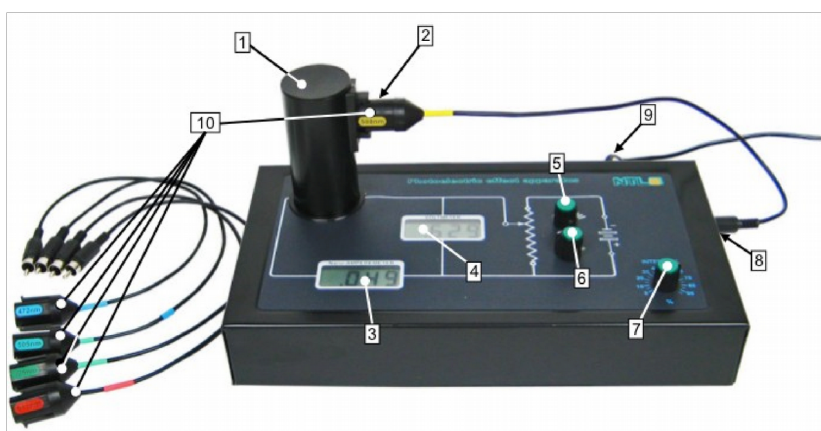


Fotoelektriska effekten

År 1887 upptäckte den tyske fysikern Heinrich Hertz att då man belyser ytan på en metallkropp med ultraviolett ljus avges elektriska laddningar från ytan. Noggrannare undersökningar visade att elektromagnetisk strålning kan frigöra elektroner från metallers ytor och fenomenet kallas för *fotoelektriska effekten*. Elektronemissionen sker endast om frekvensen hos det infallandet ljuset överstiger den för alla metaller unika karaktäristiska gränshfrekvensen. Den fotoelektriska effekten går inte att förklara med den klassiska fysikens ljus-våg-modell.

Experimentell utrustning



- 1) Fotocellens skyddskupa
- 2) LED-lampans plats
- 3) Nanoamperemätare
- 4) Spänningsmätare
- 5) Spänningens grovjustering
- 6) Spänningens finjustering
- 7) Ljusets intensitet
- 8) Lampans kontakt
- 9) Strömkällans kontakt
- 10) LEDar

Gå igenom utrustningens reglage och displayer – vad gör varje del? Vad reglerar man och vad mäter man? Observera att nanoamperemätaren visar negativa värden om det går en fotoström i kretsen, noll om det inte går en fotoström och positiva värden om strömmen är långt i från gränsvillkoret (noll). Vid positiva strömmar går det ingen fotoström i kretsen heller.

- Koppla den röda lampan och justera spänningen med reglagen för grov- och finjustering. Vad märker du? (Försäkra dig om att intensiteten inte är noll och att LEDen lyser)

Varifrån härstammar energin som upprätthåller strömmen?

Utrustningens viktigaste del är fotocellens cesium-elektrod, som avger elektroner när ljus träffar den. De lösgjorda elektronerna kallas för *fotoelektroner*. Man kan iaktta en svag ström i utrustningen när fotocellen belyses med ljus av olika färger. Den här strömmen kallas för *fotoström* och beror på att elektronerna som lösgjorts rör sig till den andra elektroden. Strömmen motsvaras av totala laddningen som flyttas under en viss tidsenhet

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1)$$

För att upprätthålla strömmen krävs energi som flyttas från ljuset till elektronerna, så att deras rörelseenergi blir

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2)$$

Justera styrspänningen både med- och motsols. Vad märker du? (Elfälten som uppstår från justeringen endera hjälper eller saktar ner fotoelektronerna när de rör sig mellan elektroderna.

Vilka faktorer inverkar på fotoströmmens storlek? Testa alla reglage.

Vad berättar fotoströmmens storlek om fotoelektronerna?

Vad händer åt fotoelektronerna när lampans intensitet är på max, men ingen fotoström går?

Vart går fotoelektronernas rörelseenergi?

Varför minskar fotoströmmen när spänningen ökar?

En varierbar extern spänning förs mellan fotocellens elektroder. Vi observerar att den inverkar på fotoströmmens storlek. Om spänningen är riktad i samma riktning som strömmen så löper fotoströmmen. Med en inbromsande spänning minskar fotoströmmen och med en specifik spänning kan man bromsa in fotoströmmen helt och hållet.

Strömmens storlek i kretsen (fotoelektronernas rörelse i vakuumröret) kan med andra ord regleras med en styrspänning. När bromsspänningen U ökar minskar kretsens elström I .

Elektronens laddning är negativ, så den behöver energi för att kunna röra sig längs med elfältet (elfältets riktning är från den positiva elektroden mot den negativa). När fotoelektronen rör sig i motsatt riktning till fältet gör den arbetet W , vars storlek är samma som partikelns potentialenergi E_p .

$$W = E_p = qU = eU \quad , \quad (3)$$

där q är partikelns laddning och U är elektriska potentialen för sträckan den rört sig. För hela sträckan mellan elektroderna är U spänningen mellan elektroderna.

Att fundera på: Man kan jämföra det här med arbetet som utförs i ett homogent gravitationsfält, där $W = E_p = mgh$. Energin i ett elfält är igen $W = E_p = qU = qE\Delta x$. Här är E elfältets storlek och Δx sträckan som partikeln rört sig.

I båda finns en term som beskriver partikelns känslighet till fältet (m eller q) och en term som beskriver potentialskillnaden mellan två punkter i fältet (gh eller $E\Delta x$ alltså U).

Justera spänningen tills fotoströmmen är noll. Vad vet vi om fotoelektronernas rörelse i det här skedet? Hur hjälper det här oss att mäta egenskaperna hos fotonerna i det använda ljuset?

Då kretsens spänning har justerats så att strömmen är noll, kan vi dra slutsatsen att även de snabbaste fotoelektronerna har stannat. Fotoelektronernas kinetiska energi har gått till att motarbeta elfältet ($W = Ue$), enligt arbetsprincipen:

$$W = -Ue = E_{k2} - E_{k1} \quad (4)$$

$$W = -Ue = 0 - E_{k1} = -E_{k1} \quad (5)$$

$$E_k = Ue \quad (6)$$

U är styrspänningens storlek, e elementarladdningen, E_{k2} fotoelektronens kinetiska energi i slutet och E_{k1} fotoelektronens kinetiska energi i början.

Spänningen då strömmen blir noll kallas *bromsningspotentialen* U_0 . Genom att mäta bromsningspotentialen får vi reda på fotoelektronens maximala kinetiska energi $E_{k,max}$. Förhållandet mellan bromsningspotentialen och den maximala kinetiska energin är

$$E_{k,max} = U_0 e \quad (7)$$

Resultatet kan tolkas som så att, ljuset som träffar katoden ger fotoelektronerna deras kinetiska energi, denna energi är tillräcklig för att föra elektronerna till anoden, endast om deras kinetiska energi är större än den energi som krävs för att arbeta mot elfältet. Bromsningspotentialen för de emitterade elektronerna med den maximala kinetiska energin är därmed lika som arbetet elektronen utfört mot elfältet.

Då strömmen minskar till noll, når inga elektroner längre anoden. Genom att justera ljusets intensitet, märker vi att storleken på strömmen varierar, men spänningen med vilken alla elektroner kan stoppas förblir densamma. Intensiteten inverkar inte på fotoelektronens energi.

Fundera på vad dina resultat berättar om ljuset och dess växelverkan med katodmaterialet.

Upprepa dina mätningar med andra ljuskällor och skriv uppå dina resultat. Ljusets frekvens och rörelseenergin kan man senare beräkna med hjälp av frekvensen och bromsningspotentialen och med ekvation (7).

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (8)$$

| Ljusets våglängd (nm) | Ljusets frekvens (10^{14} Hz) (fyll i senare) | Bromsningspotential (V) | Elektronens rörelseenergi (10^{19} J) (fyll i senare) |
|-----------------------|---|-------------------------|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Anpassa dina resultat i ett $(f, E_{k,max})$ -koordinatssystem.

Vad inverkar på bromsningspotentialen?

Vad berättar detta om fotoelektronernas energi? Varifrån kommer denna energi? Vad kan vi dra för slutsatser om hur ljusets energi beter sig?

Genom att variera ljusets färg, dvs. Stårlnignens frekvens, erhålls liknande resultat som för de andra frekvenserna, det enda som skiljer sig är värdet på bromsningspotentialen – potentialens värde beror på ljusets frekvens då den når katoden och därmed också på den maximala kinetiska energin elektronen kan erhålla från ljuset. Uppenbarligen är också ljusets energi proportionellt till ljusets frekvens.

Anpassa dina resultat i ett (f, eU_0) -koordinatsystem. Här motsvarar eU_0 fotoelektronens maximala kinetiska energi i enlighet med ekvation (7). Hurudan form har funktionen?

Hur skulle grafen se ut om intensiteten var på x -axeln? Varför är det här överraskande?

Anpassa en linje till mätpunkterna. Vad är värdet och enheten på riktningskoefficienten?

Vilken fysikalisk betydelse har linjens och x -axelns skärningspunkt?

Den anpassade linjens och frekvens-axelns skärningspunkt kan tolkas som en gränshfrekvens, dvs. den lägsta frekvensen som krävs för att elektroner skall emitteras från metallen. Lågfrekvent strålning innehåller inte tillräckligt med energi* för att frigöra elektroner från metallen. T.ex. tio ficklampors ljus räcker inte för att lösgöra elektriska laddningar från en aluminiumburk, medan ljuset från en UV-lampa klarar det.

Energi-axelns och den anpassade linjens skärningspunkt kan tolkas som energimännen elektronerna måste erhålla för att fly elektronhavet.

*: Strålningens energi beror både av ljusets intensitet och frekvens. Energin är ändå packad som enskilda fotoner vars energi endast beror av frekvensen.

Jämför värdet på den erhållna riktningskoefficienten till värden i en tabellbok med naturkonstanter. Värdet för vilken naturkonstant har du erhållit?

För att förklara detta fenomen introducerade Albert Einstein en ny teori, foton-modellen, enligt vilken:

- Strålning består av individuella kvanta, fotoner.
- Fotoner absorberas och emitteras helt eller inte alls.
- Då en foton absorberas av en metall, överförs fotonens energi i sin helhet till en enda elektron.
- Fotonen har ljusets hastighet c
- För varje enskild fotons energi gäller $E=hf$, där h är Plancks konstant och f ljusets frekvens.

Enligt Einsteins teori avger en foton all sin energi (hf), som beror på frekvensen, till en elektron. En del av fotonens energi går till att frigöra elektronen från metallen (dvs. utträdesarbetet W) och resten går till elektronens kinetiska energi $E_{k,max}$. Den maximala kinetiska energin hos en fotoelektron kan nu skrivas som:

$$E_{k,max} = hf - W \quad (9)$$