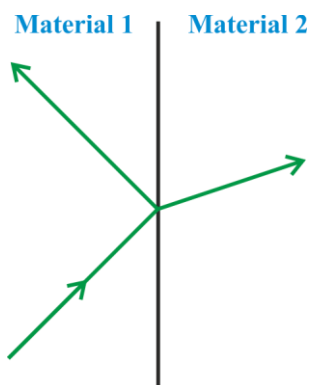


Föreläsning 2 (kap 1.6-1.12, 2.6 i Optics)

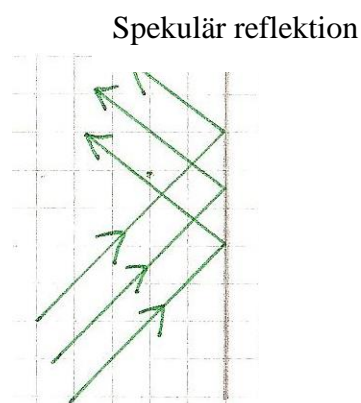
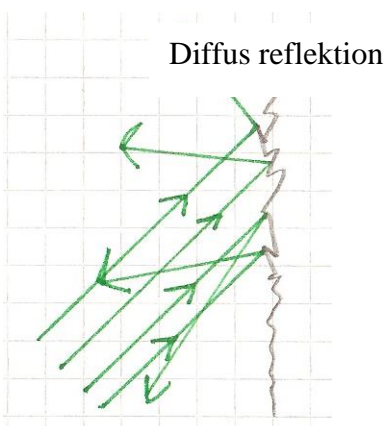
Optiska ytor



Vad händer med ljusstrålarna när de träffar en gränsyta mellan två olika material?

Strålen in mot ytan kallas infallande ljus och den andra strålen på samma sida är reflekterat ljus (reflektion) medan strålen på andra sidan är transmitterat ljus (transmission). Om det transmitterade ljuset snabbt omvandlas till värme av materialet kallas det för absorption.

Reflektion (reflexion)



Diffus reflektion

Om ytan är ojämn (opolerad) reflekteras ljuset åt alla håll, detta kallas för diffus reflektion. Diffus reflektion är orsaken till att vi ser alla belysta objekt.

Spekulär reflektion

Om ytan är polerad reflekteras alla ljusstrålar i en bestämd riktning, det kallas för spekulär reflektion. Polerade ytor är grunden för alla speglar, linser och optiska instrument.

Allting reflekterar ljus, mer eller mindre, även en genomskinlig yta reflekterar lite ljus. Andelen som reflekteras kallas ytans reflektans och mäts i procent.

Som exempel på reflektans från diffusa ytor har till exempel ett vitt papper reflektans omkring 80% medan ett svart papper har ca 8%. Reflektansen från polerade ytor beror på hur bra poleringen är och vilket material som används. En riktigt bra spegel kan reflektera >99% av infallande ljus.

Refleksionslagen (spekulär reflektion)

Vinkeln mellan infallande stråle och normalen kallas infallsvinkeln, i .

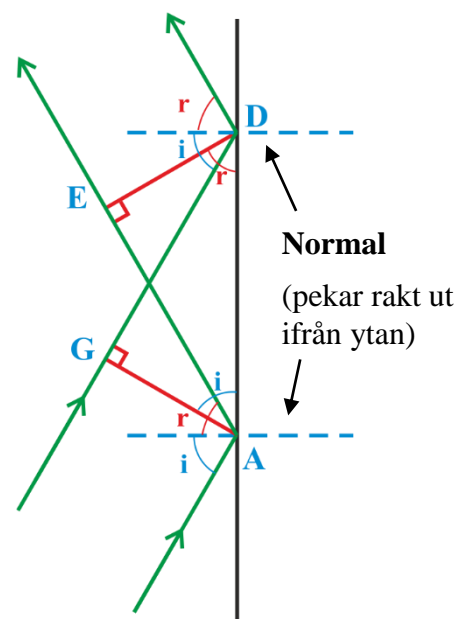
Vinkeln mellan reflekterad stråle och normalen kallas reflektionsvinkeln, r .

Infallsplanet = Planet som innehåller infallande stråle + normalen till ytan (papprets plan).

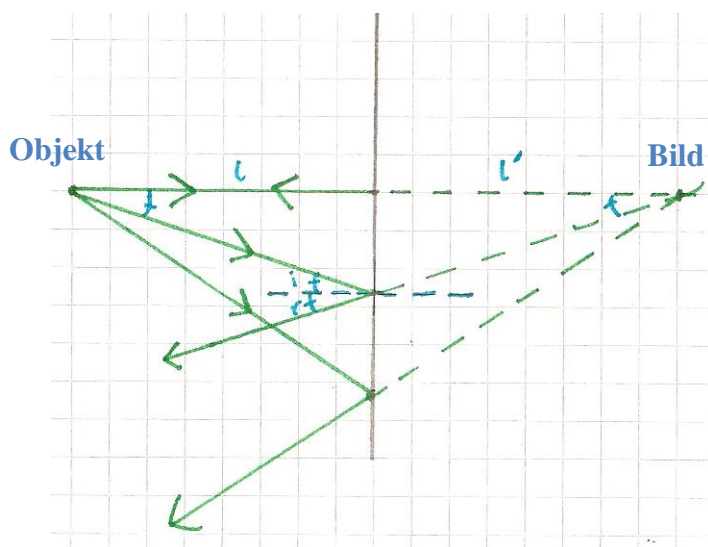
Symmetri => reflekterad stråle ligger också i infallsplanet.

Refleksionslagen: $i = r$

Bevis av reflektionslagen: Röda linjerna AG och ED är vågfronter vilket innebär att det skall ta lika lång tid för ljuset att gå sträckan AE som för sträckan GD. Om vi antar att ljushastigheten är densamma före och efter reflektionen betyder det att sträckorna $GD = AE$. I figuren här bredvid finns två rätvinkliga trianglar: Triangel AGD innehåller infallsvinkeln, i , med förhållandet $\sin i = GD/AD$. Triangel AED innehåller reflektionsvinkeln, r , med förhållandet $\sin r = AE/AD$. Eftersom $GD = AE$ betyder detta att $\sin i = \sin r$, vilket i sin tur ger reflektionslagen $i = r$.



Avbildning vid reflektion i plan spegel/gränsyta



Transmission/absorption

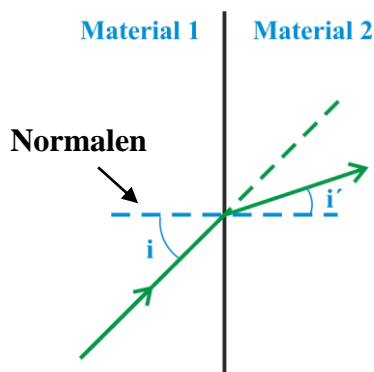
Vad händer med det ljus som inte reflekteras? Inget ljus försvinner vid ytan, det ljus som inte reflekteras går in i det nya materialet.

De flesta material är ogenomskinliga och då omvandlas ljuset snabbt till värme och tas upp av materialet. Detta kallas för absorption. Hur stor andel som absorberas beror på vilket material det är och hur tjockt det är.

Om ett material har låg absorption är det genomskinligt/transparent och ljuset transmitteras, det vill säga att ljuset fortsätter i det nya materialet (transmission). Sådana material kan man använda för att göra glasögon och andra linser. Vanligt glasönglas har ungefär 0,5 % absorption på 10 mm tjocklek. Det innebär att efter 1 cm glas återstår 99,5 % (0,995) av ljuset. Har man 2 cm återstår andelen $0,995 \times 0,995 = 0,990$ och efter 1 m => $0,995^{100} = 0,6 = 60\%$. En optisk fiber kan ha så låg absorption som <10 % på 1 km!

Brytning (transmission)

När ljus passerar en gränssyta mellan två transparenta material bryts det alltid på grund av en hastighetsförändring hos ljuset. Vinkeln mellan den transmitterade strålen och ytans normal kallas brytningsvinkeln, i' .



Brytningsindex

För att beskriva ljushastigheten i ett material använder vi brytningsindex för materialet. Ljushastigheten i vakuum (v_0) är 299 792,458 km/s. I alla material är ljusets hastighet lägre än i vakuum. Brytningsindex, n , för ett material med ljushastigheten v definieras som:

$$n = \frac{\text{ljushastighet i vakuum}}{\text{ljushastigheten i material}} = \frac{v_0}{v} > 1$$

Det är dock sällan som man behöver räkna ut n utan det tas oftast ur en tabell.

Några exempel på brytningsindex i vanliga material:

Material	n
Luft	1,00029
Vatten	1,3333 (4/3)
Plaster	1,46 – 1,7
Glas	1,46 – 1,95
Standardglas	1,523

Brytningslagen (Snells lag)

$$n' \cdot \sin i' = n \cdot \sin i$$

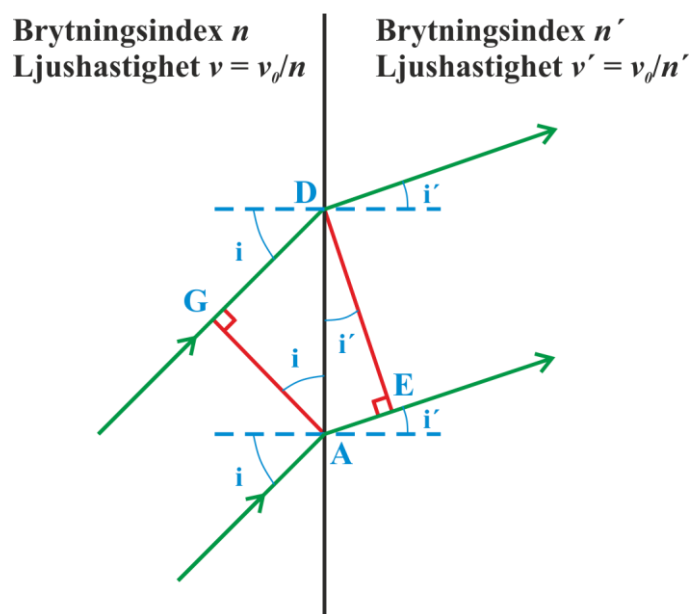
i = infallsvinkeln, i' = brytningsvinkeln,

n = brytningsindex hos materialet före/framför gränssytan

n' = brytningsindex hos materialet efter/bakom gränssytan

Brytningslagen är grunden för geometrisk optik i alla linser, glasögon, kikare mm.

Bevis av brytningslagen: Ett parallellt strålnippe falla in mot en gränsyta med infallsvinkeln i :



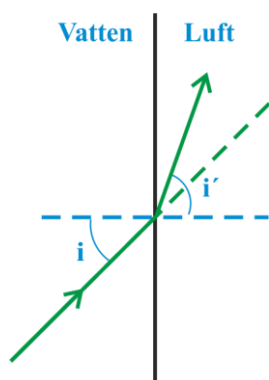
Röda linjerna AG och DE är vågfronter => Det måste ta lika lång tid för ljuset att gå sträckan GD som AE (Fermats princip säger att ljuset alltid färdas den väg som tar kortast tid). Eftersom tid = sträcka/hastighet får vi:

$$\frac{AE}{v'} = \frac{GD}{v} \Rightarrow \frac{n' \cdot AE}{v_0} = \frac{n \cdot GD}{v_0} \Rightarrow n' \cdot AE = n \cdot GD$$

I figuren ovan finns två rätvinkliga trianglar: Triangel AGD innehåller infallsvinkeln, i , med förhållandet $\sin i = GD/AD \Rightarrow GD = AD \sin i$. Triangel AED innehåller brytningsvinkeln, i' , med förhållandet $\sin i' = AE/AD \Rightarrow AE = AD \sin i'$. Alltså:

$$n' \cdot AE = n \cdot GD \Rightarrow n' \cdot AD \cdot \sin i' = n \cdot AD \cdot \sin i \Rightarrow n' \cdot \sin i' = n \cdot \sin i$$

Exempel:



Objektet i vatten, strålens infallsvinkel mot vattenytan är $i = 45,0^\circ$. Hur bryts strålen?

Sök i'

$n=4/3$ (vatten), $n'=1$ (luft).

$$n \cdot \sin i = n' \cdot \sin i' \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sin i' = \frac{n}{n'} \cdot \sin i \Rightarrow \sin i' = 0.943 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i' = \sin^{-1} 0.94 \Rightarrow i' = 70,5^\circ$$

Ljuset bryts alltså *från* normalen i detta fall

Tumregel:

Från tätare material (högre n) till tunnare (lägre n') innebär brytning *från* normalen.

Från tunnare material (lägre n) till tätare (högre n') innebär brytning *mot* normalen.

(Högre brytningsindex kallas tätare material, lägre brytningsindex tunnare.)

Observera att ljuset alltid tar samma väg i båda riktningarna!

(Man kan alltså vända på ljusriktningen i figuren ovan utan att något förändras med brytningen.)

Totalreflektion

Vad händer om infallsvinkeln i exemplet ovan blir större, exempelvis $i = 60^\circ$?

Samma beräkning som tidigare ger

$\sin i' = 1,15$ (vilket är omöjligt, sinus är aldrig större än 1).

En sådan situation innebär att inget ljus kan transmittas, dvs. allt ljus reflekteras => totalreflektion.

Kritisk vinkel (gränsen för totalreflektion) i_c :

$$\sin i' = \frac{n}{n'} \cdot \sin i_c = 1 \Rightarrow \sin i_c = \frac{n'}{n} \Rightarrow$$

$$i_c = \sin^{-1} \frac{n'}{n}$$

$i \geq i_c \Rightarrow$ totalreflektion

I exemplet ovan med $n' = 1$ och $n = \frac{4}{3}$, får vi $i_c = 48,6^\circ$.

Grunderna för geometrisk optik

Brytningslagen och reflektionslagen tillsammans med att ljusstrålarna är räta linjer utgör grunden för all geometrisk optik.