

Kapitel 33 - Ljus



Del 1. Ljusets natur



<https://www.youtube.com/watch?v=YhYcfAjZ7w>



Ljusets natur



Elektromagnetisk strålning

Våg egenskaper

Partikel egenskaper
(Fotoner)

Vågutbredning

Emission och Absorption

Kvantelektrodynamik

Komplementaritets principen:

Både våg och partikelbeskrivningen behövs för att förklara ljus.
Men inte på samma gång för samma fenomen.

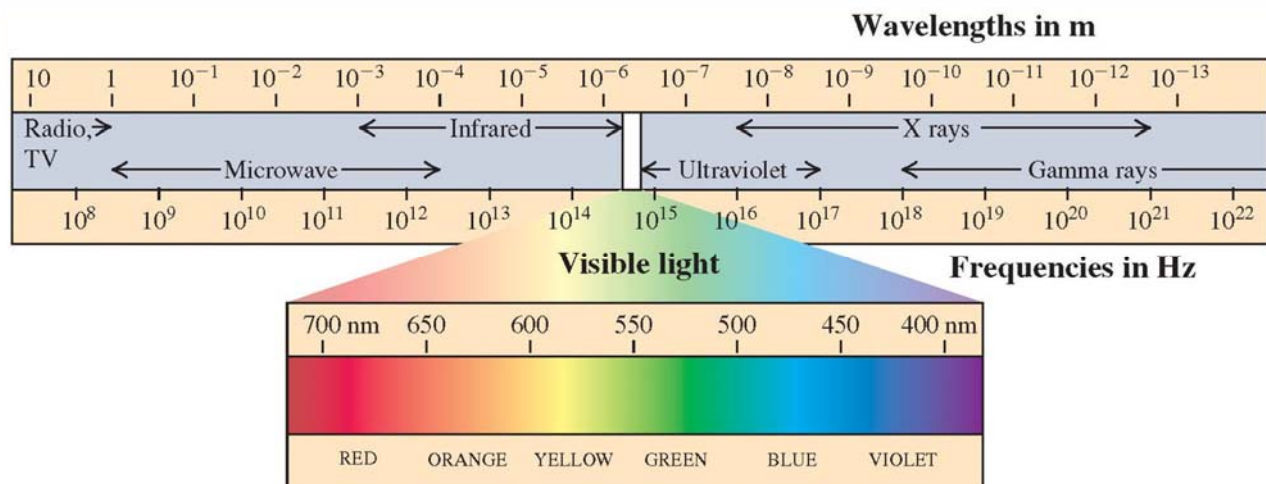


Ljusets natur



Det elektromagnetiska spektrumet

$$\lambda = c / f$$





Ljusets natur



Källa för elektromagnetisk strålning är elektriska laddningar i accelererad rörelse

Termisk strålning:

Termiska rörelser av molekyler skapar elektromagnetisk strålning.

Lampa:

En ström värmer glödtråden som sedan sänder ut värmestrålning med många våglängder.

Laser:

Atomerna emitterar ljus koherent vilket ger (nästan) monokromatisk strålning.



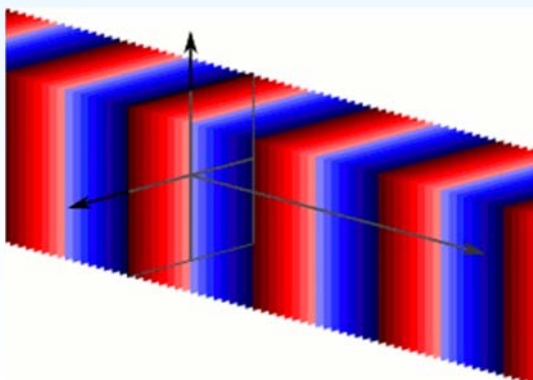
Ljusets natur



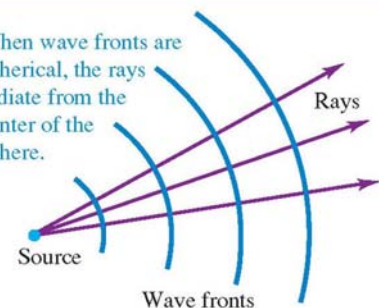
Våg front: yta med konstant fas.

Plan våg: en våg vars vågfronter är oändliga parallella plan.

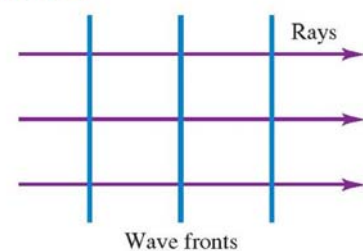
Stråle: tänkt linje längs riktningen för vågutbredningen.



When wave fronts are spherical, the rays radiate from the center of the sphere.



When wave fronts are planar, the rays are perpendicular to the wave fronts and parallel to each other.



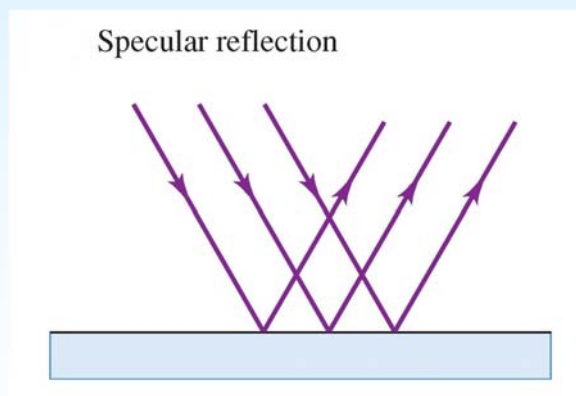


Del 2. Reflektion och refraktion

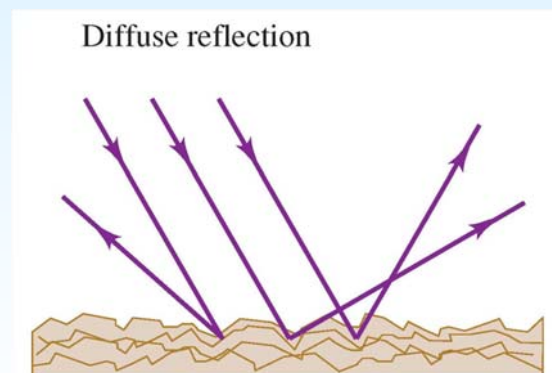


Typer av reflektion

Spegel reflektion



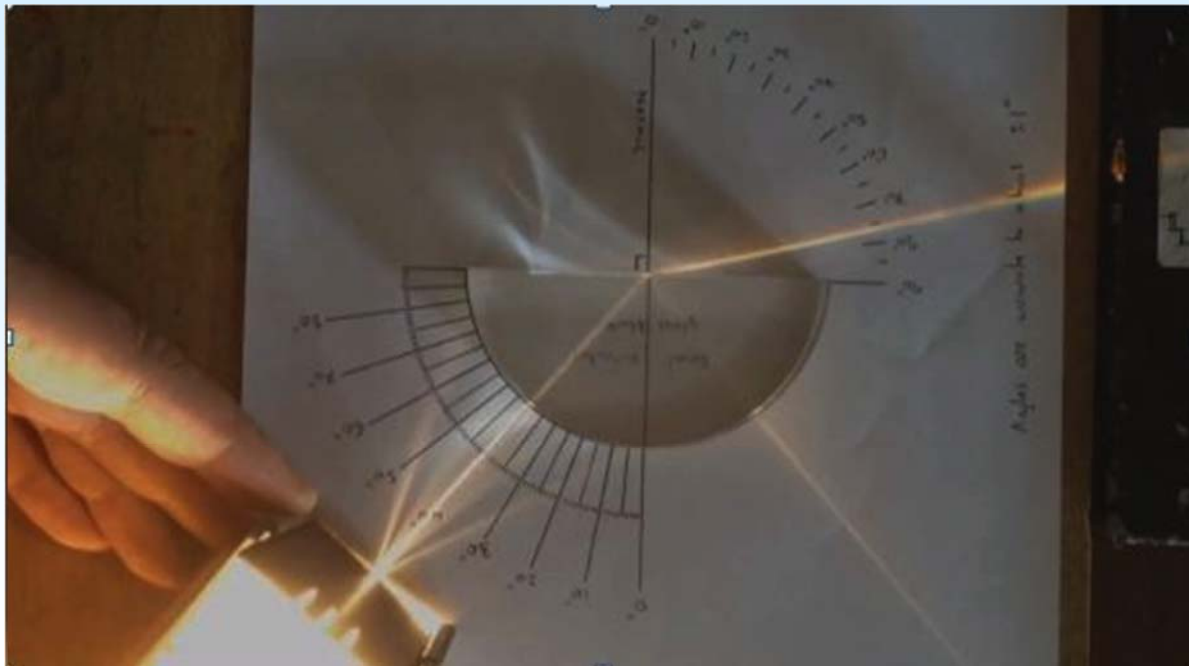
Diffus reflektion





Ljusets natur

Reflektion & Refraktion



<https://www.youtube.com/watch?v=NAaHPRsveJk>

Vincent Hedberg - Lunds Universitet

9



Ljusets natur

Reflektion & Refraktion



Observationer:

Vid ytan mellan glas och luft både reflekteras och refrakteras ljuset.

Reflektionsvinkeln är densamma som den infallande vinkeln.

Brytningsvinkeln är större än den infallande vinkeln.

Vid ytan mellan luft och glas är vinkeln 90 grader och då reflekteras och bryts ljuset också med 90 grader.



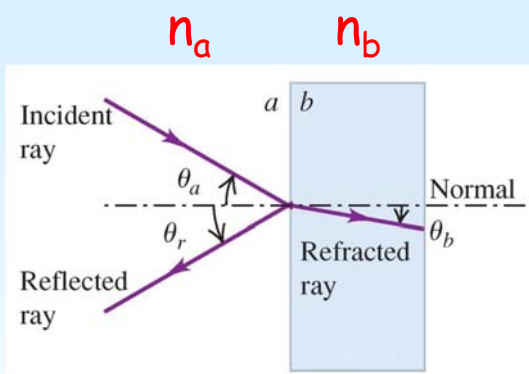
Vincent Hedberg - Lunds Universitet

10



Ljusets natur

Reflektion & Refraktion



$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{index of refraction})$$

$n = 1$ i vakuum
 $n > 1$ i ett material

Planet för infallande ljus:
 Planet för den infallande strålen och normalen till ytan.

Den reflekterade och refrakterade strålen är i planet för det infallande ljuset.

Refleksionslagen:

$$\theta_r = \theta_a \quad (\text{law of reflection})$$

Snells lag:

$$n_a \sin \theta_a = n_b \sin \theta_b \quad (\text{law of refraction})$$



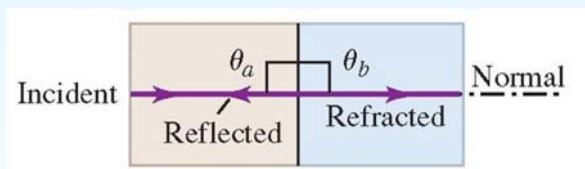
Ljusets natur

Reflektion & Refraktion

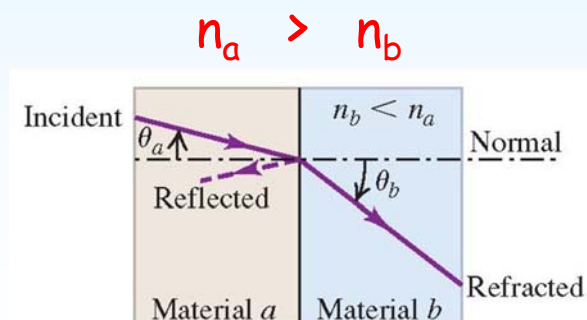
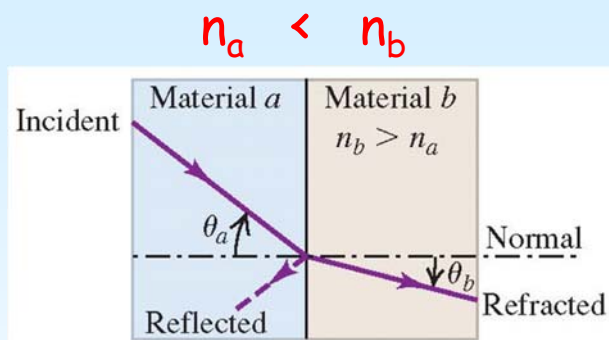


Snells law:

$$n_a \sin \theta_a = n_b \sin \theta_b \quad (\text{law of refraction})$$



Regel:
 Stort $n \rightarrow$ Liten vinkel





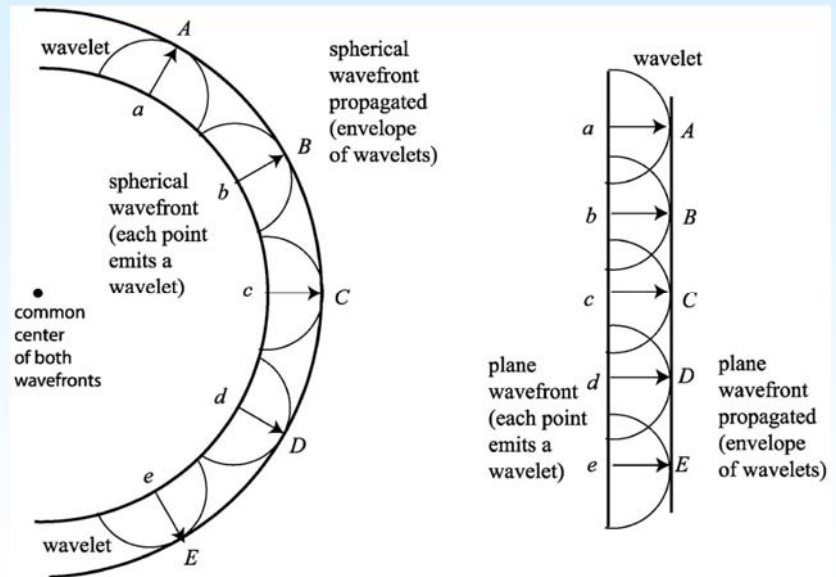
Ljusets natur Reflektion & Refraktion



Huygens princip

Varje punkt i en vågfront betraktas som en ny källa till sekundära vågelement ("wavelets").

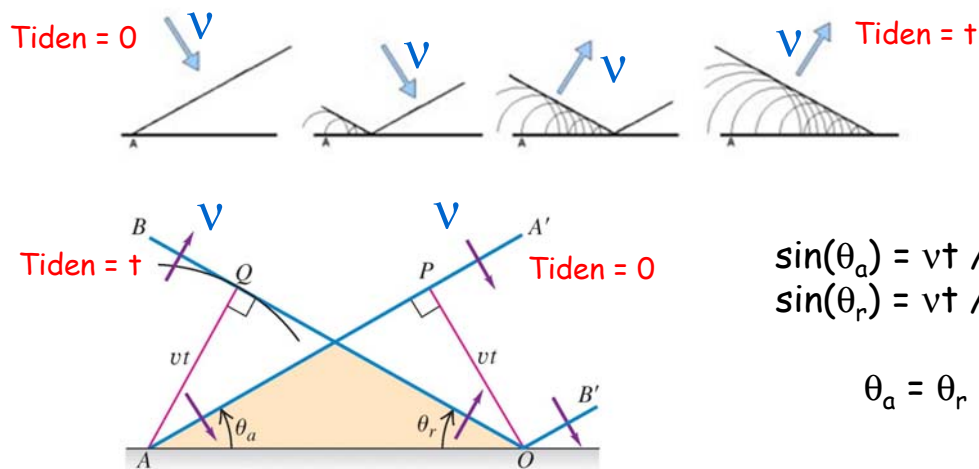
Alla de kombinerade vågelementen (circlarna) från alla punkter skapar de nya vågfronterna.



Ljusets natur Reflektion & Refraktion



Huygens princip & Reflektionslagen



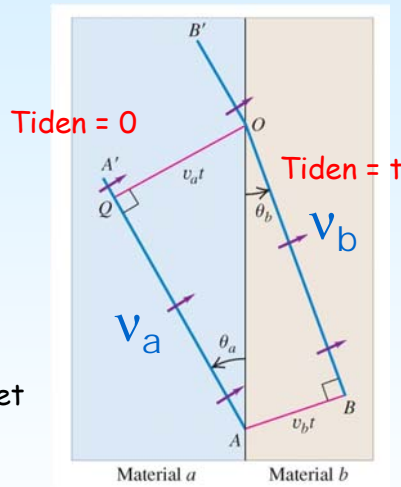
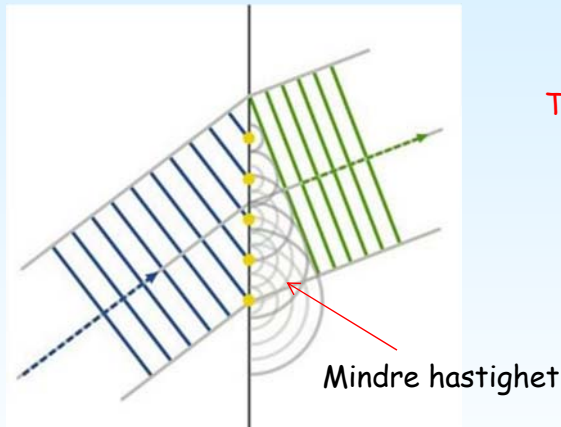
Eftersom utbredningshastigheten är densamma före och efter reflektionen måste reflektionsvinkeln vara den samma som den infallande vinkeln.



The nature of light



Huygens princip & Refraktions lagen



$$\sin \theta_a = \frac{v_a t}{AO}$$
$$\sin \theta_b = \frac{v_b t}{AO}$$

$$\frac{\sin \theta_a}{\sin \theta_b} = \frac{v_a}{v_b}$$

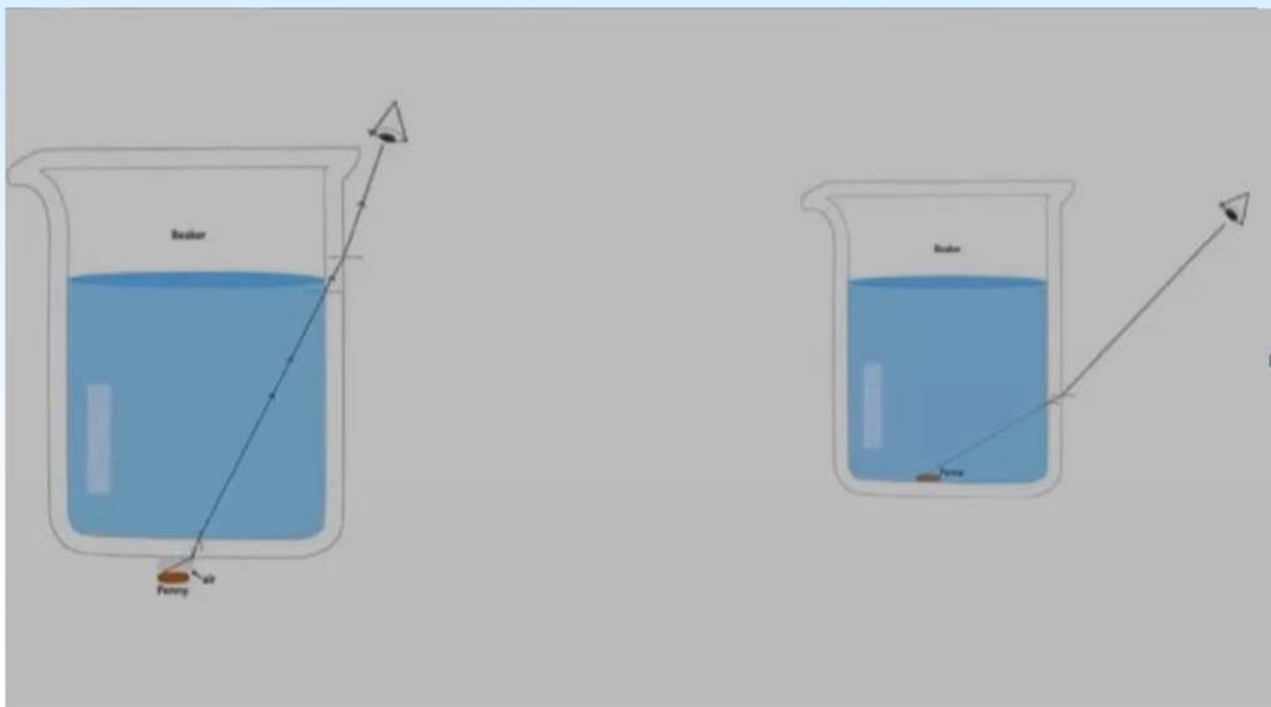
$$\frac{\sin \theta_a}{\sin \theta_b} = \frac{n_b}{n_a}$$
$$n_a \sin \theta_a = n_b \sin \theta_b$$

Skillnaden på vågens hastighet i de två materialen ändrar vinkeln.

$$\frac{n_b}{n_a} = \frac{c/v_b}{c/v_a} = \frac{v_a}{v_b}$$



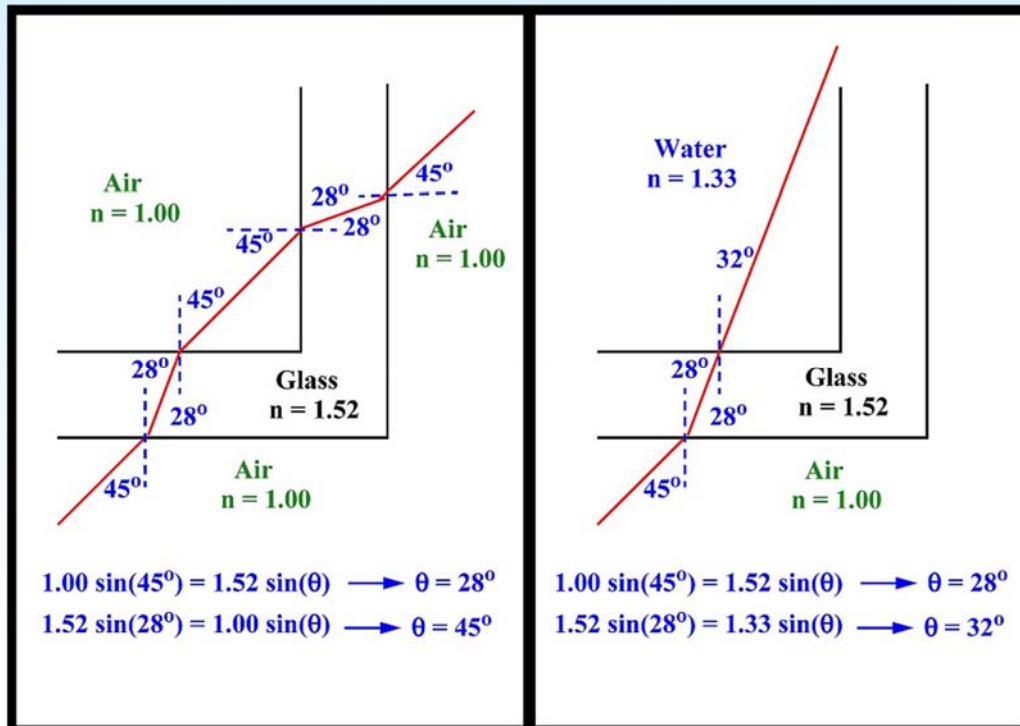
Ljusets natur Reflektion & Refraktion





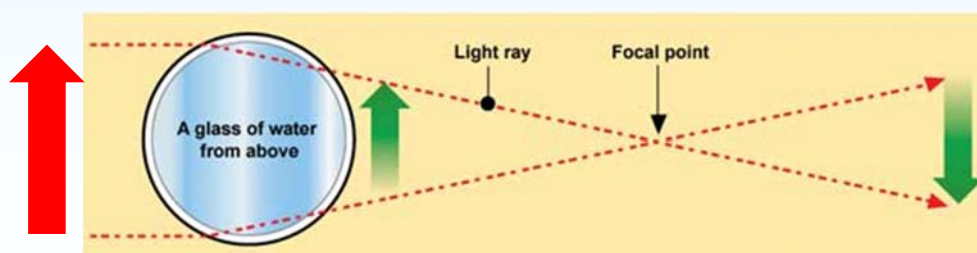
Ljusets natur

Reflektion & Refraktion



Ljusets natur

Reflektion & Refraktion

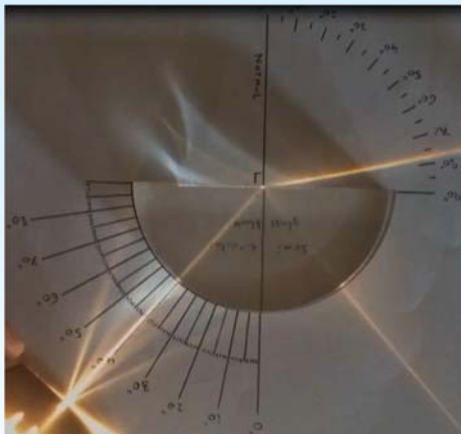
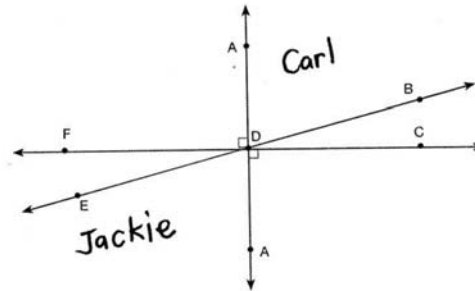




Del 3. Problem lösning

Q: Name a pair of vertical angles.

A:



Vad är brytningsindexet
för glaset ?

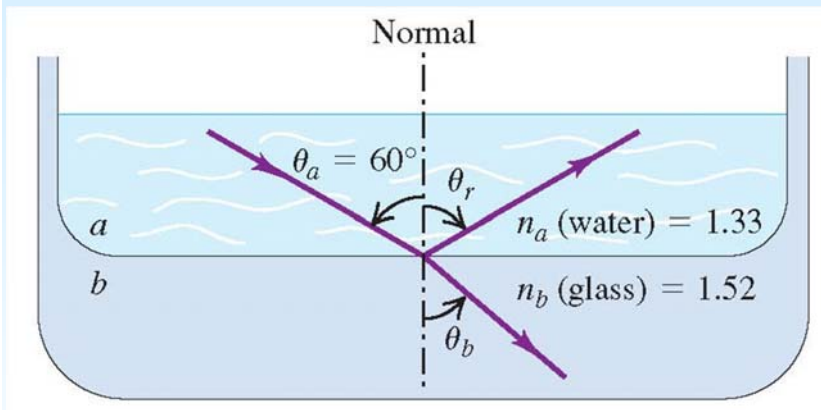
$$n_a \sin \theta_a = n_b \sin \theta_b \quad (\text{law of refraction})$$

$$\theta_a = 40 \text{ deg.} \quad \theta_b = 77 \text{ deg.} \quad n_b = 1$$

$$n_a = \sin(77^\circ) / \sin(40^\circ) = 1.52$$



Ljusets natur Problem



Vad är vinklarna av det reflekterade och refrakterade ljuset ?

$$\theta_r = \theta_a = 60.0^\circ$$

$$n_a \sin \theta_a = n_b \sin \theta_b$$

$$\sin \theta_b = \frac{n_a}{n_b} \sin \theta_a = \frac{1.33}{1.52} \sin 60.0^\circ = 0.758$$

$$\theta_b = \arcsin(0.758) = 49.3^\circ$$



Ljusets natur Intensitet



Del 4. Ljus instensitet



Ljusets natur Intensitet



Observationer rörande intensitet

Intensiteten hos det reflekterade ljuset ökar från nästan

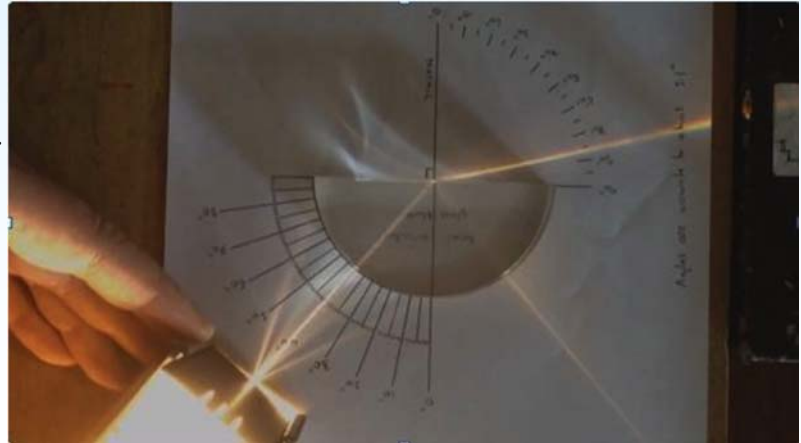
0% vid $\theta = 0^\circ$

till

100% för $\theta = 90^\circ$.

Intensiteten hos det reflekterade ljuset beror också på **n** och på **polariseringen** av det inkommande ljuset.

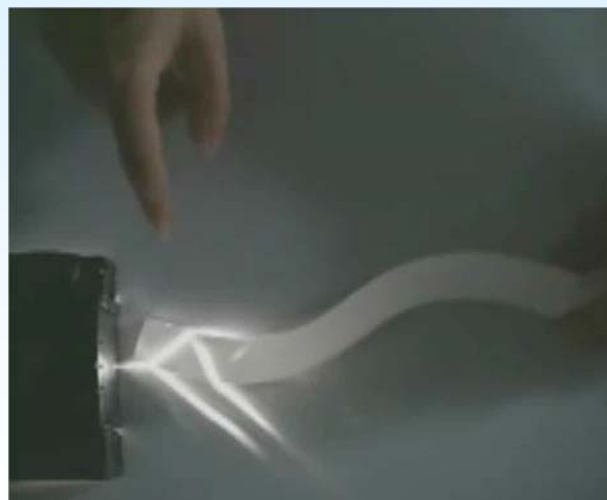
Summan av intensiteten av det **reflekterade och refrakterad** ljuset är lika med intensiteten hos det **inkommande ljuset**.



Ljusets natur Totalreflektion



Del 5. Totalreflektion



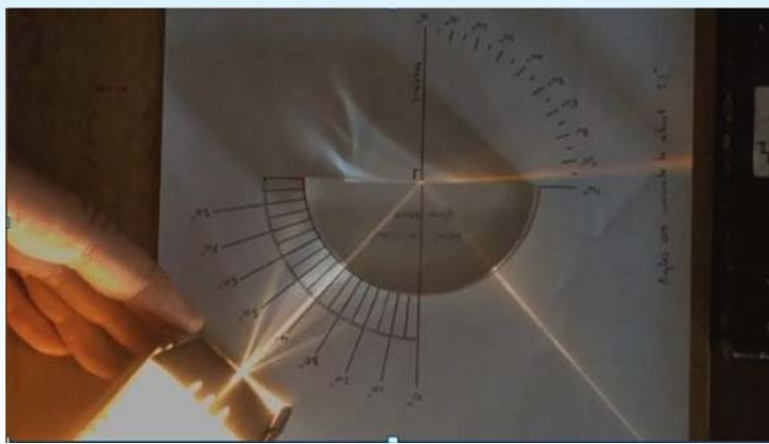
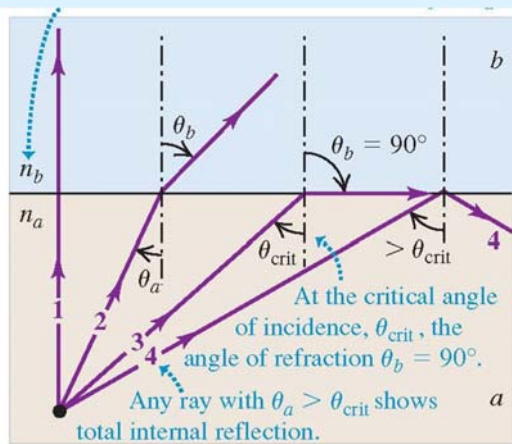
<https://www.youtube.com/watch?v=7aU8sX8cFNs>



Ljusets natur Totalreflektion



Totalreflektion när ljuset går till ett medium med mindre n



$$n_a \sin \theta_a = n_b \sin \theta_b$$

90°

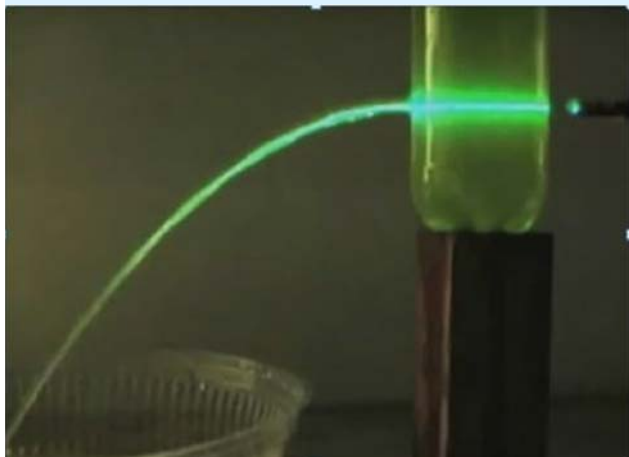
$$\sin \theta_{crit} = \frac{n_b}{n_a} \quad (\text{critical angle for total internal reflection})$$



Ljusets natur Totalreflektion



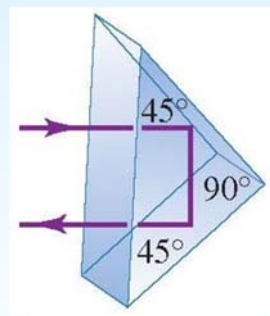
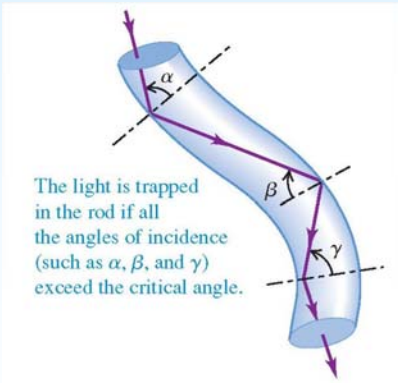
Totalreflektion



https://www.youtube.com/watch?v=hBQ8fh_Fp04

optisk fiber

Porro prisma



$$\theta_{crit} = 41.1^\circ$$

$$\sin \theta_{crit} = \frac{n_b}{n_a} \quad (\text{critical angle for total internal reflection})$$

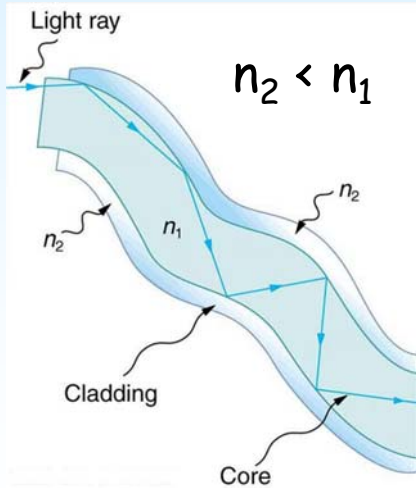


Ljusets natur Totalreflektion

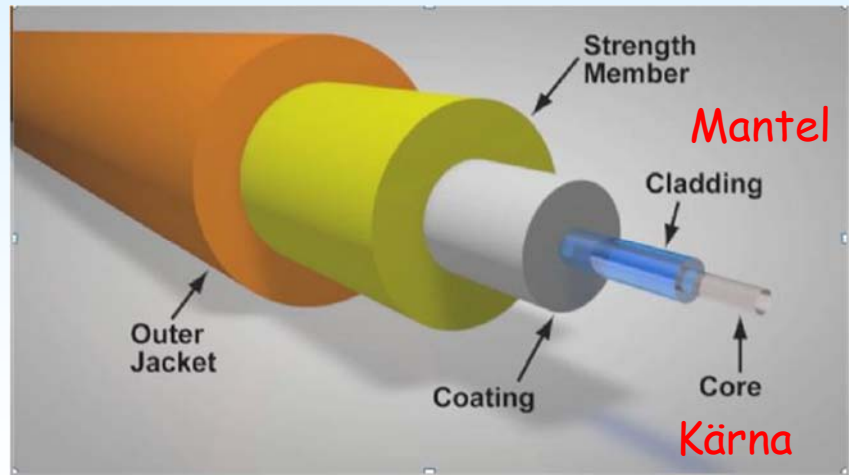


Optiska fiber

Princip



Struktur



<https://www.youtube.com/watch?v=p9aC575BJcw>

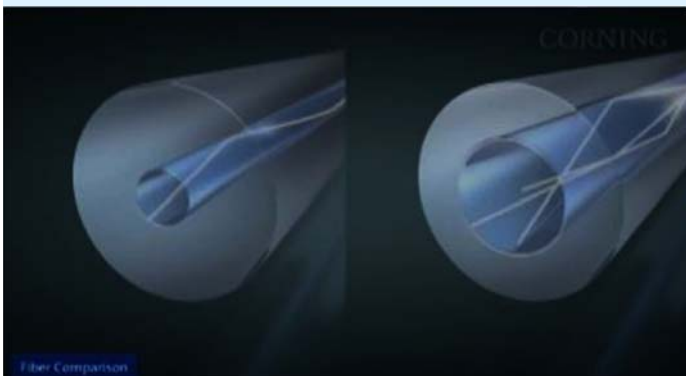


Ljusets natur Totalreflektion



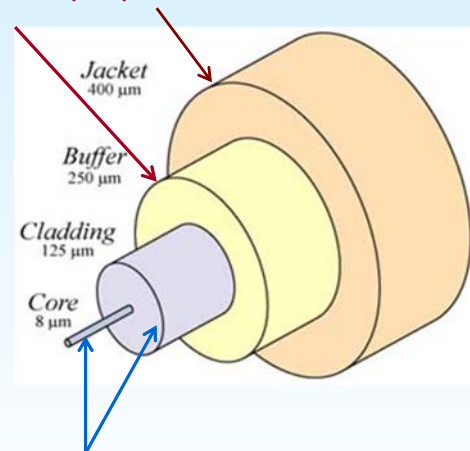
Skyddande lager

Plast som teflon, polyuretan eller PVC.



Singlemode fiber
Liten kärna - låg dämpning

Multimode fiber
Stor kärna - ljus kan färdas längs
flera vägar - används korta sträckor



Glas (SiO_2) eller plast
Dopämnen: Ge ökar n
B och F minskar n

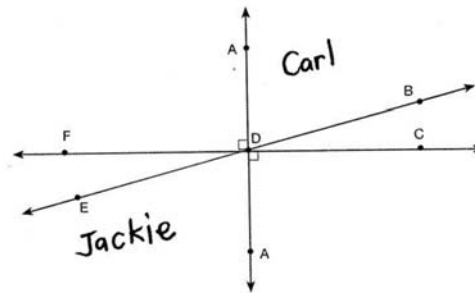
https://www.youtube.com/watch?v=N_kA8EpCUQo



Del 6. Problem lösning

Q: Name a pair of vertical angles.

A:

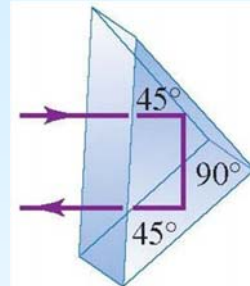


Ett Porro prisma som stoppas i vatten fungerar inte. Varför inte ?

$n=1.00$ för luft

$n=1.52$ för glas

$n=1.33$ för vatten



Den inkommande vinkeln måste vara större än den kritiska vinkeln för prismet ska fungera:

The critical angle for water ($n_b = 1.33$) on glass ($n_a = 1.52$) is

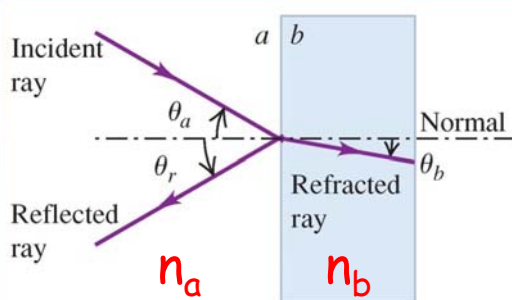
$$\theta_{\text{crit}} = \arcsin \frac{1.33}{1.52} = 61.0^\circ$$

45° är mindre än 61° så i vatten blir det ingen totalreflektion.

(I luft är den kritiska vinkeln 41°)



Del 7. Frekvens- och våglängdsberoende



Frekvens och våglängd

$v = c/n$ **Större n → Hastigheten lägre**

$f_a = f_b$ **Större n → Frekvensen oförändrad**

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{nf}$ **Större n → Våglängden kortare**

$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{index of refraction})$$

$n = 1$ i vakuum
 $n > 1$ i ett material

$$\lambda_0 = c / f \quad n = 1$$

$$\lambda = v / f \quad n > 1$$



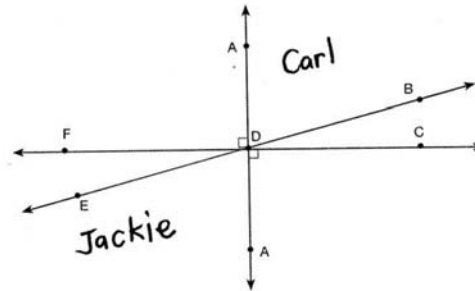
$$\lambda_0 / \lambda = c / v = n$$



Del 8. Problem lösning

Q: Name a pair of vertical angles.

A:



Helium-neon laser ljus har våglängden 633 nm i luft men 474 nm inne i ett öga.

Vad är frekvensen av ljuset i luft ?

Vad är brytningsindex, ljusets hastighet och frekvensen i ögat ?

Luft:

$$f = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{633 \times 10^{-9} \text{ m}} = 4.74 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

Ögat:

$$n = \frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{633 \text{ nm}}{474 \text{ nm}} = 1.34$$

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1.34} = 2.25 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{2.25 \times 10^8 \text{ m/s}}{474 \times 10^{-9} \text{ m}} = 4.74 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

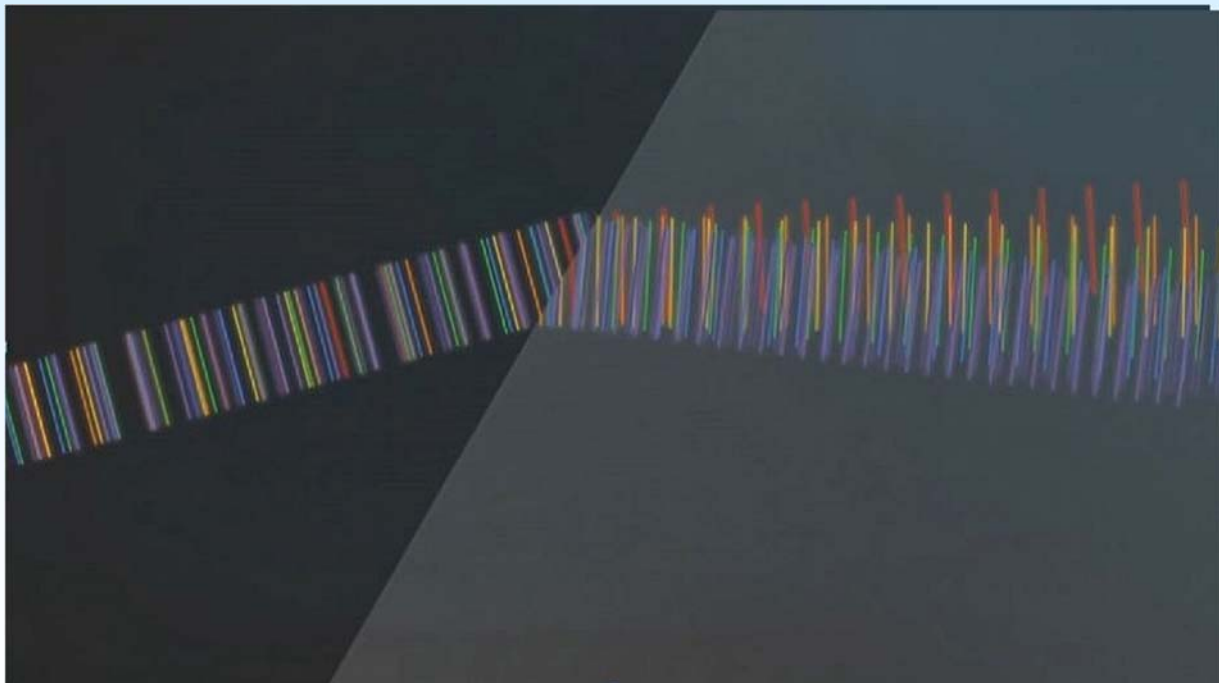
Observera
Samma f !



Del 9. Ljus dispersion



<https://www.youtube.com/watch?v=GNMqoInLc9Q>



<https://www.youtube.com/watch?v=Aggi0g67uXM>



Ljusets natur Dispersion



Dispersion

Hur är det möjligt ?



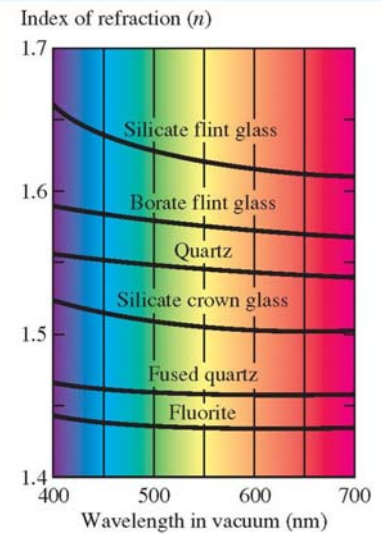
$$n_a \sin \theta_a = n_b \sin \theta_b \quad (\text{law of refraction})$$

Svar: n måste bero på λ !

men

$$n = c / v$$

så hastigheten i materialet måste beror på λ



Ljusets natur Dispersion



Regnbåge

