

Hoofdstuk 32

Essential University Physics

Richard Wolfson
2nd Edition

Interferentie en Diffractie

Interference and Diffraction

Destructieve and Constructieve Interferentie

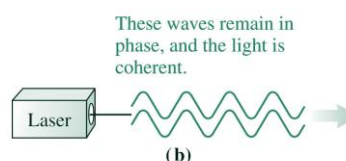
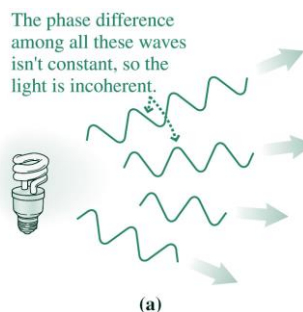


Waar komen de kleuren in deze zeepbellen vandaan?

- a) Chemicaliën in de zeep
- b) Dispersie omdat de brekingsindex afhangt van de golflengte
- c) Het mengsel zeep – water is niet homogeen
- d) Interferentie van lichtgolven die aan binnen en buitenkant van het zeepvlies worden gereflecteerd

32.1 Interferentie and Coherentie

- Interferentie van licht zie je het best met **coherent** licht.
 - Coherent als twee interfererende golven een constant faseverschil hebben dat hetzelfde blijft gedurende verschillende perioden.
 - Coherentie vereist ook dat interfererende lichtbundels exact dezelfde frequentie en dus golflengte of kleur hebben.
 - Lasers zijn bijna ideale bronnen van coherent licht.
 - Bijna **monochromatisch** licht, bestaat uit nauwe band van golflengten.

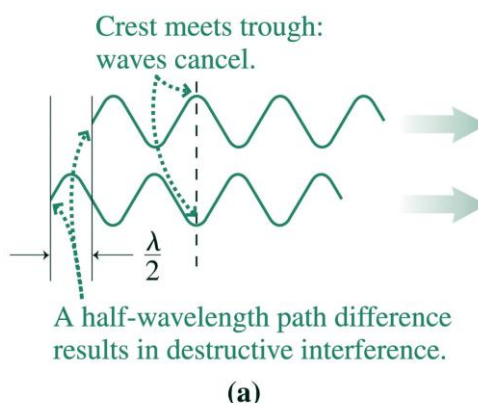


© Johan D'heer

3

Destructieve and Constructieve Interferentie

- **Destructieve interferentie** treedt op wanneer twee interfererende golven volledig uit fase zijn (faseverschil = π).
 - Faseverschil π komt overeen met wegverschil = $\lambda/2$.
 - De golven doven elkaar uit.

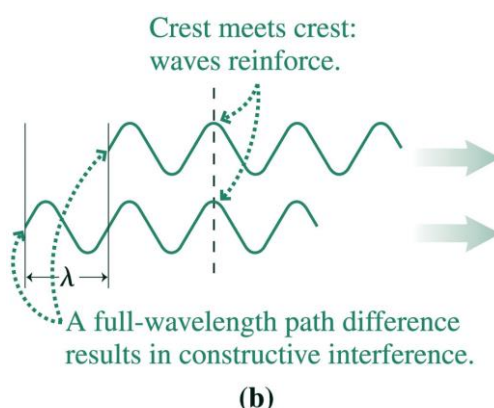


© Johan D'heer

4

Destructieve and Constructieve Interferentie

- **Constructieve interferentie** treedt op wanneer twee interfererende golven in fase zijn (faseverschil = 0).
 - Faseverschil 0 komt overeen met wegverschil = λ .
 - De golven versterken elkaar.



© Johan D'heer

5

Destructieve and Constructieve Interferentie

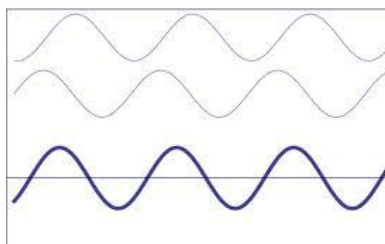
- Tussenvallende gevallen behelzen partiële uitdoving of partiële versterking. Dit treedt op wanneer het faseverschil gelijk is aan $\Delta\phi$ ($\Delta\phi \neq 0$ of π).

- Een faseverschil $\Delta\phi$ [verschil in het argument van de cosinus functie $y(x,t) = A\cos(kx \mp \omega t)$] komt overeen met een wegverschil waarbij

$$\Delta\phi = k\Delta x = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \quad \text{met} \quad \lambda = vT = \frac{c}{n} T = \frac{\lambda_{\text{vacuum}}}{n} \quad \text{zodat} \quad \Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{vacuum}}} (n\Delta x)$$

met n = brekingsindex en $(n\Delta x)$ = optisch weglengteverschil

- De golven gaan elkaar gedeeltelijk uitdoven of versterken.



© Johan D'heer

6

Destructieve and Constructieve Interferentie

Samengevat:

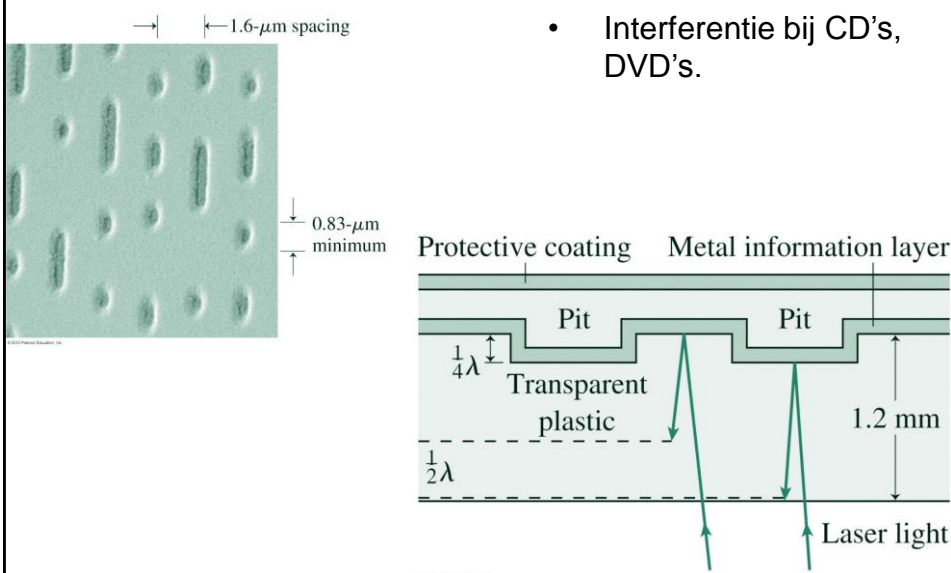
- Wegverschil = $(2m+1)\frac{\lambda}{2}$ (of faseverschil = $(2m+1)\pi$):
uitdoving van golven.
- Wegverschil = $m\lambda$ (of faseverschil = $m2\pi$):
versterking van golven.
- Wegverschil $\neq (2m+1)\frac{\lambda}{2}$ of $\neq m\lambda$ (of faseverschil $\neq (2m+1)\pi$ of $\neq m2\pi$):
gedeeltelijke versterking en uitdoving van golven.

Opgelet : naast faseverschil ten gevolge van weglengteverschil kunnen ook nog bijkomende **fasesprongen** optreden (bv reflectie tegen optisch dichtere medium : fasesprong π)

© Johan D'heer

7

Destructieve and Constructieve Interferentie



© Johan D'heer

8

32.2 Dubbelspleetinterferentie

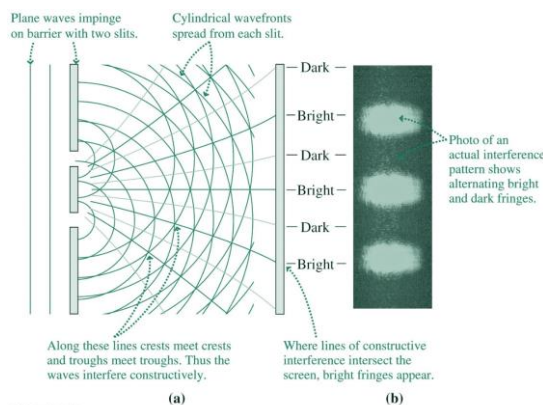
- Interferentie afkomstig van twee coherente bronnen produceert een patroon van lichte en donkere **interferentie franjes (fringes)**.
- De twee coherente bronnen kan men maken door licht van één bron door twee nauwe spleetjes te zenden op een afstand d van elkaar.
- Plaatsen van heldere franjes worden gegeven door ($d \sin \theta$: zie volgende blz)

$$d \sin \theta = m \lambda$$

met m een geheel getal en λ de golflengte.

- Donkere franjes op plaatsen waar

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$



© Johan D'heer

9

Dubbelspleetinterferentie

- Weglengteverschil tussen twee stralen is $d \sin \theta$, want de twee stralen lopen praktisch evenwijdig (L groot).

- Constructieve interferentie als

$$d \sin \theta = m \lambda \text{ of } \theta \approx m(\lambda/d)$$

- Destructieve interferentie als

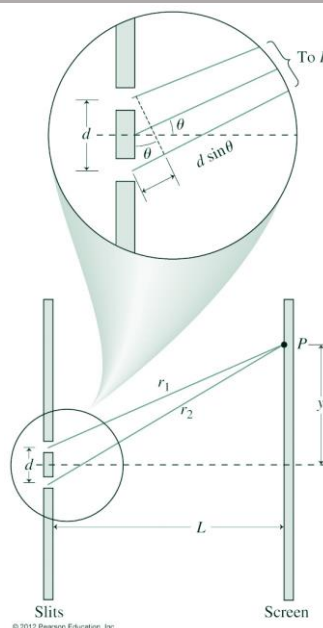
$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

- Corresponderend faseverschil ϕ :

$$\phi = kx = kd \sin \theta \approx kd \theta$$

$$\theta \approx \tan \theta = y / L$$

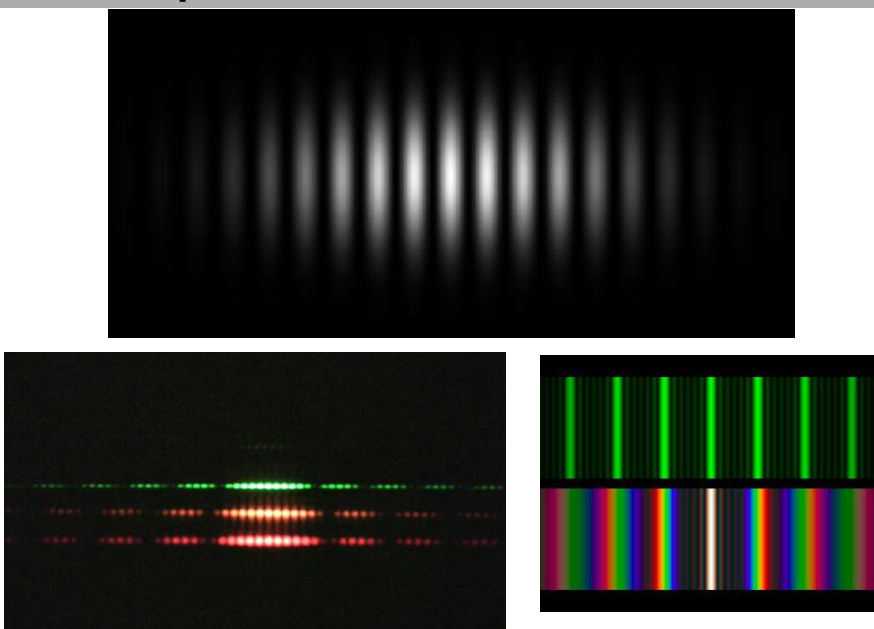
$$\phi \approx \frac{kdy}{L} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{d}{L} y$$



© Johan D'heer

10

Dubbelspleetinterferentie



© Johan D'heer

11

Intensiteit bij Dubbelspleetinterferentie

- Om de gemiddelde intensiteit van het licht in P te berekenen moet men de elektrische veldsterkte in P berekenen: (formules van Simpson)

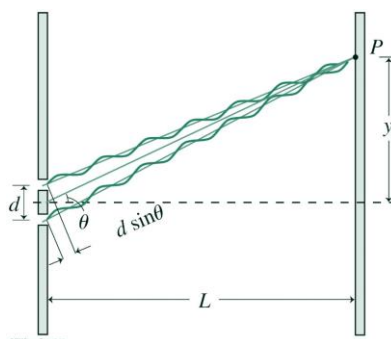
$$E_1 = E_p \sin \omega t, \quad E_2 = E_p \sin(\omega t + \phi)$$

$$E = E_1 + E_2 = 2E_p \cos(\phi / 2) \sin(\omega t + \phi / 2)$$

- En daar intensiteit evenredig is met het kwadraat van **de amplitude** :

$$\bar{S} = 4\bar{S}_0 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) = 4\bar{S}_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} y\right) \quad \text{opm.: } \bar{S}_0 = \frac{E_p^2}{2\mu_0 c} \quad (\text{cfr 29.8})$$

met y de afstand van het midden van het scherm tot het punt P , \bar{S}_0 is de gemiddelde intensiteit van 1 spleet, d de afstand tussen de spleten, en L de afstand van de spleten tot het scherm.



© Johan D'heer

12

Intensiteit bij Dubbelspleetinterferentie

- Op welke plaatsen vind je een maximum en waar vind je een minimum? ($m=0,1,2,3..$) ($\theta \ll 1$)

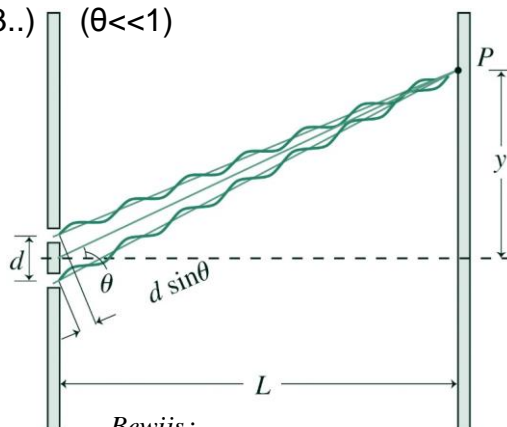
- Maxima (m^{de} orde):

$$y_m = m\lambda \frac{L}{d}$$

- Minima (m^{de} orde):

$$y_m = (2m+1) \frac{\lambda}{2} \frac{L}{d}$$

- Afstand tussen 2 opeenvolgende minima = afstand tussen 2 opeenvolgende maxima = $y_{m+1} - y_m = \lambda L/d$



Bewijs :

$$y = L \tan \theta \approx L\theta \approx L \sin \theta$$

met $d \sin \theta = m\lambda$ voor maxima

en $d \sin \theta = (m + \frac{1}{2})\lambda$ voor minima

© Johan D'heer

13

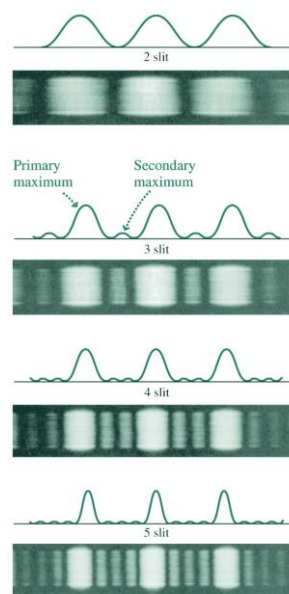
32.3 Meer-Spleten Interferentie

- Voor drie of meer spleten blijft de voorwaarde voor constructieve interferentie dezelfde als bij twee spleten, namelijk

$$d \sin \theta = m\lambda$$

Dit geeft de voorwaarde voor de zgn. **hoofdmaxima**.

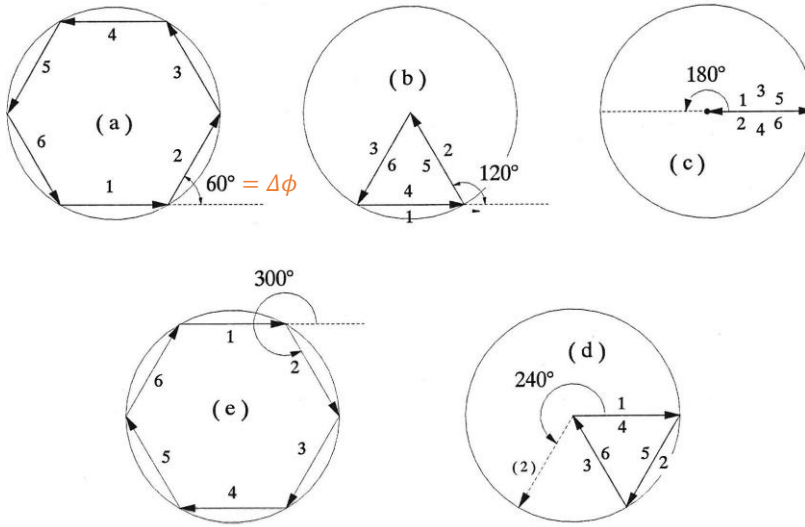
- Naarmate het aantal spleetjes toeneemt, zal de intensiteit van deze maxima vergroten en zullen ze minder breed worden.
- Tussen twee hoofdmaxima bevinden zich $N-1$ **minima**, met N het aantal spleetjes.



© Johan D'heer

14

Vb : zes spleten : minima

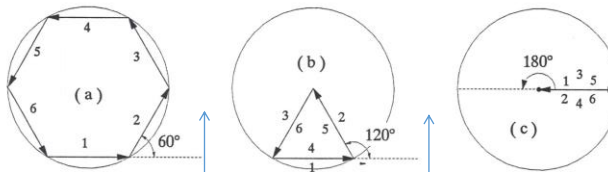


minima als : $d \sin \theta = \frac{m'}{N} \lambda$ of $\Delta \phi = \frac{m'}{N} 2\pi$

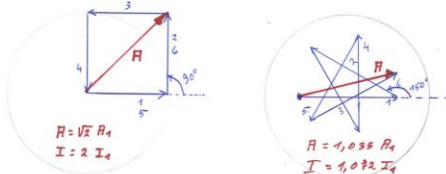
15

Vb : zes spleten : nevenmaxima

Minima



Nevenmaxima



nevenmaxima als : $d \sin \theta = \frac{m' + \frac{1}{2}}{N} \lambda$ of $\Delta \phi = \frac{m' + \frac{1}{2}}{N} 2\pi$

Hoofdmaximum : $A = 6A_1 \Rightarrow I = 36 I_1$

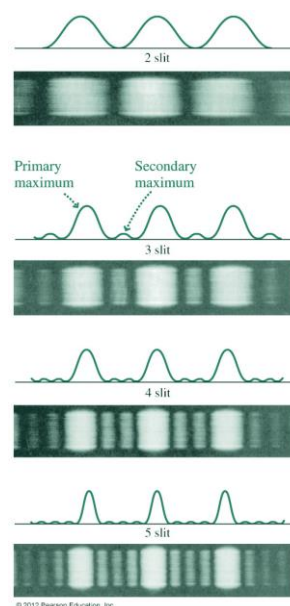


16

Meer-Spleten Interferentie

- De plaats van de minima wordt bepaald door

$$d \sin \theta = \frac{m'}{N} \lambda \quad \text{of} \quad \Delta \phi = \frac{m'}{N} 2\pi$$
 met m' een geheel getal maar geen veelvoud van N .
- Tussen twee minima bevindt zich telkens een zgn. **nevenmaximum**. Hiervan zijn er dus $N-2$.
- Deze ontstaan door niet-volledige constructieve of destructieve interferentie van golven.
- Naarmate N toeneemt verzwakken deze nevenmaxima, om bij grote N praktisch volledig te verdwijnen.

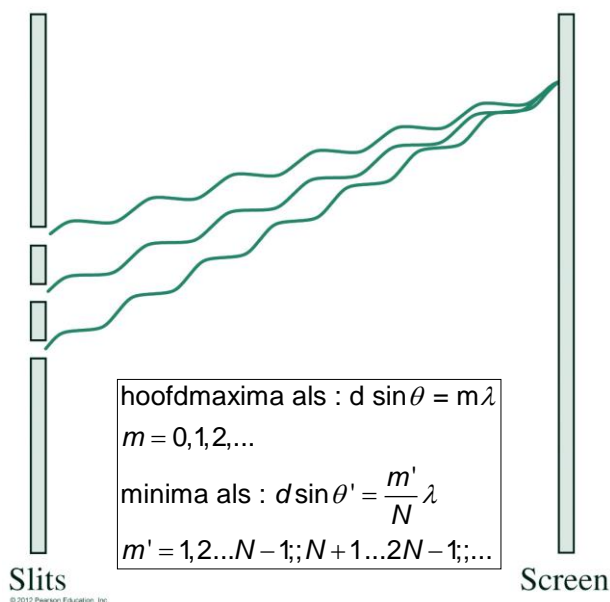


© Johan D'heer

17

Meer-Spleten Interferentie

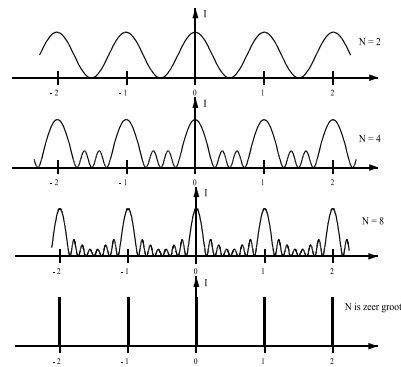
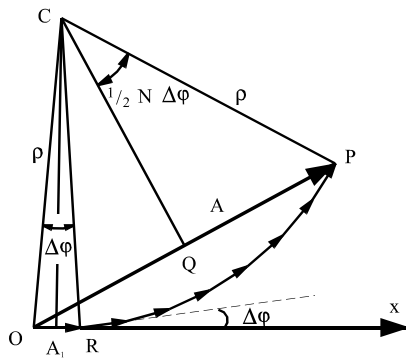
- Mogelijkheid tot partiële constructieve en destructieve interferentie.
- Dit geeft aanleiding tot intermediaire maxima ($\# N-2$) en minima ($\# N-1$)



© Johan D'heer

18

Meer-Spleten Interferentie : Intensiteitscurve

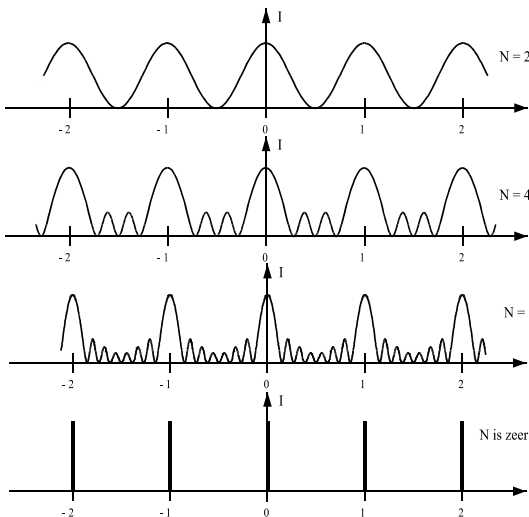


$$A_1 = 2\rho \sin \frac{\Delta\phi}{2} \quad \text{en} \quad A = 2\rho \sin \frac{N\Delta\phi}{2} \quad \text{met} \quad \Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

$$A = A_1 \frac{\sin \frac{N\Delta\phi}{2}}{\sin \frac{\Delta\phi}{2}} \quad \text{en} \quad \bar{S} = \bar{S}_0 \left(\frac{\sin \frac{N\Delta\phi}{2}}{\sin \frac{\Delta\phi}{2}} \right)^2$$

19

Meer-Spleten Interferentie



hoofdmaxima als: $d \sin \theta = m\lambda$

minima als: $d \sin \theta' = \frac{m'}{N} \lambda$

eerste min naast max m

$$d \sin \theta' = \frac{mN \pm 1}{N} \lambda = \left(m \pm \frac{1}{N}\right) \lambda$$

hoekbreedte van max m

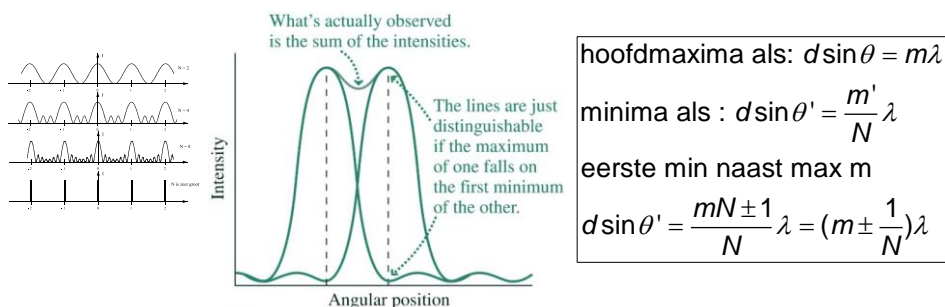
$$\text{als: } d \sin \theta' - d \sin \theta = \frac{\lambda}{N}$$

$$\text{of: } \theta' - \theta \approx \sin \theta' - \sin \theta = \frac{\lambda}{Nd}$$

$$\text{dus: } \Delta\theta = 2(\theta' - \theta) \approx \frac{2\lambda}{Nd}$$

20

Meer-Spleten Interferentie : Rayleighcriterium



Voor welke golflengte $\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$ valt het maximum van orde m samen met het eerste minimum van orde m voor golflengte λ ?

$$\left(m \pm \frac{1}{N}\right)\lambda = m\lambda' \Rightarrow m\lambda \pm \frac{\lambda}{N} = m\lambda + m\Delta\lambda \quad \text{waaruit}$$

$$\frac{\lambda}{N} = m\Delta\lambda \Rightarrow \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN : \text{Rayleighcriterium en "resolutie"}$$

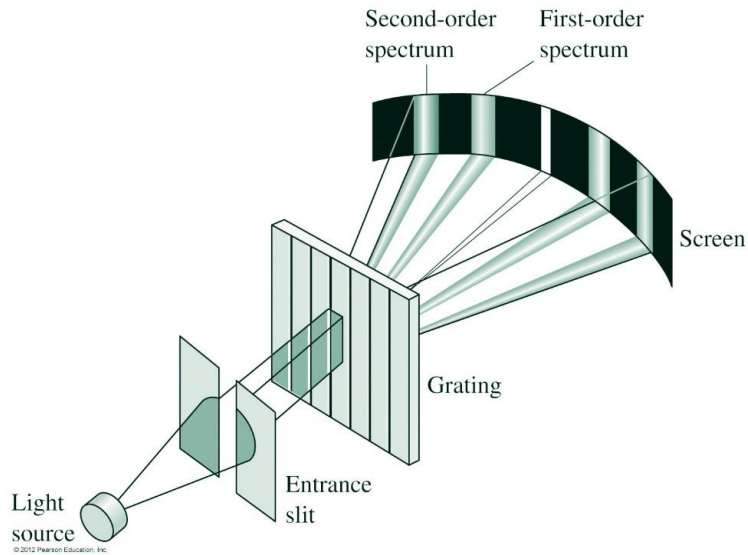
Hoe hoger de orde (m) hoe beter de resolutie

21

Diffractieroosters en Spectroscopie

- Een systeem bestaande uit veel, dicht bij elkaar staande spleetjes ($N \approx 1000$) is een **diffractierooster**.
 - Sommige roosters laten het licht door: **transmissieroosters**, andere reflecteren het licht: **reflectieroosters**.
Deze laatste bestaan uit dicht bij elkaar staande krassen op een reflecterend materiaal. Vb. CD, DVD.
 - Maxima (licht!) waar $d \sin \theta = m\lambda$, dus plaats maxima afhankelijk van λ .
 - Een roosterspectrometer maakt hiervan gebruik om licht te ontbinden in de samenstellende golflengten (= kleuren).
 - Dit geeft spectra van verschillende orde ($m = 1, 2$, enz.).

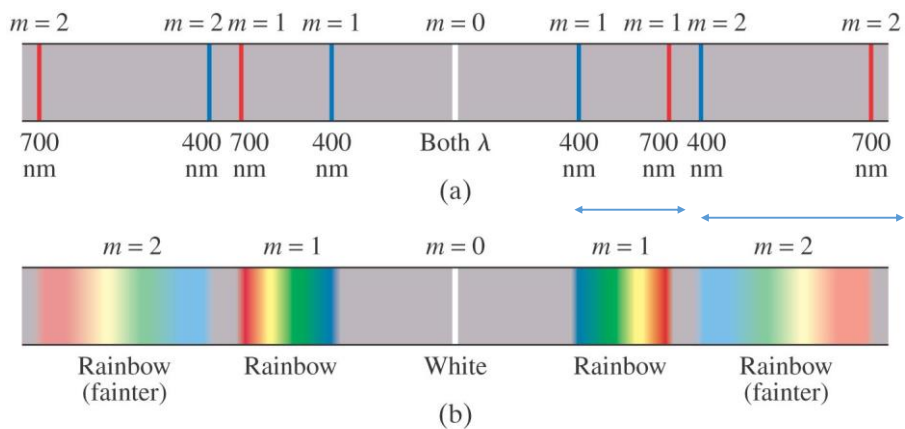
Diffraactieroosters en Spectroscopie



© Johan D'heer

23

Diffraactieroosters en Spectroscopie



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc.

Merk op: - spectra worden breder met toenemende orde en kunnen elkaar overlappen. Voor wit licht zal enkel het eerste orde spectrum géén overlap vertonen (cfr vraagstuk 32.41)
 - afbuiging θ neemt (lineair) toe met de golflengte ($d \sin \theta = m\lambda$) in tegenstelling tot prisma (blauw meer afgebogen dan rood)

24

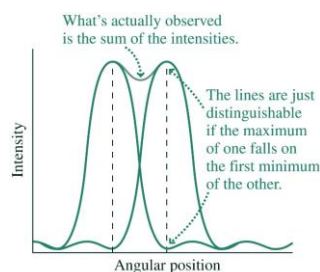
Diffractieroosters en Spectroscopie

- Twee dicht bij elkaar gelegen golflengten kan men nog net van elkaar onderscheiden als het maximum van de ene golflengte samenvalt met het minimum van de andere.
- De **resolutie** (resolving power) van het rooster is de mogelijkheid om nabij gelegen golflengten van elkaar te kunnen onderscheiden:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN \Rightarrow \Delta\lambda = \frac{\lambda}{mN} = \frac{\lambda}{R}$$

met N het aantal door licht beschenen spleetjes en M de "orde" van het spectrum.

- Hoe groter de resolutie, hoe kleiner het verschil tussen de golflengten mag zijn.



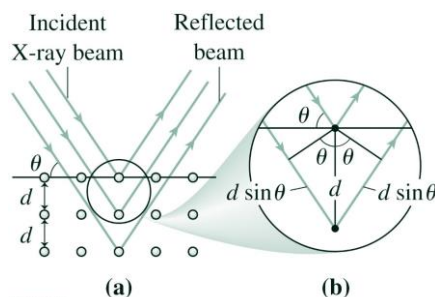
25

X-stralen Diffractie

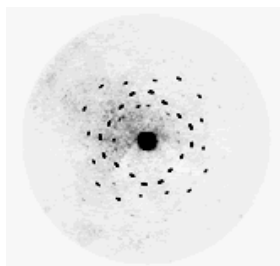
- De regelmatig gerangschikte atomen van een kristal kunnen dienen als diffractierooster voor X-stralen.
 - Reden: golflengte X-stralen (~ 0.1 nm) is vergelijkbaar met de afstand tussen de atomen.
 - Constructieve interferentie treedt op wanneer voldaan is aan de **Bragg voorwaarde**:

$$2d \sin \theta = m\lambda$$

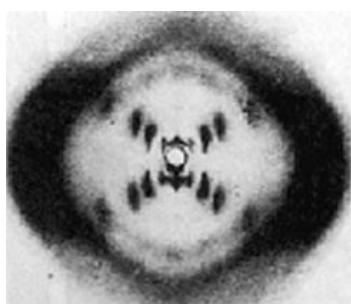
- X-stralen diffractie wordt gebruikt om de structuur van kristallen en eiwitten te achterhalen.
 - Vb. Bepaling structuur DNA.



X-stralen Diffractie



Diffractie aan ZnS kristal
(1912, von Laue)



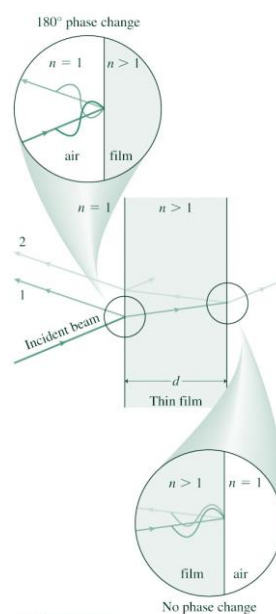
Diffractie aan DNA molecule
(1953, Rosalind Franklin)

© Johan D'heer

27

32.4 Interferentie in Dunne Laagjes

- Terugkaatsing aan beide oppervlakken van een dun laagje leidt tot interferentie tussen lichtstralen welke golflengte-afhankelijke interferentiepatronen opleveren.
- Voor berekening wegverschil moet men rekening houden met ev. fasesprongen van de teruggekaatste golf.
- Terugkaatsing aan *optisch dichtere* stof: fasesprong van π wat overeenkomt met “extra weglengte” $\lambda/2$ (vgl terugkaatsing aan vast uiteinde)
- Terugkaatsing aan *optisch ijlere* stof: geen fasesprong ofwel geen extra weglengte. (vgl terugkaatsing aan vrij uiteinde)



© 2012 Pearson Education, Inc.

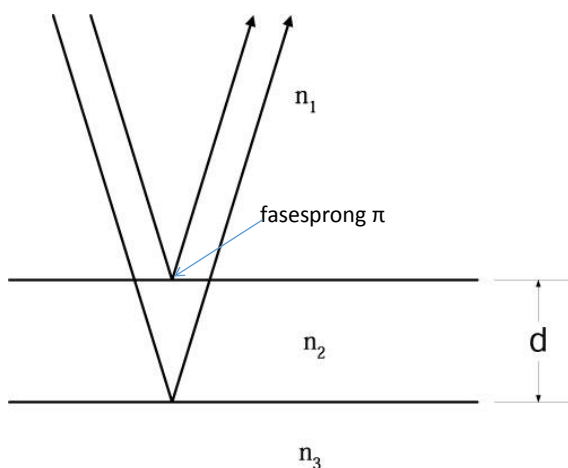
© Johan D'heer

28

32.4 Interferentie in Dunne Laagjes

- Vb.: hier constructieve interferentie als

$$2n_2d = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$



© Johan D'heer

Als invalshoek klein is
(ongeveer **loodrechte inval**)
en $n_1 < n_2$ en $n_3 < n_2$

Dan is $\Delta\phi = m \cdot 2\pi$ als:

$$2n_2d = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$2n_2d$ = **optisch** weglengteverschil
en λ = golflengte in vacuum = c/f
met $m = 0, 1, 2 \dots$

Algemeen :

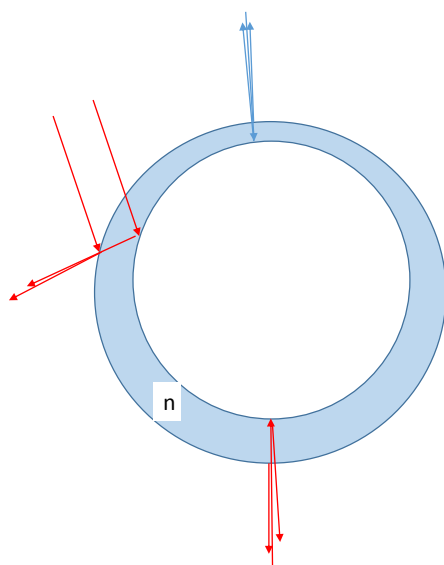
Maxima afhankelijk van :

- Golflengte
- Laagdikte
- Invalshoek
(cfr zeepbel)

29

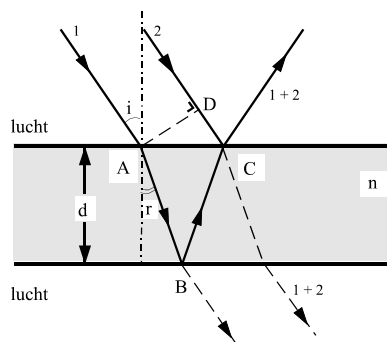
32.4 Interferentie in Dunne Laagjes : zeepbel

- Vb.: hier constructieve interferentie als $2n d \cos r = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$



Maxima afhankelijk van :

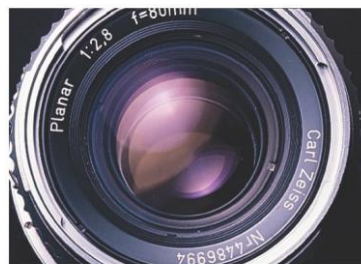
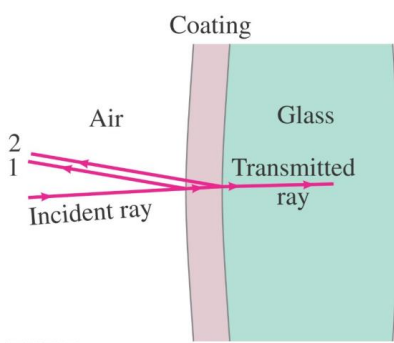
- Golflengte
- Laagdikte
- Invalshoek



30

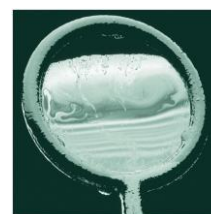
Interferentie in Dunne Laagjes

- Anti-reflecterende coating van lenzen



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc.

- Kleuren in zeepfilms, olielaagjes en andere dunne laagjes.

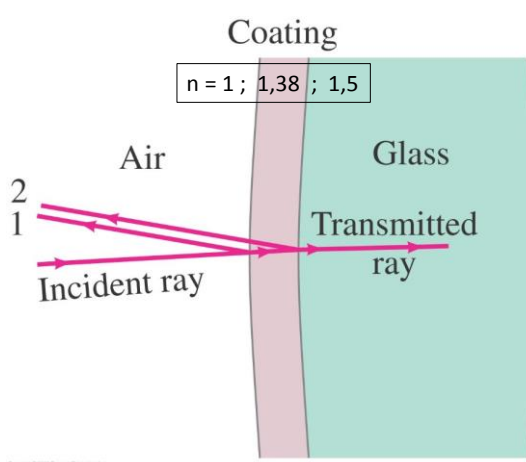


© Johan D'heer

31

Interferentie in Dunne Laagjes

- Anti-reflecterende coating van lenzen



Air : brekingsindex = 1
 Coating : $n = 1,38$ (MgF_2)
 Glass : brekingsindex = 1,5
 d = dikte coating
 n = brekingsindex coating

Tweemaal reflectie aan optisch dichters medium
 → allebei fasesprong
 → geen netto faseverschil hierdoor

Minimale reflectie (loodrechte inval)
 $2nd = \lambda/2$ of $nd = \lambda/4$
 met $\lambda = c/f$ = golflengte in vacuüm

Men spreekt van een "kwartgolflengte laagje"

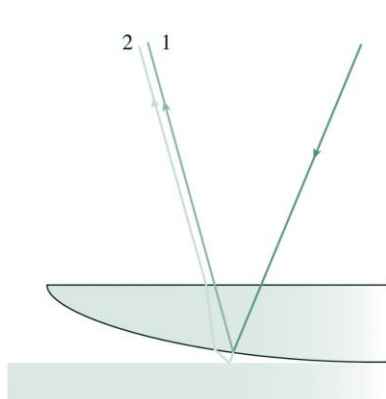
"optische dikte" $nd = \lambda/4$

© Johan D'heer

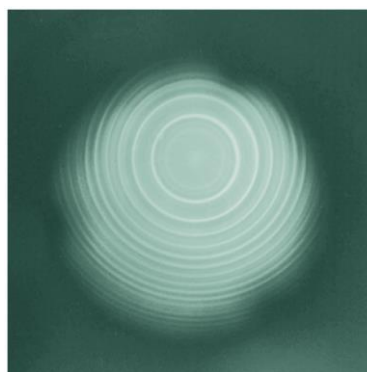
32

Interferentie in Dunne Laagjes

- Dunne-film interferentie laat toe precisiemetingen te doen aan lenzen en andere optische componenten (vb. spiegels).



(a)



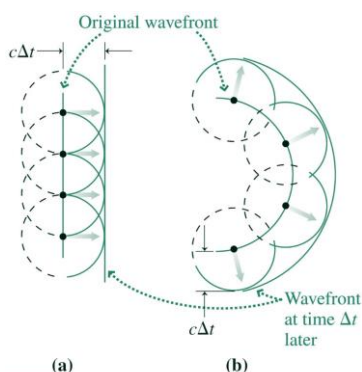
(b)

© Johan D'heer

33

32.5 Principe van Huygens

- Het principe van Huygens** zegt dat alle punten van een golffront zich gedragen als puntbronnen van sferische golven, zgn. “wavelets”, die zich met de lichtsnelheid in het beschouwde medium voortplanten. Na een korte tijd Δt , is het nieuwe golffront het unieke vlak rakend aan de zich voortplantende wavelets.



(a)

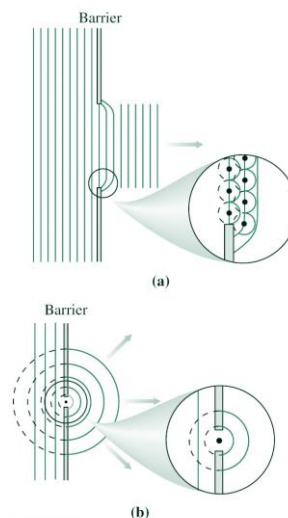
(b)

© Johan D'heer

34

DiffRACTie

- **DiffRACTie** is het buigen van golven wanneer zij een hindernis passeren of door een opening gaan.
 - Huygens' "wavelets" die ontstaan aan de randen van de hindernis zijn de oorzaak van het buigen van de golffronten aan de randen van de hindernis.
 - DiffRACTie is het meest zichtbaar wanneer de hindernissen van dezelfde grootteorde of kleiner zijn als de golflengte van de golven (vgl. (a) en (b)).



© Johan D'heer

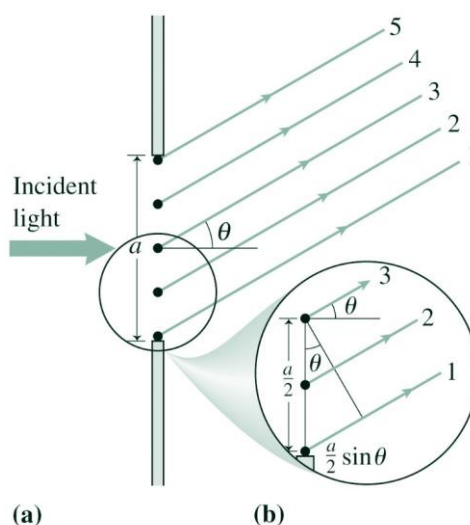
35

Buiging aan een Enkele Spleet

- Ieder punt van de spleet vormt een bron van cirkelvormige golven.
- Deze golven interfereren en vormen een **diffRACTiepatroon**.
- **Minimale** intensiteit wordt bepaald door:

$$a \sin \theta = m\lambda$$

Hierdoor kan de spleet opgedeeld worden in 2m delen die elkaar twee aan twee neutraliseren. ($m=1,2,3, \dots$)

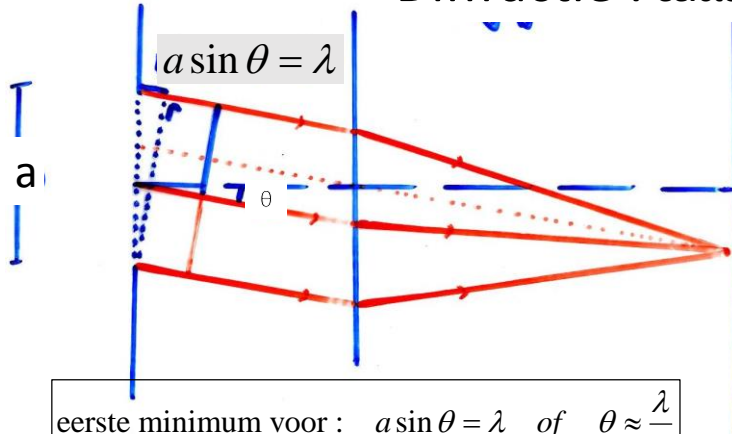


© Johan D'heer

36

Buiging aan een Enkele Spleet

DiffRACTIE : eerste minimum



eerste minimum voor : $a \sin \theta = \lambda$ of $\theta \approx \frac{\lambda}{a}$
 breedte centraal maximum : $\Delta\theta = 2\theta \approx 2\frac{\lambda}{a}$

37

Buiging aan een Enkele Spleet

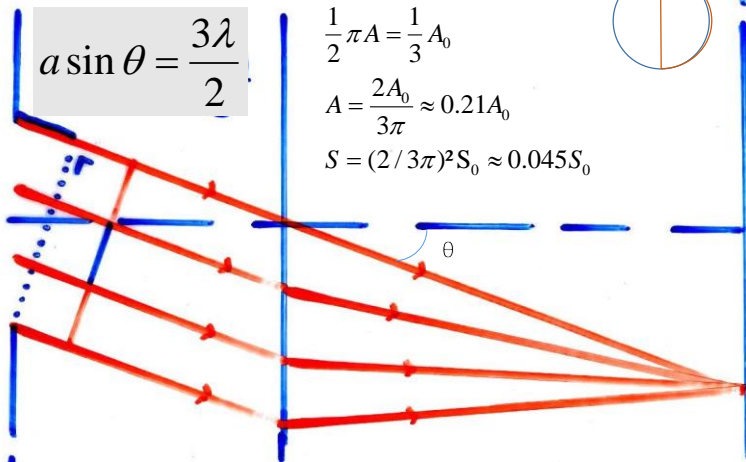
A_0 = amplitude hoofdmaximum

$$a \sin \theta = \frac{3\lambda}{2}$$

$$\frac{1}{2} \pi A = \frac{1}{3} A_0$$

$$A = \frac{2A_0}{3\pi} \approx 0.21A_0$$

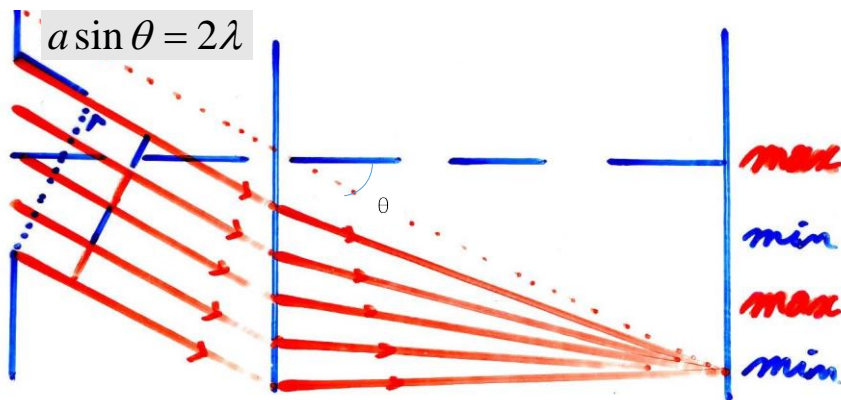
$$S = (2/3\pi)^2 S_0 \approx 0.045 S_0$$



Eerste nevenmaximum

38

Buiging aan een Enkele Spleet



Tweede minimum

39

Buiging aan een Enkele Spleet

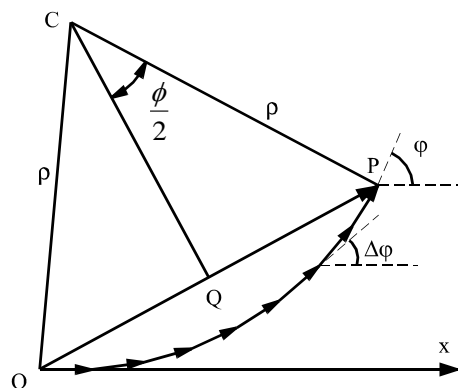
- De (gemiddelde) intensiteit als functie van de buigingshoek bij diffractie aan één spleet is

$$\bar{S} = \bar{S}_0 \left[\frac{\sin(\phi/2)}{\phi/2} \right]^2, \quad \phi = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta$$

$$\text{koorde } OP = A = 2\rho \sin(\phi/2)$$

$$\text{boog } OP = A_0 = \rho\phi = 2\rho \frac{\phi}{2}$$

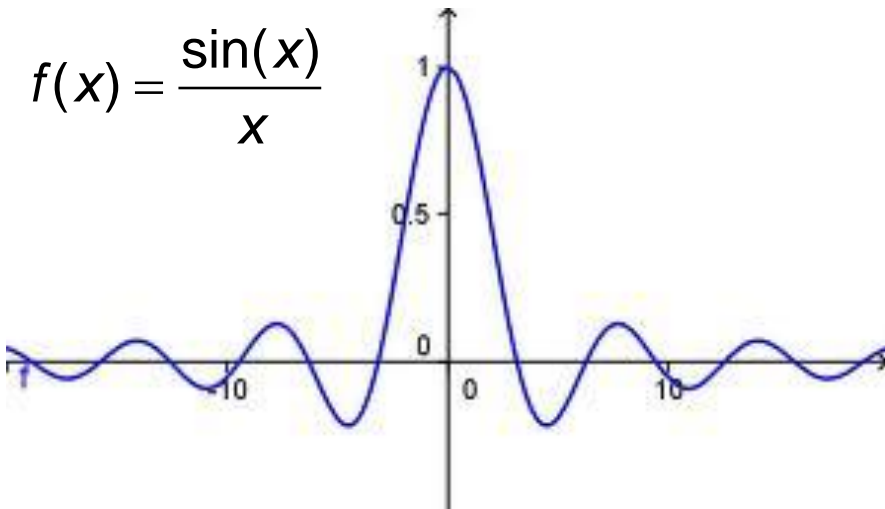
$$\frac{A}{A_0} = \frac{\sin(\phi/2)}{\frac{\phi}{2}}$$



40

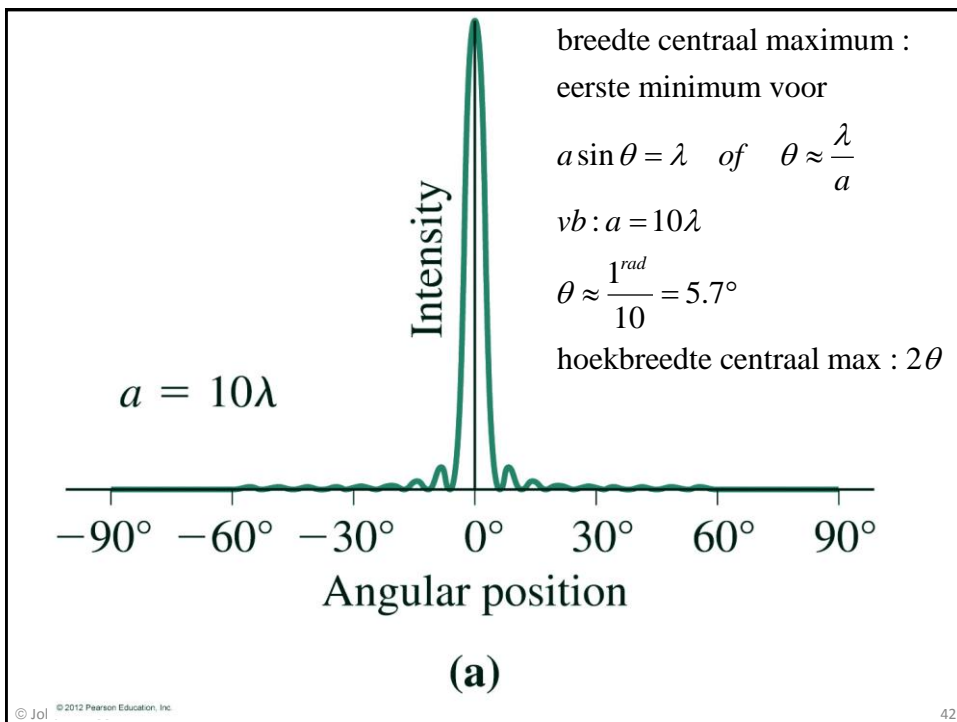
Buiging aan een Enkele Spleet

$$f(x) = \frac{\sin(x)}{x}$$



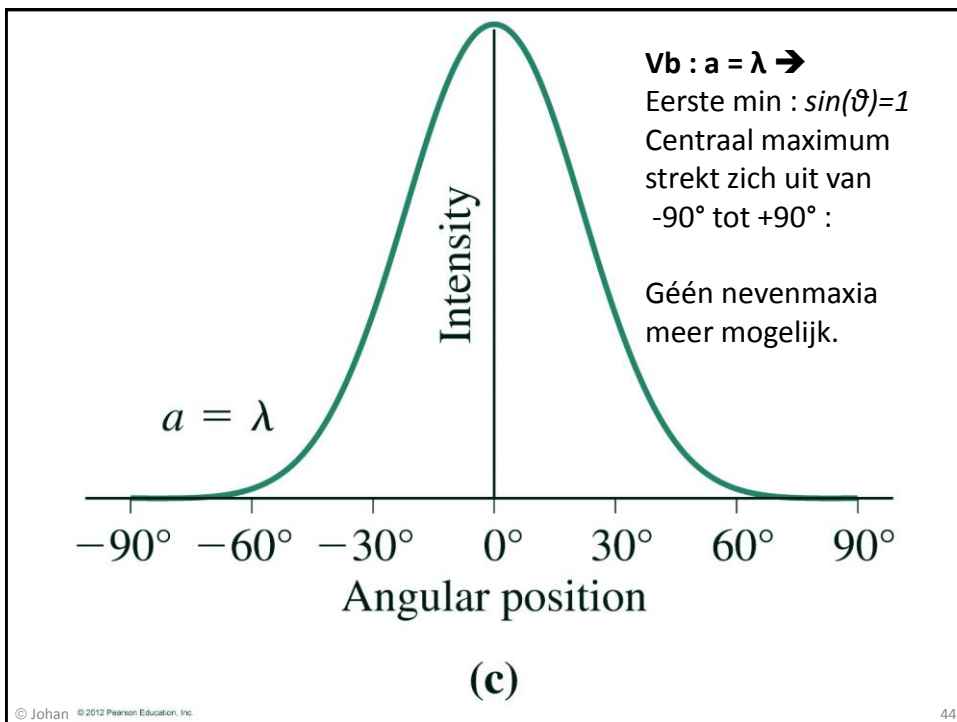
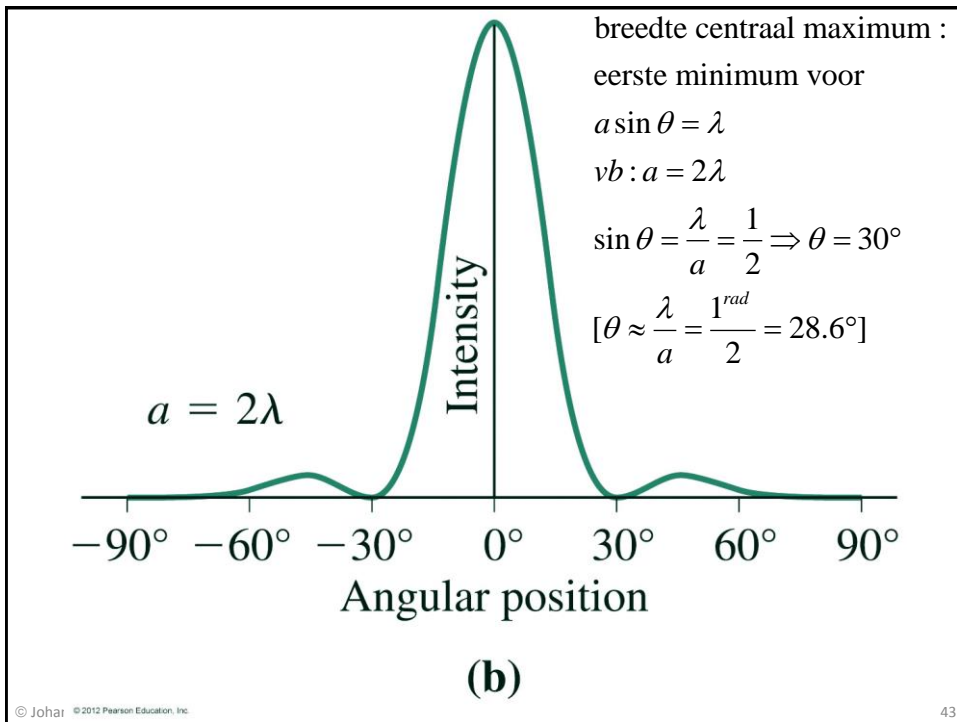
© Johan D'heer

41



© Jol | © 2012 Pearson Education, Inc.

42

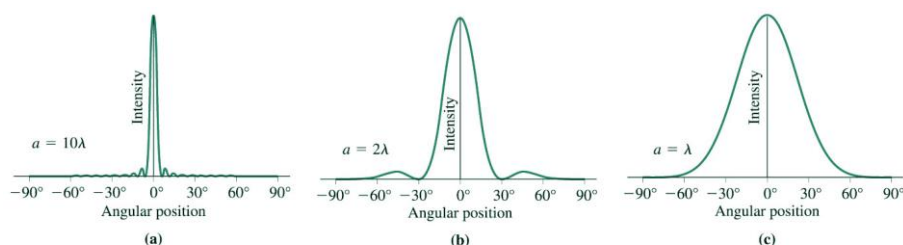


Buiging aan een Enkele Spleet

- De (gemiddelde) intensiteit als functie van de buigingshoek bij diffractie aan één spleet is

$$\bar{S} = \bar{S}_0 \left[\frac{\sin(\phi/2)}{\phi/2} \right]^2, \quad \phi = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta$$

- Als de spleetbreedte vermindert, verbreedt het centrale maximum.



© 2012 Pearson Education, Inc.

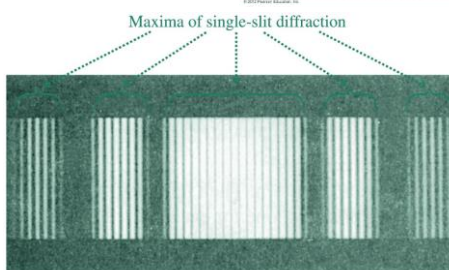
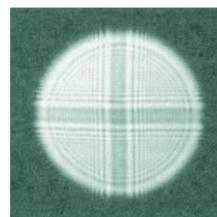
$$\text{breedte centraal maximum : } \Delta\theta = 2\theta \approx 2\frac{\lambda}{a}$$

© Johan D'heer

45

Voorbeelden van Diffractiepatronen

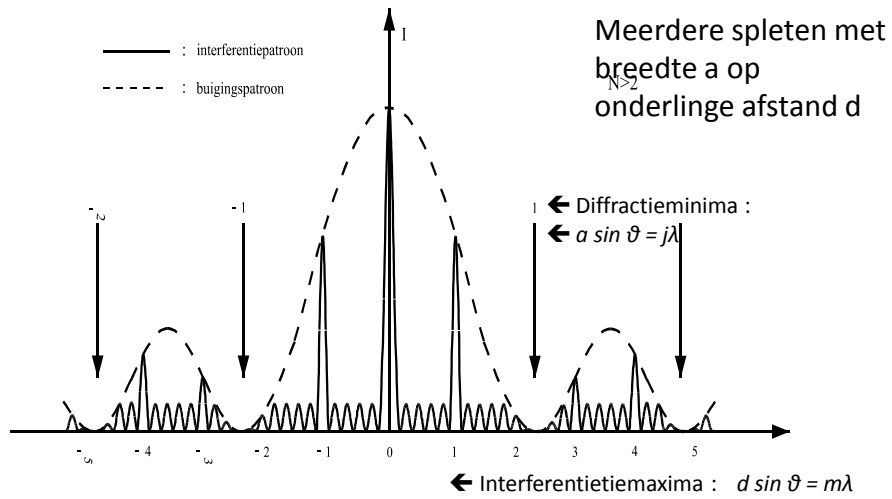
- Diffractie aan een scherpe rand:
- Diffractie door een cirkelvormige opening met kruisdraden: (bv microscoop)
- Twee-spleten interferentie gecombineerd met diffractie door de individuele spleten:



© Johan D'heer

46

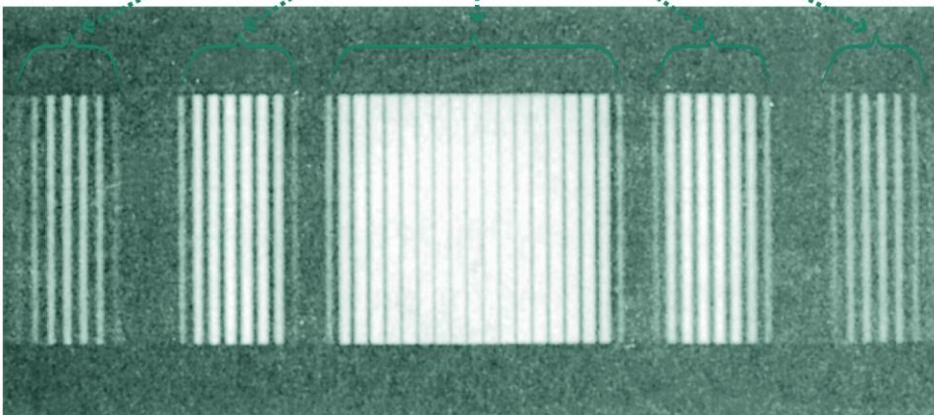
Diffraactiepatroon : meerdere spleten



$$\bar{S} = \bar{S}_0 \left[\frac{\sin(\phi/2)}{\phi/2} \right]^2 \left(\frac{\sin \frac{N\Delta\phi}{2}}{\sin \frac{\Delta\phi}{2}} \right)^2 \quad \text{met} \quad \phi = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta \quad \text{en} \quad \Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

47

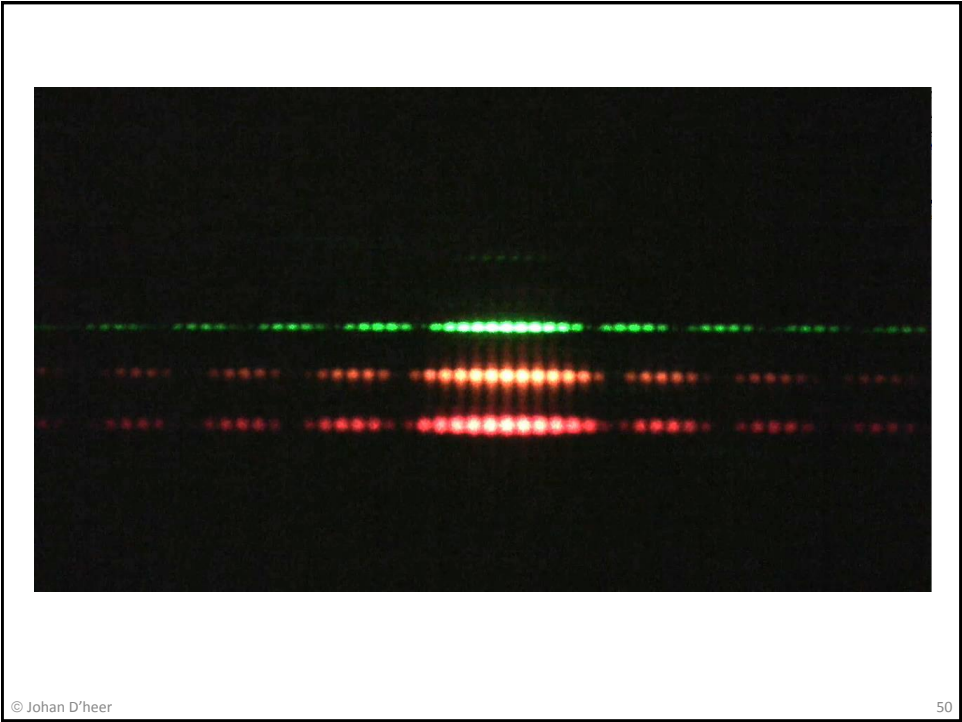
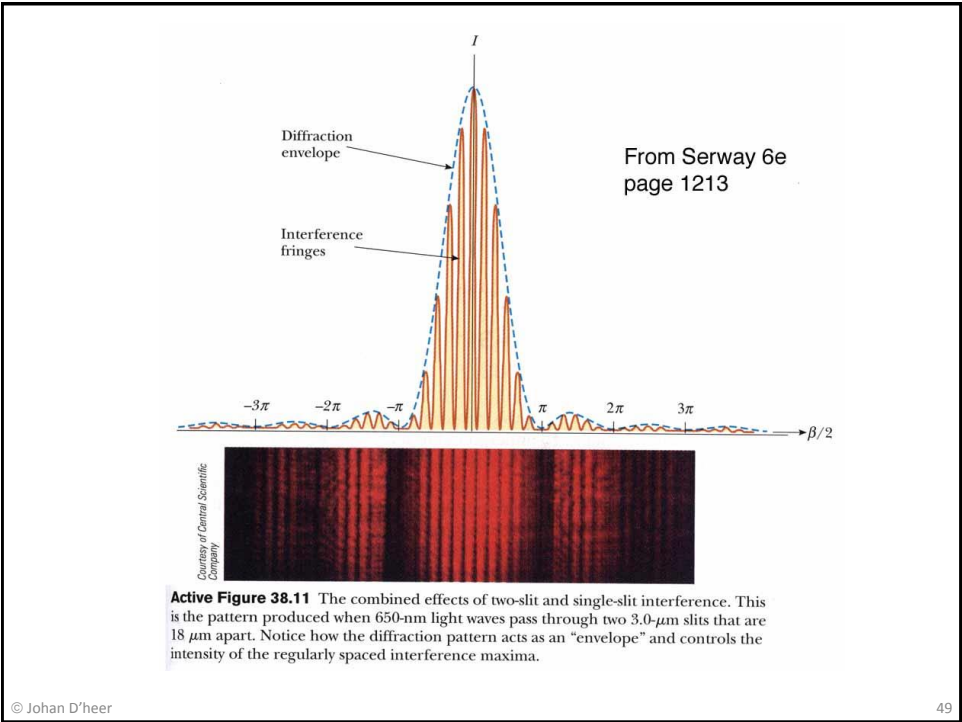
Maxima of single-slit diffraction



© 2012 Pearson Education, Inc.

© Johan D'heer

48



Diffractie : Twee dimensionaal

A diagram illustrating two-dimensional diffraction. Two vertical planes represent slits with widths b_1 and b_2 . Red lines represent diffracted rays. The angle of diffraction for the first slit is labeled $\alpha = \frac{2\lambda}{b_1}$ in blue, and for the second slit is $\alpha = \frac{2\lambda}{b_2}$ in red. The rays converge on a screen to the right, forming a diffraction pattern.

© Johan D'heer

51

Twee dimensionaal

A 2D diffraction pattern showing multiple orders of diffraction. The central maximum is labeled 0. The first and second orders are labeled 1 and 2 respectively. The negative orders are labeled -1 and -2. The pattern is symmetric about the central axis.

© Johan D'heer

52

32.6 De Diffraactielimiet – Rayleigh-criterium

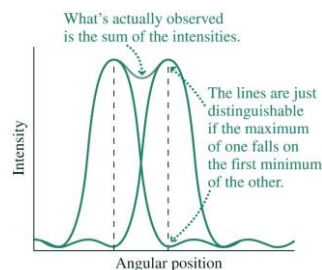
- Voor één spleet met breedte a , is de zgn. **diffraactie limiet**, dit is de minimale hoek tussen de twee beelden die twee onderscheidbare beelden geven:

$$\theta_{\min} = \lambda/a.$$

Cfr Raiyleigh criterium en :

breedte centraal maximum :
eerste minimum voor

$$a \sin \theta = \lambda \quad \text{of} \quad \theta \approx \frac{\lambda}{a}$$



© Johan D'heer

53

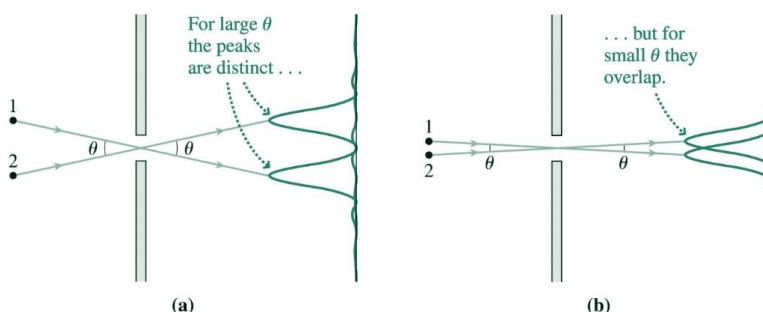
32.6 De Diffraactielimiet – Rayleigh-criterium

- Voor één spleet met breedte a , is de zgn. **diffraactie limiet**, dit is de minimale hoek tussen de twee beelden die twee onderscheidbare beelden geven:

$$\theta_{\min} = \lambda/a.$$

- Voor cirkelvormige opening met diameter D :

$$\theta_{\min} = 1,22\lambda/D.$$

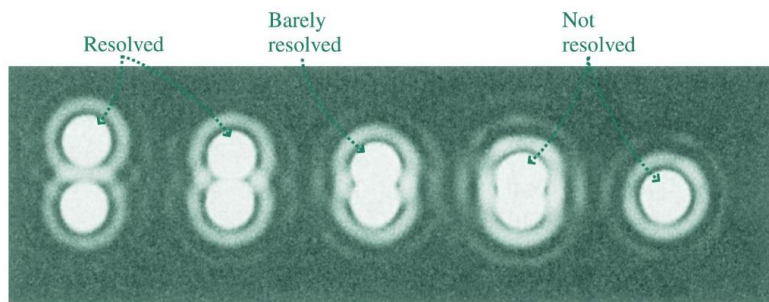


© Johan D'heer

54

32.6 De Diffractielimiet – Rayleigh-criterium

- Diffractie heeft tot gevolg dat de beelden van kleine voorwerpen niet kleiner kunnen zijn dan de grootte van het centrale maximum van het interferentie-patroon.
- Is de grootte van het voorwerp vergelijkbaar of kleiner dan de golflengte van het gebruikte licht, dan is het onmogelijk om een scherp beeld te vormen.
- Twee voorwerpen zijn niet onderscheidbaar van elkaar als de centrale maxima van hun beelden overlappen.

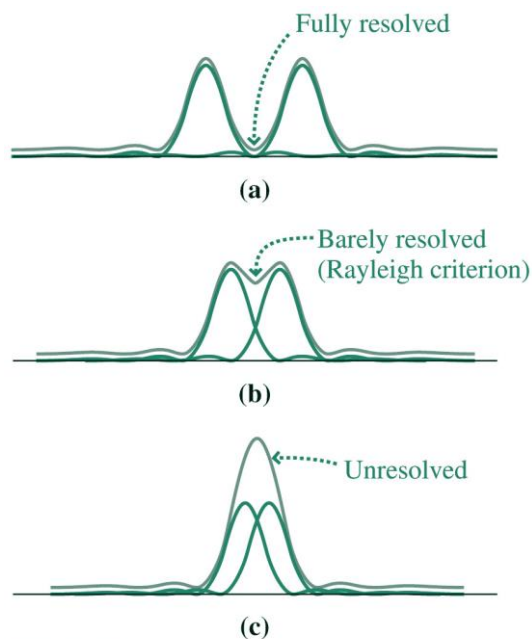


© Johan D'heer

© 2012 Pearson Education, Inc.

55

De Diffractielimiet – Rayleigh-criterium



© Johan D'heer

56

De Diffractielimiet – Rayleigh-criterium

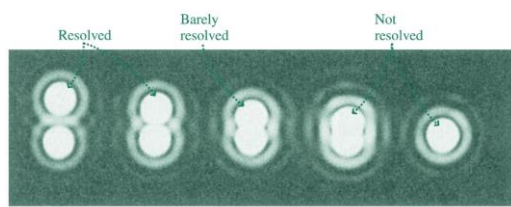
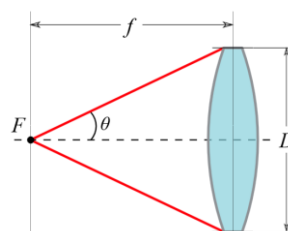
Voorbeeld :

Een camera heeft eens lens waarvoor $f/D = 1.4$. (de zgn. angulaire apertuur)

Als evenwijdig licht invalt met golflengte 580nm, dan zal het beeld in het brandvlak géén punt zijn, maar een beeldvlek(je) met zekere diameter. Hoe groot is die diameter? (diameter van het eerste diffractieminimum)

$$\theta_{\min} = \frac{1.22\lambda}{D} \quad \text{en} \quad r = f\theta_{\min} \rightarrow d = 2r = 2f\theta_{\min}$$

$$d = \frac{2f(1.22)\lambda}{D} = 2(1.22)\lambda\left(\frac{f}{D}\right) = 2.0\mu\text{m}$$



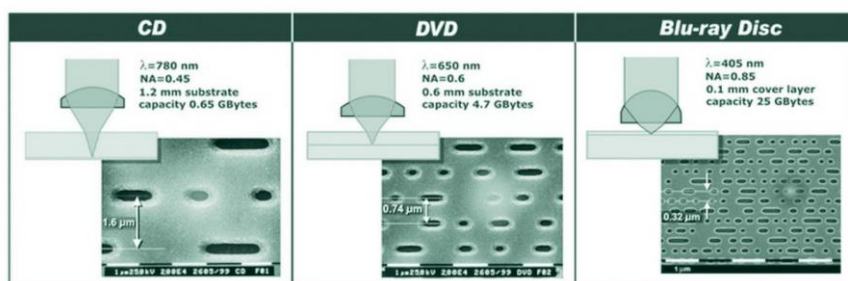
57

Toepassingen van de Diffractielimiet

- De diffractie limiet maakt het **onmogelijk** om met microscopen voorwerpen kleiner dan de golflengte van het gebruikte licht van elkaar te onderscheiden.
 - *Oplossing*: microscopen met ultraviolet licht of hoge-energie elektronen (hebben zeer korte golflengten) gebruiken. (elektronenmicroscop)
- De diffractie limiet verhindert bij telescopen het zien van dicht bij elkaar staande voorwerpen of details van voorwerpen.
 - *Oplossing*: telescopen met (zeer) grote opening gebruiken.

Toepassingen van de Diffractielimiet

- Diffractie stelt een grens op de grootte van de “putjes” (en dus op de hoeveelheid informatie) in CD's en DVD's.



© 2012 Pearson Education, Inc.

- CDs use **infrared** lasers.
- DVDs use **red** lasers, have smaller “pits,” and hold more information.
- HD-DVDs and **Blu-ray** discs use **violet** lasers and hold still more.

© Johan D'heer

60

Samenvatting

- **Interferentie** is een golfverschijnsel dat belangrijk wordt wanneer licht (of andere golven) interageren met systemen, vergelijkbaar in grootte met de golflengte.
 - Interferentie in twee-spleten en meer-spleten systemen vindt men terug in o.a. diffractieroosters, spectrometers, en bij X-straal diffractie.
 - Interferentie in dunne laagjes produceert golflengte-afhankelijke interferentiepatronen en laat nauwkeurige meting van de vorm van lenzen en ander optische toestellen toe.
- **Diffractie** is het buigen van golven als ze interageren met voorwerpen.
 - Diffractie is uitgesproken als de grootte van het voorwerp vergelijkbaar is met de golflengte.
 - De **diffractie limiet** verhindert de vorming van perfecte beelden, of het onderscheiden van kleine of dicht bij elkaar staande voorwerpen.

© Johan D'heer

61