

Fotoeffektus vizsgálata

A mérés célja:

- Igazolni, hogy a fotoelektronok kinetikus energiája, illetőleg a vele arányos lezáró feszültség független a fény intenzitásától,
- a h/e arány meghatározása méréssel.

Ennek érdekében :

megmérjük egy vákuumfotodióda lezárási feszültségét

- különböző intenzitású fénynél,
- különböző hullámhosszú fénynél.

1. Elméleti összefoglaló

A külső fényelektromos hatás alapjelensége: ha egy fémlemezre fény esik, a lemezből elektronok lépnek ki. E jelenség vizsgálata néhány olyan eredményre vezetett, melyeket a fény folytonos hullámelméletével nem lehet megmagyarázni. Ezek a következők:

- Az elektronok csak akkor lépnek ki, ha a fény frekvenciája nagyobb egy, az illető fémre jellemző határfrekvenciánál. A klasszikus szemlélet szerint azonban a $W = konst. \cdot \Phi$ feltételnek megfelelő sugárzási intenzitás minden frekvencián biztosítható.

- Megfelelő fényfrekvencia esetén az elektronok kilépése akármilyen gyenge fény hatására azonnal (10^{-9} s-on belül) bekövetkezik. (A kísérletek során használt fémeknél a kilépési munka 10^{-19} J nagyságrendű, az elektron által „lefedett” terület, ahonnan energiát gyűjthet $\sim 10^{-19} m^2$, egy átlagos megvilágítást feltételezve, ami $\sim 10^{-5} W/m^2$, a $\Delta E = \Phi A \Delta t$ alapján 10^5 s, ~ 28 óra lenne a folyamathoz szükséges idő.)

- A kilépő elektronok száma arányos a megvilágítás erősségével, de energia eloszlásuk független attól. A maximális mozgási energia a fény frekvenciájának lineáris függvénye, a klasszikus számítások szerint ez nem lineáris.

E kvalitatív tapasztalatok kvantitatív magyarázatát Albert Einstein adta meg azzal, hogy Planck kvantumhipotézisét a fényjelenségekre is kiterjesztette. Feltételezte, hogy a Planck-féle

$h \cdot f$ energiacsomag nem csak a sugárzó oszcillátor diszkrét energiaváltozásait adja meg, hanem a sugárzási térben is $h \cdot f$ adagokban van jelen az energia. A fényenergia diszkrét energiaadagokban terjed. Ezek a *fotonok*.

Tehát egy foton energiája:

$$E = h \cdot f \quad (1)$$

ahol h a Planck-féle állandó, f pedig a sugárzás – esetünkben a fény – frekvenciája. Az elektronok kilépése csak akkor indulhat meg, ha a beeső fotonok energiája legalább az elektronok kötési energiájával egyenlő. A kilépés feltétele tehát:

$$h \cdot f \geq W = h \cdot f_0$$

(2)

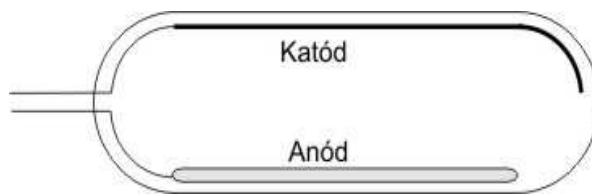
ahol W az elektron kötési energiája, az úgynevezett *kilépési munka*, f_0 pedig a fémre jellemző küszöbfrekvencia.

Általános esetben

$$h \cdot f = W + \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

vagyis a foton energiátöbblete a kilépő elektron kinetikus energiájaként jelenik meg.

Nagyobb fényintenzitás több foton, tehát több kilépő elektront jelent. Ilyen módon magyarázatot nyert a külső fényelektromos jelenség valamennyi felsorolt sajátága. A fényelektromos jelenség legelterjedtebb gyakorlati alkalmazása a *fotocella* vagy *fotodióda*, amelyet mi is alkalmazunk mérésünkben.



1. ábra

A fotocella egy légritkított üvegcső, melynek egyik oldalán a belső felületére felvitt fémréteg képezi a katódot, a vele szemben elhelyezett dróthurok pedig az anód (1. ábra). Mint a (3) egyenletből látható, a határfrekvencia esetétől eltekintve a kilépő elektronok kinetikus energiával is rendelkeznek, ami feszültségmentes tér esetén elegendő ahhoz, hogy az anódig repüljenek, ezért 0 anódfeszültség esetén is mérhető bizonyos – igen kicsi – áram.

Ahhoz, hogy a fotocella tetszőleges megvilágítás ellenére teljesen árammentes legyen, akkora ellenteret kell az anód és a katód között létesíteni, mely a legnagyobb energiájú elektront is meggátolja az anód elérésében. Az árammentesség feltétele tehát:

$$eU_0 = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 \quad (4)$$

ahol e az elektron töltése, U_0 pedig a lezáró feszültség.

Mérőberendezésünkben (a továbbiakban: mérőegység) a fotoelektródok és a hozzájuk kapcsolódó elektronikus erősítő jól meghatározott kapacitást jelentenek. A fotoáram hatására ez a kapacitás elektromosan feltöltődik mindaddig, amíg potenciálja el nem éri az U_0 lezáró feszültséget. A mérőegység kimenetére kapcsolt feszültségmérővel ezt az U_0 feszültséget közvetlenül tudjuk mérni.

A (3) és (4) egyenletekből U_0 -ra a következő kifejezést kapjuk:

$$U_0 = \frac{h}{e}f - \frac{W}{e}. \quad (5)$$

Az $U_0(f)$ függvény egy egyenes egyenlete. Az egyenes meredeksége a h/e állandó.

2. A méréshez használt eszközök

- Mérőegység (a fotodiódát és az elektronikát tartalmazó doboz)
- Higanygőzlámpa, hűtő- és védőburában
- Digitális feszültségmérő (multiméter)
- Lépcsős szürke fényszűrő, áteresztőképesége: 100, 80, 60 40, 20%
- Sárga és zöld színszűrők
- Optikai rács és lencse együttese, a továbbiakban együtt: *rács-lencse*
- Stopperóra.

3. A mérőberendezés

A rács a higanygőzlámpa fényét monokromatikus spektrumvonalakra bontja. Mind az első, mind a második rendben jól megfigyelhetők az alábbi spektrumvonalak:

<u>szín</u>	<u>hullámhossz</u>
sárga	578 nm
zöld	546 nm
kék	436 nm
ibolya/1	405 nm
ibolya/2	365 nm

Ha a zöld vagy a sárga vonallal dolgozunk, használjuk a megfelelő színszűrőt, hogy a rácseltérítés folytán magasabb eltérítési rendekből átfedő ultraibolya fényt kiszűrjük!

4. A mérés menete

Kapcsolja be a higanygőzlámpát. Hagyja legalább 10 percig bemelegedni. Ezalatt ellenőrizze, hogy a fényforrás, a rács-lencse és a dióda egy magasságban legyenek. Kapcsolja be a mérőegységet, és az erre szolgáló (kék) csatlakozáson feszültségmérővel ellenőrizze a tápfeszültséget adó telepek feszültségét. (Legalább ± 6 V szükséges a helyes működéshez. A készülék azért elemes (akkumulátoros) táplálású, mert ez biztosítja a leginkább zajmentes tápellátást.

A bemelegedési idő után a lámpa egy kiválasztott vonalát a mérőegység forgatásával állítsa a fehér takaró lemezen lévő nyílásra. Forgassa el a mérőegységen lévő fényárnyékoló hengert, hogy láthatóvá váljék a doboz belsejében a fotodióda előtt lévő maszk és rajta az ablak. Erre az ablakra fókuszálja a spektrumvonalat a rács-lencse mozgatásával. Győződjön meg róla, hogy *ugyanaz* a spektrumvonal fókuszálódik a belső maszk nyílásán, mint amelyik a külső lemez nyílására esik! Ezt a mérőegység kis elforgatásával lehet szabályozni. Ezután fordítsa a helyére a fényárnyékoló hengert.

Minden mérés előtt nyomja be a mérőegységen levő piros *nullázó gombot*! Ezzel kisüti az elektronikai rendszerben keletkezett feltöltődést; így biztosíthatjuk azt, hogy csak a kiválasztott spektrumvonal által keltett fotoáram következtében létrejött potenciált mérjük.

5. Mérési feladatok

1. Helyezze a lépcsős intenzitásszűrőt a fehér takaró lemez nyílása elé! A szűrő mágnesesen rögzíthető. Amikor színszűrőt is használ, azt erősítse a maszkra, és a színszűrő elé helyezze a lépcsős szűrőt. Csatlakoztassa a feszültségmérőt a mérőegység kimenetére. (2 vagy 20 V-os méréshatárt használjon.)

A sárga, zöld és kék színeknél mérje meg a lezáró feszültséget a lépcsős szűrő valamenynyi fokozatában! A 20%-os fokozatnál a feszültség beállása már elég lassú, ekkor a következőképpen járjon el: előbb hagyja 1-2 percig állandósulni az értéket, majd nullázzon, és az imént elért érték 95%-ának megfelelő feszültség eléréséhez szükséges *időt* is mérje le ötször egymás után.

A sárga és a zöld színnél ne felejtse el használni a megfelelő színszűrőt!

Az eredményeket táblázatban rögzítse. Mire lehet következtetni belőlük?

2. Mérje meg mind az öt hullámhossznál a beállási időt.

A beállási időt az előző pontban leírt módszerrel állapítsa meg. A sárga és a zöld színnél ne felejtse el használni a megfelelő színszűrőt!

A lépcsős szűrő használatával csak azokat a beállásokat mérje végig, amikor a beállási idő legalább négy másodperc.

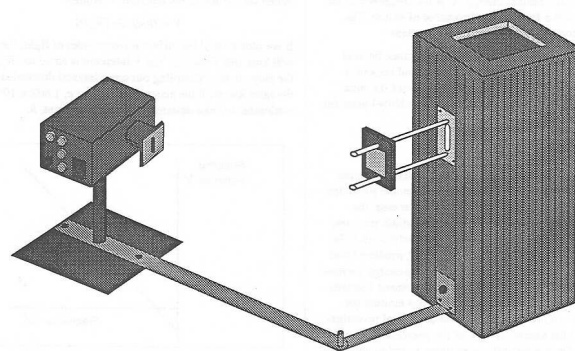
Végezze el a mérést a rács másodrendbeli vonalai közül a három legjobban látszóval is. Rögzítse táblázatban az eredményeit. Milyen különbség van az első- és másodrendben végzett mérések között? Miért?

3. Ábrázolja grafikusán a 2. feladatban kimért $U_0(f)$ kapcsolatot! Határozza meg h/e értékét és a kilépési munkát!

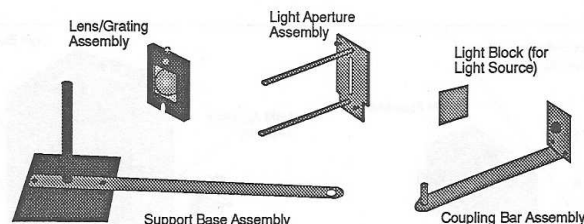
Irodalom

Budó Ágoston–Mátrai Tibor: Kísérleti fizika III. 311-312.§.

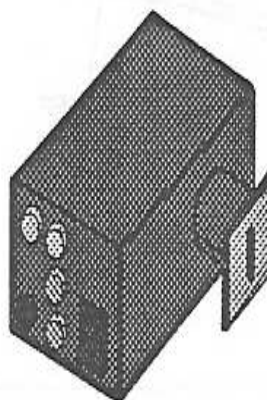
Simonyi Károly: Elektronfizika 4.5 fejezet



A detektor és a lámpa összeállítva



Egyéb alkotóelemek



Filters
(Yellow, green,
variable transmission)



A mérőfej és a szűrők (sárga, zöld, lépcsős)



A mérőfej