

2. Měření základních optických vlastností materiálů

- index lomu a disperze
- propustnost, absorpce
- kvalita optických prostředí

2.1. Měření indexu lomu a disperze

Sellmeierův vztah

$$n^2(\lambda) = 1 + \sum_i \frac{B_i \lambda^2}{\lambda^2 - C_i}$$

$$n^2(\lambda) = 1 + \frac{B_1 \lambda^2}{\lambda^2 - C_1} + \frac{B_2 \lambda^2}{\lambda^2 - C_2}$$

Cornuův vzorec

$$n = n_0 + \frac{a}{\lambda + \lambda_0}$$

charakteristická disperze

$$\frac{dn}{d\lambda}$$

$A, B, C, D, \dots, a, b, \dots$
...Fraunhoferovy čáry

střední disperze

$$\Delta = n_F - n_C$$

např. $\lambda_D = 589.3 \text{ nm}$

relativní disperze

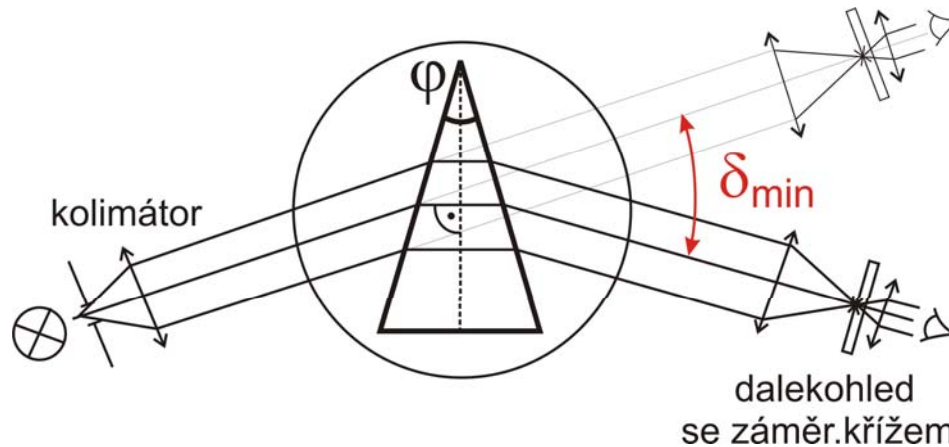
$$\delta = \frac{\Delta}{n_D - 1}$$

Abbeovo číslo

$$v_D = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

2.1.1. Vychylovací metody

FRAUNHOFEROVA METODA – metoda min. deviace
- využívá goniometru



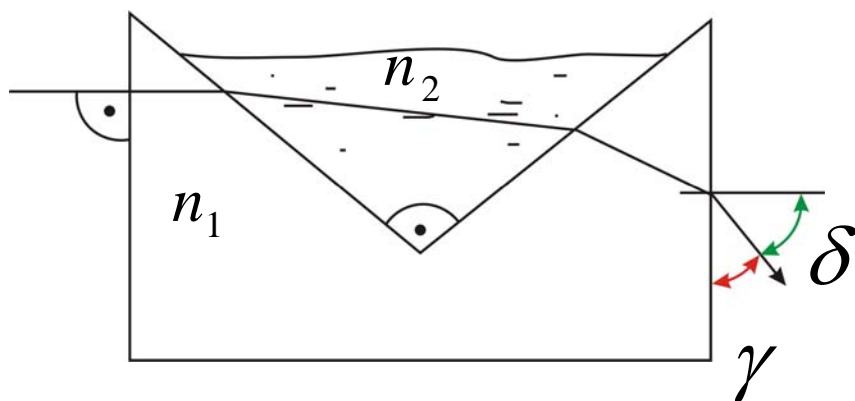
$$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{\min} + \varphi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)}$$

v praxi:

- měření ind.lomu kapalin (kyveta ve tvaru hranolu)
- měření disperze hranolů
- měření ind.lomu pev.látek – nevýhoda – musíme vyrobit hranol

HILGERŪV-CHANCEŪV REFRAKTOMETR

V-hranol

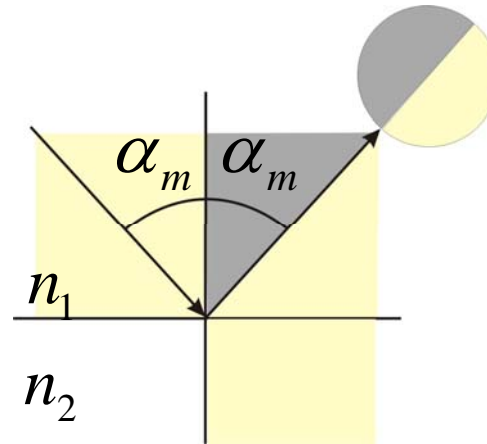


2.1.2. Refraktometrické metody (Totální refraktometry)

- založeny na úplném odrazu nebo na mezním úhlu lomu
- 2 prostředí: n_1, n_2

- úplný odraz

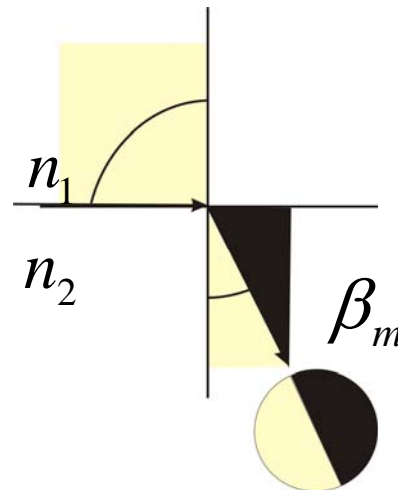
$$n_1 > n_2$$



$$\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}$$

- mezní úhel lomu

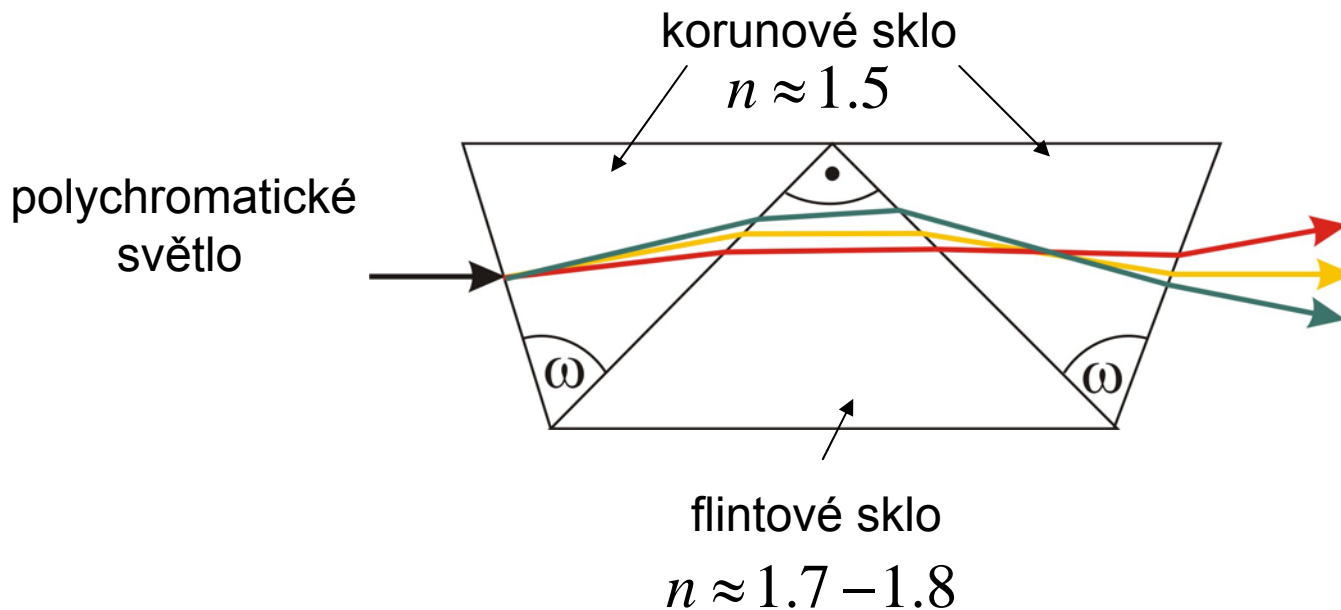
$$n_1 < n_2$$



$$\sin \beta_m = \frac{n_1}{n_2}$$

- rozhraní světlo x tma sledujeme dalekohledem se záměrným křížem
- ostré rozhraní světlo x tma – jen pro monochromatické světlo
- bílé světlo – musíme použít filtry nebo kompenzátory

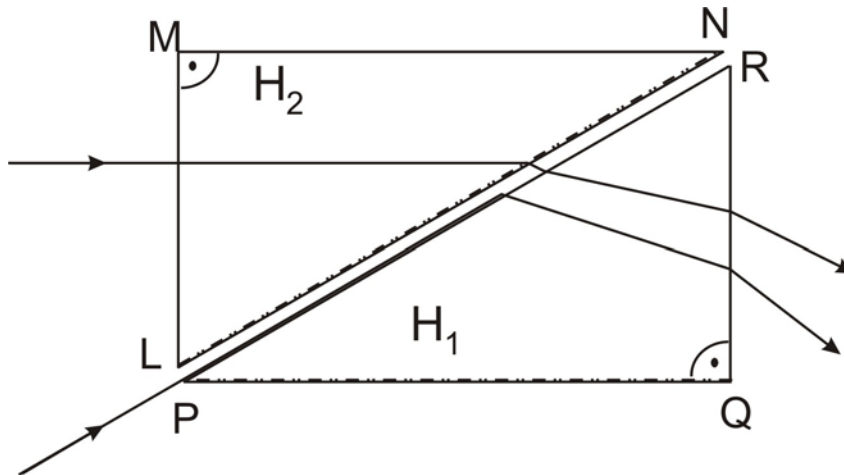
AMICIHO PŘÍMOHLEDNÝ HRANOL (kompenzátor)



otočný kolem horizontální osy – kompenzace disperze

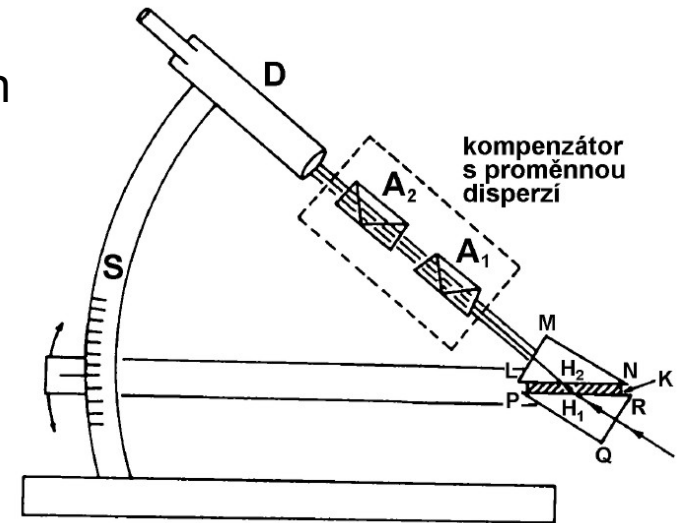
ABBEŮV REFRAKTOMETR

- DVOJHRANOLOVÝ – měření ind.lomu kapalin
– malá spotřeba



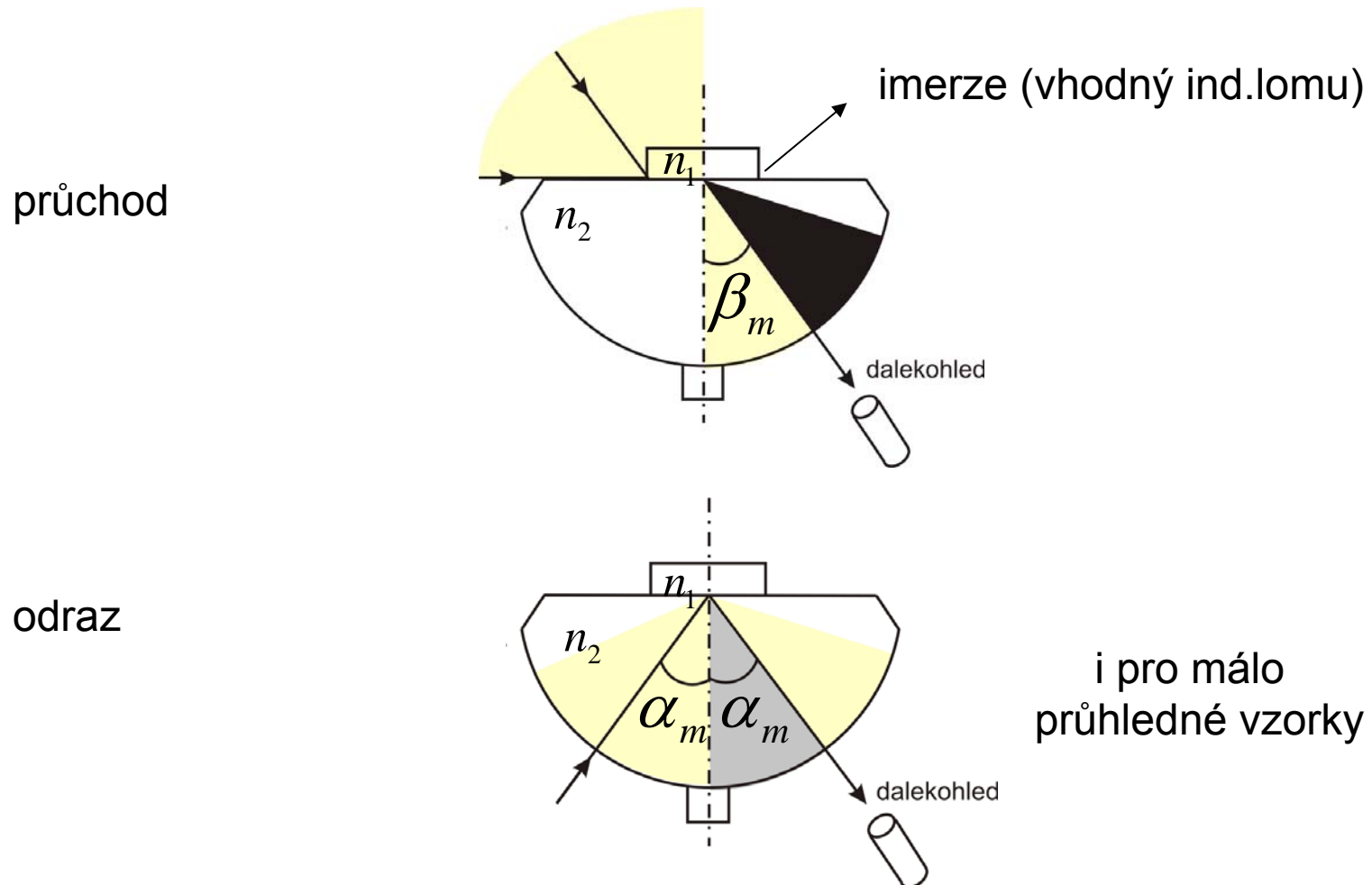
H_1 – měřicí
 H_2 – osvětlovací

- plochy PQ a LN – nevyleštěné, zrněné
- na plochu PR nanášíme měřenou látku
- měření na průchod i odraz
- hranoly z flintového skla – můžeme měřit ind.lomu v rozmezí 1,3 -1,7
- kalibrovaný přímo v ind.lomu pro určitou vlnovou délku



ABBEŮV REFRAKTOMETR

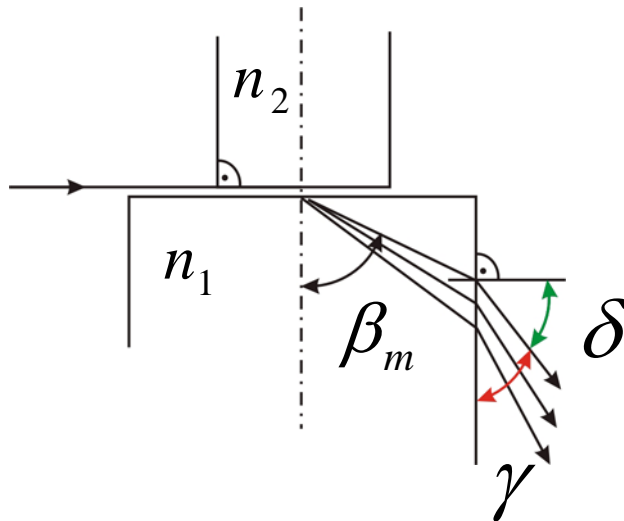
- POLOKULOVÝ – i pro měření pev.látek (jedna plocha vyleštěná)
vhodné i pro měření anizotropních prostředí



PULFRICHŮV REFRAKTOMETR

- lámavý úhel hranolu $\varphi = 90^\circ$

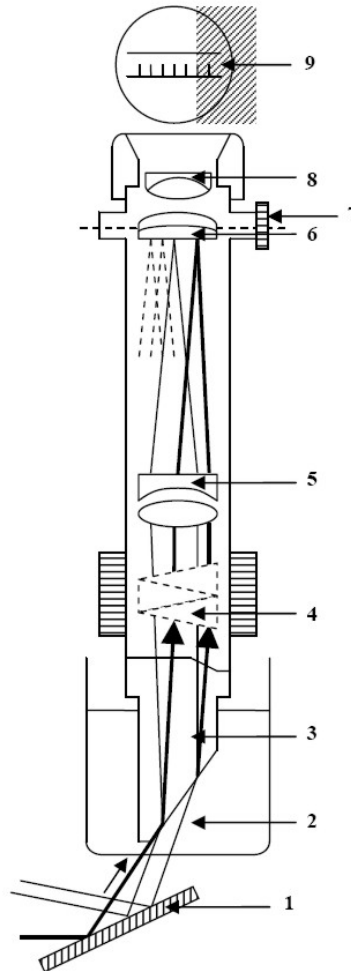
měření ind.lomu pev.látek



$$n_2 = \sqrt{n_1^2 - \cos^2 \gamma}$$

RUČNÍ A PONORNÉ REFRAKTOMETRY

- když není potřeba velká přesnost
- lámavý hranol i dalekohled – pevnou polohu
- využití: v cukrovarnictví, stanovování koncentrací, ...



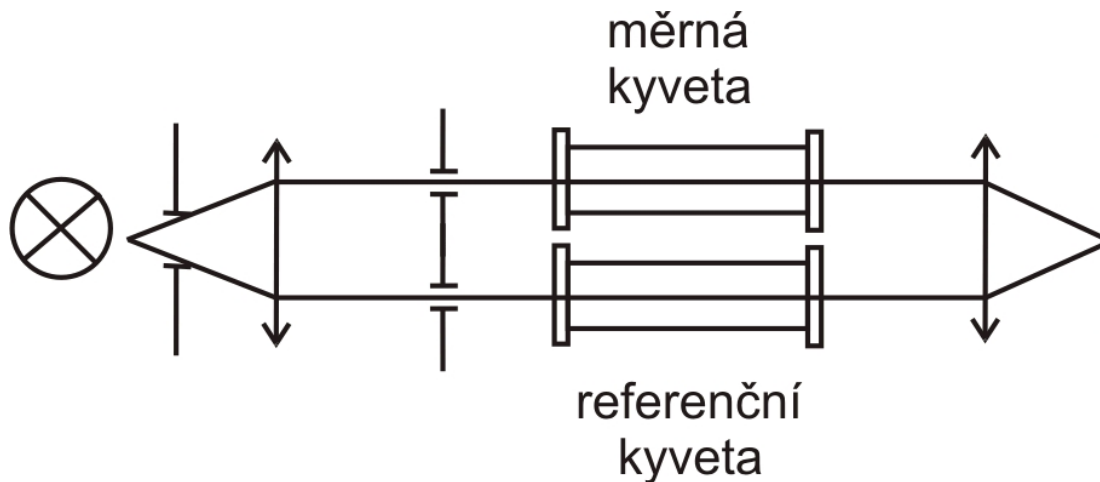
- 1 zrcátko
- 2 analyzovaný vzorek
ve skleněné kádince
- 3 měrný hranol
- 4 kompenzační zařízení
složené z Amiciho hranolu
- 5 spojná čočka
- 6 čočka se stupnicí
- 7 mikrometrický šroub
- 8 okulár dalekohledu
- 9 zorné pole dalekohledu

2.1.3. Interferometrické metody

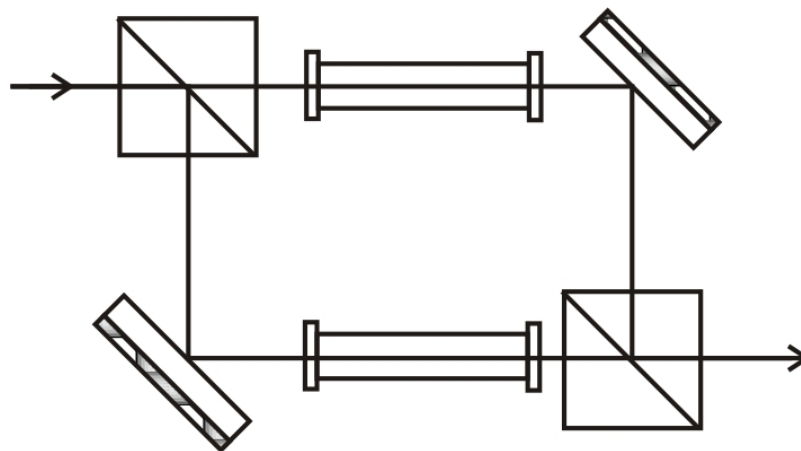
- velká přesnost
- měření ind.lomu plynů nebo velmi malých změn ind.lomu kapalin a pev.látek
- využití: lékařství, průmysl plynů, továrna na žárovky, zkoumání důlních plynů,...

RAYLEIGHŮV INTERFEROMETR

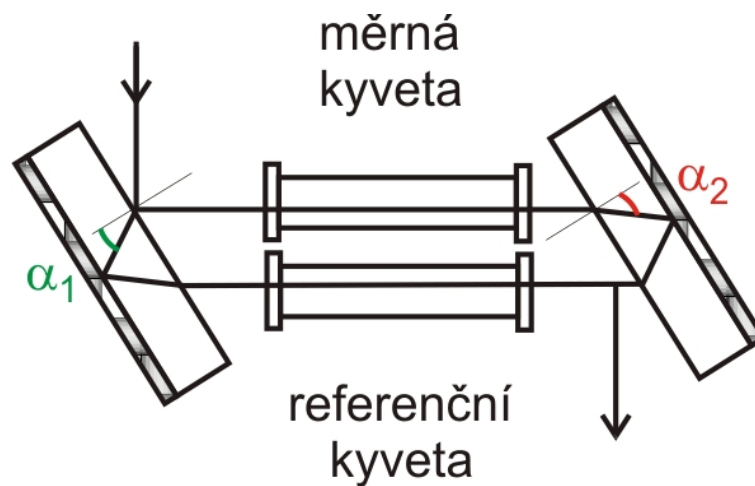
– modifikace Youngova pokusu



MACHŮV-ZEHNDERŮV INTERFEROMETR



JAMINŮV INTERFEROMETR



2.1.4. Měření indexu lomu malých krystalů

IMERZNÍ METODA

- zrnka vzorku + dvě kapaliny
 - jedna s větším a jedna s menším indexem lomu než vzorek
- mícháme dokud imerze nemá stejný index lomu jako vzorek
- v případě anizotropních krystalů – vhodná orientace
- potom změříme index lomu imerze

Metoda srovnávání indexu lomu – METODA BECKEHO LINKY

2.1.5. Měření indexu lomu a tloušťky tenkých vrstev

Měření tloušťky vrstvy

- neoptické metody
- optické metody

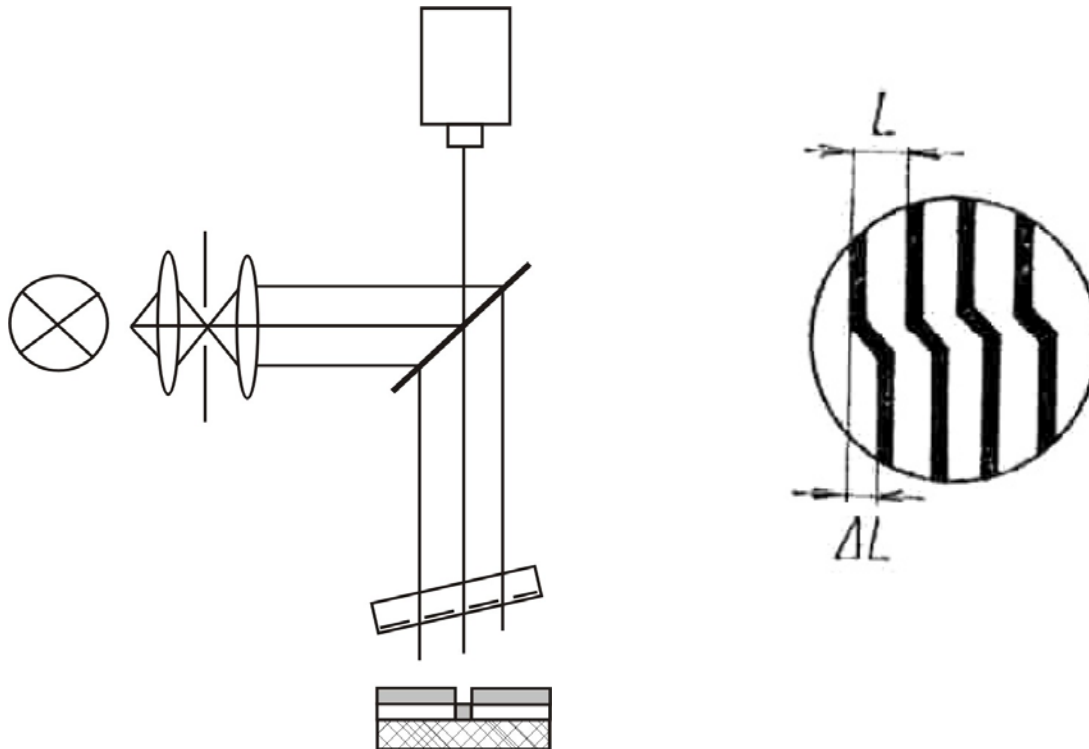
OPTICKÉ METODY

- měření – změny absorpce během napařování (kovové t.v.)
- posunutí interferenčního proužku
 - intenzity odraženého nebo propuštěného záření
v závislosti na vlnové délce světla nebo na úhlu dopadu
 - změny stavu polarizace světla po interakci s prostředím

INTERFEROMETRICKÉ METODY

TOLANSKÉHO METODA

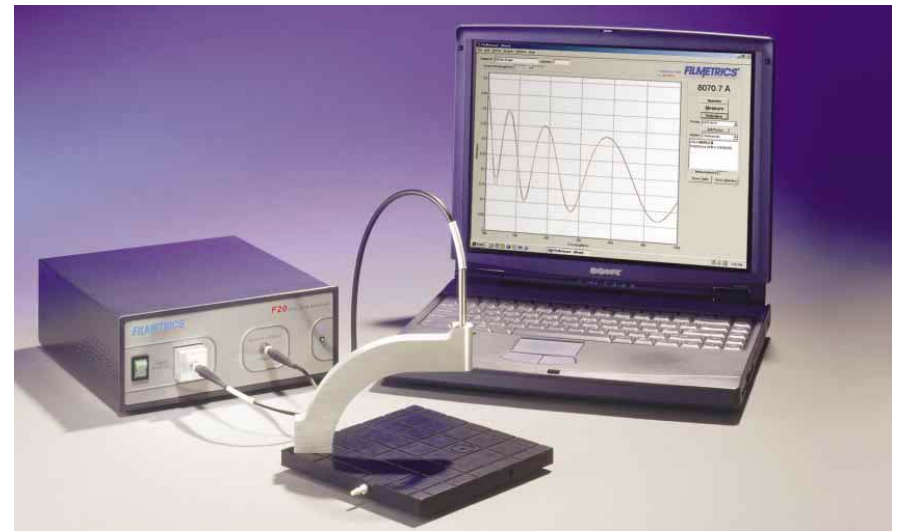
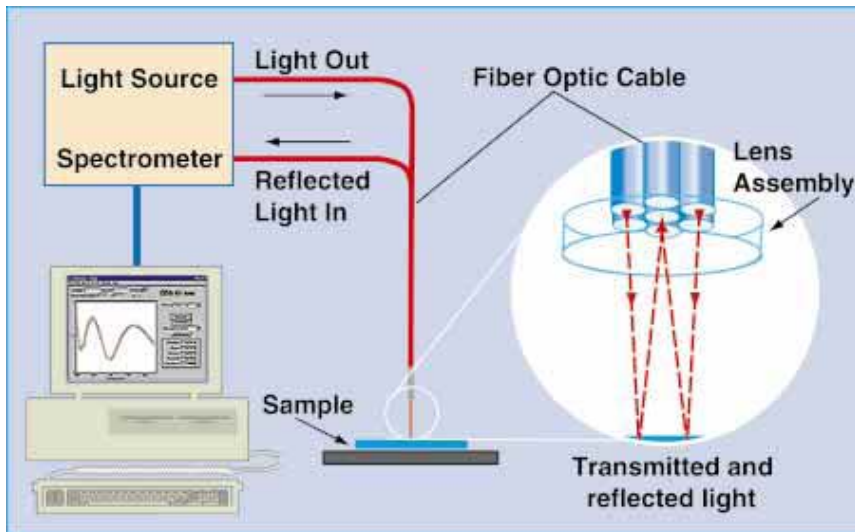
- vryp nebo odleptání, napaření Ag nebo Al vrstvy
 - vícesvazková interference na klínové vrstvě
- ⇒ interferenční proužky stejné tloušťky



$$d = \frac{\Delta L}{L} \frac{\lambda}{2n_0}$$

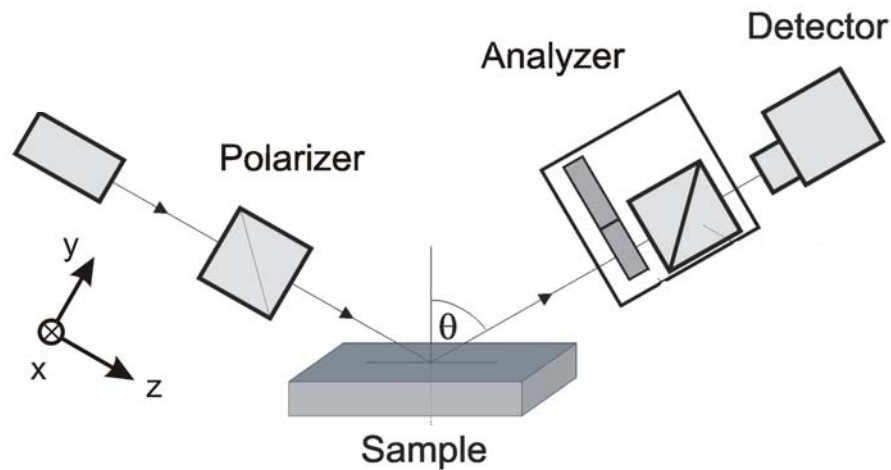
SPEKTROSKOPICKÁ REFLEKTOMETRIE

- měření indexu lomu, tloušťky, extinkčního koeficientu tenké vrstvy
- měří se intenzita odraženého případně propuštěného světla v závislosti na vlnové délce
- obvykle se využívá kolmého nebo téměř kolmého dopadu a nepolarizovaného světla
- i vícevrstvé struktury



ELIPSOMETRIE

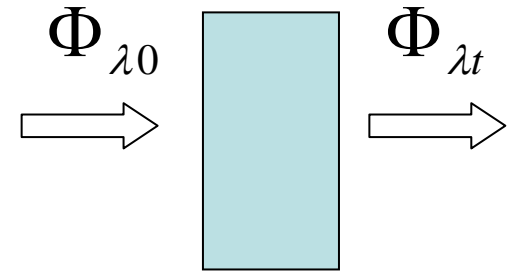
- měření indexu lomu, tloušťky, extinkčního koeficientu tenké vrstvy
- měří se polarizační stav odraženého záření
- obvykle velké úhly dopadu
- vícevrstvé struktury, velmi tenké vrstvy
- SPETROSKOPICKÁ ELIPSOMETRIE



2.2. Měření propustnosti (absorpce)

- spektrální propustnost

$$\tau(\lambda) = \frac{\Phi_{\lambda t}}{\Phi_{\lambda 0}}$$



- propustnost (transmittance)

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} \tau(\lambda) \Phi_{\lambda t} d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{\lambda 0} d\lambda} \neq \int_{\lambda} \tau(\lambda) d\lambda$$

- měření – musíme provést korekci na odraz na rozhraních
– spektrofotometry (viz. jedna z dalších přednášek)

$$-d\Phi = \kappa \cdot \Phi \cdot dL$$

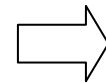


$$\Phi = \Phi_0 e^{-\kappa L} = \Phi_0 10^{-\kappa_n L}$$

Lambertův zákon

κ, κ_n - koeficient absorpce

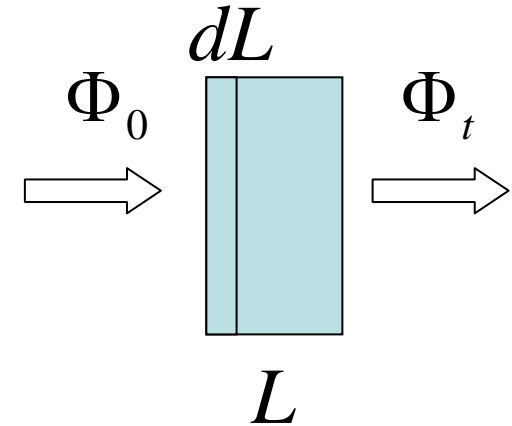
$$\kappa_n L = \log \frac{\Phi_0}{\Phi_t} = \log \left(\frac{1}{\tau} \right)$$



absorpci obvykle měříme nepřímou pomocí měření propustnosti

absorbance $A = -\log(\tau)$

monochrom.
záření



- využití – měření koncentrací roztoků – absorbance přímo úměrná koncentraci látky – Lambertův-Beerův zákon

$$A = \varepsilon(\lambda) \cdot L \cdot c$$

c ...koncentrace látky

$\varepsilon(\lambda)$...molární absorpční koeficient

2.3. Měření jakostních ukazatelů optických materiálů

- stejnorodost - šlíry
- bubliny
- zbytkový dvojlom