

Föreläsning 2: Våglängdsberoende växelverkan mellan ljus och materia

I optiska material växelverkar ljus med materia. Vad kan materialet göra med ljuset?

1. Bryta
2. Absorbera
3. Reflektera
4. Sprida

Vi har "låtsats" att det är likadant för alla färger (våglängder). Men så är inte fallet!

1. Våglängdsberoende brytning \leftrightarrow dispersion (brytning i prisma)
2. Våglängdsberoende absorption \leftrightarrow selektiv absorption (färgfilter)
3. Våglängdsberoende reflektion \leftrightarrow selektiv reflektion (varför får saker en viss färg)
4. Våglängdsberoende spridning (himlen blå, blått sprids mer i atmosfären)

Dispersion

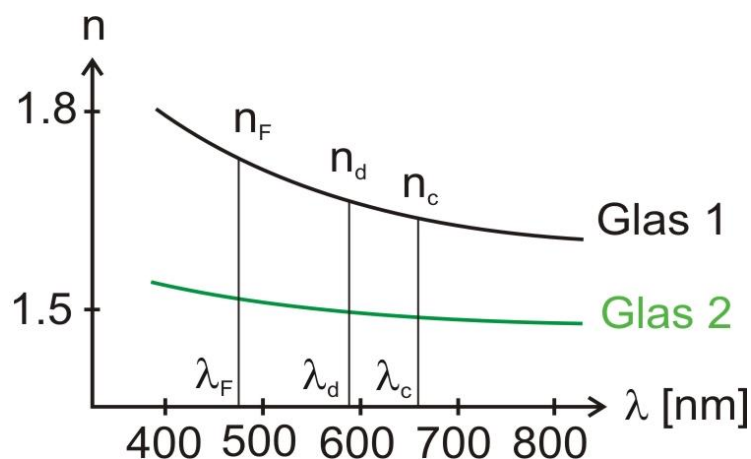
För genomskinliga material är absorption och spridning liten och brytningsindex $n(\lambda)$ bestämmer materialets egenskaper.

Ex) Bra glas <50 % absorption på 1 m. Bra optisk fiber <50 % absorption på 10 km.

Nästan alla genomskinliga material har högre brytningsindex för kortare våglängder.

- Blått ljus \leftrightarrow högre brytningsindex \leftrightarrow bryts mer
- Rött ljus \leftrightarrow lägre brytningsindex \leftrightarrow bryts mindre
- Oftast 0.5-1.5 % skillnad
- Nästa alltid betyder stort n också stor skillnad mellan olika våglängder (dvs högbrytande glas har mer dispersion)

Om vi vill veta vad brytningsindex är för rött ljus, måste vi först definiera vad rött ljus betyder. Och blått, eller grönt. Då använder man spektrallinjer hos vissa gaser, dels därför att de är väl definierade, dels för att de är lätta att generera. Om man leder ström genom ett grundämne, kommer det att skicka ut vissa våglängder, sk spektrallinjer. Man definierar en röd, en grön, och en blå linje.



"kort våglängd"	}	$\lambda_F=486.14 \text{ nm}$ (blått, väte)	$n_F=n(\lambda_F)$
"mellan"		$\lambda_d=587.56 \text{ nm}$ (gult, helium)	$n_d=n(\lambda_d)$
"lång"		$\lambda_C=656.27 \text{ nm}$ (rött, väte)	$n_C=n(\lambda_C)$

Om det talas om rött, blått eller gult/grönt ljus, menar man oftast dessa våglängder. Andra röda, blå eller gröna våglängder förekommer, t.ex. $\lambda_e=546.07 \text{ nm}$ (grönt, kvicksilver), men i så fall anges detta tydligt.

Skillnad i brytkraft (eller relativ dispersion):

$$\Delta = \frac{(n_F - 1) - (n_C - 1)}{n_d - 1} = \frac{n_F - n_C}{n_d - 1}$$

Stort $\Delta \rightarrow$ stor skillnad, stor dispersion

Litet $\Delta \rightarrow$ liten skillnad, liten dispersion

Abbetal:

$$V = \frac{1}{\Delta} = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} = \text{Abbetal}^1$$

Stort $V \rightarrow$ liten dispersion, liten skillnad mellan våglängder

Litet $V \rightarrow$ stor dispersion, stor skillnad mellan våglängder

Det finns många olika sorters glas, och de har alla olika brytningsindex och Abbetal. Ange n_d och V för ett material så vet du vad som händer med olika färger!

Ex) BK 7: $V=64.29$, $n_d=1.5168$

Typiska värden:

- Kronglas: n kring 1.5, V kring 60
- Flintglas: n kring 1.8, V kring 30

¹ Ernst Abbe: tysk fysiker som jobbade med glasutveckling på 1800-talet

Ex) Dispersion i prisma

Deviationsvinkeln $v=(n-1)a$ (gäller för små vinklar)

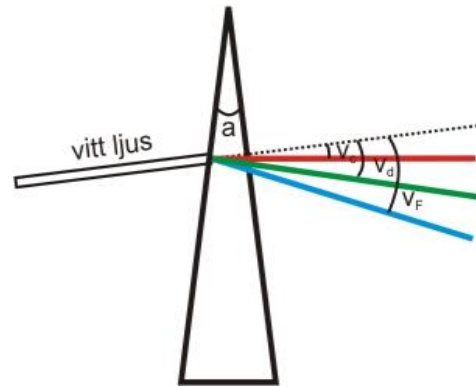
$$v_F=(n_F-1)a$$

$$v_d=(n_d-1)a$$

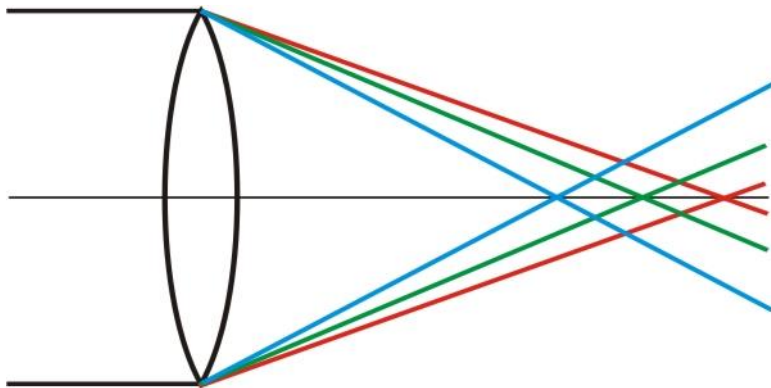
$$v_C=(n_C-1)a$$

Procentuell skillnad i deviationsvinkel:

$$\frac{v_F - v_C}{v_d} = \frac{(n_F - 1)a - (n_C - 1)a}{(n_d - 1)a} = \frac{n_F - n_C}{n_d - 1} = \frac{1}{V}$$



Ex) Dispersion i tunn lins

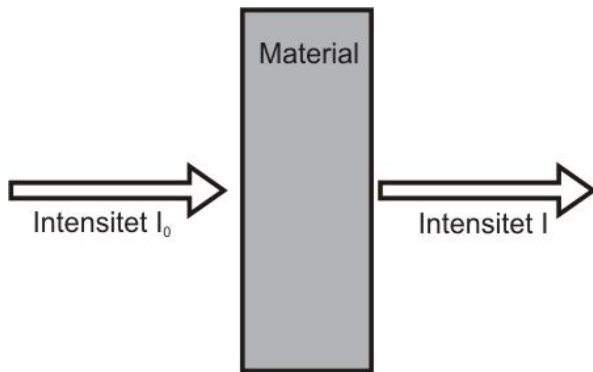


$$F = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = n \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$F_F - F_C = (n_F - n_C) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{n_F - n_C}{n_d - 1} (n_d - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{F_d}{V}$$

Brytkraften varierar med våglängden \rightarrow kromatisk aberration

Selektiv absorption



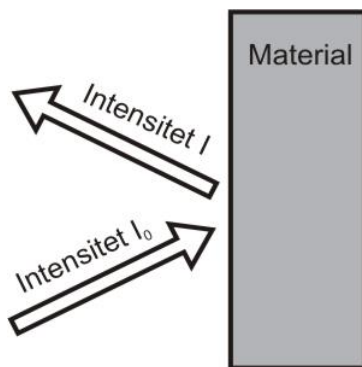
$$\text{Transmittans } T = \frac{I}{I_0}$$

$T=0$ för alla $\lambda \rightarrow$ ogenomskinligt material

T varierar med $\lambda \rightarrow$ färgat material, selektiv absorption.

Ex) Färgat glas, färgad genomskinlig plast

Selektiv reflektion



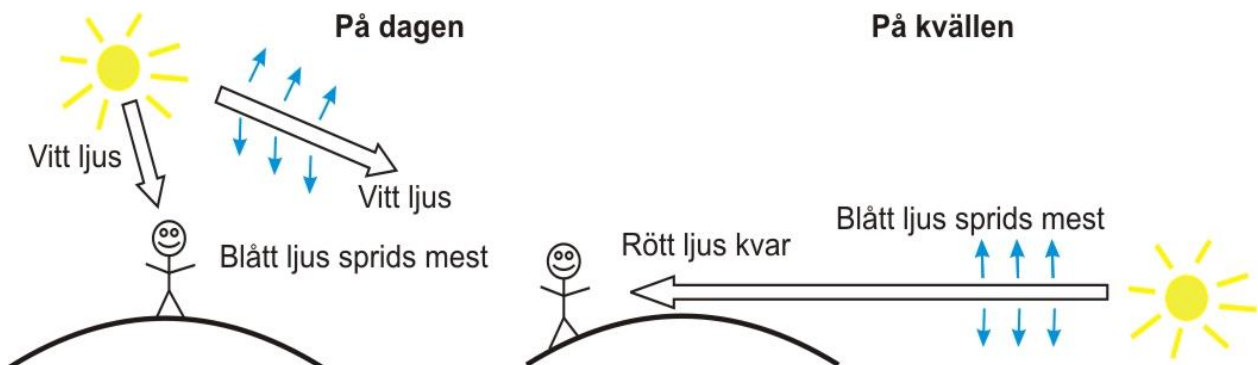
$$\text{Reflektans } R = \frac{I}{I_0}$$

R varierar med $\lambda \rightarrow$ färgad reflex.

Ex) Alla färgade, ogenomskinliga material
Även tunna skikt, AR-behandling

Våglängdsberoende spridning

Spridning av små partiklar (Rayleigh) $\sim \frac{1}{\lambda^4} \rightarrow$ Blått ljus sprids mest!



Därför ser himlen blå ut om dagen, medan solnedgången blir rödfärgad.