## 15. Fizikai optika

### 15.1.Interferencia, fényelhajlás

### Alapfogalmak

A fény hullámtulajdonságainak egyik bizonyítéka, hogy ha egy párhuzamos fénynyaláb esik egy résre (15.1.1. ábra), ami az ábra síkjára merőleges csík, akkor a rés másik oldalán elhelyezett ernyőn nemcsak a résnek megfelelő csíkban látszik fény, hanem széles rés esetében a széleken is, keskeny (a fény hullámhosszával összemérhető szélességű) rés esetében pedig a rés képe kiszélesedik (15.1.1. ábra).

#####

A résnek megfelelő megvilágítás

Rés

Ernyő

A rés szélein elmosódó megvilágítás

15.1.1. ábra Keskeny résen kilépő fénynyaláb kiszélesedik

A jelenség megmagyarázható a Huygens elvvel.

Huygens-féle elv: a hullámfelület bármely pontja elemi gömbhullámok kiindulópontjának tekinthető és egy későbbi hullámfelület ezen elemi gömbhullámok burkolófelületeként állítható elő.

Az elvet a 15.1.2. ábrán szemléltetjük. Kiinduló állapotnak a rés síkjában levő hullámfelületet tekintjük. A rés síkjának minden pontjából elemi gömbhullámok indulnak ki, s valamennyi idő alatt az ábrán vörös félkörökkel jelzett helyzetig jutnak. A burkolófelületük a vastag vörös vonallal meghúzott görbének megfelelő. A második hullámfelület a vastag kék vonal. A hullám sugarai a hullámfelületre definíció szerint merőlegesek, azaz a rés szélein az ábra szerint sem merőlegesek a rés síkjára, azaz nemcsak arra merőleges a hullámterjedés.

A”kinduló” hullámfelület

A fénysugarai

Az „első” hullámfelület

A rés nagyított képe

A „második” hullámfelület

15.1.2. ábra A Huygens elv szemléltetése

Amennyiben a rés szélességét a hullámhossznál kisebbre csökkentjük, a résnek az ernyőn megjelenő képének a határa egyre szélesebb, és egyre nagyobb intenzitású lesz, világos és sötét csíkok tűnnek fel a rés képe mellett (15.1.3. ábra). Ezt a jelenséget a Huygens-Fresnel elvvel tudjuk magyarázni.

Újabb világító csíkok jelennek meg

15.1.3. ábra A hullámhossznál kisebb résszélesség esetén az ernyőn a rés képe mellett sötét és világos csíkok jelennek meg

Huygens-Fresnel elv: egy hullámfelület bármely pontja elemi gömb-hullámok kiindulópontjának tekinthető, és a későbbi hullámterjedés ezen elemi gömbhullámok interferenciájával magyarázható. (Interferencia: hullámok egymásra hatása, kioltás-erősítés.)

###

### Interferencia

A fény, mint elektromágneses hullám általában periodikus (15.1.4. ábra). Az ábrán a fényhullám néhány jellemzőjét és a fáziskülönbséget mutatjuk be.



### T

Δt



 fáziskülönbség a  idővel eltérő pontok között





t

E

15.1.4. ábra A fényhullám meghatározó paraméterének, a villamos térerősségnek az időbeli függvénye, és a fáziskülönbség értelmezése

Az interferencia értelmezéséhez tekintsünk egy fényforrást, és vegyünk két fénysugarat, amelyek különböző irányban haladnak, majd útjuk során egy pontban találkoznak. A találkozásig az egyik által megtett út s1, a másik által megtett pedig s2. Készítsünk pillanatfelvételt a két fényhullám térerősségének térbeli állapotáról (természetesen csak gondolatban) és ábrázoljuk azt a 15.1.5. ábrán. Jól látszik, hogy a két fényhullám azonos fázisban indult és azonos fázisban találkozik (hullámhegy a hullámheggyel, vagy hullámvölgy a hullámvölggyel). Ekkor a találkozási pontra helyezett térerősség mérő a 15.1.6. ábrán látható időfüggvényt mutatja.

Fényforrás

s2

s1

15.1.5. ábra Két, azonos fázisban érkező hullám interferenciája

E

t

Az s2 úton érkező hullám

Az s1 úton érkező hullám

A két hullám eredője

15.1.6. ábra Két azonos fázisú hullám erősíti egymást

A 15.1.5. ábrából látszik, hogy a két hullám útkülönbsége pontosan a teljes hullámhossz, ekkor tehát erősítik egymást. De belátható, hogy akkor is ez a helyzet, ha az útkülönbség a hullámhossz egész számú többszöröse.

 , (15.1.1)

ahol k=0,±1,±2… .

Így kimondható:

Ha két azonos forrásból származó hullám útkülönbsége a hullámhossz egész számú többszöröse, akkor a két hullám erősíti egymást.

Ha a két azonos fényforrásból, azonos fázisban induló hullám ellenkező fázisban (hullámvölgy a hullámheggyel) találkozik egymással (15.1.7. ábra), akkor a találkozási pontban a villamos térerősség (és természetesen a mágneses indukció) vektor abszolút értékét mérő térerősség (vagy mágneses indukció) mérő a 15.1.8. ábrának megfelelő időfüggvényt fogja mérni.

Fényforrás

s2

s1

15.1.7. ábra Két, ellenkező fázisban érkező hullám interferenciája

Az eredő hullám

Az s1 úton érkező hullám

E

t

Az s2 úton érkező hullám

15.1.8. ábra Két ellenkező fázisban találkozó hullám kioltja egymást (vagy gyengíti)

A kioltás, vagy a gyengítés akkor következik be, amikor a két hullám útkülönbsége a fél hullámhossz páratlan számú többszöröse:

 , (15.1.2)

ahol k=0,±1,±2….

Ha a két hullám különböző fényforrásokból érkezik, akkor az interferencia nem figyelhető meg, mert a fáziskülönbségük nem állandó. Egy bizonyos fényforrásból érkezve is csak akkor állandó a két hullám közötti fáziskülönbség, ha az útkülönbségük nem túl nagy. Csak akkor tudunk interferenciát megfigyelni, ha a két fénysugár fáziskülönbsége hosszú ideig állandó, azaz koherens.

### Optikai rés interferenciája

Tekintsünk egy keskeny rést, melynek szélessége a, és ejtsünk rá párhuzamos fénynyalábot a 15.1.9. ábra szerint. A réssel szemben helyezzünk el egy ernyő, ami merőleges a fénysugarakra. Ekkor az ernyőn a réssel szemben megjelenik egy fénycsík, s mellette világos tartományok és éles megvilágítatlan vonalak tűnnek fel, mindegyik párhuzamos a rés vonalával. Ezeknek a csíkoknak a helyzetét az alábbiak szerint határozhatjuk meg:

Gyűjtőlencse

Ernyő

a

**α**



15.1.9. ábra Optikai rés interferenciája

Vizsgáljuk meg, hogy a fénysugarak irányához képest  szöggel milyen interferencia állapot jön létre. Ehhez a rés két szélső pontjából húzzunk párhuzamos, a sugarak irányával  szöget bezáró egyenest, majd a rés felső pontjából bocsássunk merőlegest az alsó pontjából kiinduló egyenesre. Ez a merőleges egyenes az alsó egyenesből egy  nagyságú szakaszt metsz ki, ami pontosan a rés felső és alsó széléből kiinduló két fénysugár útkülönbsége. Mérjünk fel fél hullámhossznyi távolságokat a rés legalsó pontjától számítva erre a szakaszra, majd az ábrán jelölt szerkesztő vonalakkal osszuk fel sávokra a két szélső fénysugár közötti tartomány. Akkor a két szomszédos tartomány miden megfelelő két részsugara között az útkülönbség a félhullámhossz lesz, azaz az első két sáv kioltja egymást.

Így ha

 , (15.1.3.)

Akkor az adott  irányban kioltást, azaz sötét csíkot figyelhetünk meg. Ez a sötét csík nagyon éles, míg az erősítések nagyon elmosódottak, ezért az azokhoz vezető irányok meghatározása nem célszerű és nem pontos. A 15.1.3. egyenletben k=±1,±2,±3….

Az ábrán látható gyűjtőlencsére azért van szükség, hogy a párhuzamos sugarak találkozását ne kelljen a végtelenben keresni, illetve a végtelenre akkomodált szemmel nézni.

### Optikai rács interferenciája

Készítsünk párhuzamos karcokat egy üveglapra. Ezzel rések sorozatát állítottuk elő, s az így előállított eszközt optikai rácsnak nevezzük. A karcok szétszórják a fényt, az nem megy át az üvegen, míg a karc nélküli részeken átlátszó marad.

Ha az optikai rácsra párhuzamos sugárnyaláb esik, akkor a rács síkjával párhuzamosra állított ernyőn a nyaláb képe most is megjelenik, azonban annak jobb és bal oldalán párhuzamos éles világító csíkok jelennek meg.

Határozzuk meg azokat az irányokat, amelyekben a világító csíkok megjelennek.

Két párhuzamos karc távolságát rácsállandónak nevezzük, és általában d-vel jelöljük. A rácsállandó mechanikusan karcolt rács estén általában 10-30 m, de Rayleigh a XIX. Század végén, a XX. Század elején 1mm-re olyan mechanikus osztógépet szerkesztett, amellyel 2000 karcot ejtett 1mm-en egy üveglemezen. Az utóbbi két évtizedben kifejlesztett holografikus eljárással 3000 karc is készíthető milliméterenként.

Vegyünk egy  irányt, amelyben a vizsgálatot végezzük. Indítsunk két párhuzamos sugarat két szomszédos karc „alsó” felén (15.1.10. ábra). Utána húzzunk merőlegest a felső sugár kezdőpontjából a másodikra. Ez a vonal egy  hosszúságú szakaszt vág le a második egyenesből. Ha a két párhuzamos karc közötti átlátszó sáv szélessége elég kicsi, akkor feltételezhetjük, hogy az azon keresztül hatoló fénysugarak útkülönbsége elhanyagolható. Ekkor a fenti  távolság a két szomszédos átlátszó tartományon áthaladó két fénynyaláb útkülönbsége.

Gyűjtőlencse

Ernyő

d

α

d⋅sinα

15.1.10. ábra Optikai rács interferenciája

Így azokban az irányokban, amelyekben

d⋅sinα=kλ,

a két fénynyaláb erősíti egymást. A k itt is lehet minden egész szám és zérus, azaz k=0;±1;±2;

Ezek az erősítések nagyon élesek, közöttük a kioltások (minimumok) nagyon szélesek, meghatározásuk nem célszerű. Mivel sin α arányos λ-val., ezért az optikai rács kiválóan alkalmazható spektroszkópokban.