

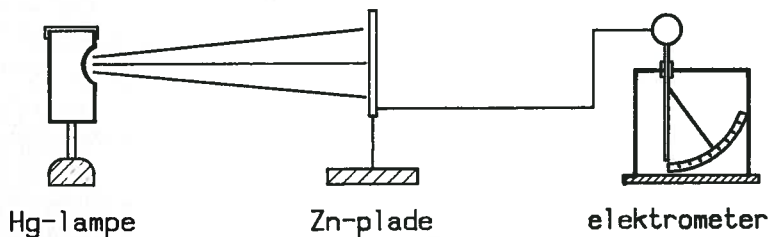
3. Kvantemodellen

I det foregående har vi set, at bølgemodellen for lys er i stand til at forklare mange fænomener, som den geometriske model ikke kan klare, bl.a. interferensfænomener og lysets farvespredning. Vi har også set, at synligt lys kun udgør et meget lille bølgelængdeområde i et omfattende elektromagnetisk spektrum. Bølgemodellen er altså en god og på mange måder vidtrækkende model. Den kan forklare en række fænomener, som vi ikke har omtalt i denne bog, bl.a. polarisation og holografi. Det betyder dog ikke, at den geometriske model er overflødig, eller at dens beskrivelse er ukorrekt. Det afhænger af situationen, hvilken af de to modeller man med størst fordel kan anvende. Hvis det drejer sig om at beregne strålegangen i en lup, er det en unødvendig komplikation at tegne elementarbølger. Er det derimod et optisk gitter, det drejer sig om, er den geometriske model ikke tilstrækkelig. Her må man bruge bølgemodellen.

Der findes imidlertid lysfænomener, som hverken den geometriske model eller bølgemodellen kan forklare. Vi får brug for en tredje model for lys, den såkaldte *kvantemodell*.

Fotoelektrisk effekt

Forsøg I.3.1: Fotoelektrisk effekt



Først oplader vi Zn-pladen til en høj spænding ved hjælp af en van de Graaf generator. Elektrometret viser, hvor stor en ladningsmængde, vi har tilført Zn-pladen.

Derefter belyser vi pladen med lys fra Hg-lampen. Hvis pladen er positivt opladet, sker der intet. Er pladen derimod negativt ladet, ser vi, at udslaget på elektrometret falder som tegn på, at elektrometret aflades.

Polarisation betyder ensretning af elektromagnetiske bølgers svingningsretning. Lyset fra almindelige lyskilder som sol, glødelamper og lysstofrør er elektromagnetiske bølger, som svinger i alle mulige planer. Polariseret lys svinger derimod kun i ét plan, fx lodret op og ned. Lys, der reflekteres fra en vandoverflade, vil være delvist polariseret. Effekten kan ses ved at betragte en vandoverflade i modlys gennem et par solbriller med polariserende glas. Glassene vil fjerne generende refleksioner, så man kan se dybere ned i vandet.

Holografi: Fremstilling af tredimensionale billeder. Den genstand, man ønsker at fremstille et hologram af, belyses med en laser. Lysstrålen fra laseren sendes sammen med det lys, der reflekteres fra genstanden, hen mod en fotografisk plade. Her danner de to lysstråler et interferensmønster. Når pladen så senere gennemlyses med laserlys, opstår der for iagttageren et tredimensionalt billede.

Albert Einstein (1879-1955): Tyskfødt fysiker, som under Anden Verdenskrig flygtede til USA. Han udførte banebrydende arbejder inden for flere områder af fysikken. I 1905 udarbejdede han den specielle relativitetsteori, som bygger på, at lysets fart er en øvre grænse for, hvor hurtigt en materiel partikel kan bevæge sig. I 1916 udbyggede han sin teori til den almene relativitetsteori. Einstein var også med til at udvikle kvantemekanikken, idet han i 1905 gav en forklaring på den fotoelektriske effekt. Hans forklaring var baseret på en antagelse om, at lys ikke er bølger, men består af fotoner. Einstein modtog i 1921 Nobelprisen i fysik.

Max Planck (1858-1947): Tysk fysiker, som især arbejdede med termodynamik (varmeteorier) og elektromagnetisk stråling. I 1901 foreslog han, at stråling ikke udsendes kontinuert, men i kvanter med en bestemt energi $h \cdot f$. Hermed indførte han også en ny naturkonstant h , som kaldes Plancks virkningskvantum eller blot *Plancks konstant*. Max Planck fik i 1918 Nobelprisen i fysik. Albert Einstein anvendte senere denne nye kvantemodell for lys i sin berømte forklaring på den fotoelektriske effekt.



Bølgepakke

Resultaterne af forsøg I.3.1 og andre lignende forsøg gav fysikerne en del hovedbrud omkring begyndelsen af dette århundrede. Man blev hurtigt klar over, at pladen blev afladet, fordi lyset løsrev elektroner fra den. Man kunne måle de såkaldte fotoelektroners hastigheder, når de forlod pladen. Man konkluderede derfor, at der måtte foregå en overførsel af energi fra lyset til de frie elektroner i metallet.

Noget, man ikke kunne forstå, var, at hvis man skruede op for lampens lysintensitet, ændrede elektronernes hastigheder sig ikke. Der kom blot flere af dem. Man mente, at når man skruede op for lampen, måtte der overføres mere energi til elektronerne, som derfor burde få en større kinetisk energi.

Det virkede også uforståeligt, at der kun blev løsrevet elektroner ved høje lysfrekvenser. Ved frekvenser under en vis størrelse blev der ikke frigivet elektroner overhovedet, uanset hvor meget man skruede op for lampen.

Det var Max Planck, der i 1901 gav en del af forklaringen på problemet. Han foreslog, at elektroner kun kunne optage energi fra lyset i portioner af en vis størrelse, såkaldte *kvanter*. Dermed brød han med bølgemodellens opfattelse af lyset som en jævn strøm af bølger.

I 1905 gav Albert Einstein en mere detaljeret forklaring på fænomenet. Ifølge ham kan lys opfattes som bestående af et stort antal *kvanter*, der hver medfører en bestemt mængde energi. På en måde kan man altså sige, at Einstein og Planck genopliver Newtons partikkelmodel for lyset. Imidlertid har Einsteins lyskvanter nogle helt andre egenskaber end dem, Newtons partikler havde.

Man forestiller sig, at lyskvanterne er bølgepakker med en vis energi. En sådan bølgepakke er den mindste lysmængde, der kan eksistere. Den kaldes også for en *foton*. Fotoner adskiller sig fra Newtons partikler derved, at de ikke kan eksistere i hvile. De bevæger sig altid med lysets hastighed. Energien i en foton afhænger af lysets frekvens f og er givet ved:

$$E = h \cdot f \quad \text{I.3.2}$$

h er en naturkonstant, som kaldes *Plancks konstant*. Den har værdien $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.

Lad os et øjeblik vende tilbage til forsøget med lysets løsrielse af elektroner, den *fotoelektriske effekt*. Ifølge Einstein er de frie elektro-

ner i metalpladen nok frie i forhold til metallens enkelte atomkerner, men de kan ikke uden videre trænge igennem metallens overflade. Elektronerne holdes tilbage af elektriske kræfter, og derfor skal der tilføres en vis energimængde for at løsribe dem fra metallet. Den energi, der skal tilføres for at løsribe én enkelt elektron, kaldes det pågældende metals *løsrivelsesarbejde* og betegnes med A_L . Af tabellen i margenen kan vi se, at der er tale om meget små energier. Energienheden J er en alt for stor og upraktisk måleenhed, når atomers og elektroners energier skal angives. I praksis bruger man ofte energienheden eV (*elektronvolt*) i stedet for. Sammenhængen mellem de to energienheder er:

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Forestiller vi os lige som Planck, at lyset kun kan afgive sin energi til elektronerne i hele portioner af størrelsen $E = hf$, kan vi forstå, hvad der sker.

Når en foton fra lyset rammer en elektron i metallet, absorberes den, d.v.s. den afgiver al sin energi til elektronen. Hvis denne energi er større end løsrivelsesarbejdet, kan elektronen forlade metallet. Den overskydende energi får elektronen i form af kinetisk energi E_{kin} . Vi kan betragte processen som et eksempel på energiens bevarelse. Den energi $h \cdot f$, som fotonen medbringer, bliver omsat til løsrivelsesarbejde og til kinetisk energi:

$$h \cdot f = A_L + E_{kin} \quad \text{I.3.3}$$

Denne berømte formel kaldes Einsteins ligning for fotoelektrisk effekt. Ud fra formelen er det let at forstå, hvorfor der ikke optræder fotoelektrisk effekt ved lave lysfrekvenser. Ved disse frekvenser er fotonens energi $h \cdot f$ mindre end metallens løsrivelsesarbejde, og fotonerne kan derfor ikke løsribe elektroner.

Ligeledes er det klart, hvorfor fotoelektronernes hastigheder ikke stiger, når lysets intensitet øges. Elektronernes hastigheder er jo bestemt af fotonernes energi, d.v.s. af frekvensen. Denne har ikke noget med antallet af fotoner, d.v.s. med intensiteten at gøre. Øger vi intensiteten, udsendes der blot flere fotoner, og der kan altså løsribe flere elektroner, men de enkelte elektroner får ikke større energi.

Løsrivelsesarbejder A_L		
Metal	eV	10^{-19} J
Aluminium (Al)	4,28	6,86
Barium Ba)	2,70	4,33
Kobber (Cu)	4,65	7,45
Jern(Fe)	4,50	7,21
Lithium (Li)	2,90	4,65
Zink (Zn)	4,33	6,94

