimalizujte koncentraci roztoku, délku dráhy.
- Chceme co největší rozdíl rotace mezi modrou a červenou složkou, ale je nám víceméně jedno, o kolik se polarizace otočí absolutně.
- Rozdíl ale nesmí být moc velký.
- Se dvěma polarizátory nelze dosáhnout úzkého spektra: $I = I_0 \cos^2 \phi$.
- Vícenásobný průchod plus vždy dílčí polarizace: $I = I_0 \cos^{2N} \phi$.