

Fotoelektrisk effekt

Lars Berggren og Jorid Holmen

23. februar 2022

Sammendrag

I denne labøvelsen er fotoelektrisk effekt blitt brukt til å måle stoppotensialet til et metall bestrålt med fem forskjellige bølgelengder. Målet med øvelsen var å estimere Plancks konstant h og sammenligne den med den kjente verdien for Plancks konstant som er $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$. For å gjøre dette brukes minste kvadraters metode for å finne stigningstallet for sammenhengen mellom stoppotensialet og frekvensen til lyset. Ved slutten av øvelsen konkluderes det med at Plancks konstant kan estimeres ved hjelp av fotoelektrisk effekt, men usikkerheten er litt for stor.

1 Innledning

Alt lys består av fotoner og egenskapene til fotoner har en stor og viktig betydning i flere områder, for eksempel i mikroskopi og fotokjemi. Det er naturlig å anta at fotoner oppfører seg som bølger siden lys er en elektromagnetisk bølge, men dette er ikke tilfellet [3]. I løpet av flere år oppdaget forskere på forskjellige måter at om man lyser på et metall vil metallet utlades og elektroner sendes ut. De klarte derimot ikke å gi en god forklaring på hvorfor. Albert Einstein var den som sluttet å se på lys som en kontinuerlig bølge og heller som partikler, og brukte dette til å beskrive den fotoelektriske effekten. Fotoelektrisk effekt er et viktig og avgjørende bevis på at lys har partikkelegenskaper [2].

I denne labøvelsen skal fotoelektrisk effekt brukes til finne Plancks konstant, som er en universalkonstant oppdaget under forskning på elektromagnetisk stråling. Rapporten går videre inn på teorien bak fotoelektrisk effekt, men tar også opp minste kvadraters metode, beskriver utstyret brukt og fremgangsmåten til forsøket.

2 Teori og metode

2.1 Fotoelektrisk effekt

Fotoelektrisk effekt er når et foton inneholder nok energi til å slå løs et elektron fra et metall. Albert Einstein oppdaget i 1905 at lys kan ses på som fotoner med energi E_{foton} gitt ved likning 1, der h er Plancks konstant og f er frekvensen.

$$E_{foton} = hf \quad (1)$$

Frekvensen er gitt ved likning 2, der c er lysets hastighet og λ er bølgelengden til lyset [1].

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

Ved hjelp av disse likningene kommer man frem til en likning for stoppotensialet, gitt ved likning 3. Stoppotensialet er spenningsforskjellen som stopper elektronene fra å gå fra katoden til anoden på labutstyret brukt. W_0 er arbeidet som trengs for å løsne elektronet fra det spesifikke metallet og elementærladningen er $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$.

$$V = \frac{h}{e}f - \frac{W_0}{e} \quad (3)$$

På likning 3 kan man bruke minste kvadraters metode for å finne en linje for sammenhengen mellom stoppotensialet og frekvensen. Konstantleddet A og stigingstallet B er gitt ved likning 4. B kan brukes til å finne Plancks konstant h .

$$A = \frac{W_0}{e}, B = \frac{h}{e} \quad (4)$$

Usikkerheten til h er gitt i likning 5.

$$\delta h = e \delta b \quad (5)$$

Fotoelektrisk effekt har tidligere blitt brukt til å estimere Plancks konstant, men verdien ble ikke fastsatt før i 2018. Før det hadde den blitt beregnet flere ganger av CODATA [6].

2.2 Minste kvadraters metode

Minste kvadraters metode er måte å finne en sammenheng mellom observerte verdier [4]. I denne labøvelsen er målet å finne sammenhengen mellom frekvensen og stoppotensialet. Dette gjøres ved å samle opp x -verdier og y -verdier, og deretter regne ut A , B og usikkerheter. Likningen for A og B kan man se i likning 6 og 7, der N er antall punkter og Δ regnes ut med likning 8 [5].

$$A = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{\Delta} \quad (6)$$

$$B = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\Delta} \quad (7)$$

$$\Delta = N \sum x^2 - (\sum x)^2 \quad (8)$$

A og B settes inn i likning 9. I denne labøvelsen vil y representere stoppotensialet V og x vil være frekvensen f gitt ved likning 2.

$$y = A + Bx \quad (9)$$

Ofte vil ikke linjen være en perfekt representasjon av punktene, og det er dermed en usikkerhet. I denne labøvelsen er det bruk for usikkerheten til B , gitt ved likning 10, der σ_y er gitt ved likning 11.

$$\delta B = \sigma_y \sqrt{\frac{N}{\Delta}} \quad (10)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N-2} \sum (y_i - A - Bx_i)^2} \quad (11)$$

2.3 Utstyr

Forsøket krevde et oppsett for måling av fotoelektrisk effekt. Pasco er navnet på selskapet som har lagd dette oppsettet, og modellen er AP-8209. Dette oppsettet består av en lyskilde som har en kvikksølvpare og en fotodiode. Disse to festes mot hverandre på en base, og har en maksimal avstand på 400 mm mellom to gitte punkter på lyskilden og fotodioden. For å finne stoppotensialet må en koble en spenningskilde til både lyskilden og fotodioden.

Videre er det også koblet inn et apparat for fotoelektrisk effekt. Dette apparatet både viser og regulerer spenningen som er over fotodioden, og strømmen som går gjennom. Koblingene er gjort med ledninger som medfølger oppsettet, pluss en rød og en blå ledning fra fysikklaben med målt resistanse tilnærmet 0 Ω .

Det er også blitt brukt fem ulike filtre, to lokk og et apertur som festes i inngangen ved fotodioden. Filtrene har ulike bølgelengde, henholdsvis 365 nm, 405 nm, 436 nm, 546 nm og 577 nm. Siden de har ulike bølgelengde gir det muligheten til å slippe gjennom lys med ulike bølgelengder.

Aperturet som ble brukt hadde en diameter på 4 mm. Lokkene ble brukt til å dekke for lyskilden og fotodioden, da vi ikke målte stoppotensialet for en gitt bølgelengde. Grunnen til dette er at fotodioden kan ryke, hvis det ikke er noe filter som regulerer hvilken bølgelengde lyset som slippes inn har.

2.4 Fremgangsmåte

Før forsøket igangsettes må en forberede utstyret for forsøk. Først må lyskilden varmes opp i 20 minutter. Når 20 minutter er gått, kan en starte kalibreringen av utstyret. Dette gjøres stegvis, ved å først påse at lokkene til lyskilden og fotodioden er på, deretter endre Voltage Range Switch til -2 - 0V og Current Range Switch til 10-13 A. Videre må ledningene på baksiden av fotoelektrisk effekt-apparatet, merket med A,

K og pil ned, kobles fra. Deretter kan en sette Phototube Signal Switch til Calibration. Da kan en manuelt stille på Current Calibration slik at displayet på apparatet viser at strømmen er null. Etter at dette er blitt gjort endrer man Phototube Signal Switch tilbake til Measure. Da kan en plugge tilbake ledningene som ble tatt ut før kalibreringen.

Deretter kan målingen starte. For å sette på et filter, må en først ta av lokket på lysdioden og sette på 4 mm aperturen, etterfulgt av valgt filter. Som nevnt ovenfor er det viktig å ha lokket på lyskilden når en skifter filter. 365 nm filteret ble brukt først, og deretter filtere i stigende rekkefølge. Det ble antatt at det var en sammenheng mellom størrelsen på filteret og stopppotensialet, og denne rekkefølgen skulle bidra til mer effektivitet i målingen, med tanke på at en manuelt må skru spenningen opp eller ned for å finne stopppotensialet, dvs. når strømmen i kretsen er 0 A. Hvis denne sammenhengen eksisterer, er det bare nødvendig å skru en vei gjennom hele målingen. Da alle fem filterne var målt, ble minste kvadraters metode anvendt for å estimere Plancks konstant. Dette ble gjort i programmeringsspråket Python.

3 Resultat

Resultatet av målingene kan man se i tabell 1, inkludert utregningen av frekvensen.

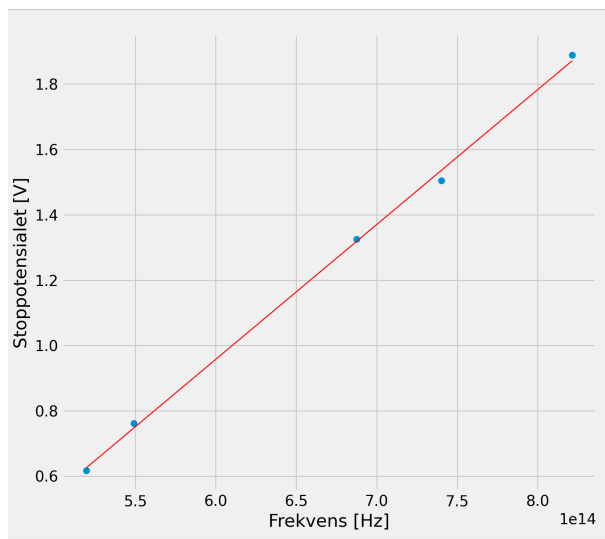
Bølgelengde λ	Stoppotensialet V	Frekvens f
365 nm	1,889 V	821 THz
405 nm	1,505 V	740 THz
436 nm	1,326 V	688 THz
546 nm	0,762 V	549 THz
577 nm	0,618 V	520 THz

Tabell 1: Resultatet av målingene. Frekvensen er regnet ut fra likning 2 og verdien for stopppotensialet er en absoluttverdi.

Ved bruk av minste kvadraters metode blir $A = -1.519 J/C$ og $B = 4.127 \cdot 10^{-15} J \cdot s/C$. Dermed blir likningen for linjen som viser sammenhengen mellom målingene gitt ved likning 12.

$$V = -1.519 + 4.127 \cdot 10^{-15} \cdot f \quad (12)$$

Linjen kan plottes sammen med de målte punktene, slik som i figur 1.



Figur 1: Plot av punktene og linjen funnet med minste kvadraters metode.

B blir brukt til å regne ut h ved hjelp av likning 4 og får at $h = 6.613 \cdot 10^{-34} J \cdot s$.

Usikkerheten til B er $\delta B = 9.102 \cdot 10^{-17} J \cdot s/C$. Usikkerheten til h , utregnet fra likning 5, blir $\delta h = 1.458 \cdot 10^{-35} J \cdot s$.

Endelig resultat for øvelsens estimering av h er da gitt ved likning 13.

$$h = (6.613 \cdot 10^{-34} \pm 1.458 \cdot 10^{-35}) J \cdot s \quad (13)$$

4 Diskusjon

I sammendraget ble hensikten ved forsøket presentert - å estimere Plancks konstant ved hjelp av fotoelektrisk effekt. Plancks konstant er allment kjent som $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$. Spørsmålet da er om estimatet vårt er et godt nok estimat for Plancks konstant. Som en kan se fra likning 13, er Plancks konstant innenfor vårt estimat, når en tar med usikkerheten. Samtidig kan det diskuteres om usikkerheten er for høy.

$$\frac{\delta h}{h} = 2.2\% \quad (14)$$

Likning 14 viser hvor stor prosent usikkerheten er på. En usikkerhet på 2.2 % kan bli sett på som for mye. Plancks konstant er en fysisk konstant, og derfor bør man kunne komme veldig nær denne verdien uten særlig høy usikkerhet. På den andre siden, så er Plancks konstant blitt utregnet flere ganger siden den først ble oppdaget. Dette vitner om at andre også har vært misfornøyd med usikkerheten rundt utregningen.

Samtidig er differansen mellom Plancks konstant og vårt estimat lik $1.3 \cdot 10^{-36}$, noe som er akseptabelt.

Om forsøket hadde blitt gjort med flere forskjellige filtere, og dermed flere forskjellige bølgelengder, ville det blitt flere punkter N og dermed ville usikkerheten (10) blitt mindre. Forsøket kunne også blitt gjort flere ganger for å få stoppotensialet flere ganger per bølgelengde. Da hadde stoppotensialet brukt i utregningen vært gjennomsnittet av de forskjellige målingene per bølgelengde. Det hadde også ført til mer nøyaktighet, men usikkerheten i minste kvadraters metode ville blitt den samme.

4.1 Feilkilder

Apparatet brukt til å finne stoppotensialet har en liten unøyaktighet. Det ble erfart at strømmen som ble vist på displayet ofte endret seg, minimalt, uten at spenningen endret seg noe. Dette kan ha ført til feil i avlesingen av potensialet.

Det ble også brukt et amperemeter på ledningene hentet fra fysikklaben. De viste en resistanse mellom 0 og 0.1Ω . Allikevel vil ikke ledningen være helt fri for motstand, og dette påvirker målingen.

5 Konklusjon

Den kjente verdien for Plancks konstant er innenfor forsøkets utregning av h med usikkerhet. Dette er dermed et akseptabelt resultat. Samtidig er det konsensus blant rapportens forfattere om at usikkerheten er for høy, men at denne ville blitt bedret med flere målinger.

Referanser

- [1] E. FYS103. Fotoelektrisk effekt. *Physics institute, Faculty of Science and Technology, Norwegian University of Life Sciences*, 1(1):1–5, 2022.
- [2] Jakob Sandstad, Jacob Linder. fotoelektrisk effekt. https://snl.no/fotoelektrisk_effekt, 2021. [Online; accessed 20. 02, 2022].
- [3] Jan-Petter Hansen, Jacob Linder. foton. <https://snl.no/foton>, 2021. [Online; accessed 20. 02, 2022].
- [4] Kathrine Frey Frøslie. minste kvadraters metode. https://snl.no/minste_kvadraters_metode, 2017. [Online; accessed 19. 02, 2022].
- [5] J. R.Taylor. *An Introduction To Error Analysis, second edition*. University Science Books, 55D Gate Five Road, Sausalito, CA 94965, 2nd edition, 1997.
- [6] Trygve Holtebekk. Plancks konstant. https://snl.no/Plancks_konstant, 2021. [Online; accessed 21. 02, 2022].