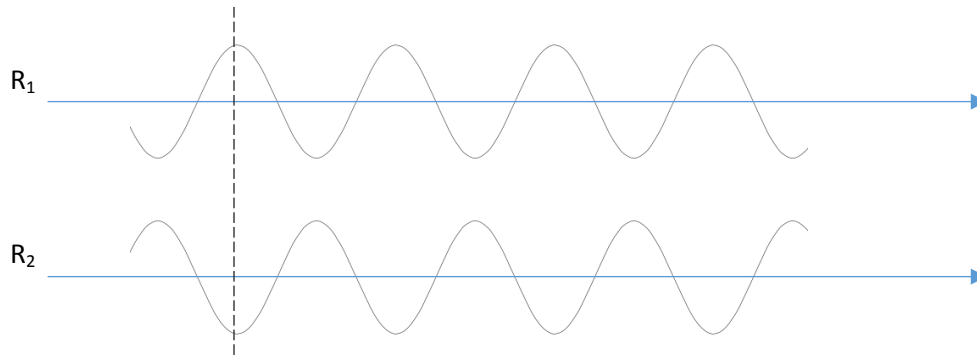


Övning 6 – Antireflexbehandling

Antireflexbehandling

Idén med antireflexskikt är att få två reflektioner som interfererar destruktivt och därmed försvagar varandra.



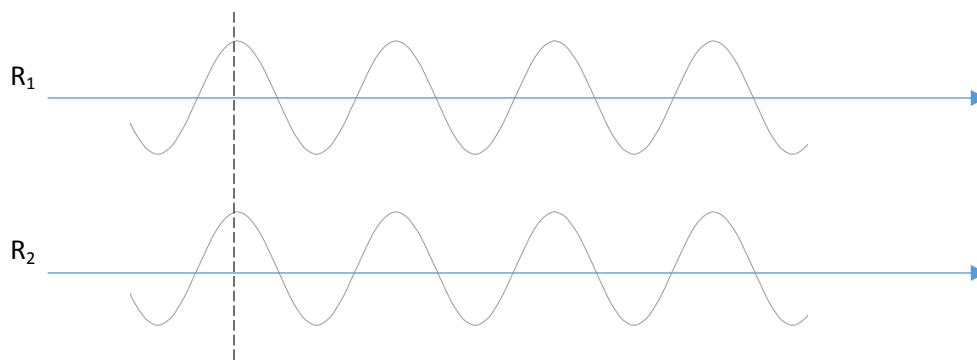
Vi ser att vågorna är ur fas, vi har alltså destruktiv interferens. Summan av vågorna blir:

$$R_{\min} = R_1 + R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2}$$

Om reflektionerna R_1 och R_2 är lika stora blir denna summa 0 (total utsläckning).

Högrelexbehandling

Idén med högrelexskikt är att få två reflektioner som interfererar konstruktivt och därmed förstärker varandra.



Vi ser att vågorna är i fas, vi har alltså konstruktiv interferens. Summan av vågorna blir:

$$R_{\max} = R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2}$$

Om reflektionerna R_1 och R_2 är lika stora blir denna summa $4R$ i stället för $2R$.

Optisk vägskillnad

$$\Delta L = 2n_f d \cos(i') \quad (\text{Ni kommer bara att jobba med } i'=0)$$

Interferens i tunna skikt (vinkelrätt infall)

Tunnare - tätare - ännu tätare ($1 < n_f < n_g$) → Fasskift i båda ytorna!

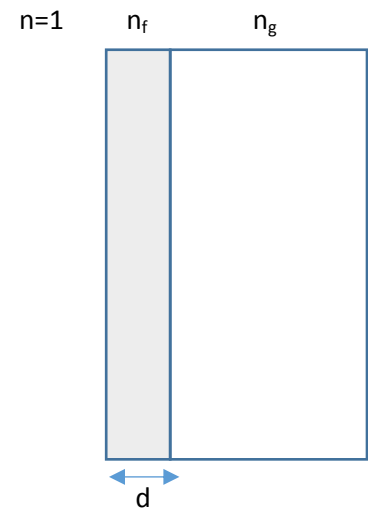
Destruktiv interferens när $\Delta L = 2n_f d = \frac{\lambda}{2} + m\lambda, \quad d = \frac{\lambda}{4n_f}$

Konstruktiv interferens när $\Delta L = 2n_f d = m\lambda, \quad d = \frac{\lambda}{2n_f}$

Tunnare - tätare - tunnare ($1 < n_f > n_g$) → Fasskift i ena ytan!

Destruktiv interferens när $\Delta L = 2n_f d = m\lambda, \quad d = \frac{\lambda}{2n_f}$

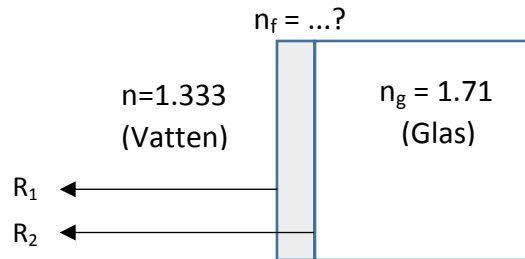
Konstruktiv interferens när $\Delta L = 2n_f d = \frac{\lambda}{2} + m\lambda, \quad d = \frac{\lambda}{4n_f}$



Reflektion för små infallsvinklar

$$R_{\parallel} = R_{\perp} = \left(\frac{n' - n}{n' + n} \right)^2$$

30.) Antag att man vill antireflexbehandla frontglaset (ytan vänd mot vattnet) i objektivet till en undervattenskamera. Själva glaset har index $n_g = 1.71$ och man kan välja på material med index $n_f = 1.35, 1.51, 1.70$ och 1.91 för antireflexskiktet. Vilket ska man välja och varför?



Givet: Vill antireflexbehandla en lins som i figuren ovan.

Sökt: Vilket brytningsindex passar bäst för antireflexskiktet? $n_f = 1.35, 1.51, 1.70$ eller 1.91 ?

Metod: För att få bort reflexer vill vi ha destruktiv interferens. Det innebär att den första reflexen (R_1 , den från vatten/AR) ska släcka ut den andra reflexen (R_2 , den från AR/glas). Det fungerar som allra bäst när R_1 och R_2 är lika stora.

Beräkna R_1 och R_2 för ett av materialen

Reflektansen vid vinkelrät infall fås från $R = \left(\frac{n'-n}{n'+n}\right)^2$.

Med det första materialet ($n_f = 1.35$) blir reflektanserna då:

$$R_1 = \left(\frac{n_f - n_{\text{vatten}}}{n_f + n_{\text{vatten}}}\right)^2 = \left(\frac{1.35 - 1.333}{1.35 + 1.333}\right)^2 = 5.6 \cdot 10^{-5}$$

$$R_2 = \left(\frac{n_g - n_f}{n_g + n_f}\right)^2 = \left(\frac{1.71 - 1.35}{1.71 + 1.35}\right)^2 = 0.014$$

Den sammanlagda reflexen blir med destruktiv interferens då:

$$R_{\min} = R_1 + R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2} = 5.6 \cdot 10^{-5} + 0.014 - 2\sqrt{5.6 \cdot 10^{-5} \cdot 0.014} = 0.0123$$

Upprepa för öriga material

På samma sätt fås för de andra materialen:

$n_f = 1.51$ ger	$R_1 = 0.0040,$	$R_2 = 0.0039,$	$R_{\min} = 1.6 \cdot 10^{-6}$
$n_f = 1.70$ ger	$R_1 = 0.015,$	$R_2 = 8.6 \cdot 10^{-6},$	$R_{\min} = 0.014$
$n_f = 1.91$ ger	$R_1 = 0.032,$	$R_2 = 0.0031,$	$R_{\min} = 0.015$

Det bästa materialet är alltså material nummer 2, med brytningsindex 1.51.

Alternativ lösning: Optimalt n för AR ges av: $n_f = \sqrt{n_{H_2O} \cdot n_g} = \sqrt{1.333 \cdot 1.71} = 1.51$

31.) En glasyta beläggs med ett tunt antireflexskikt anpassat för infraröd strålning med $\lambda_{IR} = 1064$ nm. För vilken våglängd i det synliga området ger skiktet istället maximal reflektans? AR-skiktet har lägre brytningsindex än glaset och minimum för den infraröda strålningen är av första ordningen.

Givet: Destruktiv interferens för $\lambda_{IR} = 1064$ nm med $m = 0$

Vi har fallet med *tunnare – tätare – ännu tätare* material

Sökt: Vilken synlig våglängd, $\lambda_{\max R}$, ger maximal konstruktiv interferens?

Metod:

Om vi har konstruktiv eller destruktiv interferens beror på den optiska vägskillnaden och våglängden. Räkna ut ΔL och jämför med våglängderna!

Optisk vägskillnad

Det är ett tunt AR-skikt designat för destruktiv interferens med $\lambda_{IR} = 1064$ nm. Eftersom vi har fallet *tunnare – tätare – ännu tätare* material kan vi räkna ut den optiska vägskillnaden med:

$$\Delta L = \frac{\lambda_{IR}}{2} + m\lambda_{IR} = \frac{\lambda_{IR}}{2} + 0 \cdot \lambda_{IR} = \frac{\lambda_{IR}}{2} = 532 \text{ nm}$$

Vilken våglängd ger istället konstruktiv interferens?

För att få maximal reflektans (konstruktiv interferens) krävs att vägskillnaden är ett helt antal våglängder (i fas).

$$\Delta L = m\lambda_{\max R}$$

Med detta krav kan vi bestämma våglängden:

$$m\lambda_{\max R} = \frac{\lambda_{IR}}{2} = 532 \text{ nm}$$

$$m=1 \text{ ger: } \lambda_{\max R} = \frac{\lambda_{IR}}{2} = \frac{1064}{2} = 532 \text{ nm} \quad (\text{Synligt, grönt ljus})$$

$$m=2 \text{ ger } \lambda_{\max R} = \frac{\lambda_{IR}}{4} = \frac{1064}{4} = 266 \text{ nm} \quad (\text{UV})$$

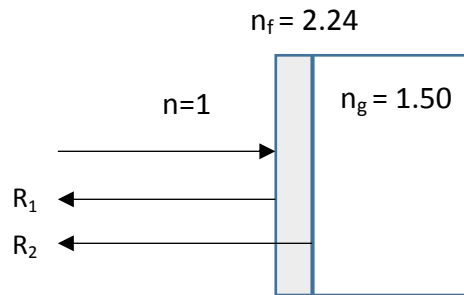
$$m=3 \text{ ger } \lambda_{\max R} = \frac{\lambda_{IR}}{6} = \frac{1064}{6} = 177 \text{ nm} \dots \quad (\text{UV})$$

Skiktet ger maximal reflektans för synligt grönt ljus ($\lambda_{\max R} = 532$ nm), alltså kommer glaset att se grönt ut!

33.) Uppskatta reflektansen hos en glasyta med $n_g = 1.50$ belagd med material med $n_f = 2.24$ om tjockleken väljs så att reflektansen blir maximal. Du behöver inte räkna med glasets andra yta.

Givet: Ytbehandling som i figuren. Ger maximal reflektans.

Sökt: Uppskattad reflektans, R_{\max} (bortse från den andra glasytan)



Metod: Reflektansen i varje yta kan beräknas utifrån brytningsindex. Sedan räknar vi med konstruktiv interferens för att få den största möjliga sammanlagda reflektansen.

Reflektans i varje yta var för sig

Vi antar vinkelrät infall och får då

$$R_1 = \left(\frac{n_f - 1}{n_f + 1} \right)^2 = \left(\frac{2.24 - 1}{2.24 + 1} \right)^2 = 0.15$$

$$R_2 = \left(\frac{n_g - n_f}{n_g + n_f} \right)^2 = \left(\frac{1.5 - 2.24}{1.5 + 2.24} \right)^2 = 0.039$$

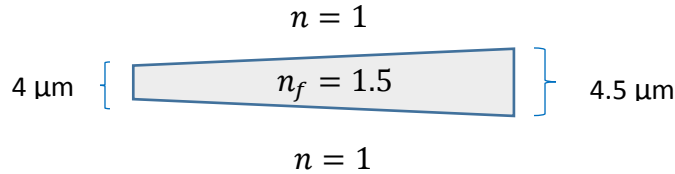
Konstruktiv interferens förstärker reflexen

För att få maximal reflektans vill vi ha konstruktiv interferens! Då gäller att:

$$R_{\max} = R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} = 0.34$$

Lägg märke till att reflektansen tack vare konstruktiv interferens blev högre än bara $R_1 + R_2$

35.) Ett tunt skikt med $n_f = 1.5$ belyses vinkelrätt med laserljus med våglängden $\lambda = 632.8 \text{ nm}$. P.g.a. att tjockleken på skiktet varierar från $4 \mu\text{m}$ i ena kanten till $4.5 \mu\text{m}$ i andra kanten ser man omväxlande ljusa och mörka ränder i det reflekterade ljuset. Förklara varför och bestäm antalet ljusa ränder man ser.



Givet: Tunt skikt, se figuren.

Sökt: Varför syns ljusa/mörka ränder? Hur många ränder syns?

Vad för uppstår ränder?

Vi har interferens i ett tunt skikt med varierande tjocklek. I vissa delar av skiktet är tjockleken sådan att det uppstår konstruktiv interferens i det reflekterade ljuset (ljus rand), medan i andra delar blir interferensen negativ (mörk rand).

Hur många ränder blir det?

Vårt skikt är av typen *tunnare – tätare – tunnare* och då uppstår konstruktiv interferens när:

$$\Delta L = 2n_f d = \frac{\lambda}{2} + m\lambda$$

och m är ett helt antal våglängder som får plats innuti materialet.

Vi kollar hur många våglängder som får plats både i den tunna och tjocka änden av skiktet.

$$m = \frac{2n_f d}{\lambda} - \frac{1}{2}$$

$$m(d = 4.5 \mu\text{m}) = \frac{2 \cdot 1.5 \cdot 4.5}{0.6328} - \frac{1}{2} = 20.8$$

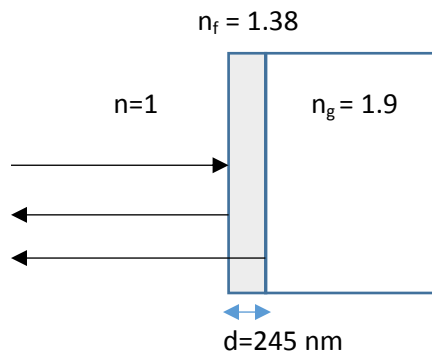
$$m(d = 4.0 \mu\text{m}) = \frac{2 \cdot 1.5 \cdot 4.0}{0.6328} - \frac{1}{2} = 18.5$$

För konstruktiv interferens vet vi att m är heltal, alltså har vi två ljusa ränder (19, 20) mellan de två ändarna på glaset.

37.) En glasyta ($n_g = 1.9$) är belagd med ett tunt lager av MgF ($n_f = 1.38$) med tjockleken $d = 245$ nm. Vilken färg ser ytan ut att ha i vitt ljus med vinkelrätt infall?

Givet: Glasyta med tunt skikt som i figuren.

Sökt: Starkast reflekterade våglängd (vinkelrät infall).



Metod:

Vi har fallet *tunnare - tätare - ännu tätare*. Eftersom vi vill veta vilken färg ytan ser ut att ha, måste vi hitta den starkast reflekterade färgen, d.v.s. vilka våglängder som får konstruktiv interferens.

Konstruktiv interferens:

För konstruktiv interferens gäller:

$$\Delta L = 2n_f d = m\lambda$$

Nu är vi intresserade av vilka våglängder som ger konstruktiv interferens, så vi löser ut λ .

$$\lambda = \frac{2n_f d}{m}$$

$$m = 1 \text{ ger } \lambda = \frac{2 \cdot 1.38 \cdot 245}{1} = 1173 \text{ nm} \quad (\text{IR, ej synligt})$$

$$m = 2 \text{ ger } \lambda = \frac{2 \cdot 1.38 \cdot 245}{2} = 586.5 \text{ nm} \quad (\text{Gult, synligt})$$

$$m = 3 \text{ ger } \lambda = \frac{2 \cdot 1.38 \cdot 245}{3} = 391 \text{ nm} \quad (\text{UV, ej synligt})$$

Ytan ser gul ut!