



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

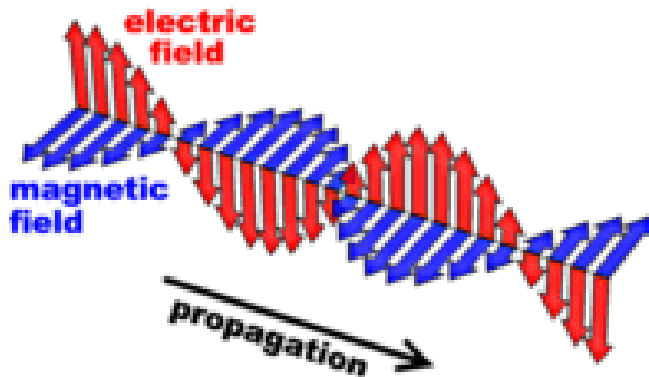
F5 Böjning och upplösning



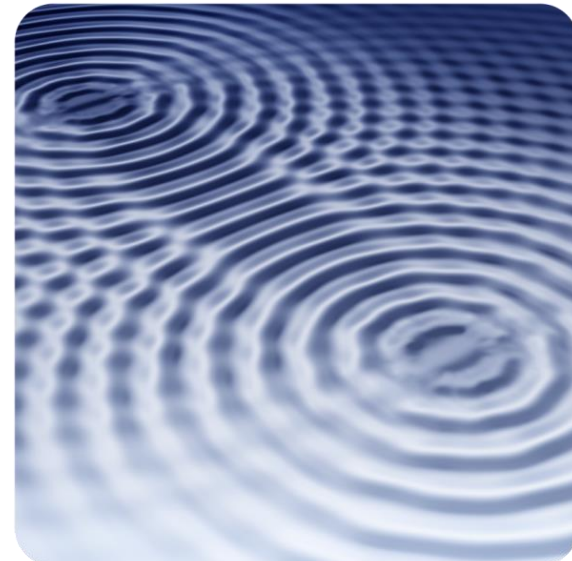
Dagens föreläsning



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



- Fasvektorer
- Bøjning
- Optisk upplösning



Fasvektorer (visardiagram)

Komplex representation av en vågs fas och amplitud

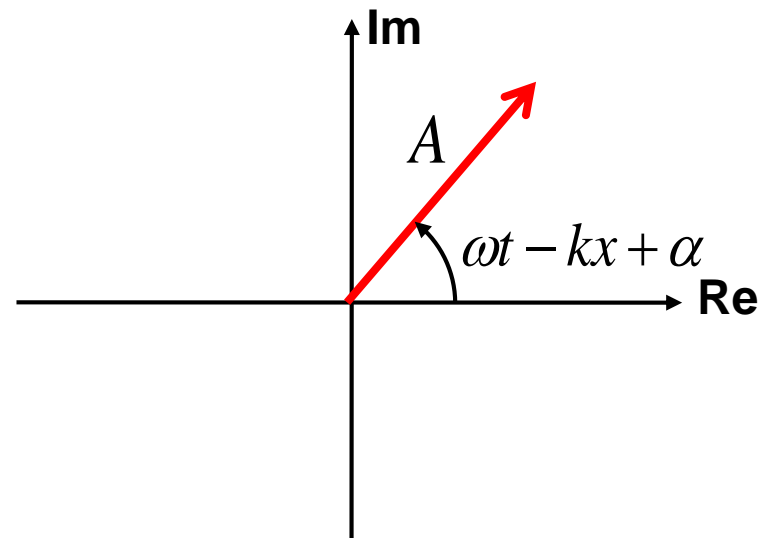
$$s = A \sin(\omega t - kx + \alpha) = \text{Im}(A e^{i(\omega t - kx + \alpha)})$$

$$s = A \sin(\omega t - kx + \alpha) \leftrightarrow \tilde{s} = A e^{i(\omega t - kx + \alpha)}$$

Vågen (s) beskrivs nu av en vektor i det komplexa planet:

Vektorns längd: A

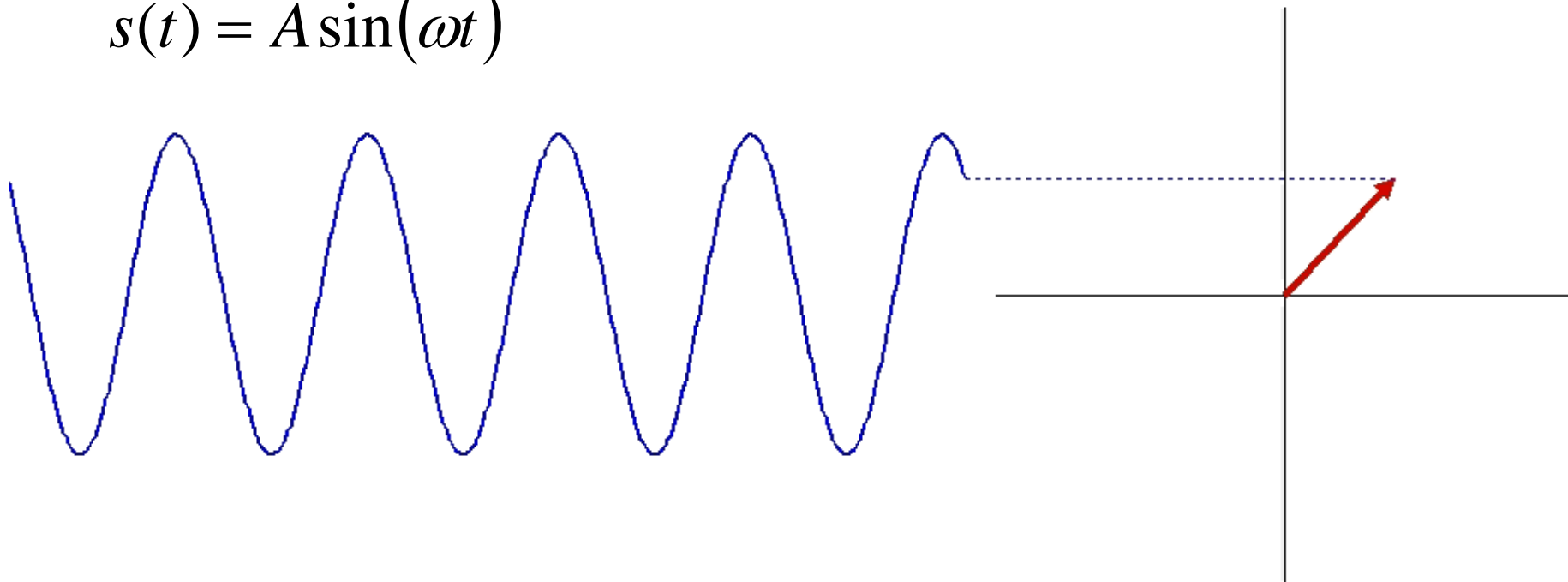
Vektorns vinkel: $\omega t - kx + \alpha$



Fasvektorer

En våg

$$s(t) = A \sin(\omega t)$$



Animationerna är (felaktigt) gjorda för negativa vinkelfrekvenser – $\omega < 0$

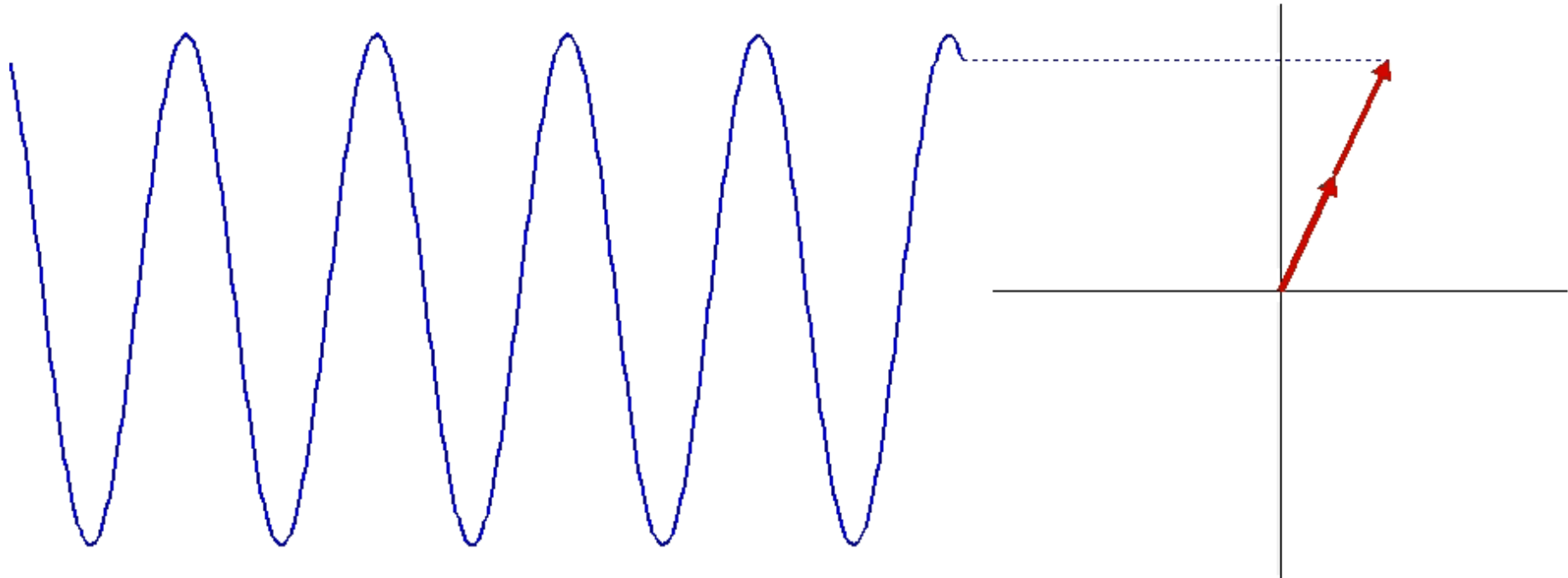


LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Fasvektorer

Två vågor – samma fas

$$s(t) = A_1 \sin(\omega t) + A_2 \sin(\omega t)$$



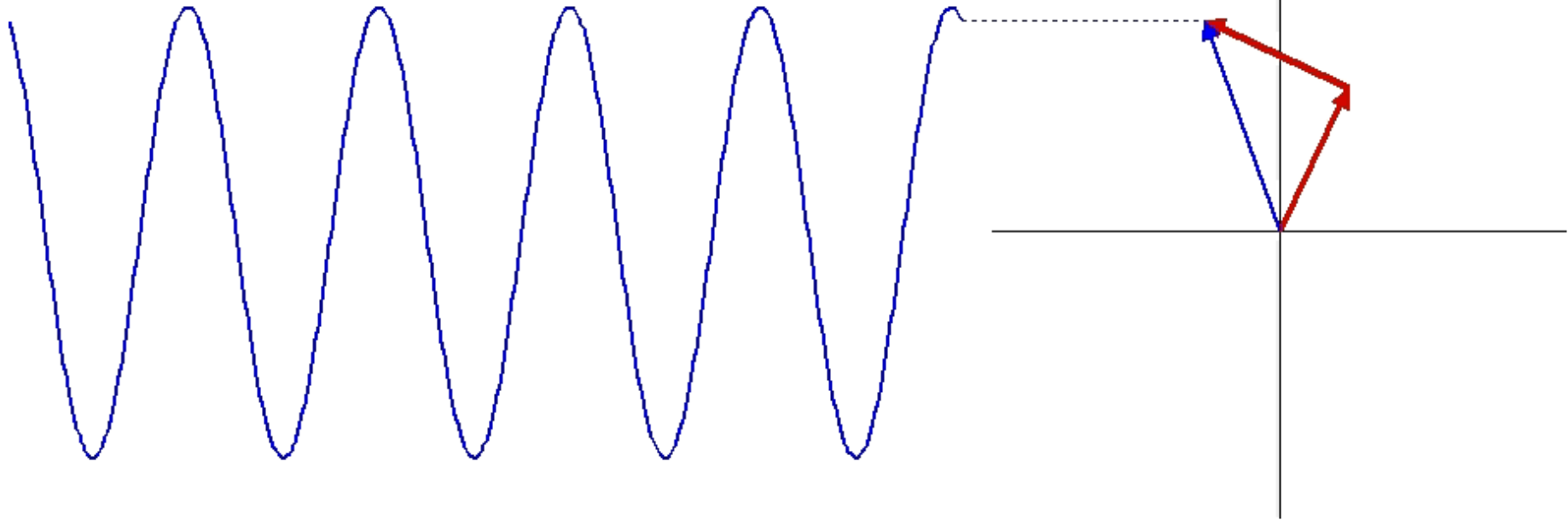
Animationerna är (felaktigt) gjorda för negativa vinkelfrekvenser – $\omega < 0$



Fasvektorer

Två vågor – samma frekvens

$$s(t) = A \sin(\omega t) + A \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$



Animationerna är (felaktigt) gjorda för negativa vinkelfrekvenser – $\omega < 0$



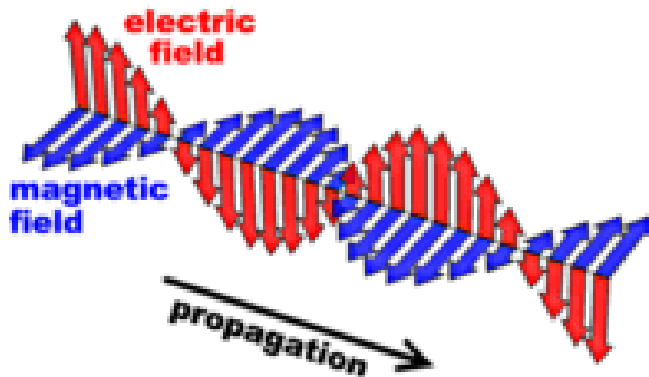
LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Vad blir amplituden?

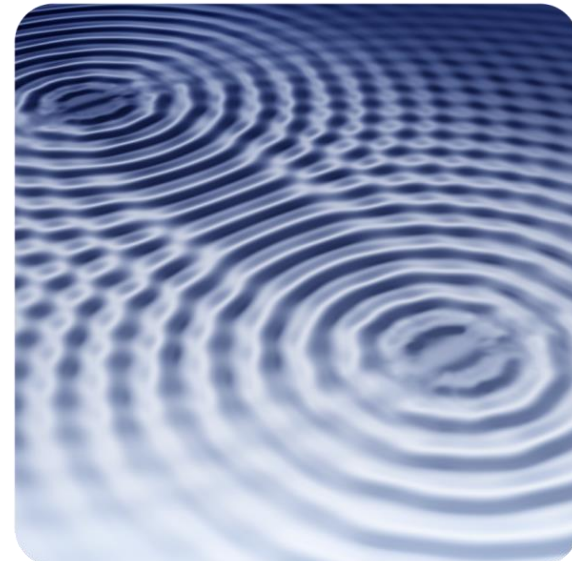
Dagens föreläsning



- F4 – Elektromagnetiska vågor
- F5 – Böjning och upplösning
- F6 – Interferens och böjning
- F7 – Interferens i tunna skikt
- F8 – Polarisation



- Fasvektorer
- Böjning
- Optisk upplösning



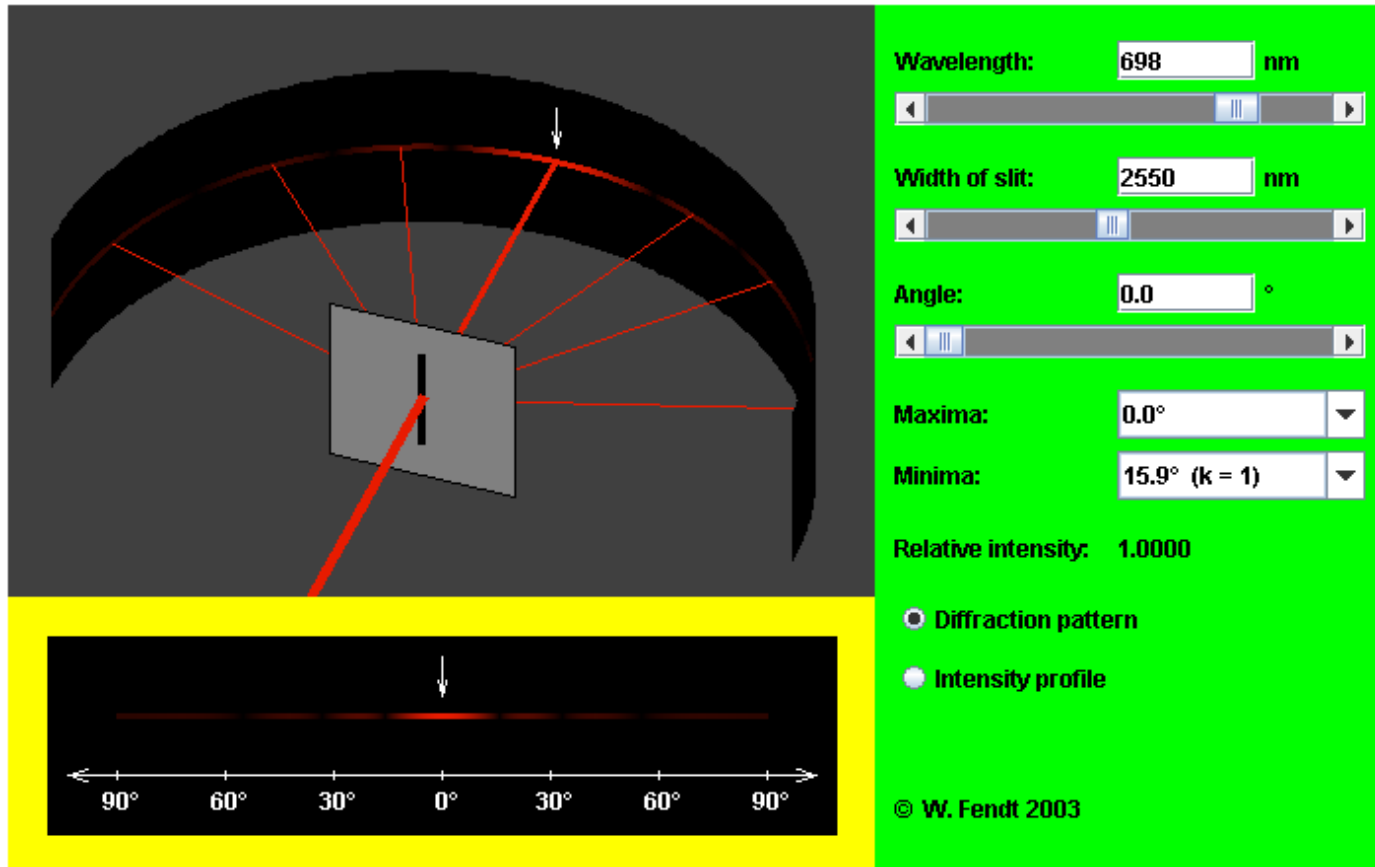
Böjning (diffraktion)

Vattenvågor



Böjning (diffraktion)

Applet

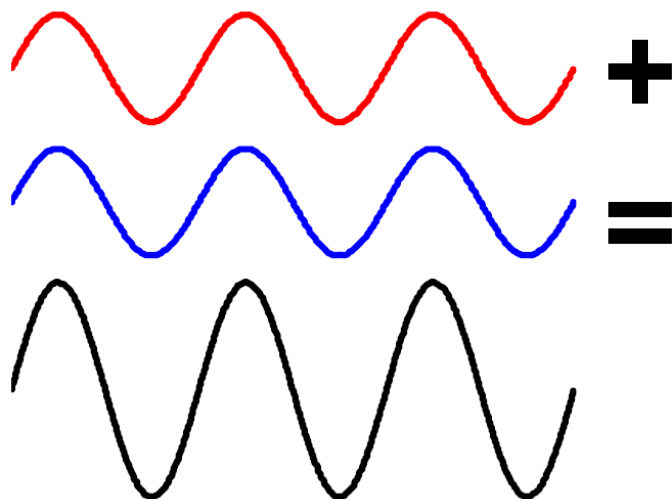


Böjningsmönster från en spalt

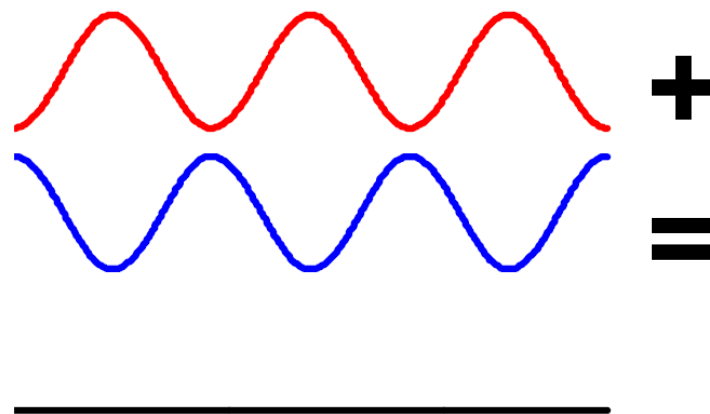
Superpositionsprincipen



Vågorna i fas



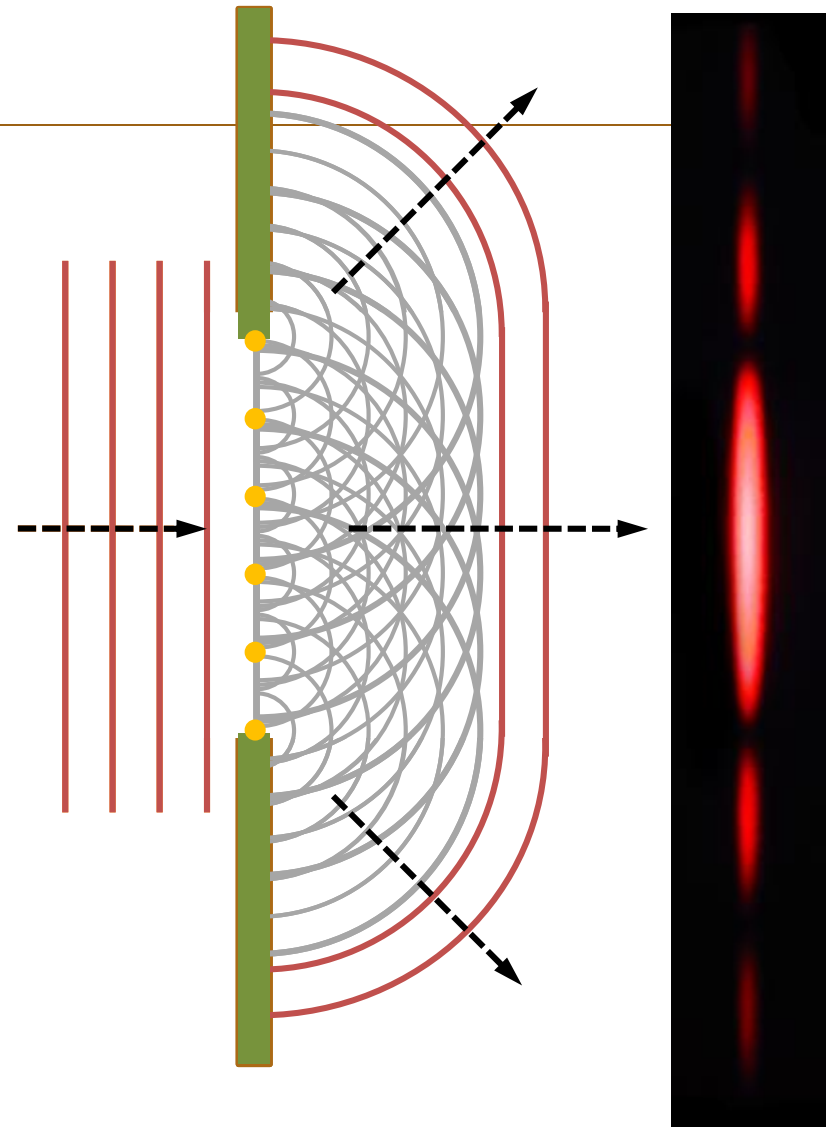
Vågorna ur fas



Böjningsmönster

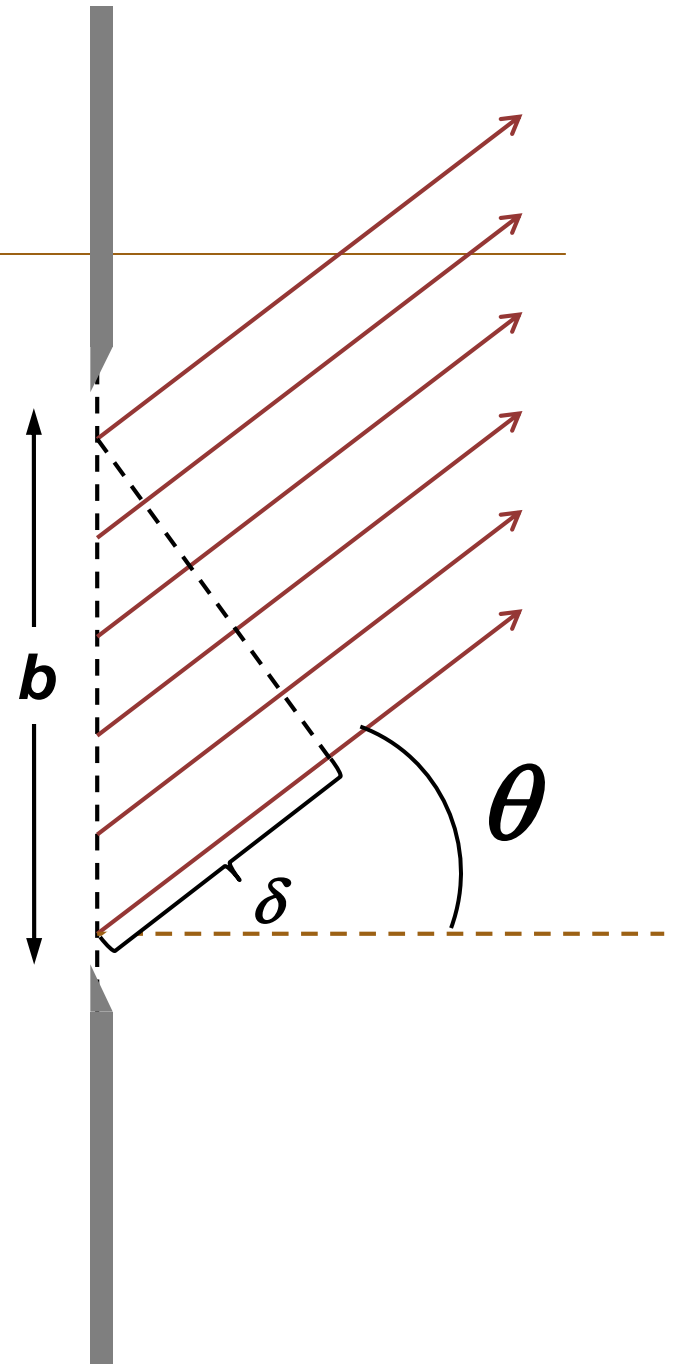
Huygens' princip

- Varje punkt på en vågfront utgör en källa för cirkulära elementarvågor
- Varje elementarvåg har samma frekvens och utbredningshastighet som primärvågen i den punkten
- Primärvågens position vid en senare tidpunkt kan konstrueras fram med hjälp av elementarvågorna



Böjning i en spalt

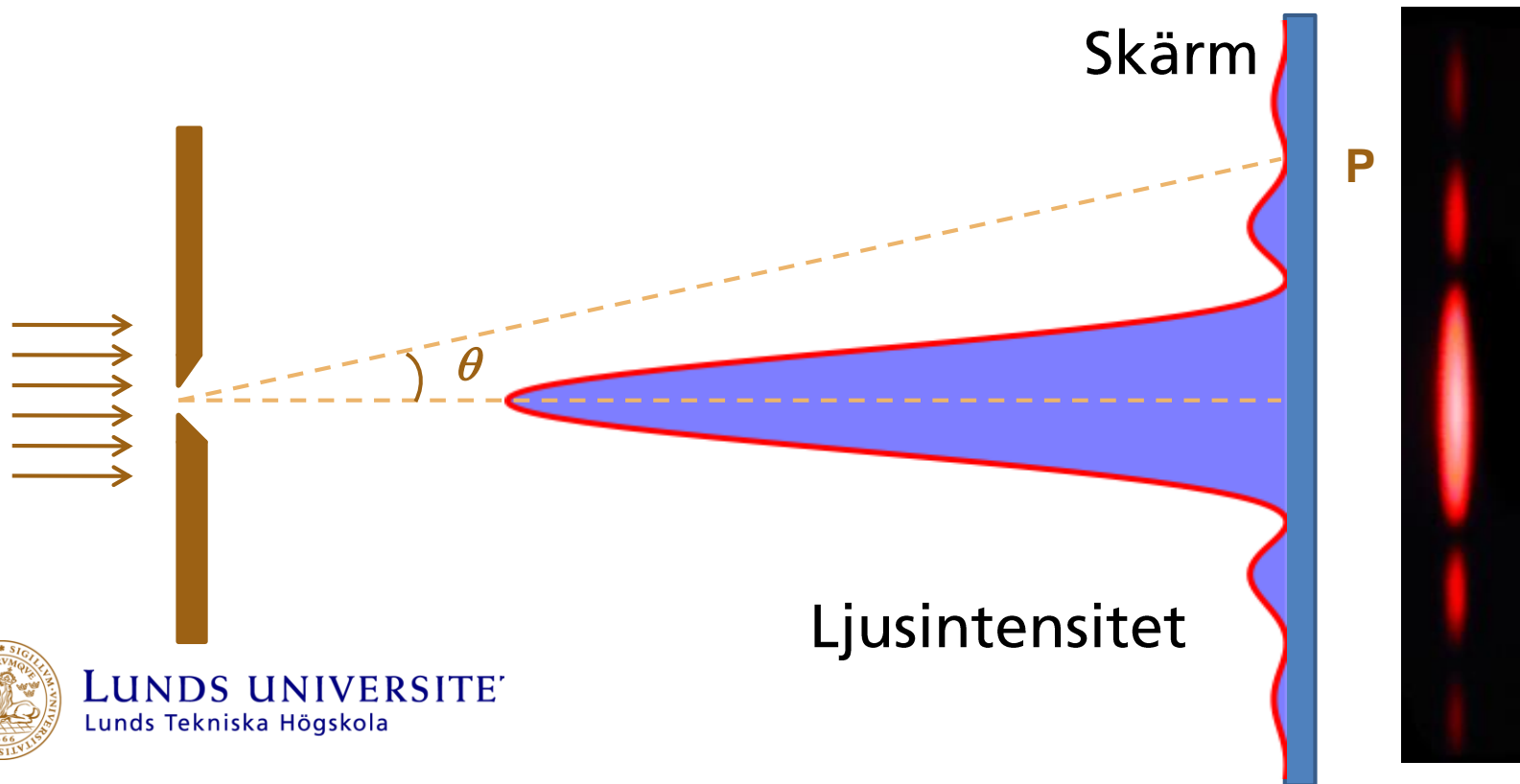
- För att beräkna intensiteten som skickas ut från spalten i riktningen θ kan vi dela upp spalten i mindre delar.
- Vi summerar amplituden för det elektriska fältet från varje del av spalten för att få det totala fältet i riktning θ .
- Intensiteten beräknas sedan från det resulterande totalfältet.



Böjningmönster från en spalt

Formler

- Böjningsminimum: $b \sin \theta = m \lambda$ där $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$
- Intensitetsfördelning: $I(\theta) = I_0 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2$ med $\beta = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta$



Exempeluppgift

På ena sidan av ett tomt akvarium sitter en spalt som belyses med grönt laserljus (543 nm). På väggen mitt emot, 40,0 cm från spalten, är avståndet mellan *andra min* på vardera sidan om centraltoppen 6,0 cm.

a) Bestäm spaltbredden

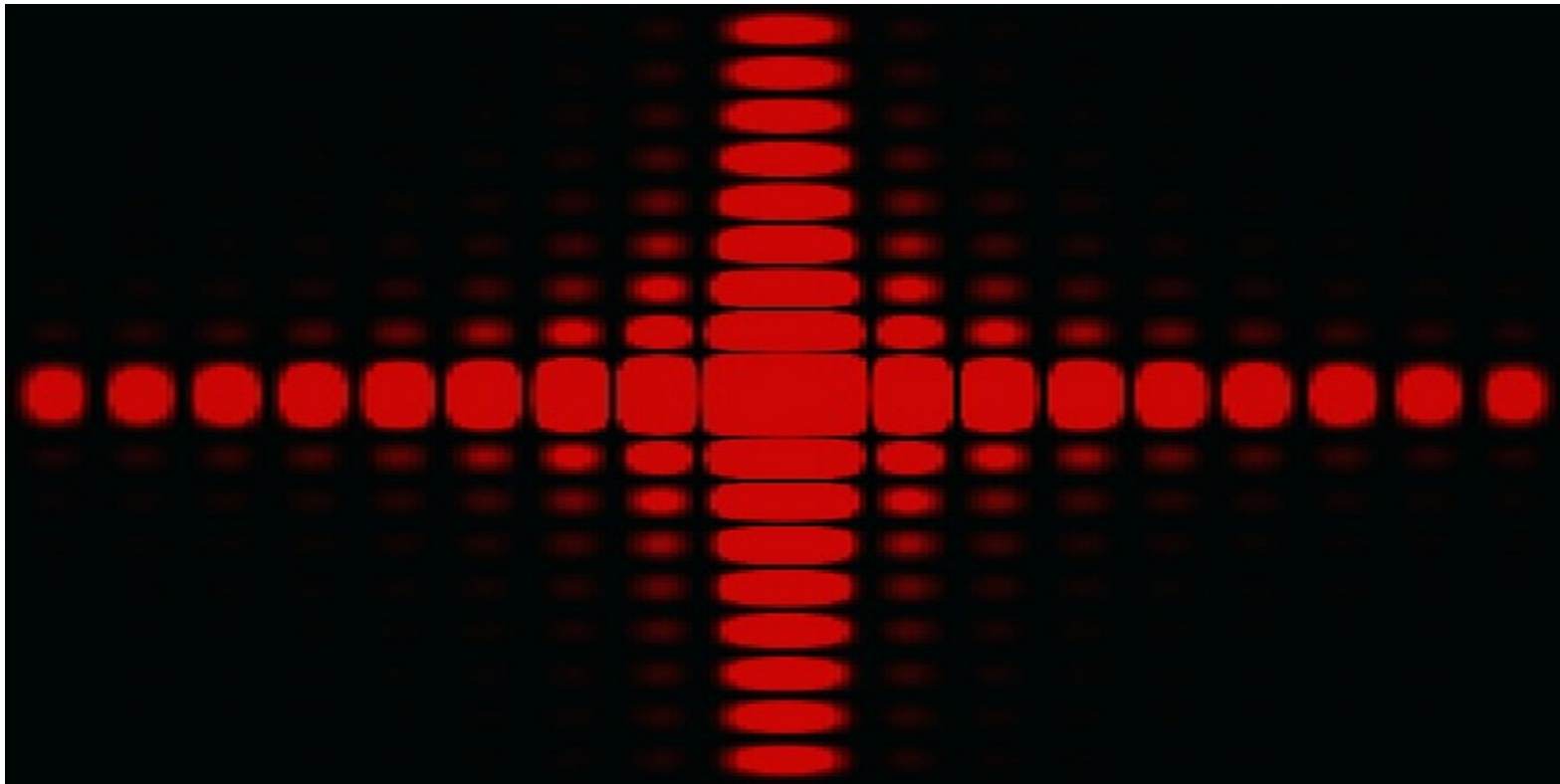
b) När en vätska hälls i akvariet blir avståndet mellan *tredje min* på vardera sidan om centraltoppen 6,6 cm. Bestäm vätskans brytningsindex.



Böjning

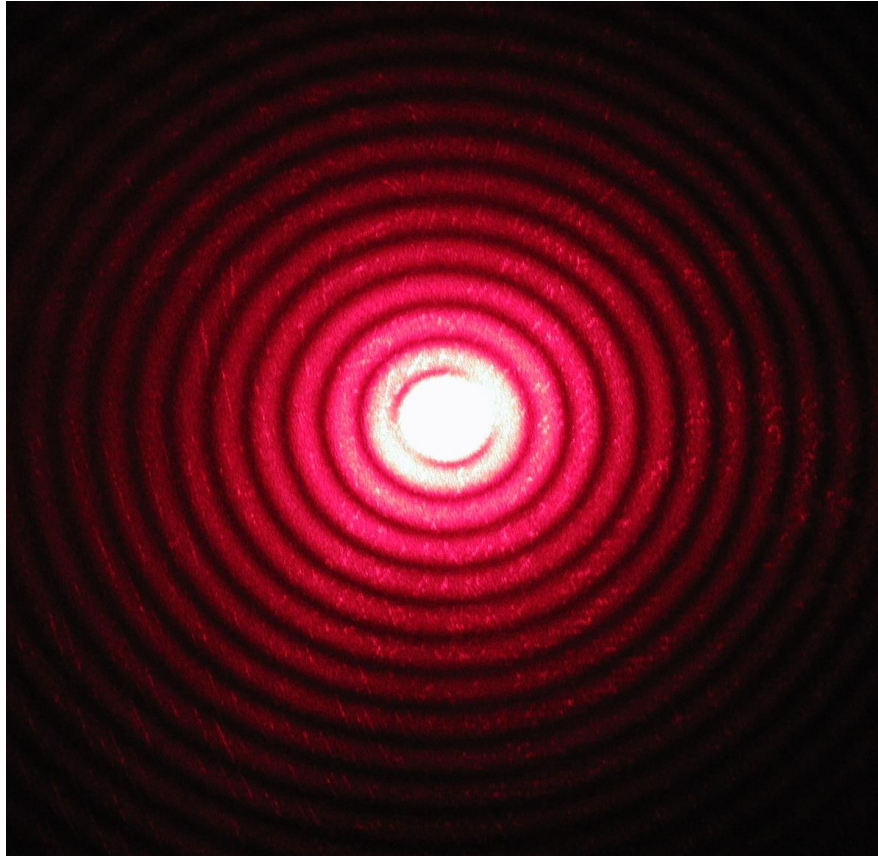
Rektangulär öppning

- Är bredden eller höjden på öppningen störst?



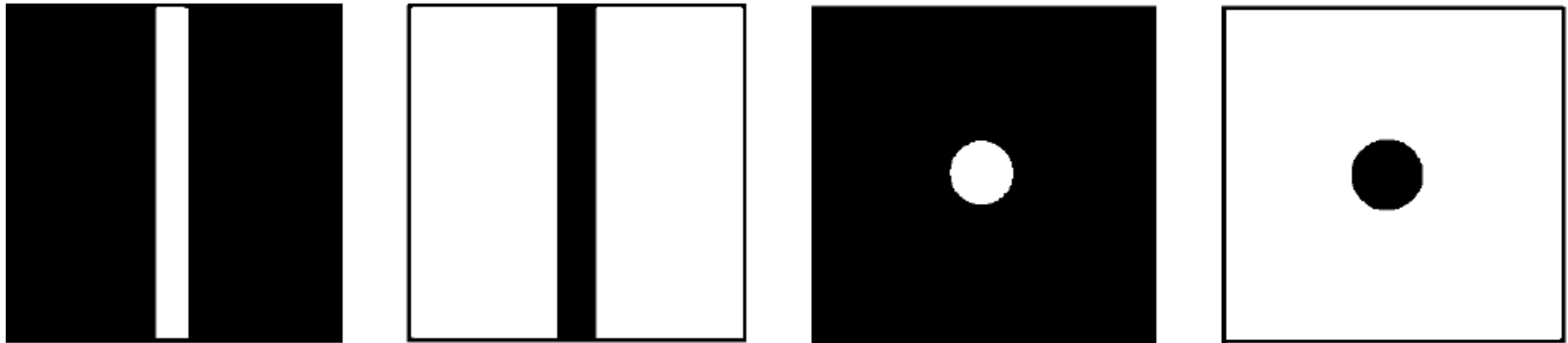
Cirkulär öppning

Böjning



Babinets princip

Komplementära öppningar...



...ger samma diffraktionsmönster utanför centralfläcken!

För komplementära öppningar, t ex en tråd med radien r och en spalt med öppning $b = 2r$ ger superpositionsprincipen att för det elektriska fältet, E , på en skärm bakom öppningarna har vi

$$E(\text{bara tråd}) + E(\text{bara spalt}) = E(\text{inget i vägen för strålen})$$

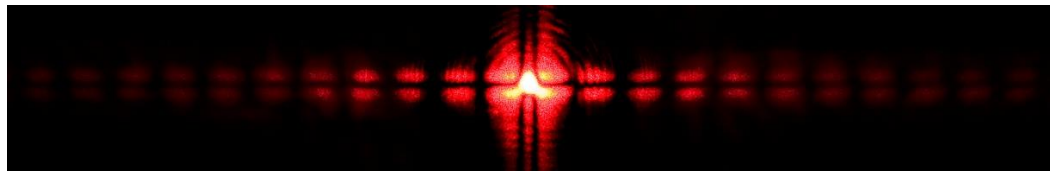
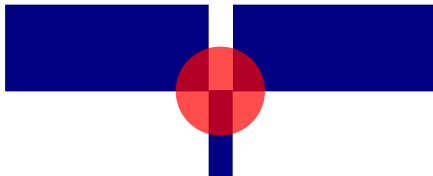
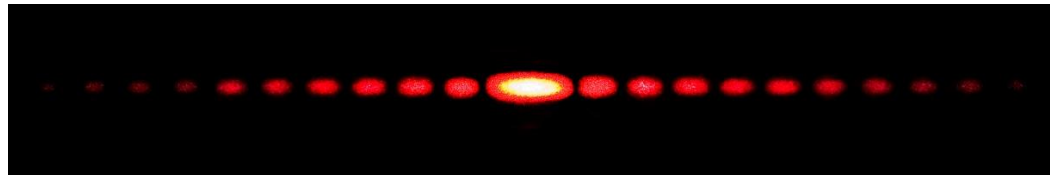
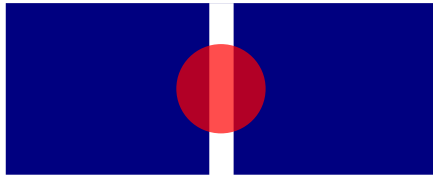
För de punkter på skärmen där intensiteten, I , när inget är i vägen för strålen är noll, så är $E(\text{inget i vägen för strålen}) = 0$, vilket medför

$$E(\text{bara tråd}) = -E(\text{bara spalt})$$

Eftersom $I \propto E^2$ så är $I(\text{bara tråd}) = I(\text{bara spalt})$ utanför centralfläcken



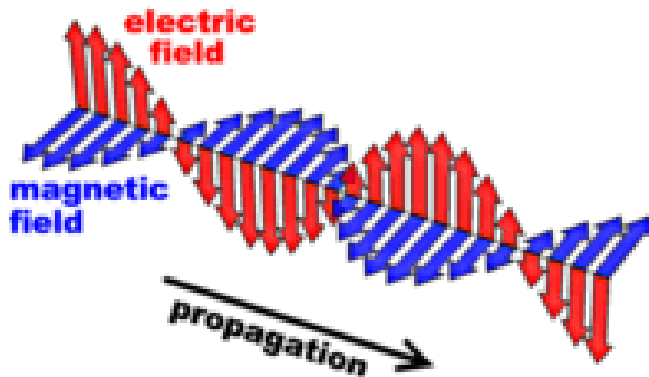
Babinets princip



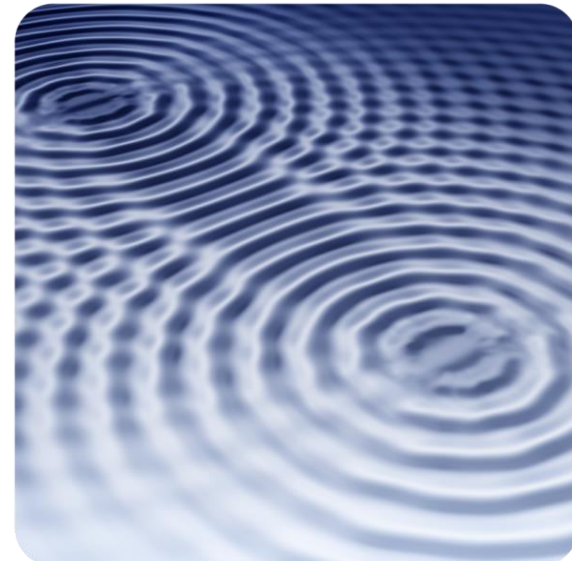
Dagens föreläsning



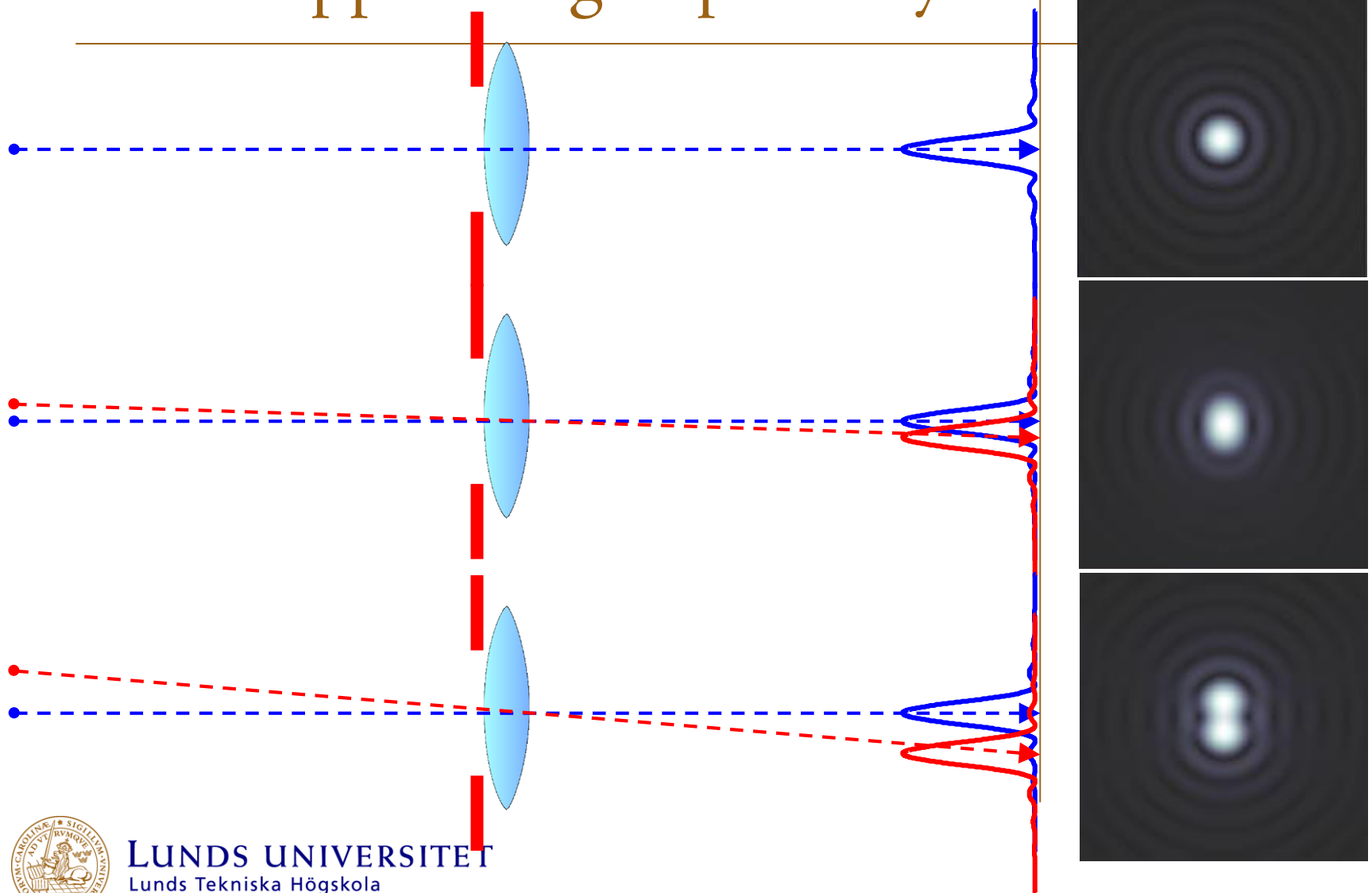
- F4 – Elektromagnetiska vågor
- F5 – Böjning och upplösning
- F6 – Interferens och böjning
- F7 – Interferens i tunna skikt
- F8 – Polarisation



- Fasvektorer
- Böjning
- Optisk upplösning



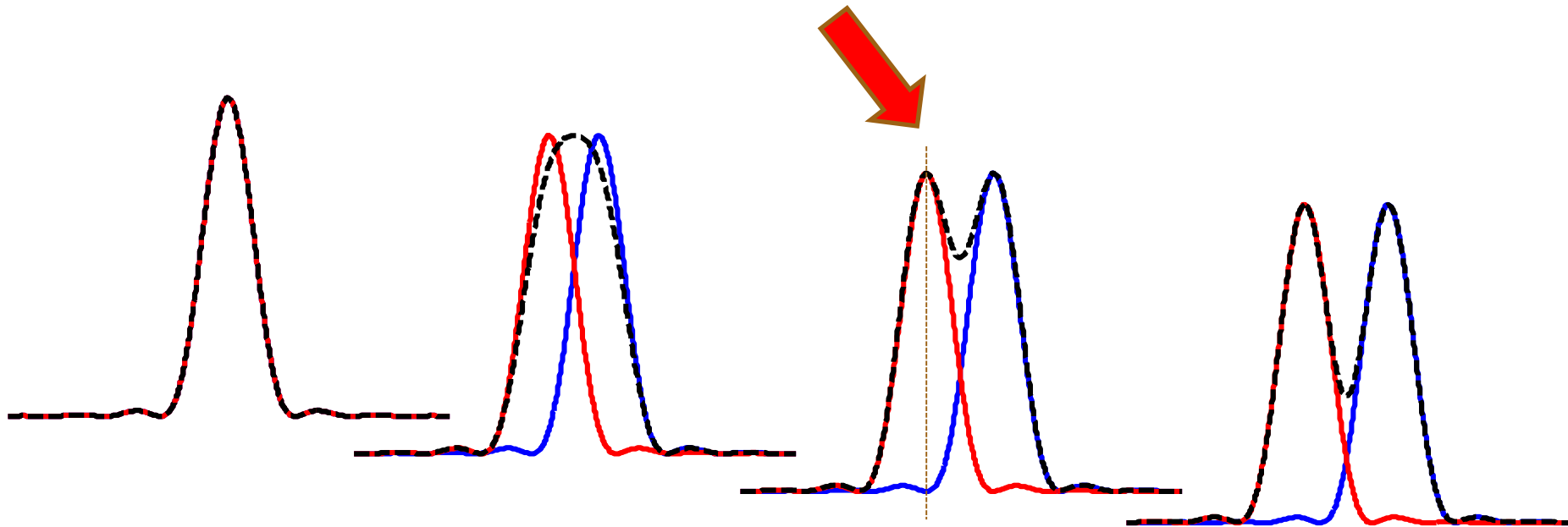
Vinkelupplösning i optiska system



Vinkelupplösning i optiska system

Rayleighs upplösningkriterium

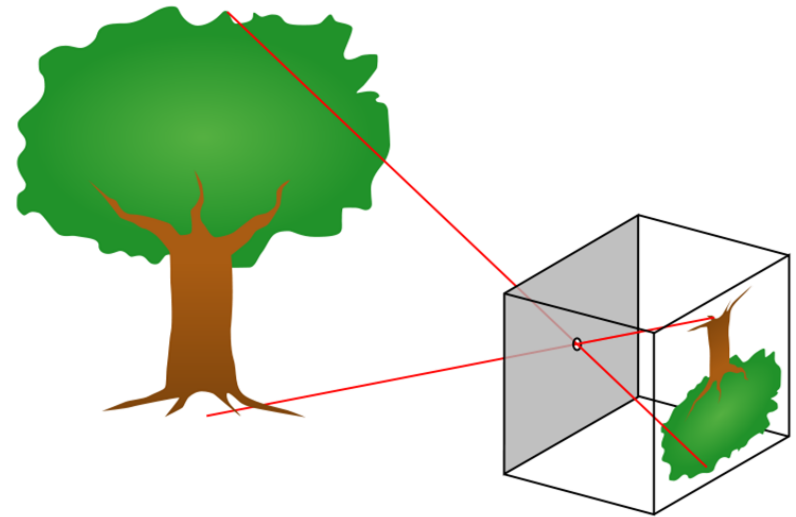
- Definition: Två punkter går att upplösa då den ena punktens första minimum sammanfaller med den andra punktens centralmaximum.



Exempeluppgift

Hålkameran – igen

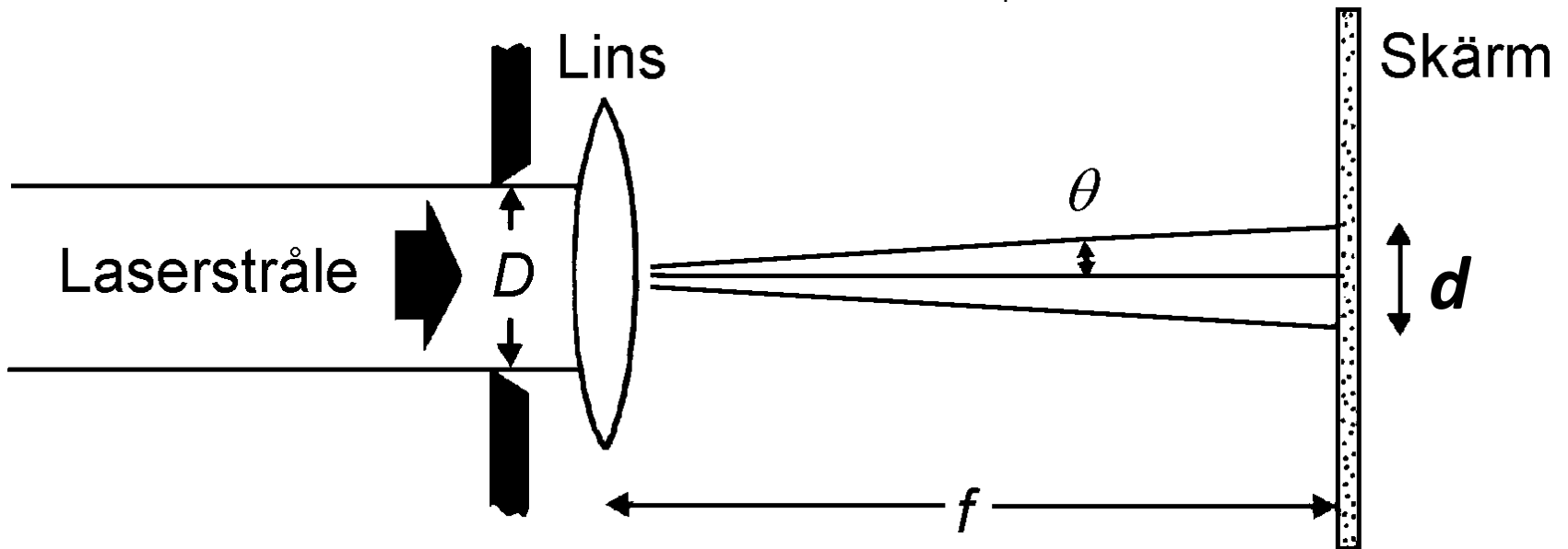
I en hålkamera som skall användas till att avbilda avlägsna föremål är avståndet från hålet till filmen/detektorn 10 cm. Hur stort bör kamerahålet vara för att få maximal upplösning mitt i det synliga våglängdsområdet (550 nm)?



Fokusering av en laserstråle

Minsta storlek på fokus

- Bländaren, eller stråldiametern om den är mindre än bländaren, begränsar på grund av böjning/diffraktion ljusets parallellitet så att linsen inte kan fokusera ner strålen till en matematisk punkt

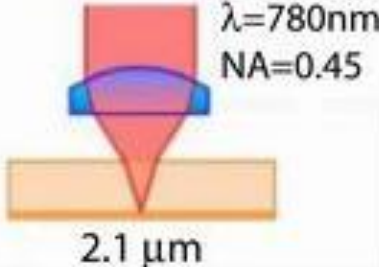
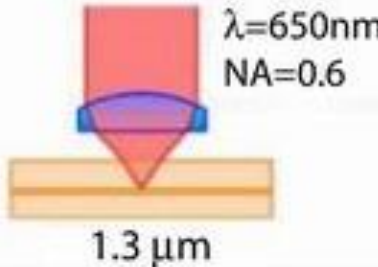
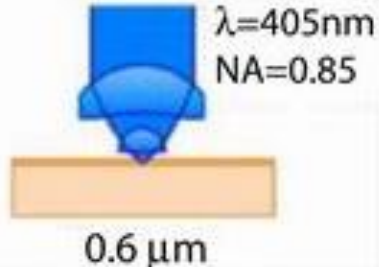
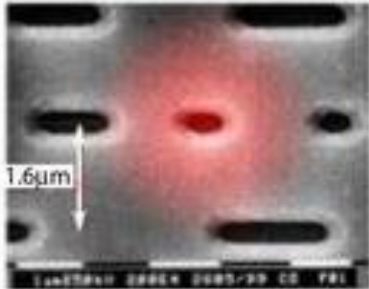
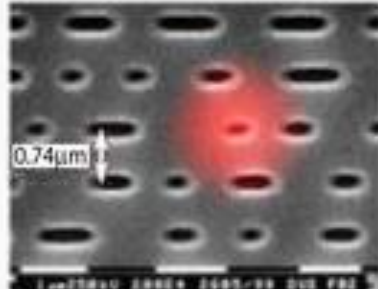
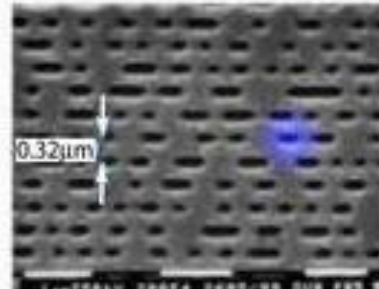


$$d = 2.44 \frac{\lambda f}{D}$$



Optisk datalagring

Kortare våglängd – bättre upplösning

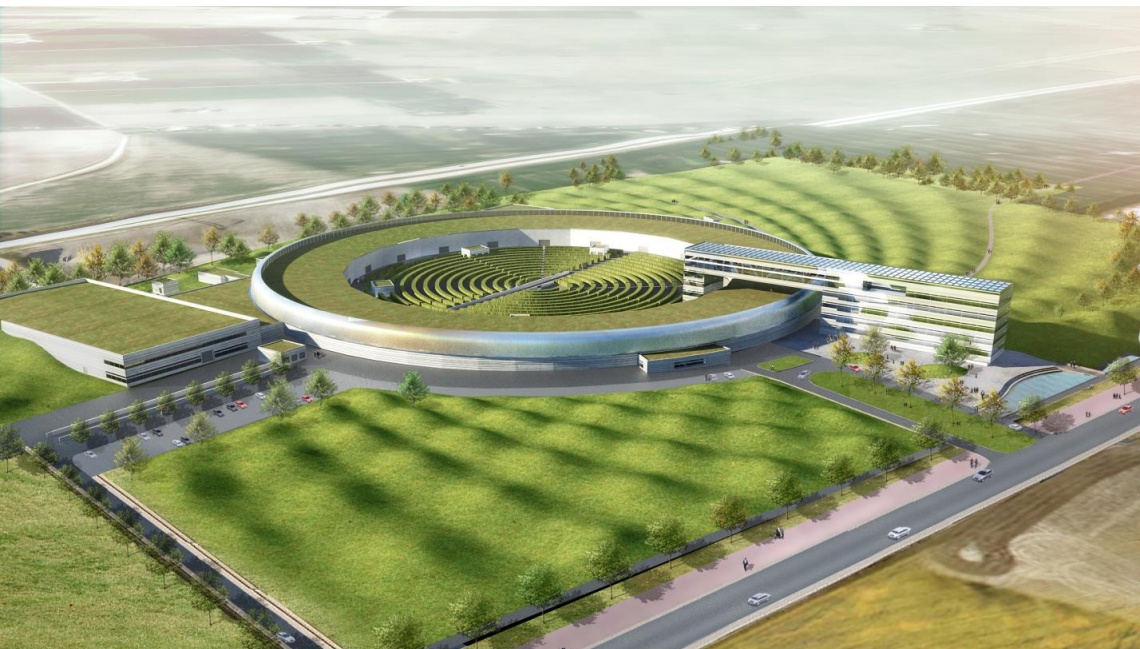
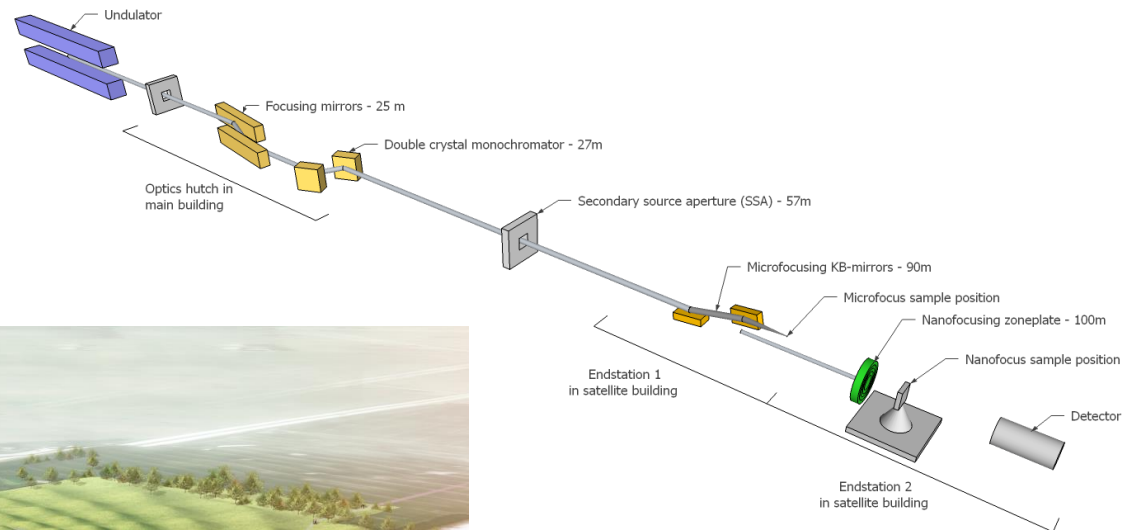
CD	DVD	BD
 <p>$\lambda=780\text{nm}$ $\text{NA}=0.45$ $2.1\text{ }\mu\text{m}$</p>	 <p>$\lambda=650\text{nm}$ $\text{NA}=0.6$ $1.3\text{ }\mu\text{m}$</p>	 <p>$\lambda=405\text{nm}$ $\text{NA}=0.85$ $0.6\text{ }\mu\text{m}$</p>
 <p>$1.6\text{ }\mu\text{m}$</p>	 <p>$0.74\text{ }\mu\text{m}$</p>	 <p>$0.32\text{ }\mu\text{m}$</p>
0.7 GB	4.7 GB	25 GB



MAX IV-laboratoriet

Kortare våglängd – bättre upplösning

- Mikroskopi med röntgenljus – **10 nm upplösning** förväntas



Planerad experimentstation:
NanoMAX