



Kuva 1

Kokeessa rekisteröidään ja tulkitaan Franck-Hertzin käyrä neonille ja havaitaan valon emissio.

Välineet

- 21080** Purkausputki, Franck-Hertz, Ne
- 21081** Virtalähde 21080 purkausputkelle
- 24030** Oskilloskooppi, analoginen
- 44001B** Spektrometri, digitaalinen

Lisäksi tarvitaan

- 23060** BNC-kaapeli, uros/uros
- 24023** BNC/Banaaniadapteri, 2 kpl
- Turvajohtimia (23020 – 23022E)

Putken tekniset tiedot

Franck-Hertzin putki on tetrodi. Putkessa on epäsuorasti hehkutettu bariumoksidikatodi, verkkomainen kontrollielektrodi, verkkomainen hila ja kollektorielektrodi. Kontrollihilan ja hilan väli on n. 5 mm ja etäisyydet katodin ja kontrollihilan sekä hilan ja kollektorielektrodin välillä ovat noin 2 mm. Putki on täytetty neonilla sopivaan paineeseen (n. 10 hPa), katso kuva 2 b.

U_F = Hehkujännite 4-12 V

U_G = Kontrollijännite 9 V

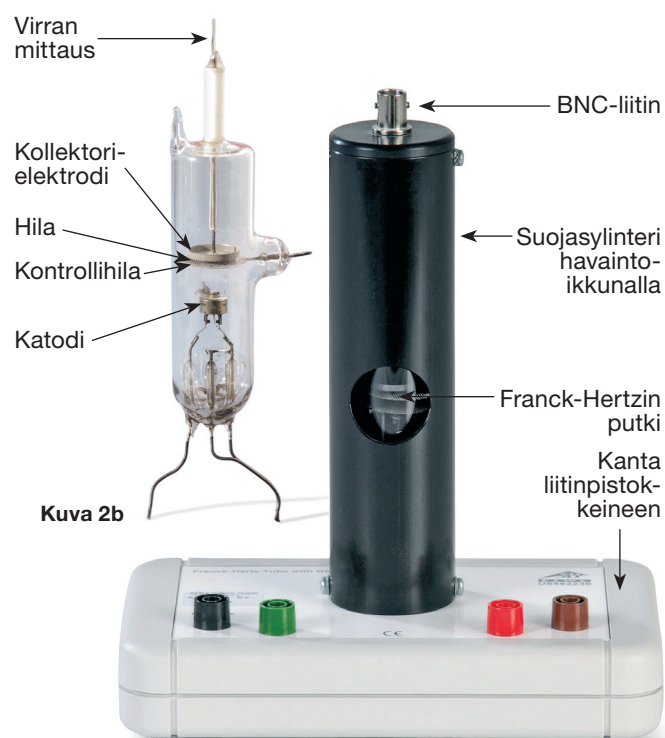
U_{Amax} = Kiihdytysjännite max 80 V

U_E = Vastajännite 1,2 – 10 V

Putken dimensiot 130 x 26 mm (halk.)

Kantaosa 190 x 115 x 115 mm

Paino n. 450 g

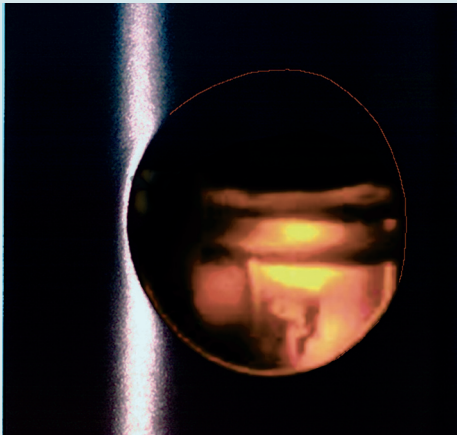


Kuva 2b

Kuva 2a

Peruskäsitteet

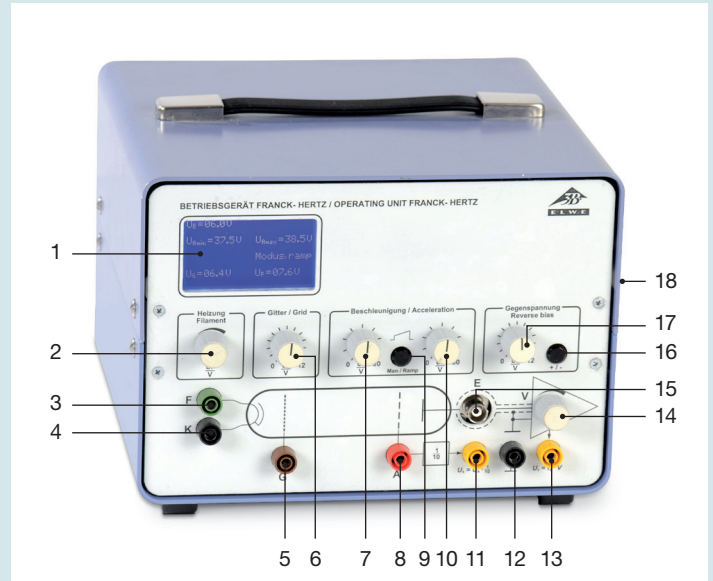
Franck-Hertzin putkessa elektronit virittävät neonatomeja epäelastisten törmäyksien kautta. Viritystilojen purkautuessa havaitaan näkyvää oranssia valoa eli havaitaan valoisia alueita, joissa viritys on enemmän intensiivisempi, katso kuva 2 c. Miten alueet sijaitsevat katodin ja hilan välissä riippuu näiden kahden potentiaalierosta. Elektronit emittoituvat katodista ja kiihdytetään jännitteellä U_A kohti hilaa. Hilan läpi kuljetettuaan elektronit saavuttavat kohtion (kollektorielektrodi) ja antavat kollektorivirran, jos niiden kineettinen energia on riittävä hidastusta aiheuttavan jännitteen U_E ylittämiseen, joka on hilan ja kollektorielektrodin välillä.



Kuva 2c

Säätöyksikön tekniset tiedot

Kytkenässä käytettävä virtalähde (säätöyksikkö) on kuvassa 3.

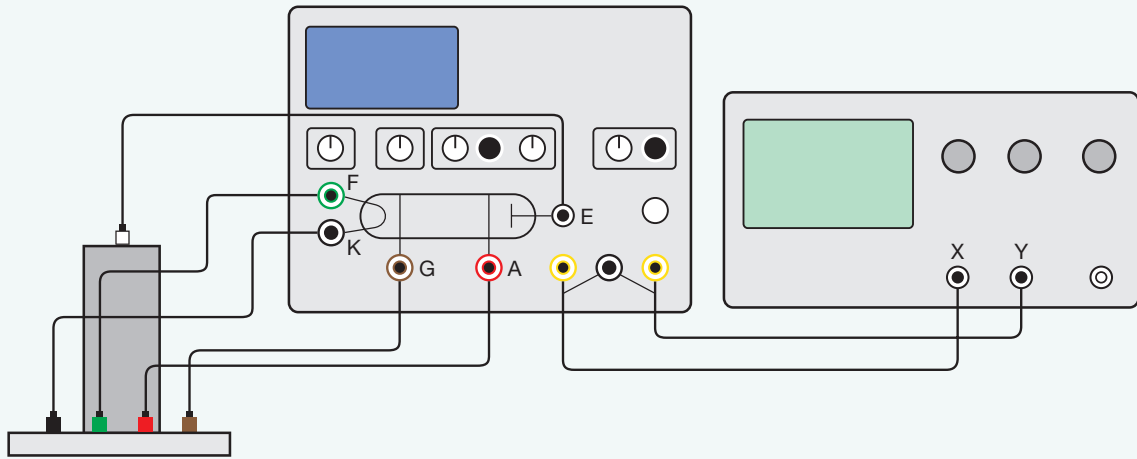


Kuva 3

- 1 Näyttö
- 2 Hehkujännitteen säätönappi
- 3 Hehkujännitteen ulostulo
- 4 Katodin ulostulo
- 5 Kontrollihilan ulostulo
- 6 Kontrollijännitteen säätönappi
- 7 Minimikiihdytysjännitteen säätönappi
- 8 Kiihdytysjännitteen ulostulo
- 9 Kytin, jolla valitaan manuaalinen tai 50 Hz:n pyyhkäisyjännite (Ramp)
- 10 Maksimikiihdytysjännitteen säätönappi
- 11 Kiihdytysjännitteen ulostulo/10
- 12 Maapistoke
- 13 F/H signaalin ulostulo
- 14 F/H signaalin amplitudin säätönappi
- 15 F/H signaalin sisäänmeno
- 16 Vastajännitteen polariteetin valintakytkin
- 17 Vastajännitteen säätönappi
- 18 Pääkytkin (laitteen takaosa)

Kiihdytysjännite U_A on välillä 0–80 V. Oskilloskooppi varten jännite $U_x = U_A/10$. U_A on hilan ja katodin välinen jännite. Hehkujännitettä U_F voidaan säätää välillä 0–12 V. Vastajännite U_E 0 - + 12 V hilan ja kollektorielektrodin välillä. Kontrollijännite U_G 0–12 V kontrollihilan ja katodin välillä. DC-vahvistin antaa jännitteen, joka on verrannollinen kollektorivirtaan.

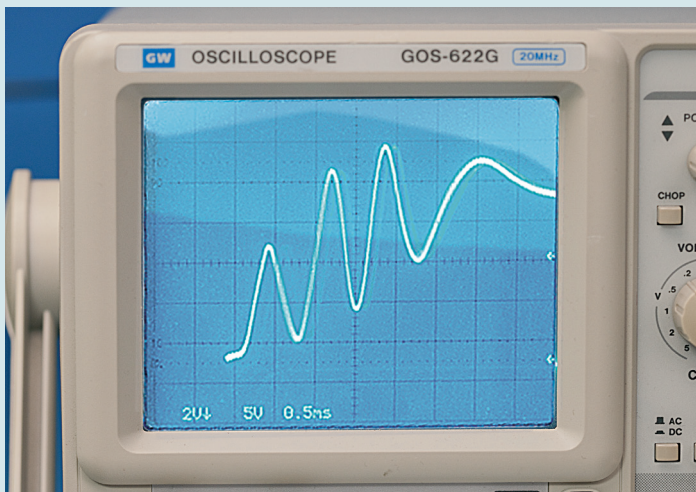
Ulostulot 4 mm turvapistokkeet
 Sisäänmeno BNC-pistoke
 Dimensiot n. 160 x 132 x 210 mm
 Paino n. 3,4 kg



Kuva 4a

Työn eri vaiheet

1. Katso alussa, että säätönupit on kierrettyinä täysin vasemmalle.
2. Tee kytkentä kuvan 4 a mukaan, katso myös kuvaa 4 b.
3. Käännä virtakytkin päälle (laitteen takaosa). Valitse kytkimestä "Man/Ramp" Ramp.
4. Aseta oskilloskooppi XY-moodiin ja valitse esim. $x = 1 \text{ V/Div}$ ja $y = 2 \text{ V/Div}$. Tarvittaessa muuta asetuksia.
5. Kasvata hehkujännitettä U_F , kunnes hehku näyttää punaiselta (arvo esim. $7,4 \text{ V}$). Odota jonkin aikaa, jolloin hehkulangan lämpötila stabilisoituu.
6. Aseta minimikiihdytysjännite U_{Amin} nolleen ja valitse maksimikiihdytysjännite $U_{Amax} = 80,0 \text{ V}$ ja aseta kontrollihilan jännite $U_G = 9,0 \text{ V}$.
7. Kasvata hehkujännitettä U_F , kunnes hehku on riittävän kirkas mitattavaksi spektrometrillä. Älä säädä jännitettä yli arvon $10,0 \text{ V}$ ellei ole varma, että hehkulanka kestää jännitteen.
8. Pudota hehkujännitettä U_F niin, että vain hehku jää näkyviin (esim. n. $7,4 \text{ V}$)
9. Kasvata jännitettä U_F (kollektorielektrodin ja hilan välinen jännite), kunnes käyrän muoto alkaa näkymään ja säädä tarvittaessa kontrollijännitettä U_G .
10. Säädä vahvistus sopivaksi (säätönuppi 14).



Kuva 5

Tulos nähdään kuvasta 5.

Vaaka-akseli on jänniteakseli ja pystyakseli on virta-akseli eli saadaan $I(U)$ -käyrä. Käyrästä nähdään, että jännitteen U_1 jälkeen virta putoaa selvästi. Tällöin elektronit ovat saavuttaneet riittävästi kineettistä energiaa virittämään neonatomit epäelastisten törmäyksien kautta juuri ennen, kun ne saavuttavat

hilan. Katodin ja hilan väli on suurempi kuin elektronien vapaa matka, jolloin törmäykset neonatomeihin tapahtuvat todennäköisemmin. Hilan lähellä näkyy punertavaa valoa, kun viritystilat purkautuvat. Kyseinen jännite U_1 on noin 19 V .

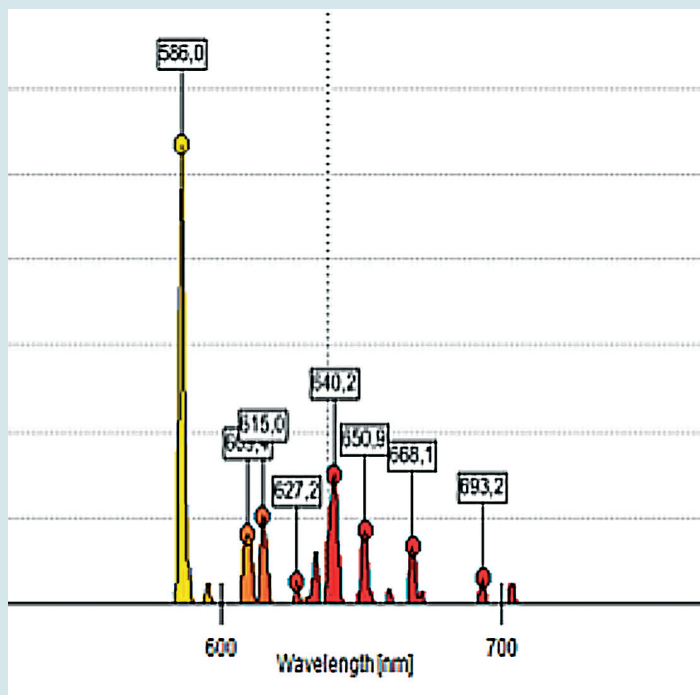
Yhä suuremmalla jännitteellä $U = U_2$ elektronit saavat niin paljon energiaa ensimmäisen törmäyksen jälkeen, että ne kykenevät virittämään toisia neonatomeja. Väli $\Delta U = 19 \text{ V}$ ja se vastaa 3p energiatason viritysendergiaa.

Neonatomit virittyvät todennäköisemmin perustilalta kymmeeneen 3p – tilaan, joitten energiat ovat välillä $18,4 \text{ eV} - 19,0 \text{ eV}$.

Neljän alimman 3s-tilan energiat ovat välillä $16,6 \text{ eV} - 16,9 \text{ eV}$.

Atomit virittyvät merkittävästi pienemmällä todennäköisyydellä kyseisiin tiloihin. Tilojen 3p purkautuminen perustilaan on mahdollista vain 3s tilojen kautta (ns. välitilat). Valo, joka emittoituu, on näkyvää valoa (oranssinen sävy). Spektrometrillä nähdään myös mitä aallonpituuksia valo sisältää (katso kuva 6).

Neonin näkyviä valon aallonpituuksia.



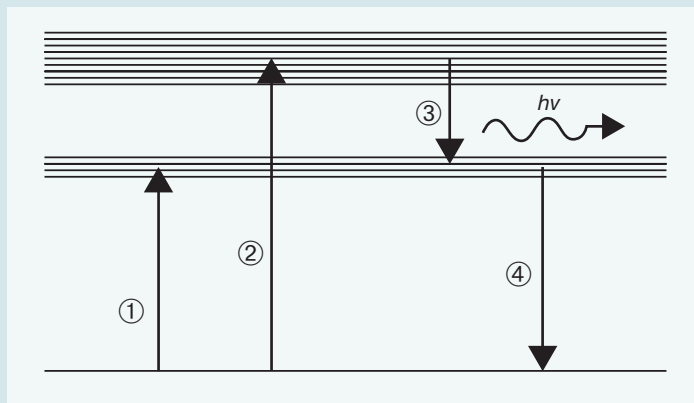
Kuva 6

Esim. kohta A)

$\lambda = 586,0 \text{ nm}$ vastaa fotonin energiaa 2,1 eV, joka on tilojen 19,0 eV ja 16,9 eV erotus ja kohta B.

$\lambda = 640,2 \text{ nm}$ vastaa fotonin energiaa 1,9 eV, joka vastaa tiettyjen 3p ja 3s tilojen energiaeroa.

Kuvassa 7 on osa neonatomin energiatasokaaviota (alimmat viritystilat). Kaavio on yksinkertaistettu.



Kuva 7

Pystynuolet 1 ja 2 tarkoittavat virittymiä ja alannuolet 3 ja 4 tarkoittavat viritystilojen purkautumista. Merkintä $h\nu$ tarkoittaa millainen foton (aallonpituus) ko. siirtymässä havaitaan. Siirtymän 3s - 2s aallonpituus on näkyvän valon ulkopuolella. Siirtymistä 3 tulevat aallonpituudet nähdään spektrometrillä.

Kokeen alkuarvojen asettelussa huomioitavaa

Jokaisella putkella on oma valmistenumerosa. Putken valmistustekniikasta johtuen jokaisella putkella on omat optimiarvonsa. Nämä arvot annetaan jokaiselle putkelle erikseen. Tällaisia arvoja ovat

1. Sopiva hehkuvirta (saavutetaan tietyllä hehkujännitteellä, esim. 141 mA)
2. Kontrollijännite, esim. 9 V
3. Vastajännite, esim. 7,29 V

Millaisia johtopäätöksiä työstä voidaan tehdä?

1. Neonatomit eivät pysty ottamaan energiaa mielivaltaisesti, vaan tietyn suuruusina määrinä (vrt. Bohrin teoria).
2. Kun Ne-atomit siirtyvät viritystiloilta kohti perustilaa, havaitaan aallonpituuksia, jotka vastaavat siirtymiä eri energiatilojen välillä (vrt. Bohrin teoria).

Neonin perustilan konfiguraatio on $1s^2 2s^2 2p^6$, jonka ainoa energiataso on 1S_0 .

Seuraavat konfiguraatiot ovat

A) $1s^2 2s^2 2p^5 3s$ ja B) $1s^2 2s^2 2p^5 3p$.

Kohtaa A vastaavat energiatilat ovat 1P_1 , 3P_0 , 3P_1 ja 3P_2 ja kohtaa B vastaavat tilat ovat

1S_0 , 1P_1 , 1D_2 , 3S_1 , 3P_0 , 3P_1 ja 3P_2 . Kohtia A ja B vastaavat tilat ovat viritystiloja.

Historiallista taustaa

James Franck ja Gustav Hertz tekivät v. 1914 kokeen elohopea-atomeilla. Elohopealla piikkien väli on n. 4,9 eV, joka on viritysentergia tilalta 1S_0 viritystilaan 3P_1 . Energia 4,9 eV vastaa aallonpituutta 254 nm. Tämä koe oli klassinen koe, jonka jälkeen koe on toistettu muillakin atomeilla, esim. natriumilla. Siinä huippujen väli on n. 2,1 eV. Natriumin perustason 3s ja viritystilan 3p ero on juuri 2,1 eV.

James Franck ja Gustav Hertz olivat saksalaisia fyysikoita. He saivat vuonna 1925 fysiikan Nobelin atomin rakennetta koskevista tutkimuksistaan.

Tehtäviä

1. Virtakäyrän ”piikeissä” näkyy levenemistä. Mistä tämä voi johtua?
2. Neonatomien energiatasokaavion mukaan 3p viritystiloja on kymmenen. Ne ovat energialtaan lähekkäin. Mitkä kvanttiluvut tarvitaan niiden selitysmallissa mukaan otettavaksi?
3. Laske energiatilojen 19,0 eV ja 16,9 eV erotusta vastaavan fotonin aallonpituus.
4. Mikä on kontrollihilan merkitys?
5. Tilat 16,79 eV ja 16,62 eV purkautuvat perustilaan. Miksi näitä viivoja ei näy?

Tehtävien vastauksia

1. Neonatomien viritystilat 3p ovat hyvin lähekkäin. Laitteen erotuskyky ei pysty niitä havaitsemaan. Nähdään ”pyöristettyjä” jännitepiikkejä.
2. Energiaerojen selittämiseksi on otettava käyttöön spinien ja ratakulmaliikemäärien vaikutukset.
3. Tilojen energiaerotus on n. 2,1 eV. Tällöin aallonpituus λ saadaan yhtälöllä

$$\lambda = \frac{hc}{E} \approx \frac{4.136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,1 \text{ eV}} \approx 590 \text{ nm}$$

4. Lämpöliikkeen johdosta katodista irtautuneet elektronit muodostavat katodin ympärille ”elektronipilven”. Ensimmäisellä hilalla ”vedetään” elektronit pois katodin lähetyviltä.
5. Esim. siirtymä 16,79 eV-perustila vastaa aallonpituutta n. 73,9 nm ja siirtymä 16,62 eV-perustila vastaa aallonpituutta 74,7 nm, ovat näkyvän valon aallonpituusalueen ulkopuolella.

