

DEN FOTOELEKTRISKA EFFEKTEN

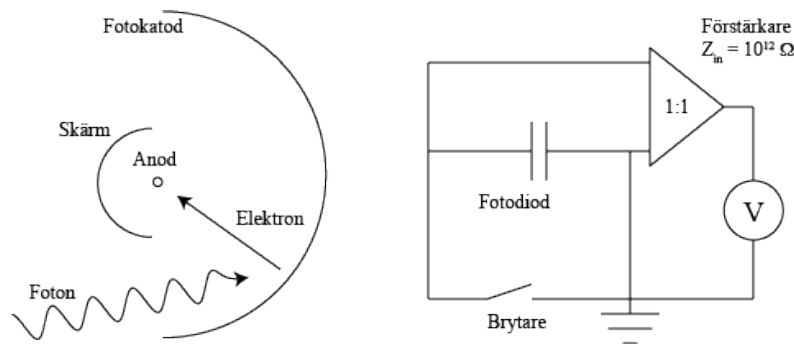
1 Inledning

Vid den fotoelektriska effekten lösgör ljus, med frekvensen f , elektroner från en metall. Eftersom ljus består av kvanter (fotoner), vars energi är hf (där h är Plancks konstant), absorberar metallens elektroner motsvarande energi. En del av kvantens energi går åt att lösgöra elektronen från metallen. Denna, för varje metall specifika, energi kallas för metallens utträdesarbete, φ , och är oberoende av kvantens energi. Kvantens resterande energi omvandlas till elektronens kinetiska energi K . Den fotoelektriska effekten beskrivs av ekvationen

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = hf - \varphi, \quad (1)$$

där m är elektronens massa och v dess hastighet.

Ljusets intensitet påverkar alltså inte de emitterade elektronernas rörelse-energi. Istället resulterar en ökad intensitet i fler kvanter emitterade från ljuskällan, vilket resulterar i fler från metallen lösgjorda elektroner.



Figur 1. En fotodiod (till vänster) och mätupställningen som används i detta arbete (till höger).

Figur 1 presenterar en schematisk bild av en fotodiod och mätupställningen som används i detta arbete. I mätningarnas början urladdas fotodiodens laddning genom att sluta brytaren i bilden. Då brytaren öppnas ånyo börjar ljuset lösgöra elektroner från katoden. Tack vare jordningen förblir potentialen konstant. En del av de lösgjorda elektronerna träffar anoden som blir negativt laddad. Anoden fortsätter laddas tills det elfält som bildas mellan anoden och katoden blir så starkt att det arbete fältet utför på elektronen förhindrar elektronen från att nå anoden. I det skedet är de från katoden lösgjorda elektronernas kinetiska energi K_{max}

$$K_{max} = \frac{1}{2}mv_{max}^2 = -eV_0, \quad (2)$$

där V_0 är stoppotentialen mellan anoden och katoden (märk, att V_0 är negativ i uppställningen i figur 1) samt e elektronens laddning. Eftersom laddningen som bildas i fotokatoden är mycket liten är det av yttersta vikt att minimera läckströmmen genom spänningsmätaren under mätning av stoppotentialen. I praktiken uppnås detta genom att koppla en operationsförstärkare, med förstärkningsskoefficient 1 och vars impedans för den inkommande signalen är större än för en vanlig universalmätare, framför spänningsmätaren.

För att bestämma Plancks konstant mäts stoppotentialen som en funktion av ljusets frekvens. En kvicksilverlampa vars ljus splittras till spektrallinjer med hjälp av ett gitter används som ljuskälla. Mätningarna kan då utföras för fem olika frekvenser för ljuset. Från ekvationerna (1) och (2) fås

$$V_0 = -\frac{h}{e}f + \frac{\varphi}{e}. \quad (3)$$

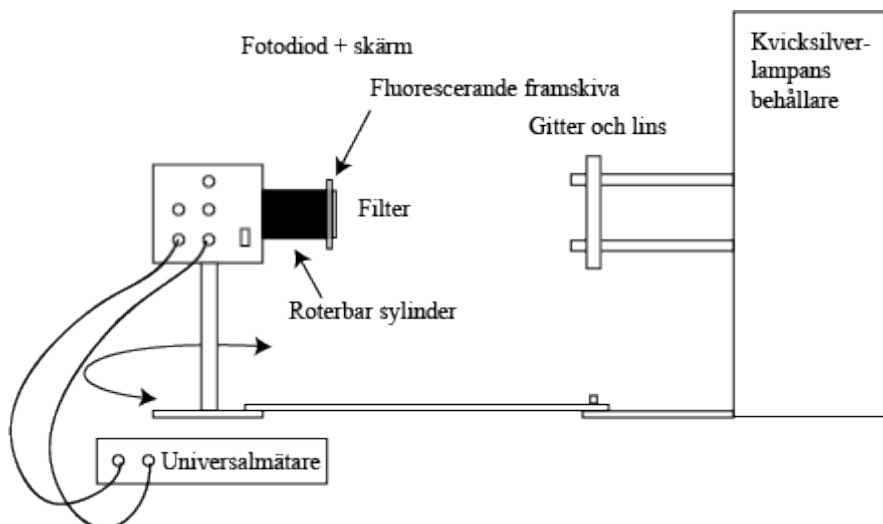
Grafen för spänningen som funktion av ljusets frekvens (ekvation (3)) är en rät linje, från vars riktningskoefficient h kan beräknas. Speciellt anmärkningsvärt i ekvation (3) är att konstanten i princip definierar elektronens utträdesarbete från katoden, men *på grund av mätmetoden* fås istället *anodens* utträdesarbete.

2 Målsättningar

Efter utfört arbete skall studeranden:

- kunna förklara hur ljusets våglängd och intensitet påverkar rörelse-energin för elektronerna som frigörs från en metall genom den fotoelektriska effekten
- ha övat att framställa mätresultat grafiskt och anpassa en rak linje till mätpunkter
- experimentellt ha bestämt ett värde för Plancks konstant

3 Apparatur



Figur 2. Mätapparaturen.

Den apparatur som används i arbetet finns avbildad i figur 2. En kvicksilverlampa, vars ljus bryts upp i olika våglängder med hjälp av ett gitter, fungerar som ljuskälla. I det splittrade ljuset ses spektra från tre spridningsordningar på var sida om det inkommande ljusets axel. Spektrallinjerna leds till detektorn var de träffar en fotodiods katod. Med hjälp av detektorn kan spänningen som stoppar elektronerna som färdas från katoden att nå anoden uppmätas. Stopppotentialen är större ju mer kinetisk energi elektronerna, som lösgörs från katoden, besitter.

Fotodioden är presenterad i figur 1 tillsammans med en schematisk bild av detektorns funktion. Fotodiodröret (och övrig elektronik) har en liten kapacitans och "kondensatorn" laddas då elektroner färdas i röret eftersom brytaren är öppen under mätningarna. Kondensatorns laddning satureras eftersom en potentialskillnad som elektronerna inte kan överkomma uppstår mellan elektroderna. Spänningen över kondensatorn mäts med en förstärkare, vars inkommande impedans är stor ($> 10^{12}\Omega$) vilket innebär att strömmen genom förstärkaren är

ytterst liten. Förstärkarens förstärkningskoefficient är 1, och stoppotentialen kan mätas med en universalmätare. Mellan mätningarna skall kondensatorn urladdas.

Spektrumet för ljuset från kvicksilverlampan består av skarpa linjer, varav fyra ligger i det synliga spektrumet och den femte kan ses tydligt med hjälp av den fluorescerande skärmen på detektorns framkant (eller med hjälp av ett svagt fluorescerande vanligt papper). En del av spektrallinjerna består av flera våglängder mycket nära varandra. Spektrallinjerna och de våglängder som skall användas vid uträkningar är presenterade i tabell 1.

Tabell 1. Våglängderna för kvicksilverlampans spektrallinjer.

Färg	Våglängd
Ultraviolet	365 nm
Violett	405 nm
Blå	436 nm
Grön	546 nm
Gul	578 nm

Dessutom krävs ett grönt och gult filter samt ett transmissionsfilter. OBS låt kvicksilverlampan brinna efter utförda mätningar! Mätningarna bör utföras i ett mörkt rum eftersom alla diffraktionsspektra syns märkbart bättre då än i ett upplyst rum. Rummets belysning påverkar inte mätningarnas resultat, men spektrallinjerna kan riktas mot detektorn med större precision. Kom ihåg att alltid stänga den rörliga cylindern innan ni påbörjar mätningar efter att ha riktat spektrallinjerna!

4 Förhandsuppgifter

Bekanta dig med arbetets teori i valfri lärobok, t.ex. [1–3], läs arbetets instruktioner och svara på följande frågor på svarsblanketten.

1. Vad avses med ett materials utträdesarbete?
2. Vad avses med den fotoelektriska effektens tröskelfrekvens?
3. Hur påverkar ljusets intensitet den fotoelektriska effekten?
4. I arbetet bestäms och ritas upp stoppotentialen V_0 som funktion av frekvensen f . Till de mätta punkterna anpassas en linje ($y = kx + b$). Vad är denna linjes riktingskoefficient enligt ekvation (3)? Skriv en ekvation för k och härled därifrån ekvationen för Plancks konstant h .
5. Bestäm, utgående från ekvationen bestämd i den förra punkten, felet för Plancks konstant h med hjälp av totaldifferentialen. Av variablerna bör du beakta vinkelkoefficienten k .

5 Mätningar

Alla mätresultat och svar på frågorna skall antecknas på svarsblanketten. Det rekommenderas att blyertspenna används. Svarsblanketten returneras till assistenten vid arbetets slut.

1. Slå på kvicksilverlampan (om den inte redan är på) och låt lampan värmas 10 min innan påbörjande av mätningarna. Granska att gitter-linssystemet, vilket sitter fast i ställningen, är vänt så att linsen är närmast lampans kåpa. Märk att de tydligaste spektra för första och andra ordningens spektrum, vars maximum används, är på olika sidor om centralmaximet vilket innebär att ni är tvungna att vrida detektorn till andra sidan om centralmaximet.

2. Ställ detektorn i en sådan vinkel att någon spektrallinje träffar såväl öppningen i framplåten som hålen i skärmen som skyddar detektorns fotodiod (rotera vid behov detektorn runt axeln så spektrallinjerna träffar detektorns framplåt rakt). Skärmen kan blottas genom att vända bort den skyddande cylindern bakom framplåten. Flytta gitter-linssystemet så att det mönster som uppstår genom framkantens öppning är skarp i nivå med skärmen. Fäst gitter-linssystemet på sin plats.
3. Stoppotentialen mäts med hjälp av en digital potentialmätarens OUTPUT-kopplingsstycken. Innan varje mätning skall fotodioden urladdas genom att trycka på "push to zero" -knappen.
4. **Gör en hypotes:** För vilken våglängd är stoppotentialen större: 365 nm (ultraviolett) eller 578 nm (gul)? Motivera ditt svar fysikaliskt.
5. **Testa hypotesen** och anteckna era observationer på svarsblanketten. Om observationerna avviker från hypotesen, fundera varför.
6. Mät stoppotentialen för de fem tidigare nämnda våglängderna för första ordningens spektrum och minst två våglängder från andra ordningens spektrum. Då ni mäter det gröna och gula ljuset skall det gröna respektive gula filtret användas för att de lägre våglängderna (rummets belysning eller våglängder från högre ordningars spektra) inte skall påverka resultaten. Skriv ner resultaten i tabellen på svarsblanketten.

Tips: Kom ihåg att noggrant rikta spektrallinjen mot skärmens öppning vid varje mätning och att därefter stänga cylindern!

Vänta på att universalmätarens värden stabiliseras tillräckligt länge! Spänningens värde stiger först snabbt och saktar sedan avsevärt av.

7. Studera effekten av ljusets intensitet på stoppotentialen genom att sätta ett filter med varierande transmission framför detektorn. Mät stoppotentialen för någon första ordningens spektrallinje för varje transmission (100, 80, 60, 40 ja 20 %). Anteckna resultaten på svarsblanketten.
8. Slå av strömmen från universalmätaren och detektorn samt ta kontakterna ur eluttagen. Släck inte lampan!

6 Behandling av resultaten

1. Räkna spektrallinjernas motsvarande frekvenser på blanketten.
2. Rita stoppotentialen som en funktion av frekvensen för första ordningens spektrum med hjälp av de uppmätta stoppotentialerna. Anpassa en linje till punkterna och bestäm linjens riktningskoefficient med tillhörande felgränser.
3. Bestäm ett värde för Plancks konstant med tillhörande feluppskattning med hjälp av riktningskoefficienten och dess fel.
4. Skriv ut grafen du ritat och bifoga den till svarsblanketten.

7 Tankeställare

1. Andra ordningens spektrallinjers intensitet är lägre än motsvarande spektrallinjer i första ordningens spektrum. Även transmissionsfiltret påverkar det till detektorn inkommande ljusets intensitet. Redogör för hur ljusets intensitet påverkar stoppotentialen utgående från ditt resultat.
2. Med mätresultaten i åtanke (intensitetens och våglängdens effekt på stoppotentialen), är den elektromagnetiska strålningens energier kvantiserade?
3. Jämför ditt uppmätta värde för Plancks konstant med litteraturvärdet.

Källor

- [1] D.C. Giancoli, Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics 4th edition, International edition, Pearson Education, Inc, 2009.
- [2] Hugh Young, Roger Freedman, A. Lewis Ford: University Physics with Modern Physics. International Edition. 13. painos. Pearson Education, 2011.
- [3] Halliday, Resnick, Walker, Fundamentals of Physics Extended, Extended 9th edition, International Student Version, Wiley & Sons, Inc., 2011.