

Presentationmaterial

Ljus som vågrörelse - Fysik B

Interferens i

- dubbelspalt
- gitter
- tunna skikt

Syfte och omfattning

Detta material behandlar på intet sätt fullständigt sådant som kan ingå i avsnitt med innebörden Ljus som vågrörelse i gymnasiets kurs Fysik B. Författarens syfte med framställandet av materialet har framför allt varit att skapa material för lektionsgenomgångar, ge möjlighet till en strukturerad inläring av i avsnittet centrala begrepp samt att kunna ge studerande en referens för laborationer och framtida avsnitt som innehåller vågrörelselära.

Beträffande spridning av materialet

Detta material får spridas fritt i sin helhet och i befintlig form. De ingående bilderna är antingen författarens egna illustrationer eller andra bilder vars licens tillåter spridning. Se vidare avsnittet Källor.

Nikodemus Karlsson, augusti 2009 med smärre revideringar september 2010.



Bild 1

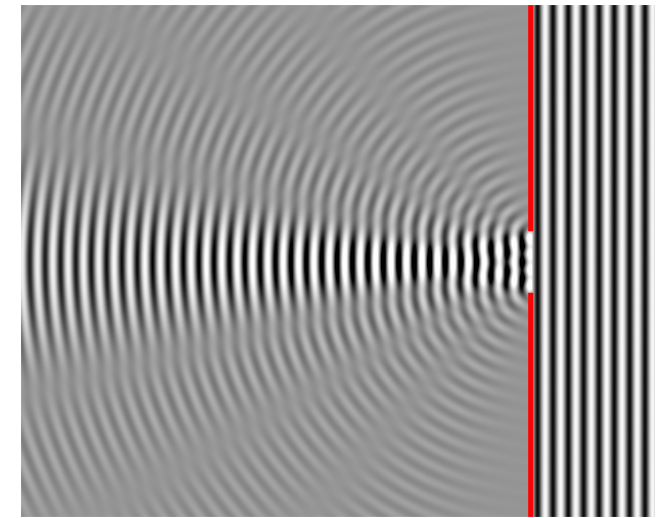


Bild 2

Huygens princip säger att varje del av en vågfront utgör "början" på en ny cirkulär våg.

Det tar sig uttryck genom att då en plan våg passerar en öppning som är i samma storleksordning som vågens våglängd, så kommer nya cirkulära vågor att spridas från denna öppning.

Vågfronterna kommer att spridas i alla riktningar. Dock kommer interferens att göra att det blir utsläckning i vissa riktningar och förstärkning i andra riktningar. Se Bild 2.

Fenomenet att vågor ändrar riktning när de passerat genom en öppning i samma storleksordning som våglängden kallas för diffraktion, och gäller såväl mekaniska vågor som andra typer av vågor.

Förenklad bild över situationen då parallellt, monokromatiskt, ljus sänds genom en dubbelspalt mot en skärm.

Monokromatiskt ljus är ljus som består av en enda färg!

Skulle vitt ljus istället sänts genom dubbelspalten skulle varje ljus frans vara regnbågsfärgad.

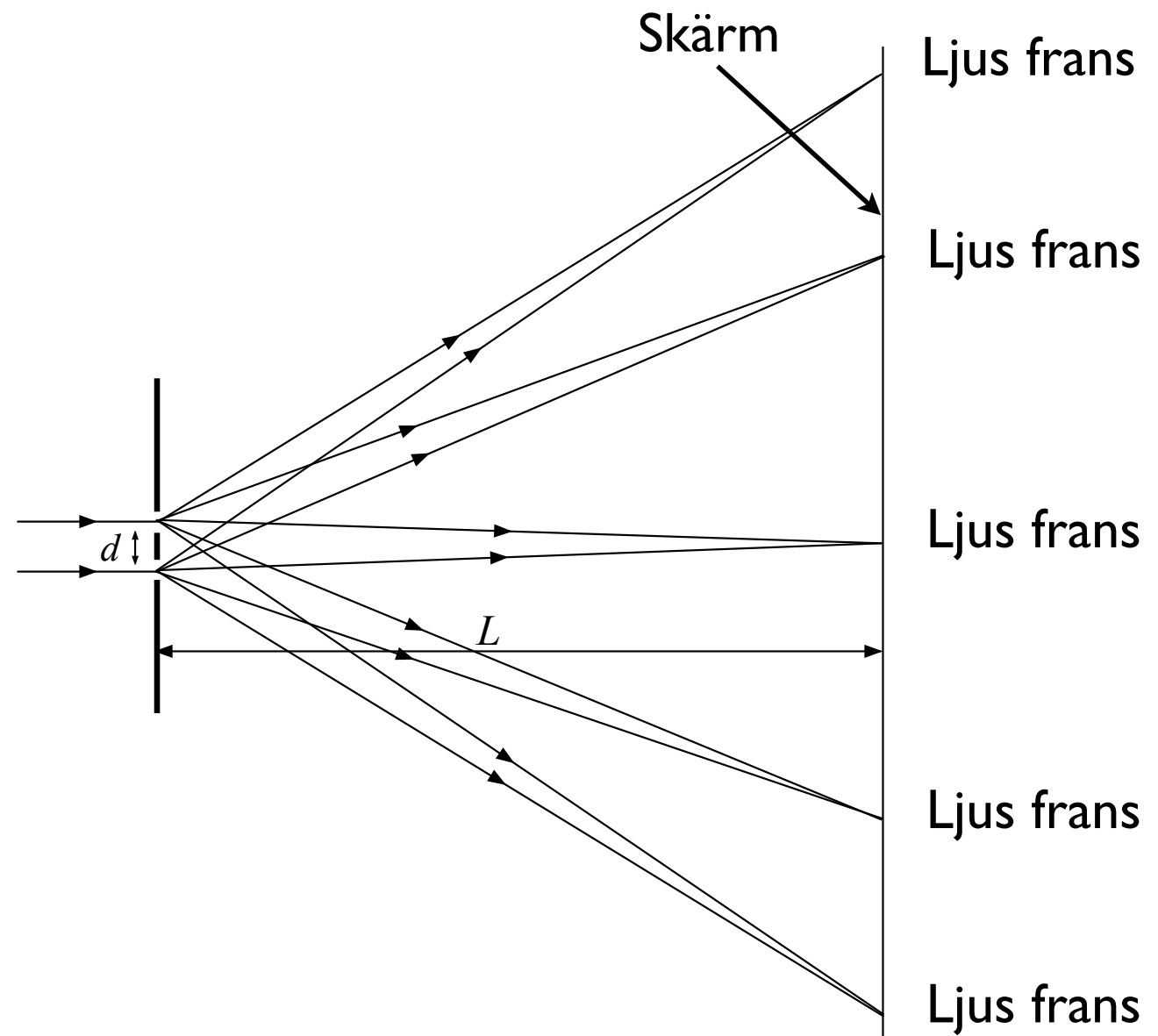


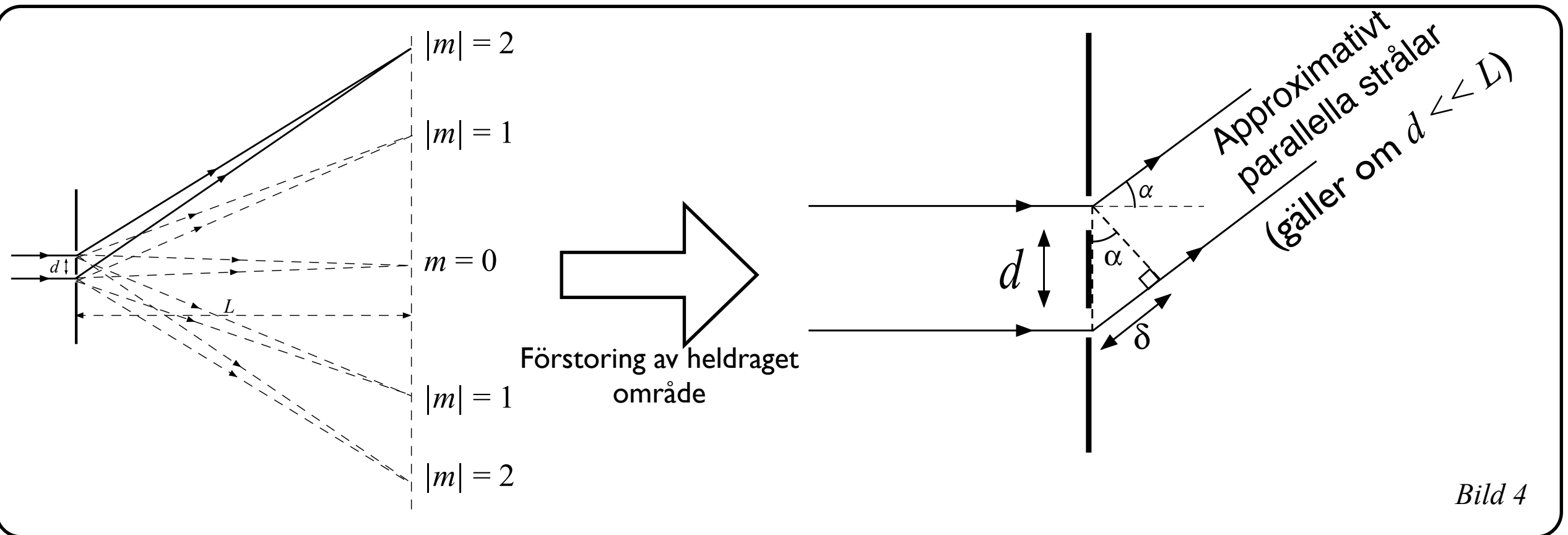
Bild 3

När ljus passerar genom en s.k dubbelspalt kan man iaktta ovanstående mönster (*spektrum*).

Varje frans svarar mot en given *ordning* på spektrumet.

Utifrån denna iakttagelse skulle hypotesen om att ljus kan betraktas som en vågrörelse kunna ställas.

För att bekräfta / stärka hypotesen måste en kvantitativ analys göras.



Om ljusstrålarna kan betraktas som vågor kommer de strålar som utgår från respektive spalt att ligga i fas (de kommer fram samtidigt till respektive öppning och börjar därifrån att spridas enligt Huygens princip).

Vägskillnaden mellan strålarna betecknas δ (uttalas "delta")

När δ är ett helt antal våglängder erhålls konstruktiv interferens: $\delta = m \cdot \lambda$

δ kan uttryckas enligt: $\delta = d \sin \alpha$ (se förstörd figur). d betecknar spaltavståndet.

Villkoret för konstruktiv interferens skrivs: $d \sin \alpha = m \cdot \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$

Absolutbeloppet av m kallas *ordningstal*. Tex talar man om första ordningens spektrum. "Nollte" ordningens spektrum kallas centralmaximum.

Modellen med ljusstrålar är bra för att utföra beräkningar, men en bättre bild över hur de ljusa fransarna uppstår genom konstruktiv interferens ser vi nedan.

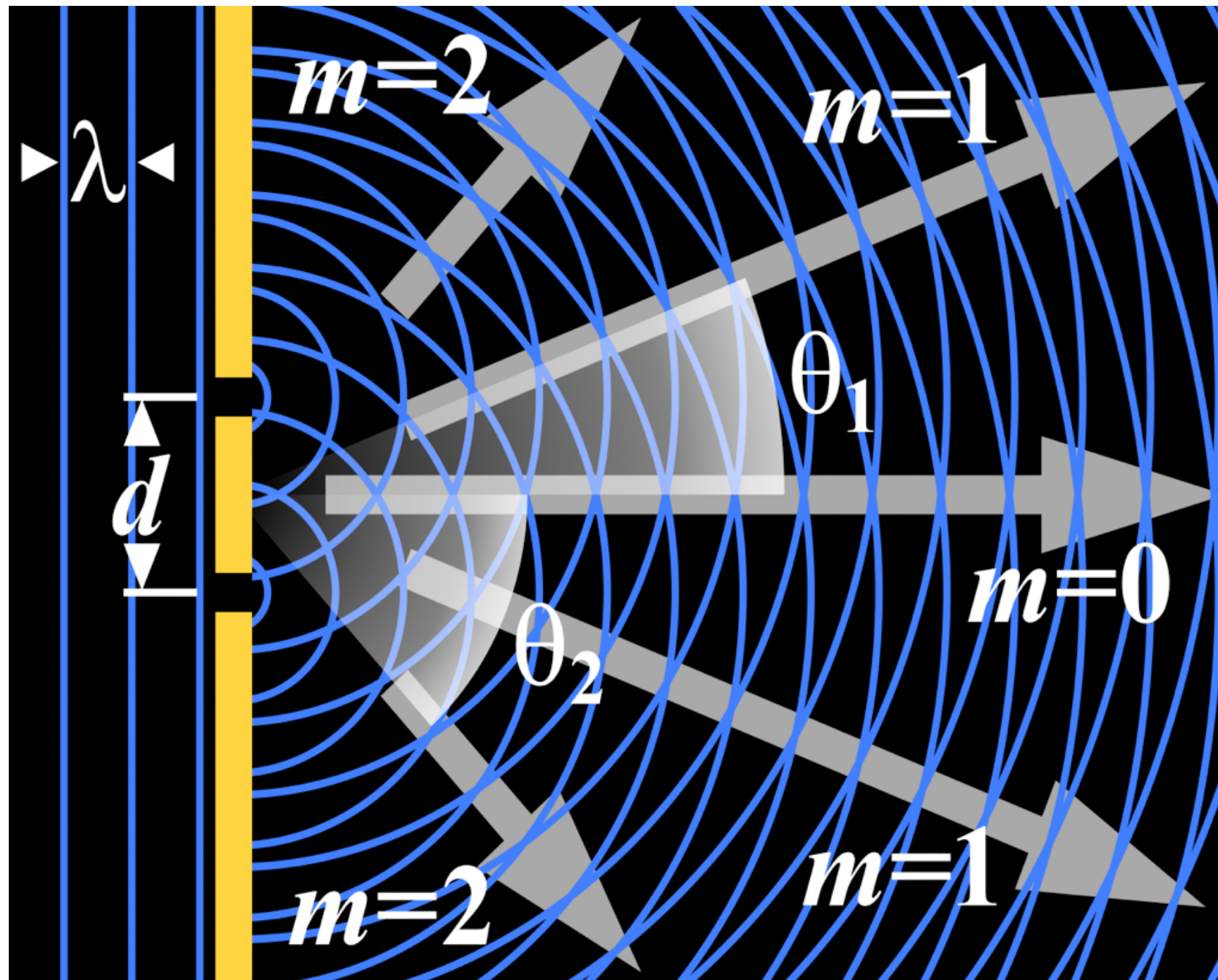


Bild 5

För att stärka hypotesen om ljusets vågnatur kan följande experiment sättas upp:

En monokromatisk (enfärgad) stråle skickas in mot dubbelspalter med olika d , respektive avböjningsvinkel mäts, respektive värden appliceras i villkoret för konstruktiv interferens varpå en och samma våglängd (ljuset var ju monokromatiskt!) skall erhållas.

Det visar sig att ljusets natur stämmer väl överens med en våg. Det är en s.k. elektromagnetisk våg, av samma typ som radiovågor. Våglängden för synligt ljus ligger mellan 400 nm (violett ljus) och 700 nm (rött ljus).

Det visar sig även att ljus kan betraktas som partiklar (*fotoner*). Dessa partiklars tillstånd är masslöst och i en ständig färd med ljusets hastighet, ca $2,998 \cdot 10^8$ m/s i vakuum. Det innebär också att vågfronten (då ljus betraktas som våg) rör sig med den hastigheten.

Dessa båda naturer för ljus (våg och partikel) är *komplementära*. Ljuset är både en vågrörelse och partikel. Samtidigt. Mer om detta i avsnittet om kvantfysik.

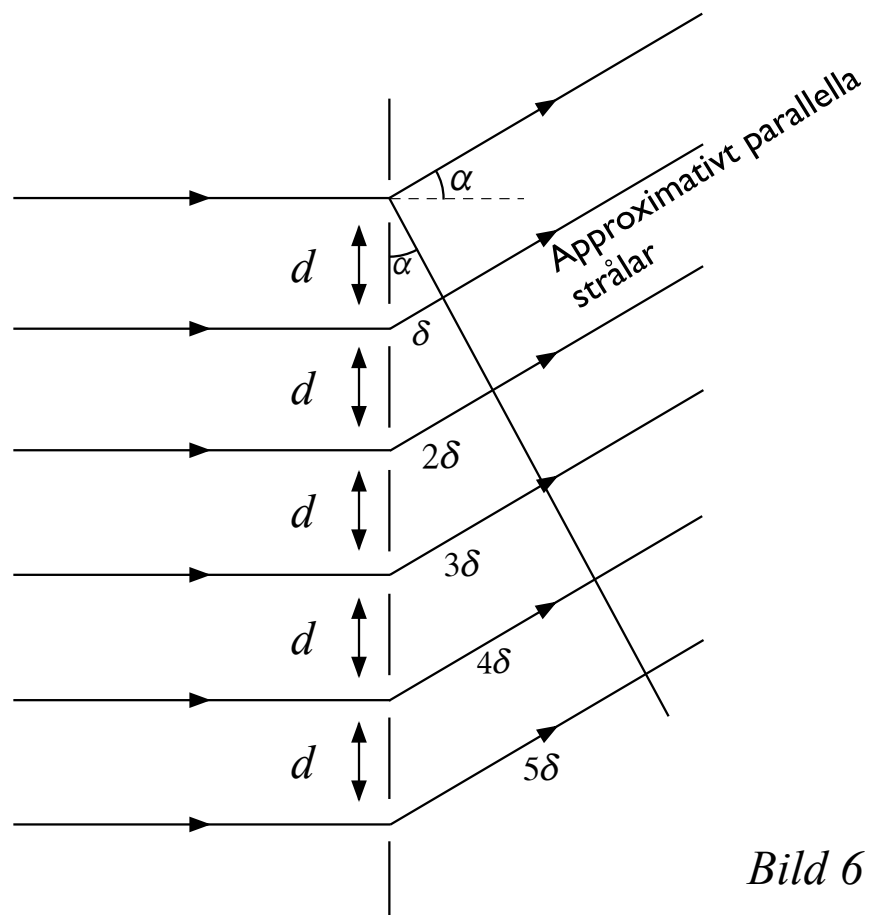
Ett gitter är en anordning med många (hundratals eller tusentals) öppningar separerade på ett och samma avstånd från varandra.

Det är flera strålar som bidrar till de ljusa fransarna jämfört med dubbelspalten, varför ljus-styrkan på respektive frans blir starkare.

Samma villkor för konstruktiv interferens som för dubbelspalten (ur geometrin framgår att väg-skillnaden mellan två strålar är en heltalsmultipel av δ).

Om δ i sin tur svarar mot ett helt antal våglängder kommer konstruktiv interferens att uppstå i riktningen α .

OBS! De utritade strålarna i Bild 6 bidrar till en given ordning på spektrumet.



Villkor för konstruktiv interferens för gitter:

$$d \sin \alpha = n \cdot \lambda \quad (n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Ju mindre d , desto större α för en given våglängd.

Man säger att *upplösningen* ökar med minskat d .

Gitter används bl a för att separera våglängder från varandra i "vitt" ljus. Man kan t ex avgöra vilka våglängder en stjärna sänder ut, och på så sätt ta reda på vilka ämnen stjärnan består av.

När vitt ljus får falla in mot ett tunt oljeskikt kan man se en uppdelning i olika färger. Se Bild 7.



Bild 7

I korthet fungerar det så att ljusstrålar reflekteras både mot skiktets ovansida och undersida, så att de reflekterade strålarnas vägskillnad är ett helt antal våglängder för en viss färg. Det finns dock två viktiga skillnader mellan interferens i tunna skikt och i gitter...

Dessa skillnader ligger dels i att vågor som reflekteras mot ett optiskt tätare medium fasförskjuts med 180° ($= \lambda/2$), medan de som reflekteras mot ett optiskt tunnare medium inte undergår någon fasförskjutning samt dels i att våglängden på ljuset förändras i skiktet p.g.a dess brytningsindex.

Ljusstrålar som faller in
mot ett oljeskikt på vatten

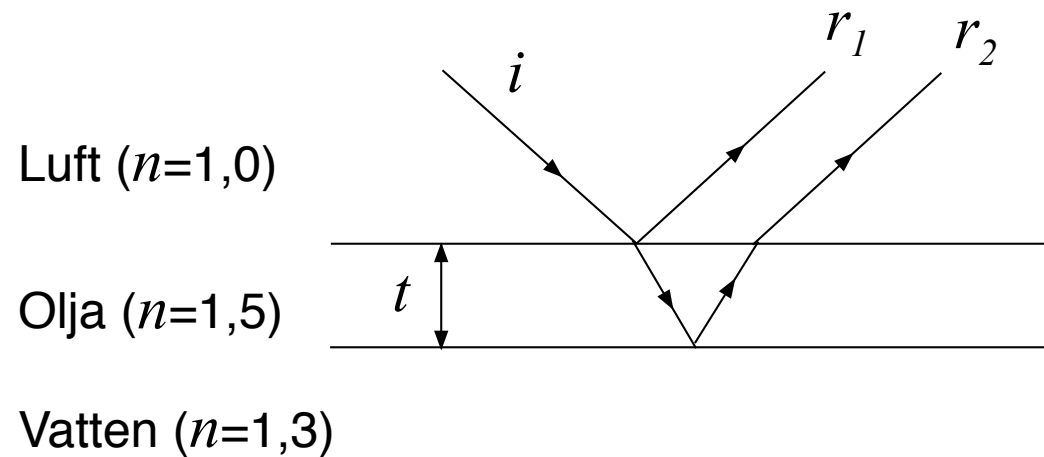


Bild 8

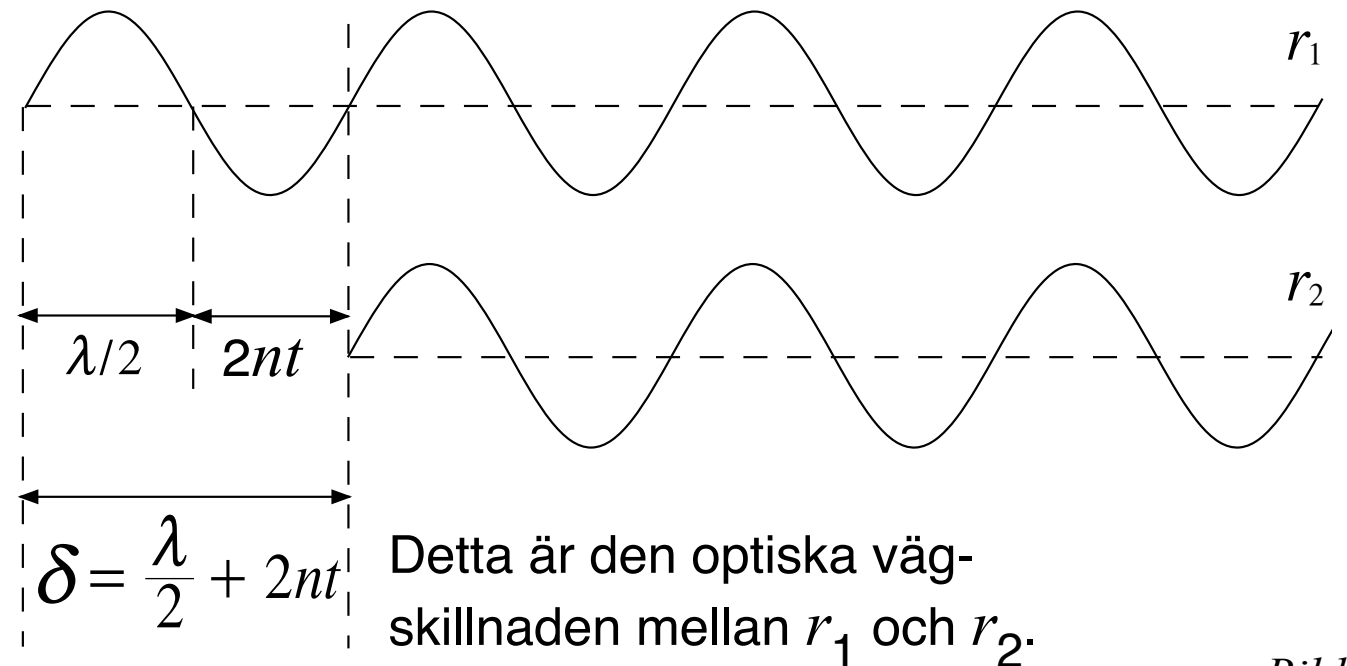


Bild 9

Om i infaller i det närmaste vinkelrätt mot skiktet kommer vägskillnaden mellan faserna för r_1 och r_2 att bli ungefär $2t$

Om δ svarar mot ett helt antal våglängder erhålls konstruktiv interferens. Villkoret för detta skrivs:

$$2nt = \lambda \left(m + \frac{1}{2} \right), m = 0, 1, 2, \dots$$

där n är skiktets brytningsindex och t är dess tjocklek.

Att den optiska vägskillnaden innehåller faktorn för brytningsindex beror på att våglängden förändras i skiktet. Om vi låter λ vara våglängden i luft, och λ_n är våglängden i skiktet, så gäller: $\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$

När monokromatiskt ljus infaller mot ett skikt som varierar i tjocklek kommer det att ge upphov till ljusa och mörka ränder. När vitt ljus infaller mot skiktet ger det upphov till olika färger. Fenomenet med interferens i tunna skikt används även vid antireflexbehandling av t ex kameranlinser.

Källor

Innehåll och ekvationer

- Serway, Beichner, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics.
Fifth Edition, Saunders College Publishing.

Wikipedia, antireflexbehandling.

- <http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Antireflexbehandling&oldid=7970318>

Bilder

Bild 1

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Water_diffraction.jpg

Bild 2:

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Wave_Diffraction_4Lambda_Slit.png

Bild 5:

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Two-Slit_Diffraction.png

Bild 7:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dieselrainbow.jpg>

Övriga bilder:

Författarens egna konstruktioner, vilka är fria att spridas vidare, bygga vidare på samt använda i andra verk.