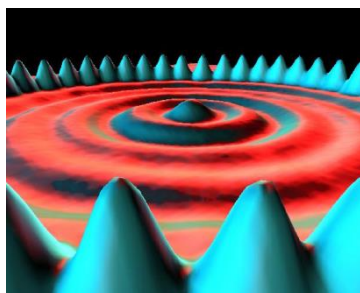


Kvantfüüsika

Tillukeste asjade füüsika, millel on hiiglaslikud rakendusvõimalused



3. osa: PRAKTILISED TEGEVUSED

Määra valguse difraktsiooni abil inimese juuksekarva paksus



Projekti Quantum Spin-Off rahastab Euroopa Liit programmi LLP Comenius raames (540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP).

Renaat Frans, Laura Tamassia

Kontakt: renaat.frans@khlim.be

See teave kajastab ainult teksti autori seisukohti ning Euroopa Komisjon ei ole vastutav selle informatsiooni kasutamise eest

Uurimisteema:

Kuidas saab määrata juuksekarva paksuse (laiuse)?

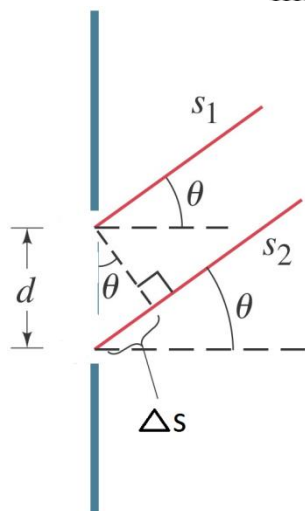
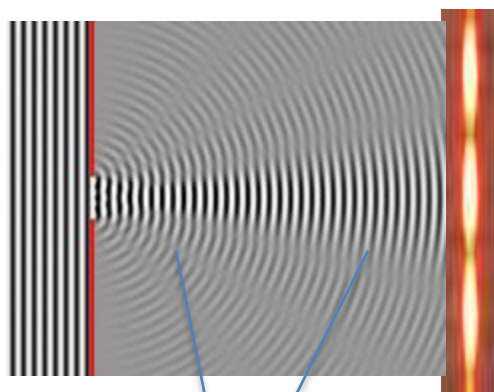
VALGUSE DIFRAKTSIOON: SISSEJUHATUS

Difraktsiooniks nimetatakse lainete kandumist teele jäävate tõkete taha.



Takistus ja pilu tekitavad samasuguse difraktsioonimustri. Ja kuna pilu puhul on sellist arvutust lihtsam teha, mõtleme juuksekarvast kui samade mõõtmetega pilust.

Difraktsioonimustri tekkimiseks on kaks põhjust: (1) Huygeni printsip, mille kohaselt on lainefrondi iga punkt uue laine allikas ja (2) erinevat teed pidi liikunud valguskiirte käiguvahe (ehk teepikkuste erinevus).



Käiguvahe sõltuvus ekraanile langemise nurgast põhjustab faasierinevuse

Teatud nurkade all on lained vastandfaasis ja kustutavad teineteist täielikult. Teiste nurkade puhul jällegi levivad nad samas faasis ja toimub võimendumine. Nende kohtade vahel on üleminekualad.

Mida väiksem on pilu või takistus, seda suurem peab olema nurk, et tekiks lainete vastastikuseks kustutamiseks piisav käiguvahe. **Teisisõnu – väiksed pilud või takistused tekitavad laia difraktsioonimustri, kus (maksimumide) ja miinimumidevaheline vaheline kaugus on suur. Suured takistused ja laiad pilud tekitavad kitsa, tihedalt vahelduvate miinimumide ja maksimumidega mustri.** Kui pilu on liiga suur, siis difraktsioonimuster kaob ja pilu taga on lihtsalt valgus.

Kuna mustri laius sõltub pilu või takistuse mõõtmetest, siis võimaldab difraktsioon meil määrata väikese eseme, näiteks juuksekarva või verelible, suuruse.

Praktiline tegevus: Määra valguse difraktsiooni abil inimese juuksekarva paksus

Käesolevas praktilises tegevuses määrame juuksekarva laiuse.

Kuna juuksekarvad on väga peenikesed, tekitavad nad laia difraktsioonimustri, mida saab üsna täpselt mõõta tavalise joonlauaga.

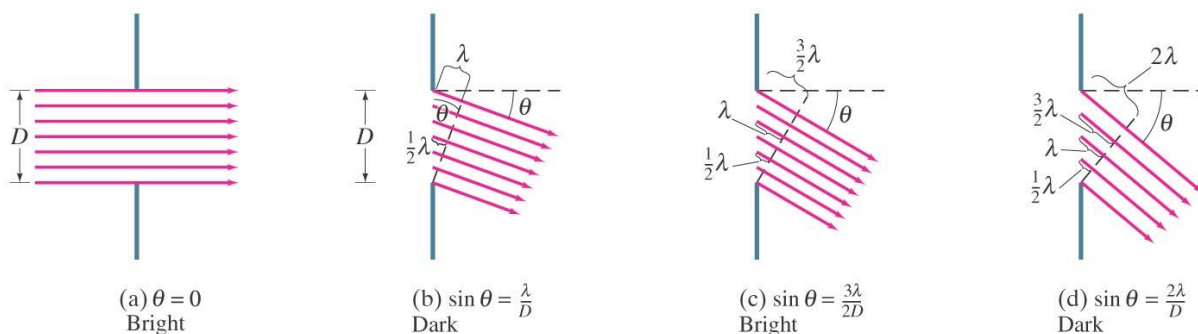
Kehade mõõtmete määramine difraktsioonimustrist, kasutades kolmnurkade geometriat

Kuidas me saame valemigi, mille abil määrata keha suurust difraktsioonimustri miinimumide vahelise mõõdetud kauguse põhjal?

Selle, kas toimub lainete vastastikune kustutamine või võimendamine, määrab käiguvahe Δs (joonisel on näidatud erinevad Δs väärtused λ -kordsetena). Kas on võimalik trigonomeetria valemite abil siduda see Δs nurgaga θ ja pilu suurusega D ? (Kas näed õiget kolmnurka, mida selleks kasutada?)

$$\sin \theta = \frac{\Delta s}{D} \Leftrightarrow \Delta s = D \cdot \sin \theta$$

Millisele tingimusele peaks vastama Δs , et toimuks kustutamine?



Kõigepealt vaatame kiiri, mis lähevad pilust otse läbi. Nad kõik on samas faasis ($\Delta s = 0$), nii et otse pilu taga on maksimum.

Järgmisena vaatame nurka, mille puhul ülemise kiire ja alumise kiire käiguvahe on täpselt üks lainepikkus ($\Delta s = \lambda$). Seega selle kiire levimisteed, mis läbib pilu täpselt selle keskelt, erineb ülemise kiire levimisteedest täpselt poole lainepikkuse võrra (ja on seega vastandfaasis). Seetõttu tekib nende kahe laine puhul ekraanil destruktiivne interferents. Teineteisega on vastandfaasis ka kiirepaar, millest üks läbib pilu veidi selle keskosast allpool ja teine veidi selle ülasest allpool. Teisisõnu – kiired, mis levivad sellise nurga all, mille puhul käiguvahe on pool lainepikkust ehk $\lambda/2$, kustutavad teineteist paarikaupa ja tekitavad seega ekraanile miinimumi.

Kui kõige ülemise ja alumise kiire käiguvahe $\Delta s = \lambda$, siis tekib miinimum, seega miinimumi tekkimise tingimuse leiame täisnurksest kolmnurgast, mille üks nurk on θ , hüpotenuus on D ja vastaskaatet on λ

$$\Delta s = \lambda = D \cdot \sin \theta$$

Sama (paarikaupa kustutamine) kehtib ka siis, kui $\Delta s = \lambda$. Seega saame miinimumi tekkimise tingimuse valemiks

$$\Delta s = m\lambda = D \cdot \sin \theta \quad (1)$$

kus $m = 1, 2, 3, \dots$

ja D pilu laius, λ valguse lainepikkus ning θ nurk otse edasi liikuva kiire ja m -järku miinimumi suuna vahel.

Praktiline tegevus: Määra valguse difraktsiooni abil inimese juuksekarva paksus

Kui eesmärk on määrata D , siis on parem see valem järgmisele kujule ümber kirjutada:

$$D = \frac{m\lambda}{\sin \theta}$$

Kuna väikseid nurki on raske mõõta, aitavad meid

$$\sin \theta \approx \tan \theta \quad \text{kui } \theta \text{ väike}$$

ja

$$\tan \theta = \frac{A}{L}$$

kus L on keha ja ekraani vaheline kaugus ja A on miinimumi kaugus kesksest maksimumist. Seega (joonest õige kolmnurk):

$$D = \frac{m\lambda}{A} L \quad (2)$$

Juuksekarva laiuse D saab määrata, mõõtes A_n esimesest ($n=1$), teisest ($n=2$) ja n -ndast **difraktsioonimiinimumist**. Tüüpilises difraktsioonimustris näeme selgelt madala intensiivsusega tipu difraktsioonimaksimumide vahel.

KATSE: Juuksekarva paksuse määramine difraktsiooni abil**MATERJALID**

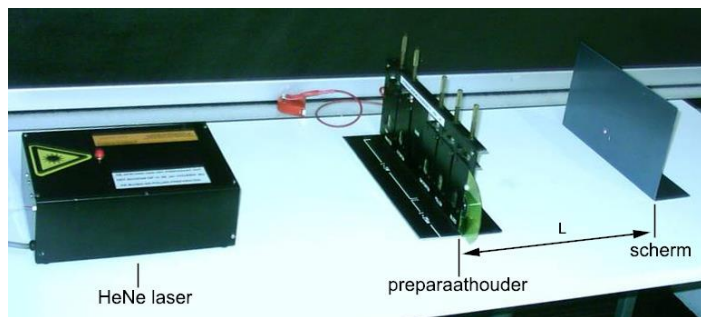
- Proovihoidik (juuksekarvaga)
- laser (lainepikkus = 632.8 nm)
- ekraan (ekraaniks sobib paberileht)
- mõõdulint
- joonlaud
- pliiaats

MEETOD

1. Kinnita paberileht ekraanile.
2. Aseta proovihoidik täpselt 1 m kaugusele ekraanist.
3. Aseta laser umbes 20 cm kaugusele proovihoidikust.
4. Lülita laser sisse.
5. Liiguta laserit aeglaselt, kuni see paistab juuksekarvale nii, et tekib difraktsioonimuster.
6. Mõõda keskse valguskiire heleda triibu ja n -nda miinimumi ($n=1$ kuni $n=5$) vahelised kaugused A_n . Märki pliiaatsiga miinimumide asukohad paberil.
7. Lülita laser välja ja võta paberileht ekraanilt maha.
8. Mõõda kaugus (A) ja täida allolev tabel.
9. Arvuta valemite abil juuksekarva laius (b).

Praktiline tegevus: Määra valguse difraktsiooni abil inimese juuksekarva paksus

KATSE SEADISTUS



laser

proovihoidik

ekraan

TABEL

m (miinimumi number)	A kaugus keskelt miinimumini (cm)	D juuksekarva laius (μm)	<d> keskmise laius (μm)
1			
2			
3			
4			
5			

ARVUTUS

$$D = \frac{m\lambda}{A} L$$

Praktiline tegevus: Määra valguse difraktsiooni abil inimese juuksekarva paksus

JÄRELDUS

Katse tulemusena leidsime, et juuksekarva laius on

_____ μm .

Kirjandusallikad pakuvad juuksekarva laiuseks 9 kuni 100 μm .