



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

F7 Interferens i tunna skikt

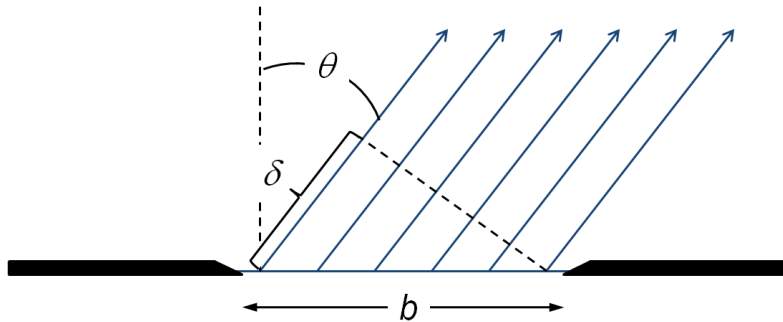


Böjning (diffraktion)

Vattenvågor



Böjning och interferens

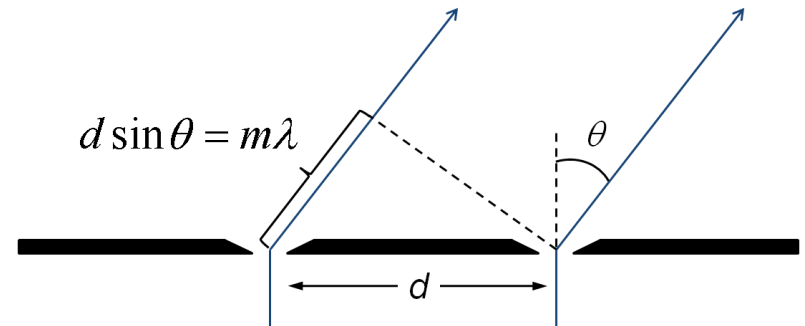


Böjningsminima:

$$b \sin \theta = m\lambda, m = 1; 2; 3; \dots$$

Böjning:

Oändligt antal elementarvågor från
en öppning



Interferensmaxima:

$$d \sin \theta = m\lambda, m = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3; \dots$$

Interferens:

Ändligt antal elementarvågor från
flera öppningar





LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Dagens föreläsning



- F4 – Elektromagnetiska vågor
 - F5 – Bøjning och upplösning
 - F6 – Interferens och bøjning
 - **F7 – Interferens i tunna skikt**
 - F8 – Polarisation
-



- Repetition: Interferens och bøjning
- Reflektioner i tunna skikt
- Interferens i ett tunt skikt
- Multipelinterferens



Reflektion i ytskikt mellan luft till glas

Exempel

Ett vanligt kameraobjektiv innehåller ca 15 linser. Antag att linsernas brytningsindex är 1,5 och beräkna totala transmittansen utan antireflexbehandling.

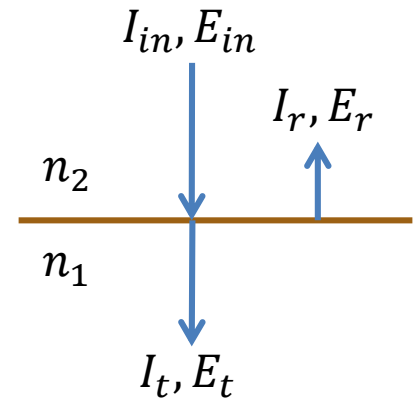


Reflektans och transmittans

Härledning

- Energin är bevarad
- Elektriska fältet är kontinuerligt

$$\begin{cases} I_{in} = I_r + I_{tr} \\ E_{in} = E_r + E_t \\ I = \text{konst } nE^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} r = -\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \\ R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2 \end{cases}$$



➔ Fasskift på π vid reflektion mot tätare material!



Antireflexbehandling

Glasögon

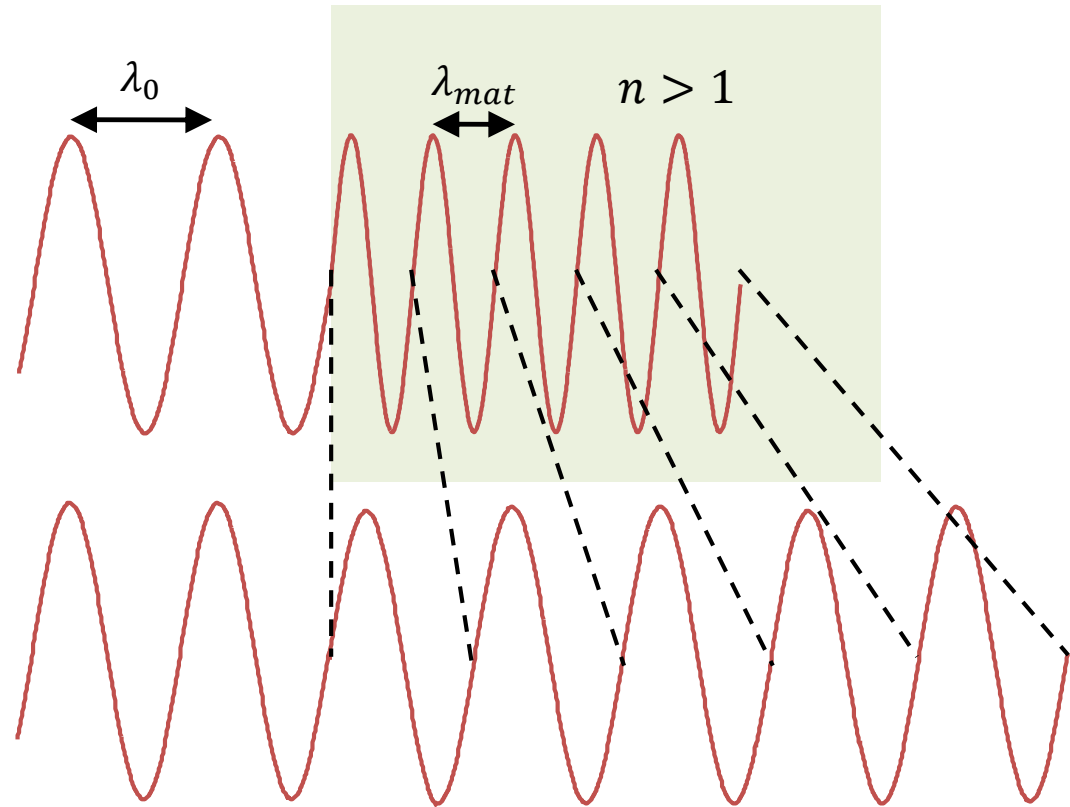


Optisk väglängd

- Sträcka i vakuum som ger samma fasskift som i ett material.

$$E_1 = \begin{cases} E_0 \sin(\omega t - k_0 x), & x < 0 \\ E'_0 \sin(\omega t - kx), & x > 0 \end{cases}$$

$$E_2 = E_0 \sin(\omega t - k_0 x)$$

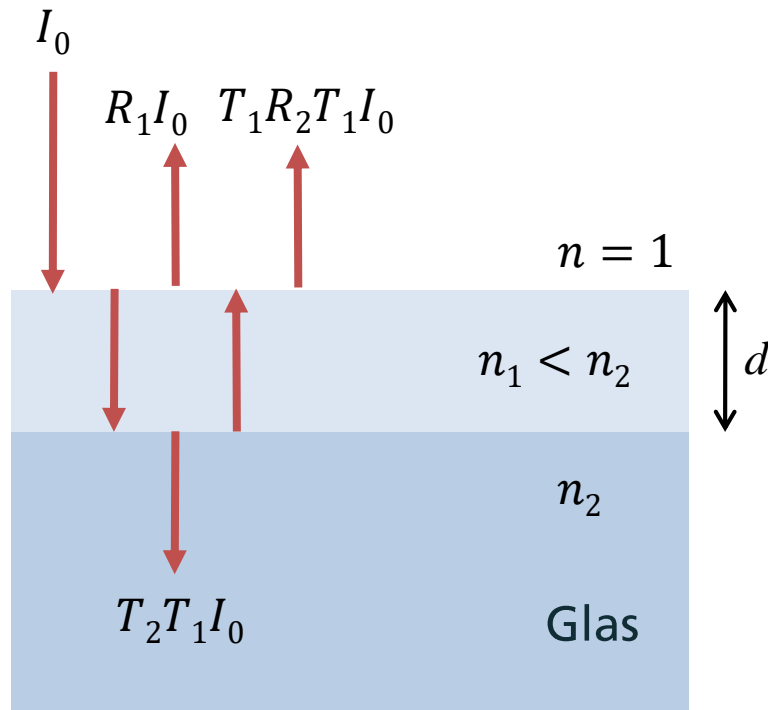


$$kx = \frac{2\pi}{\lambda} x = \frac{2\pi}{\lambda_0} \frac{\lambda_0}{\lambda} x = k_0 n x \Rightarrow L = n x$$



Antireflexbehandling

Ett skikt



Var sker fasskift?

Hur tjockt skikt, d , av ett material med brytningsindex n_1 ger minimal reflektion?

$$2n_1 d = \frac{\lambda}{2} + m\lambda$$

Minsta tjocklek för $m = 0$:

$$d = \frac{\lambda}{4n_1}$$

Vilket brytningsindex n_1 ger minimal reflektion?

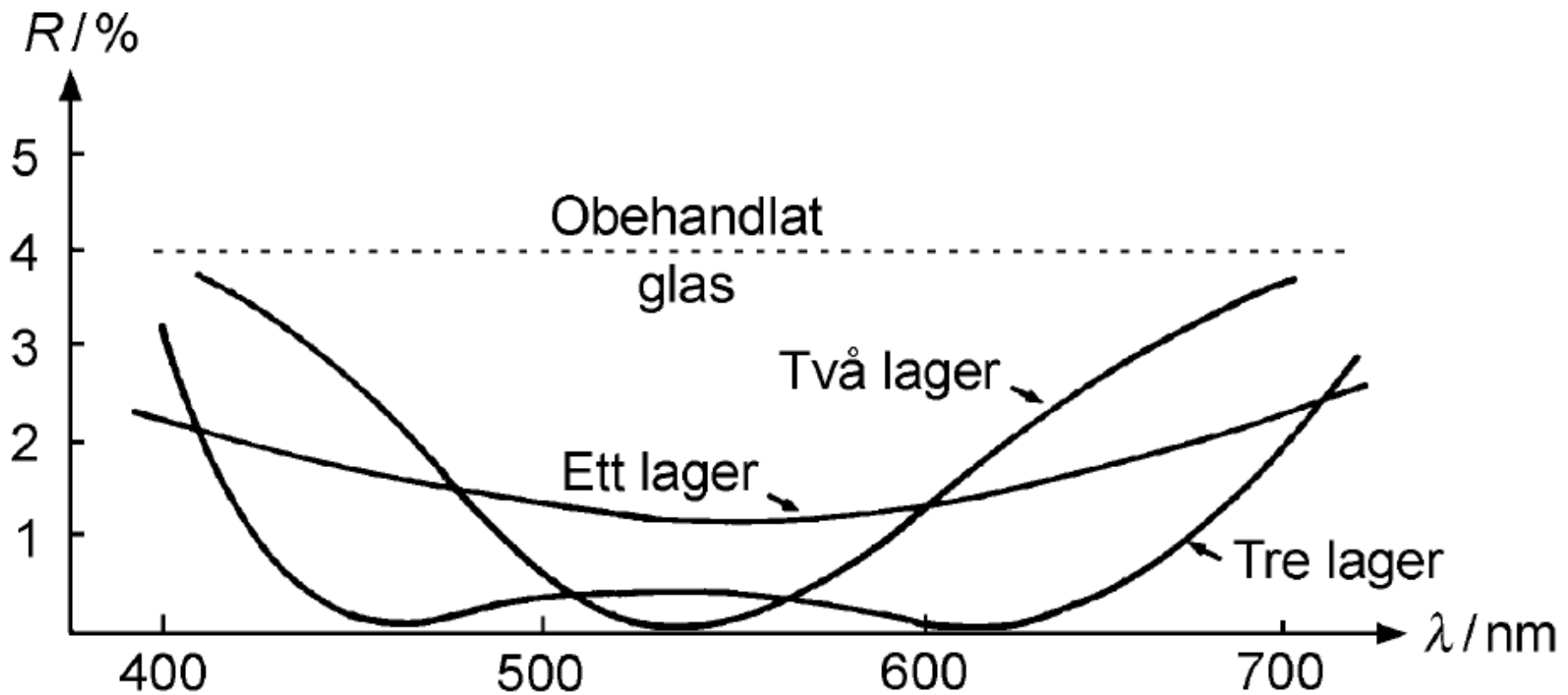
$$n_1 \approx \sqrt{n_2}$$



Antireflexbehandling

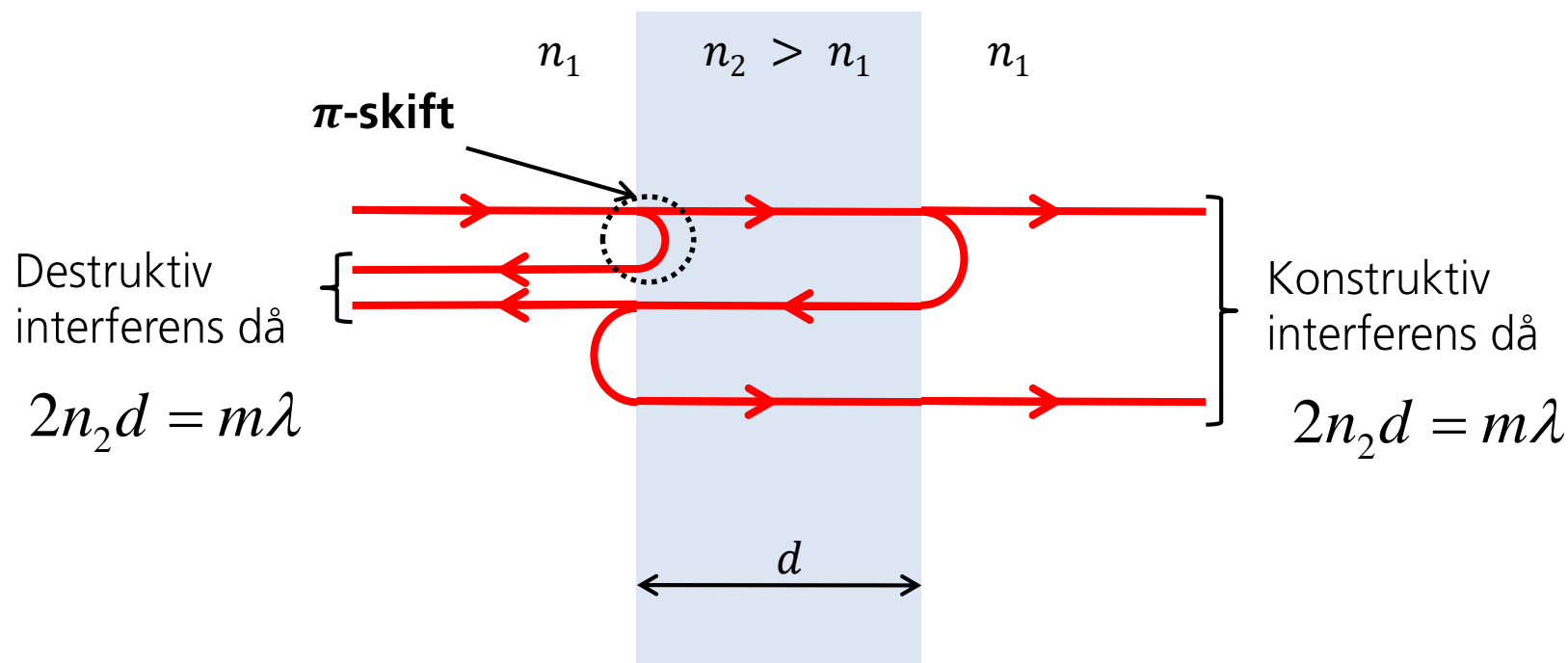
Våglängdsberoende

- Antireflexbehandling av glas ($n = 1,5$) med MgF_2 ($n = 1,38$)



Tunna skikt

Normalt infall och $n_2 > n_1$

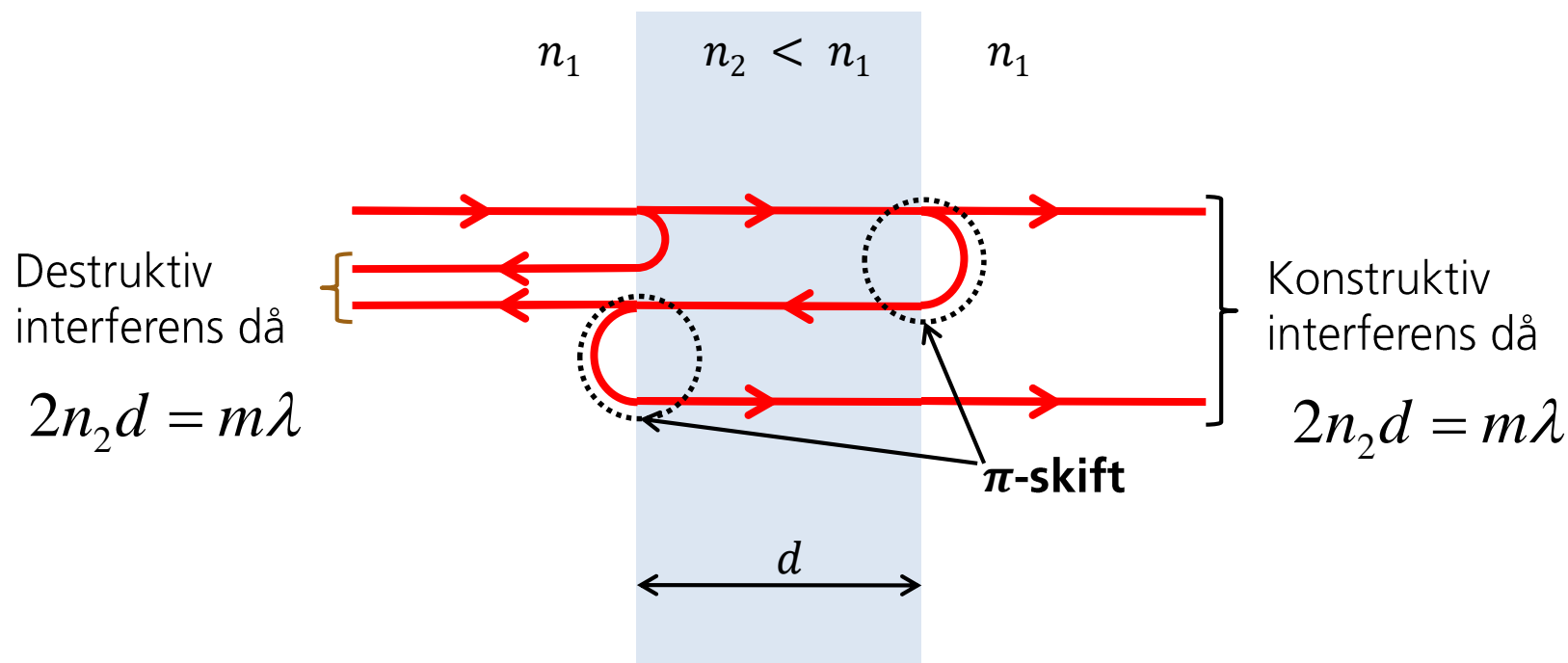


Observera att $R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2$ men $r = -\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}$



Tunna skikt

Normalt infall och $n_2 < n_1$



Observera att $R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2$ men $r = -\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}$



Exempeluppgift

Fjärilsvingar

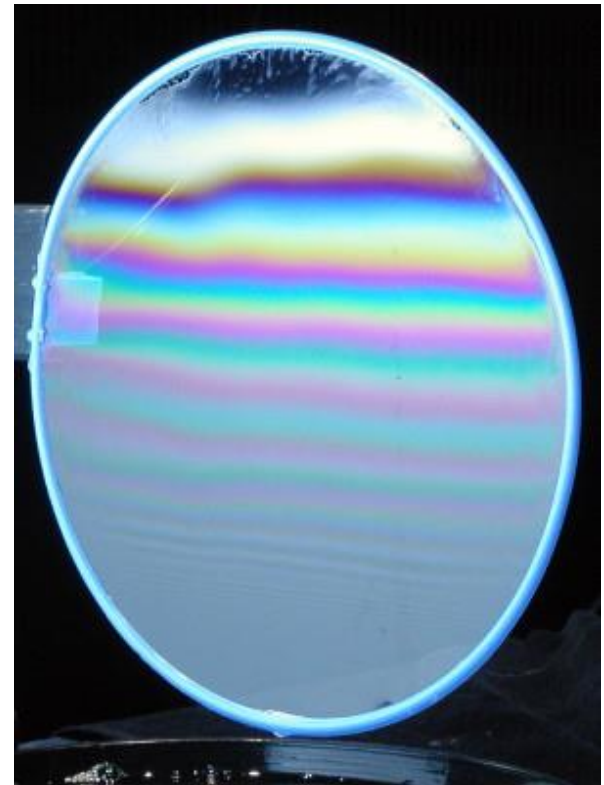
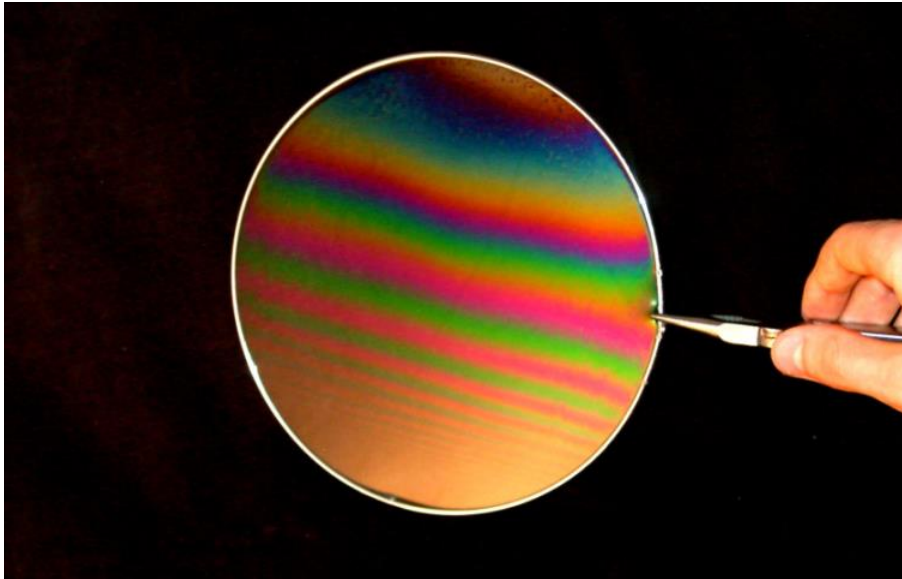
Färgen på en fjärilsvinge uppkommer genom interferens i tunna kitinskikt. Hos den fjärilsart som vi ska räkna på är kitinskikten 76 nm tjocka. Kitin har brytningsindex 1,52. Ljuset infaller längs normalen till ett kitinskikt som är omgivet av luft på båda sidor. Beräkna vilken eller vilka synliga våglängder som ger konstruktiv interferens i reflekterat ljus.



Exempel

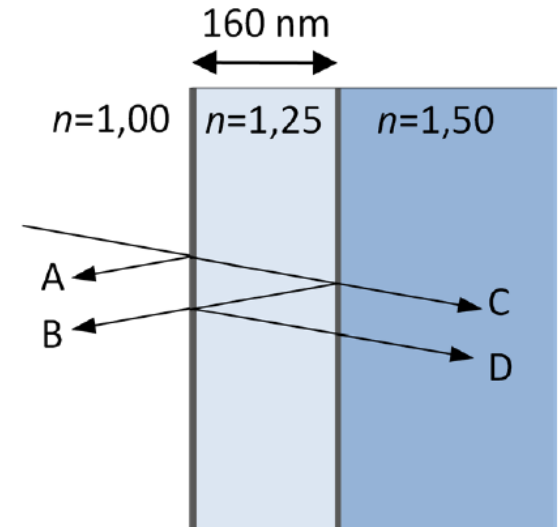
Såphinna

- Varför syns horisontella interferensfransar?
- Varför är färgerna separerade?



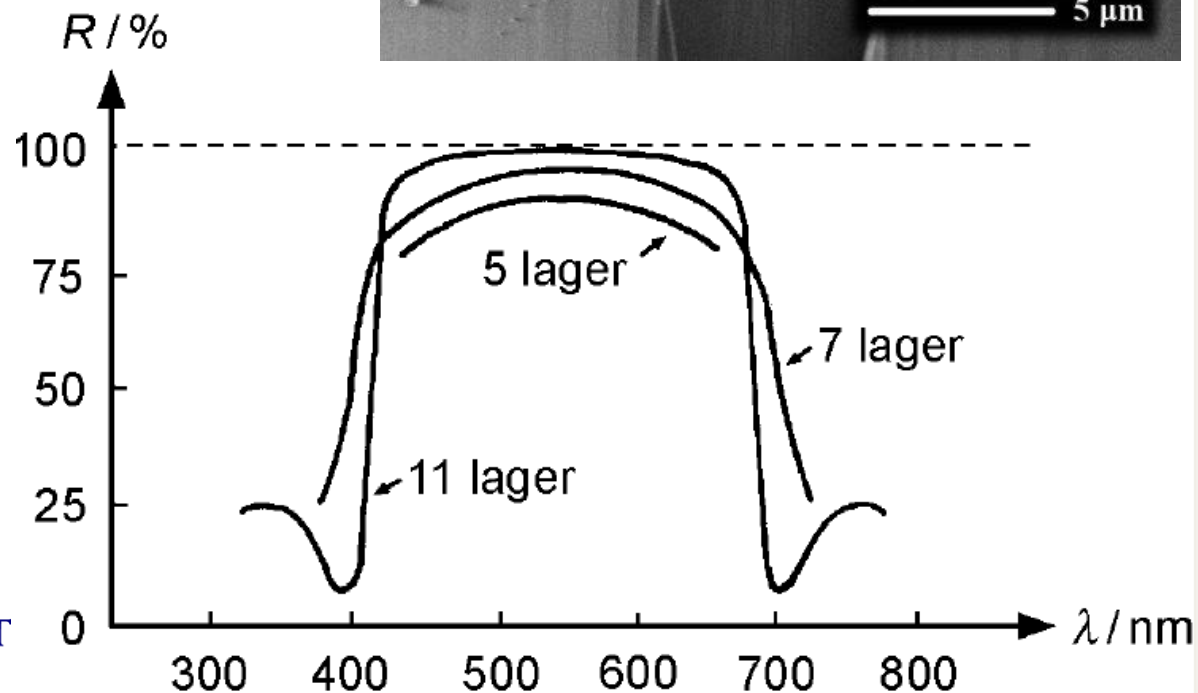
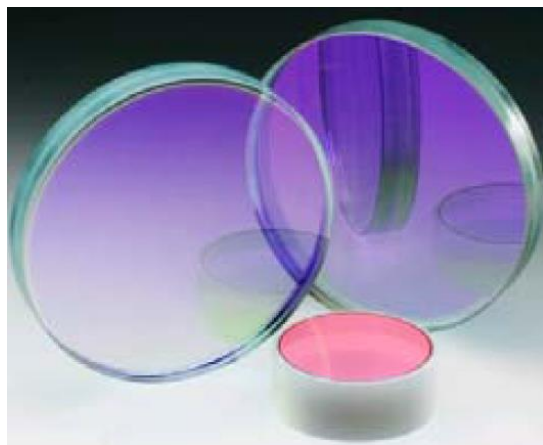
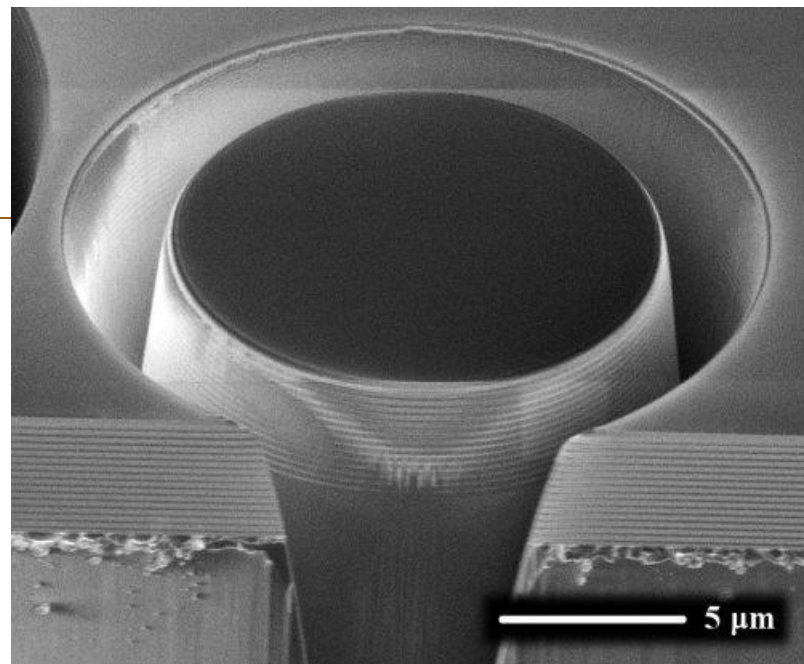
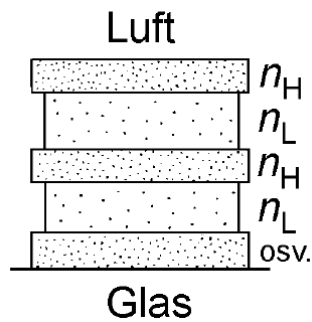
Exempeluppgift

Är strålarna A och B och/eller strålarna C och D i figuren till höger i fas om våglängden är 800 nm? (Antag normalt infall, strålarna i figuren är ritade med en vinkel för tydlighets skull.)



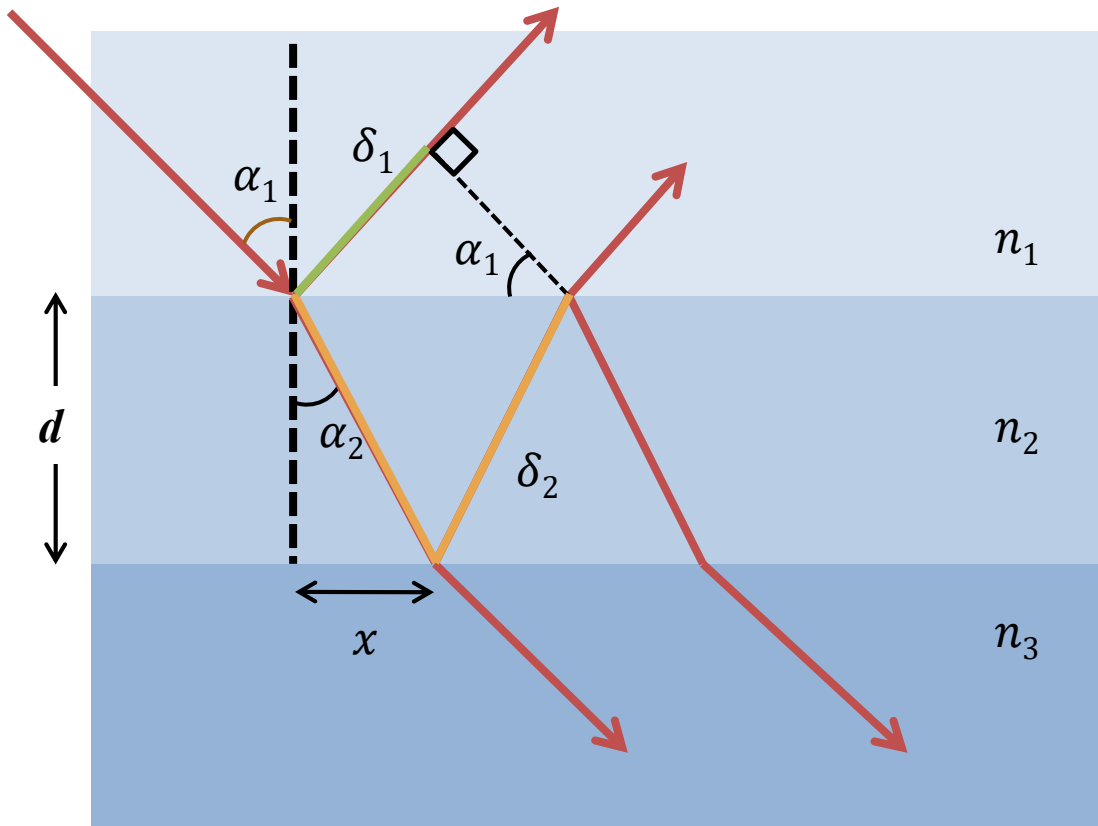
Dielektriska speglar

Tillämpning



Tunna skikt

Infall med en vinkel



$$\delta_1 = 2x n_1 \sin \alpha_1$$
$$\delta_2 = 2d n_2 / \cos \alpha_2$$

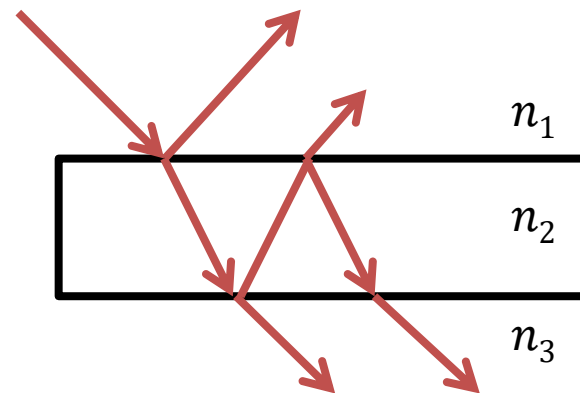
- Optisk vägskillnad
 $2n_2 d \cos \alpha_2 = m\lambda$
- Fasskift?



Tunna skikt

Konstruktiv eller destruktiv interferens?

$$2n_2d \cos \alpha = m\lambda$$



	Samma typ av reflektion $n_1 < n_2 < n_3$ eller $n_1 > n_2 > n_3$	Olika typ av reflektion $n_1 < n_2 > n_3$ eller $n_1 > n_2 < n_3$
Reflektion	Konstruktiv	Destruktiv
Transmission	Destruktiv	Konstruktiv



Sammanfattning

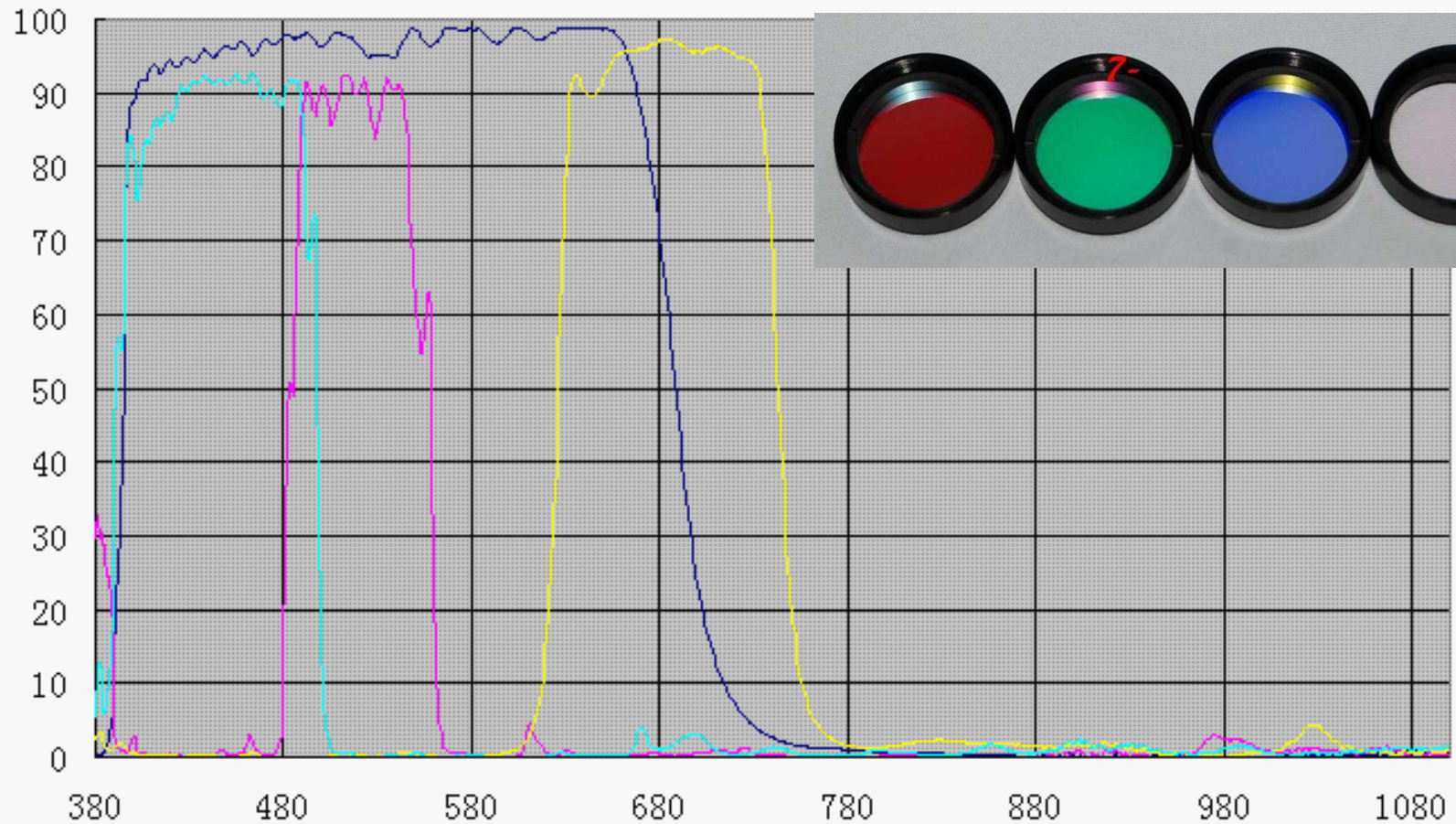
Tunna skikt

- Optisk väg: $L = nd$
- Fasskift: π -skift vid reflektion mot högre brytningsindex
- Maximum eller minimum: $2n_2d \cos \alpha = m\lambda$
- Antireflexbehandling: $d = \frac{\lambda_0}{2n_1} \left(m + \frac{1}{2} \right)$ och $n_1 \approx \sqrt{n_2}$



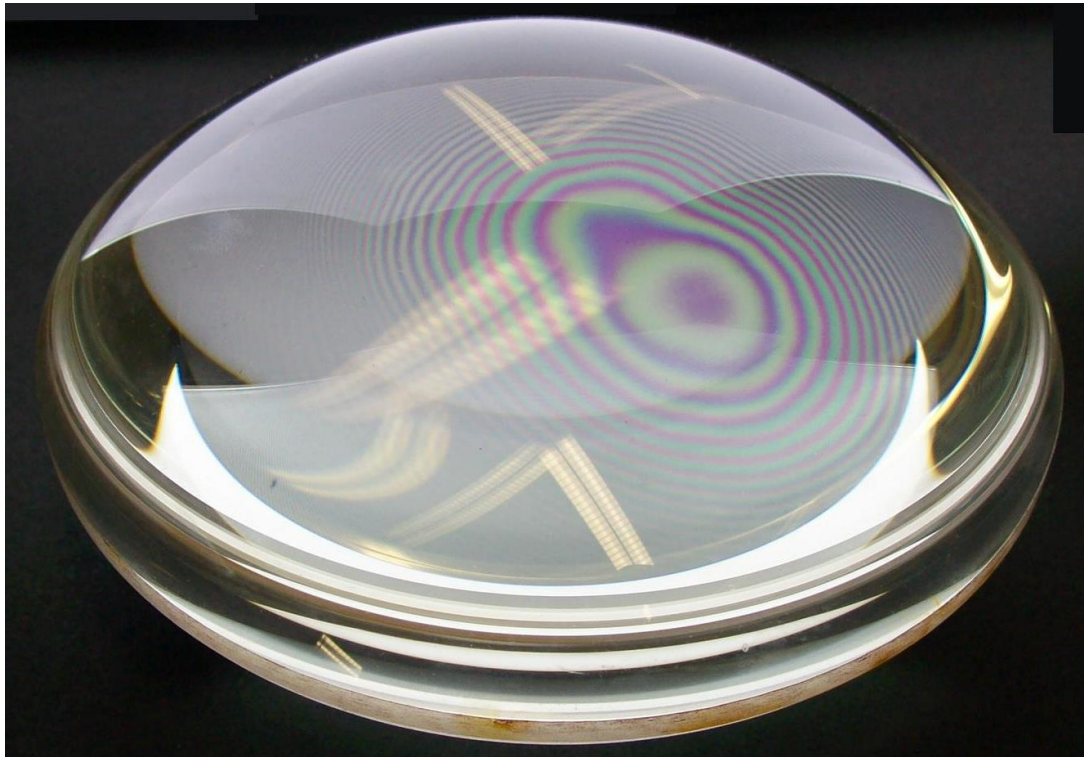
Tillämpning

Interferensfilter



Tunna skikt med varierande tjocklek

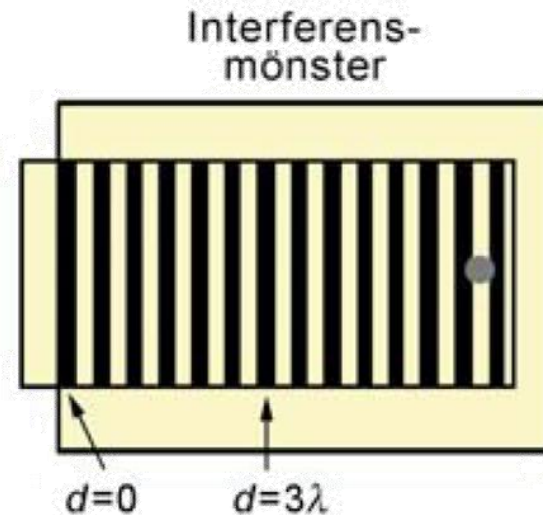
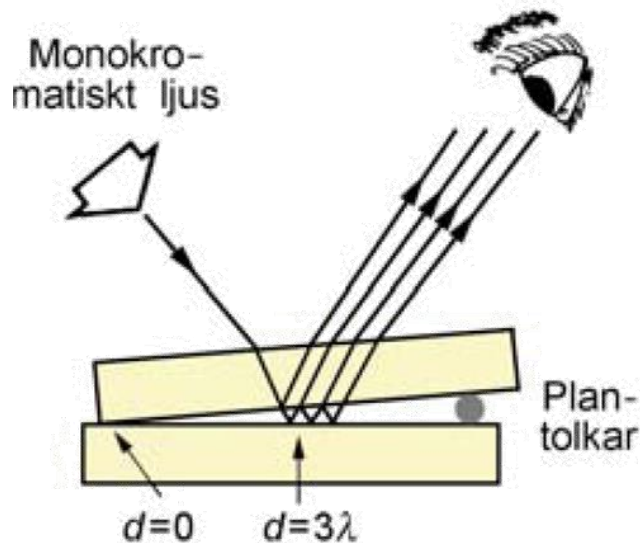
Den krökta ytan på en konvex lins ligger mot en plan yta. Interferens i luftspalten leder till regnbågsfärgade ringar.



Mätning med plantolk

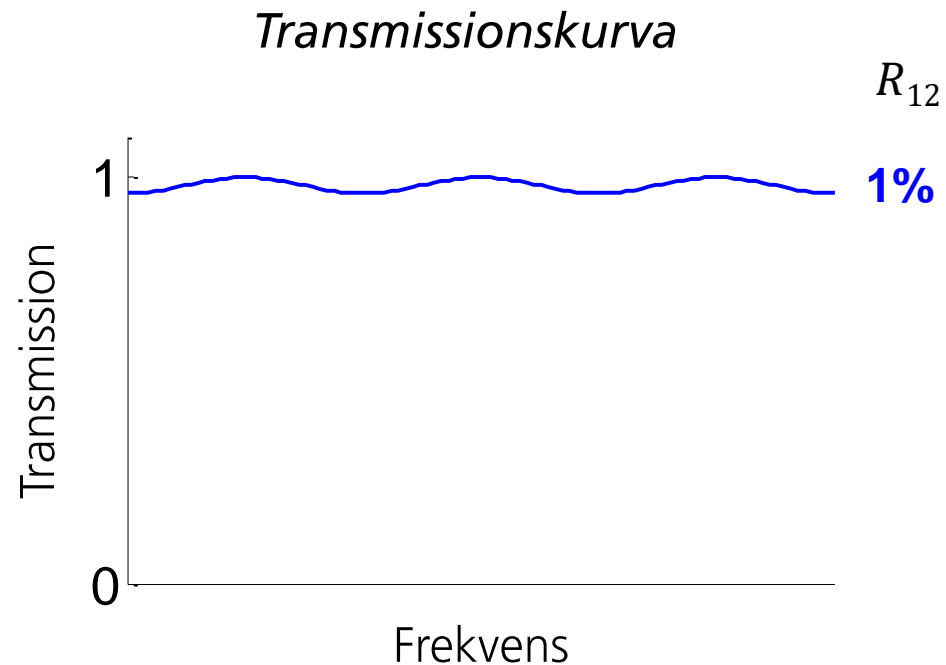
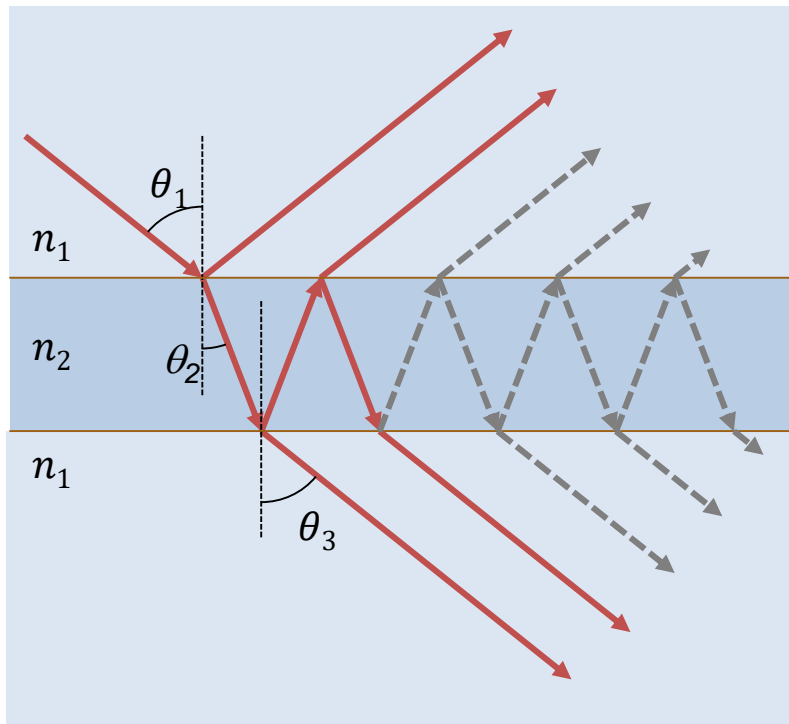
Tillämpning

- En plantolk är en planslipad glasplatta som kan användas till att mäta hur jämn en yta är.
- Om ytan är ojämn fås ett luftskikt av varierande tjocklek mellan plantolken och ytan, och genom att studera interferensfransarna kan ytans *topografi* bestämmas.
- Endast *skillnad* i avstånd kan mätas!



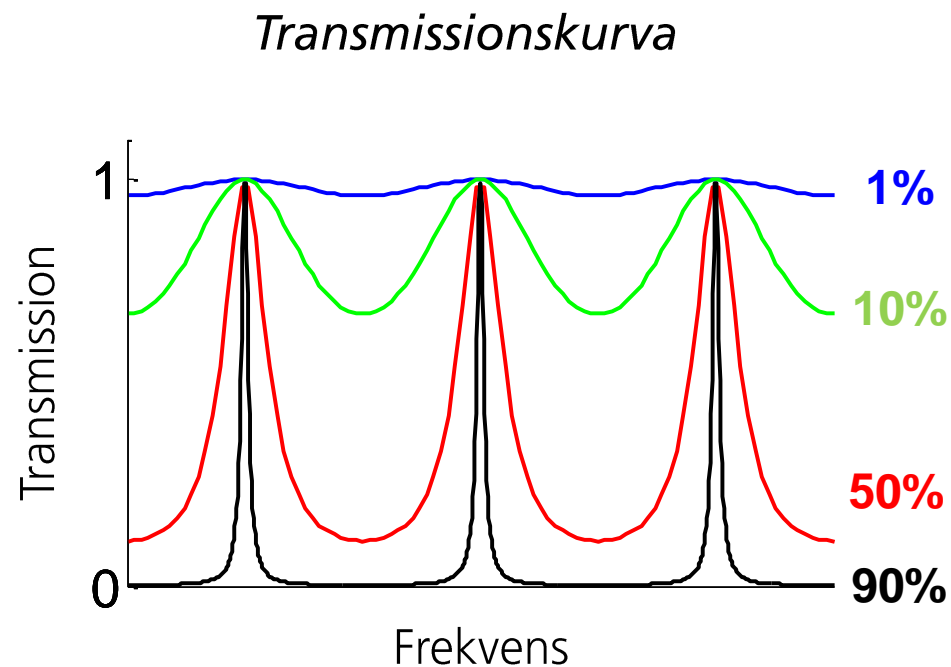
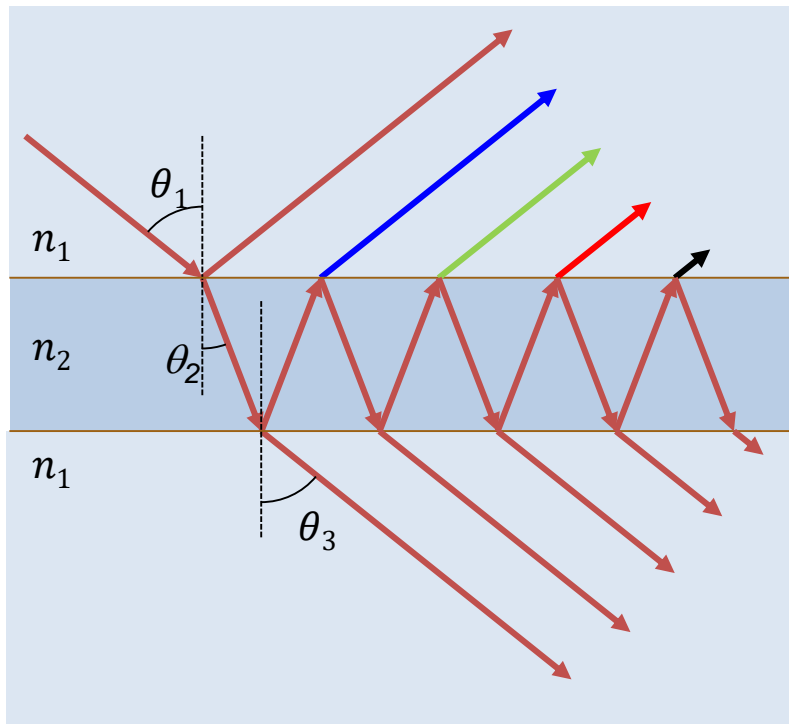
Multipelinterferens

- I vanliga fall är reflektansen i varje gränsyta så pass låg att bidragen från multipla reflektioner kan försummas



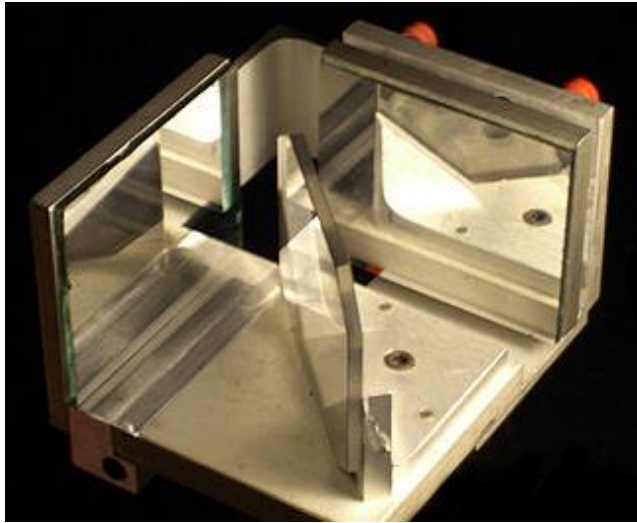
Multipelinterferens

- Om reflektansen i gränsytan görs högre så fås interferens mellan många bidrag, vilket leder till smalare transmissionsfönster (eftersom bidragen snabbare hamnar ur fas)

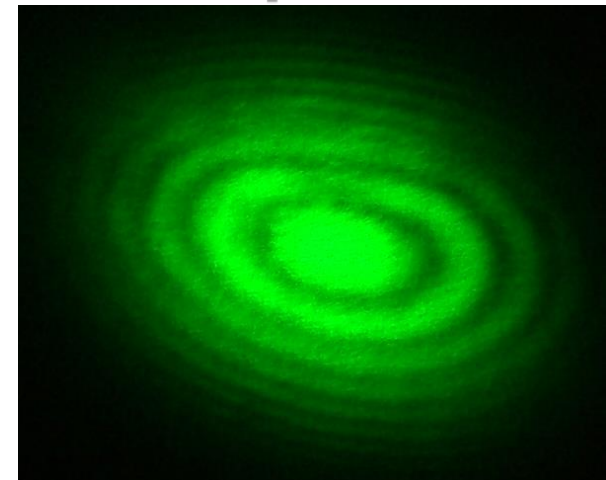
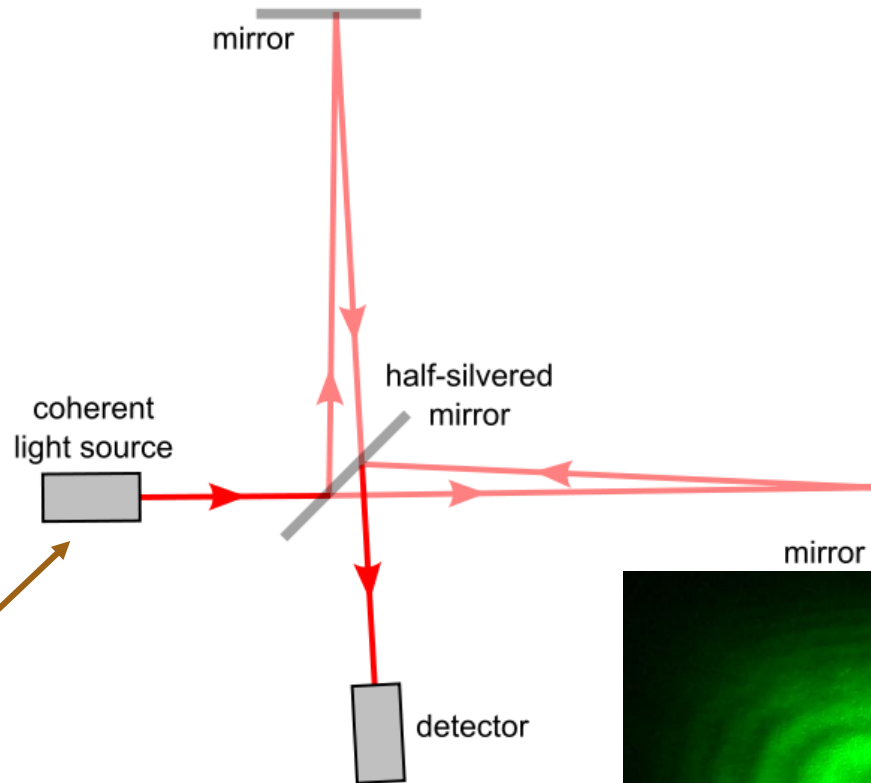


Michelson-interferometer

Tillämpning

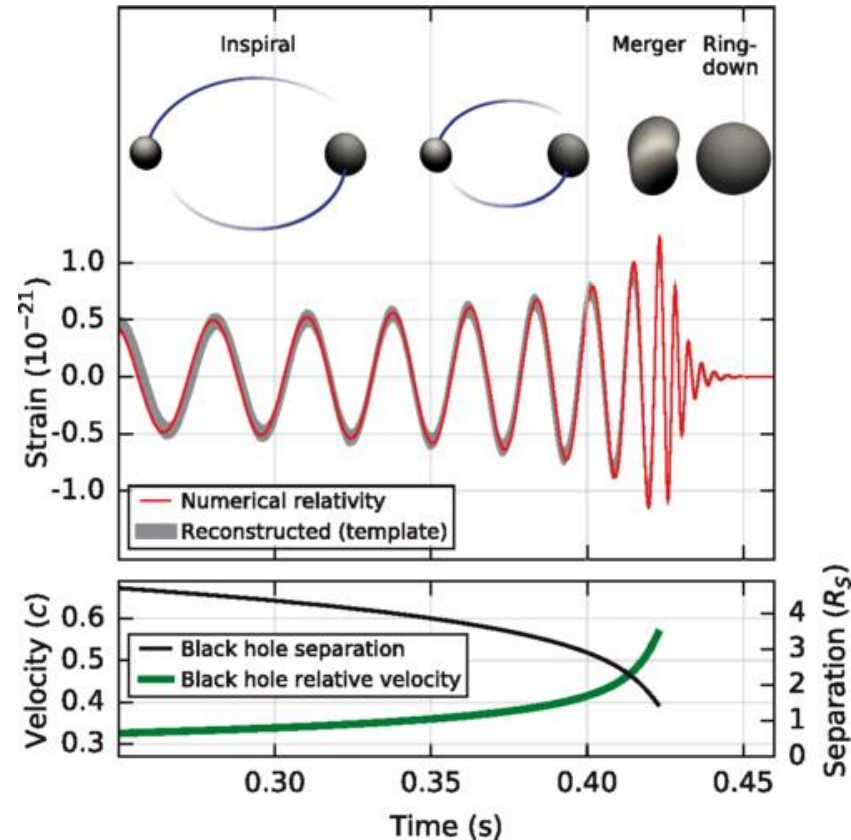
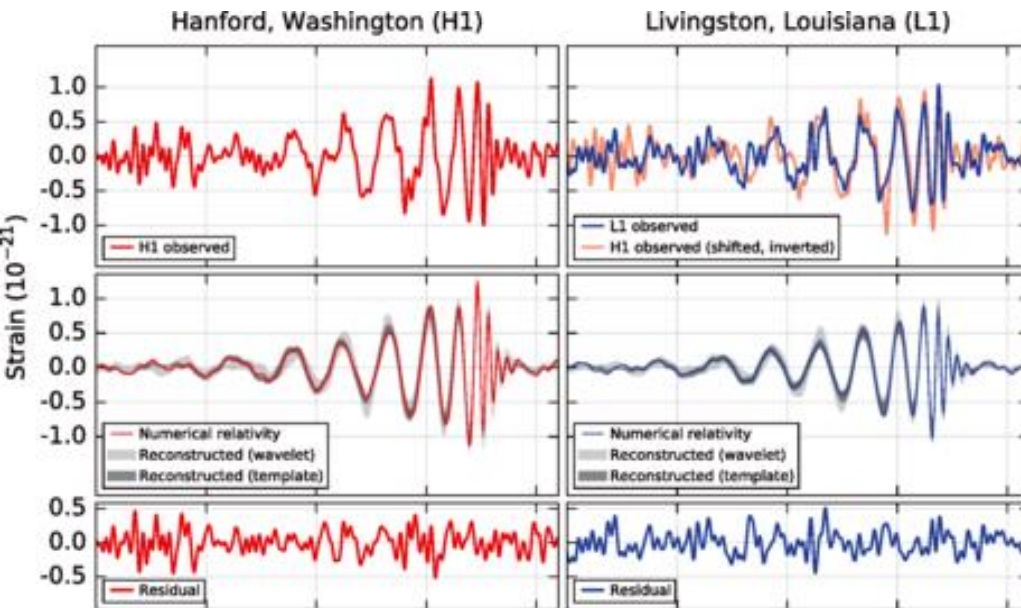


Divergent strålkälla



LIGO

Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory



Maps:

- LIGO Livingston 30.5632 -90.7743
- LIGO Hanford 46.4323 -119.4452
- VIRGO Pisa 43.6329 10.5054



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

B. P. Abbott *et al.* (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)
Phys. Rev. Lett. **116**, 061102 (2016)