

Fotoelektriska effekten

Bakgrund

År 1887 upptäckte den tyska 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 en metallyta. Detta fenomen är numera känt som fotoelektriska effekten. Elektronemission sker endast om frekvensen hos det infallande ljuset överstiger den karakteristiska gränshänsen för en specifik metall. Den fotoelektriska effekten kan inte förklaras av den klassiska fysiken, där ljus beskrivs som en våg.

Elektrisk laddning och urladdning

Vi skall undersöka hur en aluminiumburks laddning förändras med ultraviolett (UV) ljus. Följ stegen nedan och fyll i tabellen.

- Ta bort all smuts och aluminiumoxid som skapats på ytan med sandpapper.
- Placera aluminiumburken på elektrooskopet och överför elektriska laddningar till burken med en ebonitstav.
 - Vilken typ av elektriska laddningar genereras på detta sätt?
- Belys den rengjorda burkytan med en ficklampa. Vad märker du?
- Sätt på dig skyddsglasögon och belys samma yta med UV-ljus. Vad märker du?
- Använd en glasstav för att överföra elektriska laddningar till aluminium burken.
 - Vilken typ av elektrisk laddning genereras på detta sätt?
- Belys den rengjorda burkytan igen med en ficklampa. Vad märker du?
- Sätt på dig skyddsglasögon och belys samma yta igen med UV-ljus. Vad märker du?

Ljus typ	Negativ laddning	Positiv laddning
Starkt vitt ljus		
Svagt vitt ljus		
Starkt UV ljus		
Svagt UV ljus		

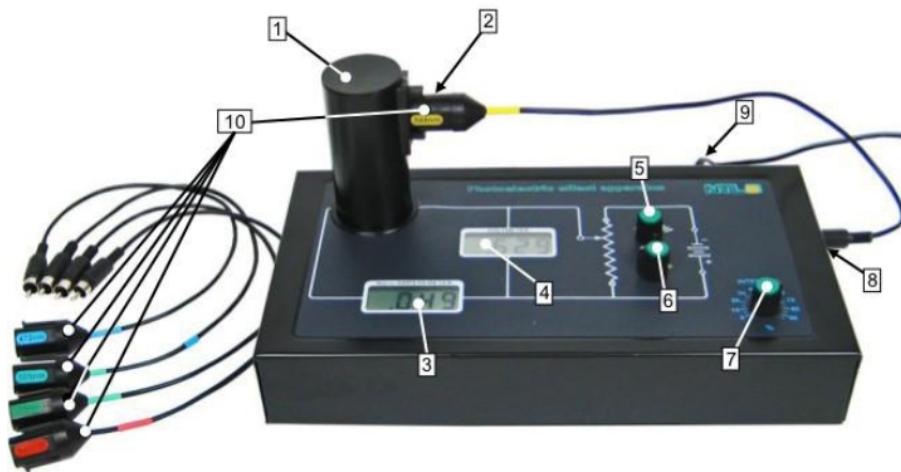
- Vilka partiklar tror du emitteras från metallen då burken urladdas?

En elektrisk laddning kan tolkas som ett över- eller underskott av elektroner. Laddning med en ebonitstav ger upphov till ett överskott av elektroner och därmed produceras en negativ elektrisk laddning. Då aluminiumytan belyses med UV-ljus urladdas ytan, detta sker dock inte med ficklampan. Det verkar som att UV-ljuset har en särskild egenskap som ficklampa saknar, eller att UV-ljus har mer av "något" än vad ficklampan har.

Då glasstaven användes i experimentet bildades positiva laddningar, pga. ett underskott av elektroner. I detta fall kan ingen förändring i burkens elektriska laddning detekteras varken med ficklampa eller ultraviolett ljus.

De negativa laddningarna på burken minskar då de extra elektronerna emitteras. Med UV-ljuset är det möjligt att ta bort en del av elektronerna från metallytan. Både ljusintensiteten (dvs. mängden ljus) och färgen på ljuset påverkar ljusets förmåga att avlägsna elektroner från en metallyta.

Fotoelektriska effekten: experimentell utrustning



- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1) Skydd för fotocellen | 6) Finjustering av styrspänning |
| 2) Ljusledande rör för LEDar | 7) Inställning av ljuskällans intensitet |
| 3) Nano-amperemeter för fotoström | 8) Ljuskällans kontakt |
| 4) Voltmeter för styrspänning | 9) Kontakt för strömförsörjning |
| 5) Justering av styrspänning | 10) Lysdioder med kablar |

- Anslut den röda ljuskällan till utrustningen. Vad märker du?
 - Vad är orsaken till att en elektrisk ström genereras?
 - Varifrån härstammar energin som krävs för att upprätthålla strömmen?

Huvudkomponenten i utrustningen är fotocellen, vars ljuskänsliga elektrod (katod) är av cesium. Utrustningens katod (den negativa elektroden) motsvarar metallkroppen som elektronerna emitteras från. I fotoelektriska effekten kallas de avgivna elektronerna för fotoelektroner. Då katoden belyses med olika färgers LED-lampor, kan man observera att en svag ström passerar fotocellen. Detta kallas för fotoströmmen. Observationen kan tolkas som, att ljuset lösgör elektroner från katodens metall, som sedan rör sig till anoden.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

För att upprätthålla fotoströmmen krävs det energi, vilket innebär att energi måste överföras från ljuset för att ge elektronerna deras kinetiska energi:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

- Justera styrspänningen i både fram- och bakriktningen.
 - Vad märker du?
 - Vilka faktorer påverkar fotoströmmens storlek?
 - Vad kan du dra för slutsatser om fotoelektronerna, på basen av fotoströmmens storlek?
 - Varför minskar fotoströmmens storlek, då styrspänningen ökar?
 - Vad skapas mellan elektroderna i vakuumröret på grund av styrspänningen?
 - Vad går de emitterade elektronernas rörelseenergi till?

Mellan elektronerna i den fotoelektriska cellen, produceras en justerbar yttre spänning. Det kan observeras att den yttre spänning påverkar fotoströmmens storlek. Ifall spänningen är positiv (katoden är negativ) går det en fotoström. Ifall spänningen är negativ (katoden är positiv) minskar fotoströmmen, tills den upphör helt och hållet.

Storleken på kretsens elström (dvs. fotoelektronernas rörelse i vakuumröret) kan regleras med styrspänningen. Genom att justera styrspänningens elfält, så att den motsätter sig fotoelektronernas rörelse, märker vi att strömmen minskar. Då den negativa anodspänningen U ökar minskar strömmen i kretsen.

Styrspänningen genererar ett elfält i utrustningen, vilken i sin tur påverkar fotoelektronernas rörelse. Med en negativ spänning mellan elektroderna verkar det elektriska fältet som en "broms", bromsande elektronernas flöde från katoden till anoden. Då rörelsen sker i motsatt riktning till elfältet, kommer fotoelektronerna att utföra ett arbete

$$Ue$$

där U är den negativa anodspänning och e är elektronens laddning.

- Variera spänningen för att hitta värdet för U , för vilken strömmen är noll.
 - Vad vet vi om fotoelektronernas rörelse i denna situation?
 - Till vad går de emitterade elektronernas kinetiska energi?

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:

$$W = -Ue = E_{k2} - E_{k1}$$

$$W = -Ue = 0 - E_{k1} = -E_{k1}$$

$$E_k = Ue$$

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

$$E_{k,max} = U_0 e$$

Resultatet kan tolkas som så att, ljuset som träffar katoden ger fotoelektronerna deras kinetisk 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.

- Anpassa dina resultat i ett (f, eU) -koordinatsystem. Elektronens maximala rörelseenergi erhålls enligt $E_{k,max} = U_0 e$.
 - Beror bromsningspotentialen på ljusets intensitet?

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

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

- Upprepa dina mätningar med andra ljuskällor, och skriv upp dina resultat i tabellen nedan.

Ljusets våglängd (nm)	Ljusets frekvens ($\cdot 10^{14} \text{ Hz}$)	Bromsnings- potentialen (V)	Elektronernas rörelseenergi ($\cdot 10^{-19} \text{ J}$)

- Vilka faktorer påverkar bromsningspotentialen?
- Vad berättar detta om fotoelektronernas energi? Varifrån kommer denna energi?
- Vad kan vi dra för slutsatser om ljus på basen av denna information?

Genom att variera ljusets färg, dvs strålningens 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) -koordinatsystem. Elektronens maximala rörelseenergi kan erhållas enligt $E_{k,max} = U_0 e$.
- Hurudan graf ger de plottade datapunkterna?
- Vad kan vi dra för slutsatser gällande förhållandet mellan den maximala kinetiska energin hos fotoelektronerna och ljusets frekvens?
- Anpassa en linje till mätpunkterna.
- Vad är värdet och enheten för den anpassade linjens riktningskoefficient.
- Vilken fysikalisk betydelse har linjens och x-axelns skärningspunkt?

Den anpassade linjens och frekvens-axelns skärningspunkt kan tolkas som en gränsfrekvens, dvs den lägsta frekvensen som krävs för att elektroner skall emitteras från en metall. Denna tolkning stöder våra tidigare observationer, där det inte var möjligt att lösgöra elektriska laddningar från aluminiumburken med ljuset från en ficklampa, emedan UV-ljuset möjliggjorde detta.

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

- 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:

$$E_{k,max} = hf - W$$