

TYÖ

Planckin vakion kokeellinen määrittäminen

TYÖN TEOREETTINEN PERUSTA JA TYÖOHJE

Teoreettinen perusta

Einstein perusteli valosähköisen ilmiön siten, että sähkömagneettinen säteily, sisältäen valon, paitsi emittoituu, myös luovuttaa energiansa kvantteina. Tällöin kunkin kvantin energia on hf , missä h on Planckin vakio ja f on säteilyn taajuus. Kun säteilyn taajuus on riittävän suuri, pystyy se osuessaan metalliin irrottamaan metallin pintaelektroneja. Tällöin osa kvantin energiasta kuluu elektronin irroitustyöhön, ja loppu kuluu elektronien kiihdyttämiseen. Täten siis, heikoimmin sitoutunut elektroni saa suurimman liike-energian. Näin ollen,

$$hf = W_0 + E_{\text{kin}}^{\text{max}}. \quad (1)$$

Tästä saadaan, että

$$E_{\text{kin}}^{\text{max}} = hf - W_0, \quad (2)$$

missä h on Planckin vakio, f on taajuus, $E_{\text{kin}}^{\text{max}}$ on elektronin suurin kineettinen energia ja W_0 on elektronin irroitustyö.

Kun elektronia kiihdytetään jännitteellä U , saa se liike-energian Ue . Tällainen elektroni voidaan pysäyttää yhtäsuurella, mutta vastakkaisuuntaisella jännitteellä. Tätä kutsutaan pysäytysjännitteeksi.

Voidaan todeta, että

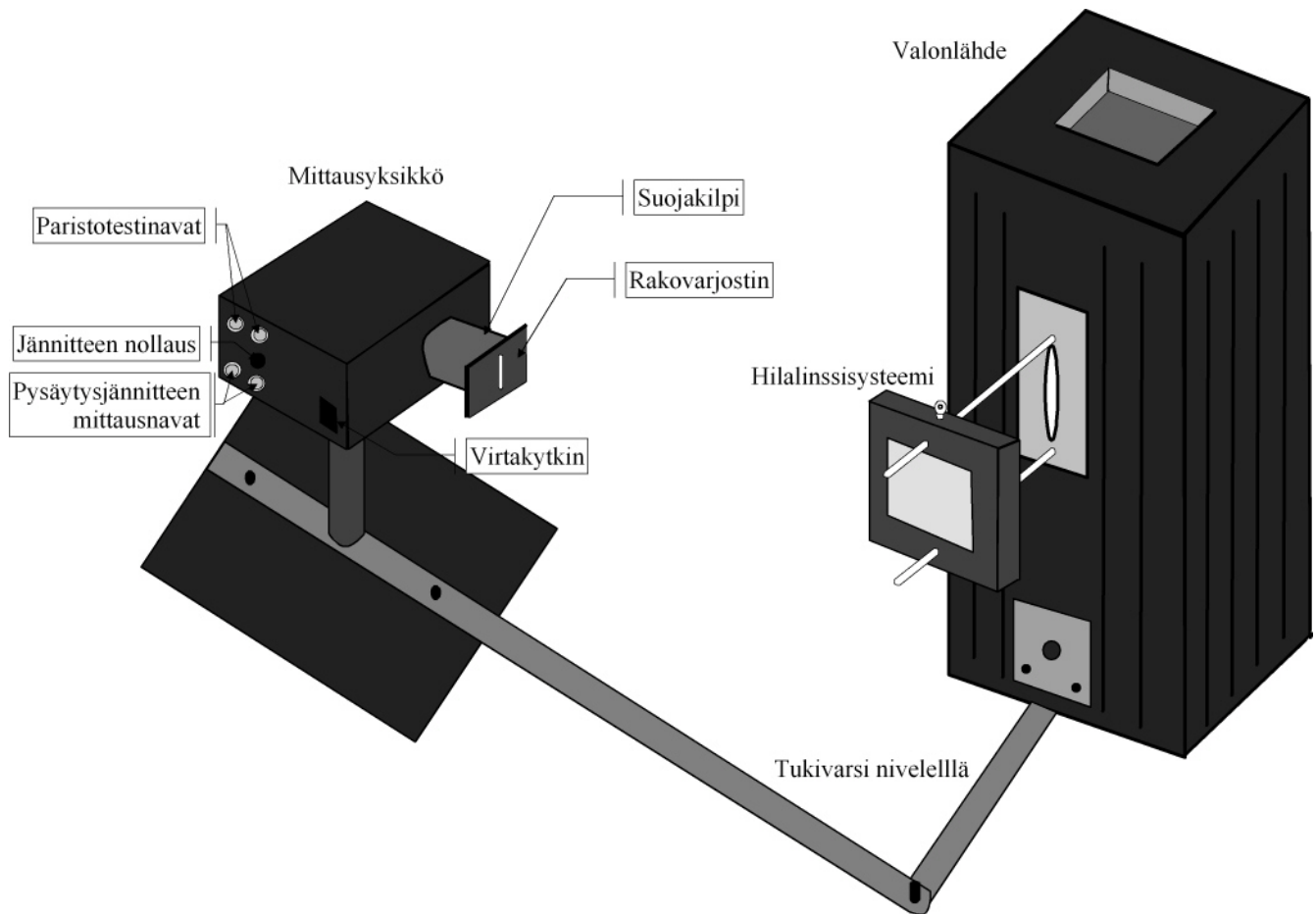
$$Ue = hf - W_0 \quad (3)$$

Työssä käytettävällä laitteistolla mitataan säteilyn fotodiodin katodilta irrottamien elektronien pysäyttämiseen tarvittavaa jännitettä. Jos se on esim. 1,5 V, on säteilyn irrottamien elektronien maksiminen liike-energia $E_{\text{kin}}^{\text{max}} = Ue$ elektronivolteina 1,5 eV.

Valokennoa säteilytettäessä eri taajuuksilla ja mitattaessa pysäytysjännitteet, saadaan $(f, E_{\text{kin}}^{\text{max}})$ -koordinaatistossa suora. Tämän suoran kulmakerroin on Planckin vakio.

Laitteiston toimintaperiaate

Laitteessa säätelyn lähteenä on elohopehöyryä sisältävä ultraviolettilamppu. Lamppu lähettää 4 näkyvän valon aallonpituuden lisäksi, myös ultravioletti säteilyä. Laitteessa oleva hila jakaa valon aallonpituudet spektreihin kertaluokkien mukaan. Jos hilan ja vastaanottimen välille laittaa valkoisen paperin, näkyvät eri viivat selkeästi erillään toisistaan. Yksi viiva vastaa tarkasti yhtä aallonpituutta ja täten myös taajuutta. Vastaanottimella olevaa fotodiodia valaistaaan vuorotellen kullakin spektriviivalla ja mitataan pysäytyjännite yleismittarilla.



Kuva 1. Planckin vakion määrittämiseen käytettävä mittalaitteisto.

Alkuvalmistelut

Laitteiston täytyy ensin antaa lämmitä, joten se täytyy kytkeä päälle n.20 min ennen mittausten aloittamista. Laitteen pitäisi olla normaalisti mittaasetuksissa, mutta joskus sitä saattaa joutua

säätämään. Tätä tarkoitusta varten hila-linssisysteemiä voidaan liikuttaa edestakaisin tankoa pitkin. Vastaanotinta voidaan kääntää avaamalla sen alapuolella oleva ruuvi ja kiertämällä vastaanotinta.

Varsinaisiin mittauksiin kuuluva säätely tapahtuu liikuttamalla vastaanotinta ympyräsäteellä pöydäsuuntaisesti tukivarren nivelestä siten, että jokainen spektriviiva osuu vuorollaan vastaanottimessa olevaan aukkoon. Asento säädetään ensin siten, että aukkoon osuu hajoamaton, eli kirkas, valo. Tällöin tukivarren pitäisi olla 180° kulmassa (eli suorassa).

Vastaanottimen aukon edessä on suojakilpi, joka estää häiritsevän valon sisäänmenon. Pyöräytä tämä sivuun ja tarkista, että valojuova osuu vastaanottimen sisällä olevalle fotodiodin valkoiselle suojakalvolle. Jos valojuova osuu valkoiselle kalvolle ja on suorakaiteen muotoinen, säädöt ovat kohdallaan, pyöräytä suojakilpi takaisin paikalleen ja mittaukset voidaan aloittaa. Jollei, säädä laitetta edellä mainituilla tavoilla.

Koe 1. Intensiiteetin vaikutus pysäytysjännitteeseen

1. Kytke vastaanottimeen virrat.
2. Valitse yleismittarista oikea alue.
3. Säädä laitteistoa niin, että valkoisen valon sijasta rakoon osuu ensimmäinen sinertävä viiva. Se edustaa UV-säteilyä. Varjostin (paperi) ja fotodiodin suojakalvo on tehty fluoresoivasta materiaalista, joten siihen absorboitua UV-valo emittoutuu näkyvänä valona. Siksi varjostin hieman muuttuu värejä ja violetti näyttää siniseltä ja sininen voimakkaan violetilta. Oikeat viiva pystytään tunnistamaan myös taajuusjärjestyksestä.
4. Paina vastaanottimen nollausnappulaa ja odota, että jännitemittari pysähtyy näyttämään tiettyä lukemaa. Tämä jännite on pysäytysjännite. Jännitteen pitäisi olla hieman yli 1,8 V.
5. Kiinnitetään intensiteetisuodatin varjostimelle. Suodatin pysyy varjostimessa kiinni magneettisesti. Laitetaan suodatin raon kohdalle sillä tavalla, että valojuovan kohdalle osuu 60% suodatusjuova. Tällöin säteilystä pääsee läpi 60%. Toista kohta 4. Muuttuiko pysäytysjännitteen arvo?
6. Säädä nyt laitteistoa siten, että kolmas viiva, sininen, osuu rakoon ja suorita mittaukset uudelleen. Toista mittaukset muutamalla intensiteetisuodattimen arvolla. Suorita mittaukset myös keltaisella ja vihreällä spektriviivalla, mutta muista tällöin käyttää oikeata suodatinta. Mitä voidaan todeta?
7. Mitä tapahtuu ajalle, joka kuluu kun pysäytysjännite ilmestyy mittarille nollauksen jälkeen, kun valosta pääsee läpi 80% tai 20%. Mitä voidaan todeta?

Koe2. Planckin vakion määrittäminen

Oheinen taulukko löytyy koordinaatistoinen erilliseltä paperilta kansion lopussa. Täydennä tarvittavat tiedot.

Väri	Taajuus (10^{14} Hz)	Pysäytysjännite (V)
ultravioletti	8,20	
violetti	7,41	
sininen	6,88	
vihreä	5,49	
keltainen	5,19	

Huomaa, että värit ovat spektrin osoittamassa järjestyksessä.

1. Tarkista, että vastaanottimessa on yhä virrat päällä ja yleismittari on oikeilla asetuksilla.
2. Avaa suojakilpi ja varmista, että spektriviiva osuu fotodiodin suojakalvolle. Laita suojakilpi takaisin päälle.
3. Mitataan kolmesta ensimmäisestä spektrin viivasta (ultravioletti, violetti ja sininen) pysäytysjännitteet ja merkitään arvot taulukkoon. Muista nollaukset ennen lukeman ottamista mittarilta.
4. Suoritetaan mittaukset vihreälle ja keltaiselle valolle, mutta muista käyttää oikeita suodattimia. Merkitse lukemat taulukkoon.
5. Jätä valolähteen virrat päälle, jos jokin muu ryhmä on tulossa suorittamaan mittauksia.

Tulosten käsittely

Merkitse tuloksiksi saamasi arvot paperilla olevaan $(f, E_{\text{kin}}^{\text{max}})$ -koordinaatistoon. Huomaa kuitenkin, että pystyakselilla arvot eivät ole pysäytysjännitteen arvoja, vaan $E_{\text{kin}}^{\text{max}}$, yksikkönä on elektronivoltti. Pysäytysjännitteen lukuarvot edustavat suoraan liike-energioita yksikkönä eV. Piirrä pisteistä suora. Kaikkien pisteiden ei tarvitse olla suoralla, kunhan yhtämonta pistettä jää ylä- ja alapuolelle.

Koska yhtälö on muotoa $E_{\text{kin}}^{\text{max}} = hf - W_0$, on suoran kulmakerroin Planckin vakio h . Määritä suoran kulmakerroin ja huomaa, että sait h :n yksiköksi eV/Hz = eVs. Muunna tämä Js:ksi, niin voit verrata saamaasi arvoa taulukkokirjan likiarvoon $6,63 \cdot 10^{-34}$ Js. Kuvaajasta voidaan nähdä myös irroitustyön

W_0 arvon, sekä pienimmän taajuuden, millä elektroneja voidaan irroittaa kyseisestä metallista, eli ns. kynnystaajuuden.