

Måling af spor-afstand på cd med en lineal

Søren Hindsholm

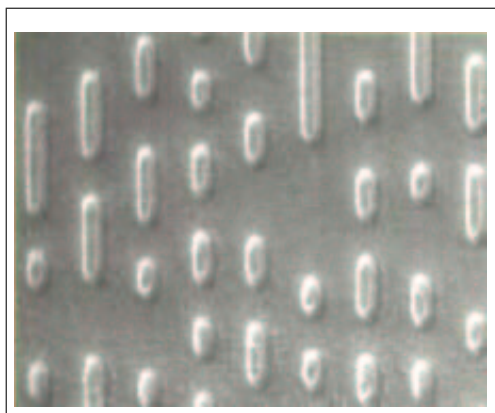
2003x

1 Formål og Teori

En *cd* er opbygget af tre lag. Basis er et tykkere lag af et gennemsigtigt materiale, oven på det er der et tyndt lag der reflekterer lys, og øverst er der et tyndere, gennemsigtigt lag der skal beskytte det lys-reflekterende lag. Det reflekterende lag er ikke helt lys-tæt, så faktisk kan man se gennem en *cd* ved at holde den op mod lyset. Prøv det!

Det reflekterende lag er en helt jævn flade hvori der ligger aflange gruber med vekslende længde. De ligger i et fortsat spor der går som en spiral fra midten af *cd*'en ud til kanten. Afstanden mellem sporene er konstant.

Musikken er gemt på *cd*'en i *digital kode*, dvs. som en kombination af 1-taller og 0'er. Under afspilningen kører *cd*'en rundt under en laserstråle som spejles i *cd*'en, og således "læses musikken" idet en spejling af laseren mange gange i sekundet registreres. Herved måles om spejlingen kommer fra samme overflade som sidste spejling, eller om der er sket en ændring fra overflade til grube eller omvendt: Hver gang den spejlede laserstråle viser en nedgang i en grube eller en opgang fra en grube, betyder det 1, og ellers er værdien 0. Se figur 1.



Figur 1: *cd*'ens overflade med ækvidistante spor af gruber.

Sporene med gruber på en cd ligger meget tættere end rillerne på en grammofon-plade, afstanden mellem dem er flere størrelsesordner mindre end linealens millimeter-inddeling. Derfor er det ikke umiddelbart indlysende at man med en lineal kan måle hvor langt sporene ligger fra hinanden. Men det kan godt lade sig gøre, og det vil vi prøve her.

1.1 Måling af små afstande med lysbølger

Vi så ved gitteret at lyset blev brudt i spalterne og udsendte ringbølger. I bestemte retninger blev der dannet en bølgefront hvor ringbølgerne interfererede konstruktivt. Disse retninger blev bestemt af at nabo-ringbølgers vejlængde-forskel var et helt antal bølgelængder.¹

Det samme sker når lys reflekteres fra mange små spejle der ligesom gitterspalterne er *ækvidistante*, dvs. har samme afstand (dette kaldes et *reflektionsgitter*). Fra hvert lille spejl udbreder der sig en ringbølge, og i bestemte retninger interfererer ringbølgerne konstruktivt fordi vejlængde-forskellen er et helt antal bølgelængder. Disse retninger kan beregnes, hvis man — ligesom ved gitteret — kan beregne vejlængdeforskellen. Ved hjælp af figur 2 kan du se hvordan vejlængdeforskellen beregnes ved et reflektionsgitter.

En bølgefront bevæger sig ind mod et gitter med d mellem hvert spejls midte i vinklen α og spejles i vinklen β_n . Over Q_1P_1 interfererer bølgerne konstruktivt. For at der kan være konstruktiv interferens over fronten ved Q_2P_2 , skal vejlængdeforskellen mellem strækningerne P_1P_2 og Q_1Q_2 være et helt antal bølgelængder, altså:

$$|P_1P_2| - |Q_1Q_2| = n\lambda \quad (1)$$

Overbevis dig om ved at se på tegningen at:

$$|P_1P_2| = d \cos \alpha \quad (2)$$

og at:

$$|Q_1Q_2| = d \cos \beta_n \quad (3)$$

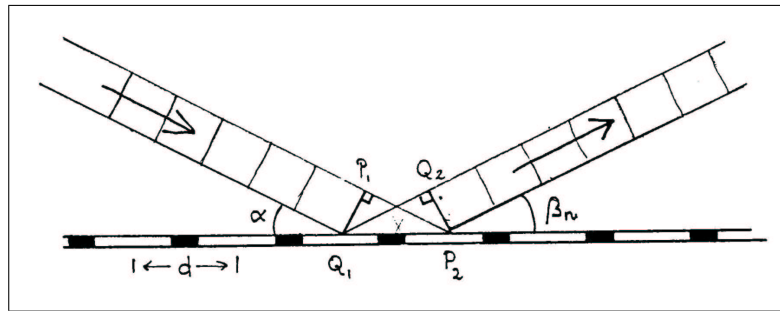
Betingelsen for konstruktiv interferens bliver så:

$$d \cos \alpha - d \cos \beta_n = n\lambda \quad (4)$$

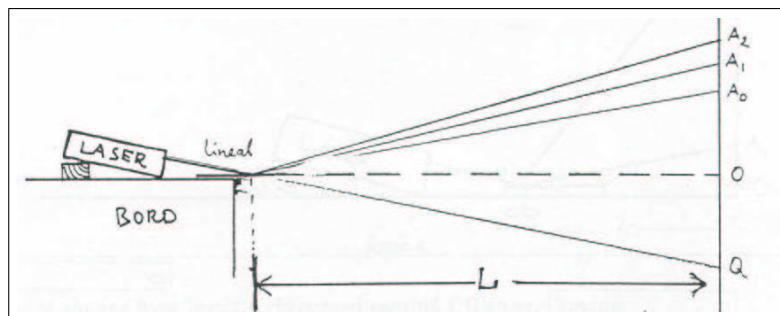
som let omformes til:

$$\frac{d(\cos \alpha - \cos \beta_n)}{n} = \lambda \quad (5)$$

¹Læs eventuelt om det optiske gitter i din fysikbog.



Figur 2: Lysgangen når en plan lysbølge spejles i et refleksionsgitter.



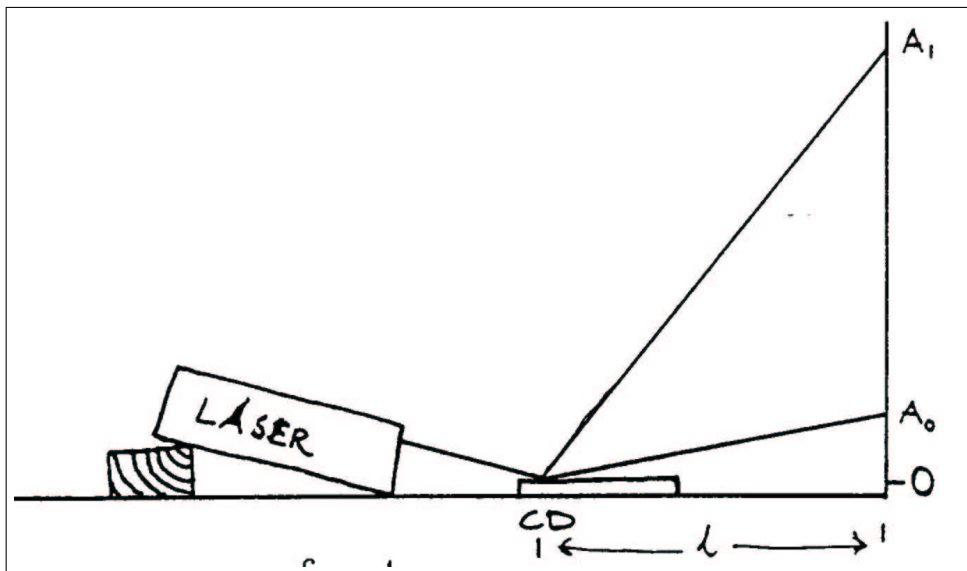
Figur 3: Opstilling hvor laserlys spejles i en lineal.

2 Udførelse

En lineal der spejler lyset mellem millimeter-stregerne, kan bruges som refleksionsgitter. Her kender vi d , og med den finder vi λ . Derefter laver vi en lignende måling med cd 'en på linealens sted og finder hvad d er for cd 'en.

Lad læreren anbringe laseren som på figur 3, og *lad den så blive stående!* På væggen tapes et stykke papir fast, og på dette skal I nu afsætte punkterne $Q, O, A_0, A_1, A_2 \dots$

1. Q findes ved at lade laser-strålen ramme strimlen direkte, altså uden linealen monteret.
2. A_0 findes ved at bruge linealen som spejl. Laserstrålen skal derfor ramme linealen *ved siden af millimeter-stregerne*. A_0 er den plet der reflekteres op på væggen.
3. Punkterne $A_1, A_2, A_3 \dots$ fremkommer når linealen bruges som refleksionsgitter. Linealen skal derfor nu forskydes så laserstrålen rammer millimeter-inddelingen. Man ser mange lyspletter på strimlen, én af dem vil være A_0 , de øvrige ligger til begge sider for A_0 . Vi bruger kun de pletter der ligger over A_0 . Tegn så mange ind på papiret som I tydeligt kan se.
4. Punktet O findes direkte på strimlen som midtpunktet af $|QA_0|$.



Figur 4: Opstilling hvor laserlys spejles i en cd.

Endelig skal I tilsidst måle afstanden L fra lyspletten på linealen til papirstrimlen.

Når I har gennemført målingerne med linealen som refleksionsgitter, skal I anbringe laser og cd rigtigt i forhold til hinanden (overvej hvor lyset skal ramme cd'en, parallelt med eller vinkelret på en radius?), og så skal I finde de størrelser der er vist på figur 4. Nu skal L være meget mindre, så vi kalder den l — prøv først med ca. 30 cm. Springet mellem A_0 og A_1 er noget større end ved første måling på linealen. Denne gang må I skønne hvor O ligger og så ved direkte måling finde $|OA_n|$.

Udfyld nu skemaet i afsnit 3.2.

3 Bearbejdning af resultaterne

3.1 Beregningen af lysets bølgelængde λ

$\tan \beta_n$ er lig med $\frac{|OA_n|}{L}$, og med \tan^{-1} findes så β_n . Vinklerne α og β_0 er lige store. Hvorfor?

Udfyld dette skema med målingerne fra linealen:

n	$ OA_n $	$\frac{ OA_n }{L}$	$\beta_n = \tan^{-1} \frac{ OA_n }{L}$	$\frac{d(\cos \alpha - \cos \beta_n)}{n} = \lambda$
0			$\alpha =$	(direkte spejling)
1				
2				
3				
4				
5				
gennemsnitsværdi for λ :				

3.2 Beregning af spor-afstanden

Nu hvor λ er kendt, kan vi finde spor-afstanden på cd'en. Sporene består som nævnt i afsnit 1 af gruber i den reflekterende overflade. Disse gruber reflekterer ikke lyset som den øvrige overflade når den belyses i en lille vinkel, og så virker cd'en som et reflektionsgitter.

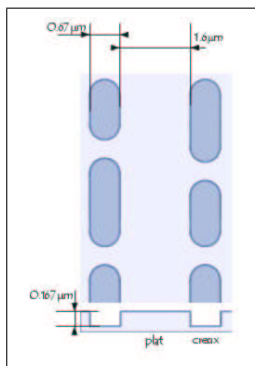
Udfyld dette skema med målingerne fra cd'en:

n	$ OA_n $	$\frac{ OA_n }{l}$	$\beta_n = \tan^{-1} \frac{ OA_n }{l}$	$\frac{n\lambda}{\cos \alpha - \cos \beta_n} = d$
0			$\alpha =$	(direkte spejling)
1				
2				
gennemsnitsværdi for d :				

4 Cd'en som almindeligt gitter

Man kan også lyse gennem cd'en og bruge den som et almindeligt gitter. Gennemfør selv denne måling og find herved igen en værdi for gitterkonstanten d .

Sammenlign de to værdier for d og sammenhold dem med værdien fra figur 5.



Figur 5: Detalje af cd med mål.