Fyzikální podstata

Upevníme-li k elektroskopu zinkovou destičku očištěnou smirkovým papírem a nabijeme-li ji záporným nábojem, bude se po osvětlení elektrickým obloukem nebo ultrafialovým zářením vybíjet. Ozáříme-li nenabitou destičku, nabíjí se kladně. Tyto pokusy je možné vysvětlit tak, že dopadající záření uvolňuje z povrchu destičky elektrony.

Z hlediska způsobu vzniku elektronů vlivem dopadajícího elektromagnetického záření se rozlišuje:

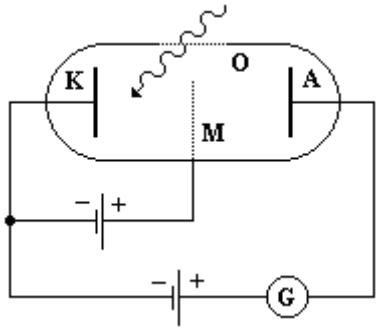
1. vnější fotoefekt - elektrony jsou uvolňovány z povrchu materiálu (např. z povrchu katody)
2. vnitřní fotoefekt - elektrony jsou uvolňovány uvnitř materiálu

Např. polovodiče, v nichž jsou tímto způsobem uvolňovány elektrony zejména z přechodu PN.

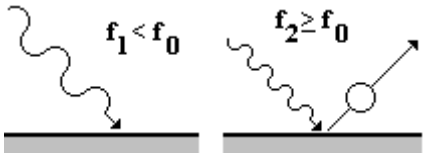
Z fyzikálního hlediska se podíváme podrobněji na vnější fotoefekt. Ten je možné zkoumat pomocí speciální fotonky (viz obr. 12) Záření dopadá okénkem *O* (které je propustné i pro UV část spektra) na fotokatodu *K* a uvolňuje z ní elektrony. Ty putují k anodě *A* a vzniklý proud v obvodu lze měřit galvanometrem *G*. Na mřížku *M* je možné přivést záporné napětí, které brzdí vylétávající elektrony a propouští jen elektrony o určité energii, kterou lze tímto způsobem měřit.

Často se elektronům uvolněným z katody při fotoelektrickém jevu říká **fotoelektrony**. Jedná se o běžné elektrony - název pouze napovídá, že vznikly při absorpci fotonu.

Na základě představ klasické fyziky se zdálo, že s rostoucí intenzitou dopadajícího záření (tj. energie dopadající za jednotku času na jednotku plochy) se budou elektrony uvolňovat snadněji z povrchu kovu a budou mít i vyšší energii. Experimenty ale prokázaly, že **na intenzitě záření závisí jen množství uvolněných elektronů**, ale nikoliv energie jednotlivých elektronů. Ta je určena pouze frekvencí použitého záření. Tento poznatek nebylo možné vysvětlit klasickou fyzikou.



Obr. 12



Obr. 13

Bylo zjištěno, že pro každý kov existuje jistá **mezní frekvence** f_0 (a jí odpovídají **mezní vlnová délka** λ_0) taková, že elektrony se uvolňují pouze při frekvenci f_0 a frekvencích vyšších (resp. při vlnové délce λ_0 a vlnových délkách nižších). Na frekvenci použitého elektromagnetického záření závisí také energie vylétávajících elektronů.

Např. elektrony z cesia se budou uvolňovat již při osvětlení viditelným světlem ($\lambda_0 = 642\ \mathrm{nm}$), zatímco ze stříbra až při ozáření UV záření ($\lambda_0 = 264\ \mathrm{nm}$).

Je-li frekvence záření dopadajícího na povrch katody vyšší než mezní frekvence pro daný materiál, bude proud protékající obvodem přímo úměrný intenzitě záření dopadající na povrch katody.

Závislost pozorovaného jevu na frekvenci záření nebylo možné vysvětlit klasicky. Bylo třeba vzít v úvahu Planckovu kvantovou hypotézu. Zákony fotoefektu se podařilo vysvětlit v roce 1905 německému fyzikovi Albertu Einsteinovi (1879 - 1955, Nobelova cena v roce 1921). Vyšel ze zmíněné Planckovy kvantové hypotézy a z představy, že elektromagnetická vlna o frekvenci *f* a vlnové délce λ se chová jako soubor částic (světelných kvant), z nichž každá má svou energii a hybnost. Jsou to ale částice zvláštní - stále se pohybují rychlostí světla a nelze je zastavit, zpomalit ani urychlit. Podle teorie relativity musí mít nulovou klidovou hmotnost. Jejich relativistická hmotnost je pak dána výrazem $m = \frac{E}{c^2}$ a velikost jejich hybnosti lze definovat vztahem $p = mc = \frac{E}{c}$. Tyto částice byly americkým fyzikem a chemikem G. N. Lewisem v roce 1926 nazvány **fotony**.

Pro kvanta záření (fotony) platí $E = hf$ a tedy $p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$. Při fotoefektu předá každé kvantum záření svou energii vždy jen jednomu elektronu. Ta se z části spotřebuje na uvolnění elektronu z kovu (vykonáním tzv. **výstupní práce** W_v) a z části se přemění na kinetickou energii E_k uvolněného elektronu (viz obr. 13). **Einsteinova rovnice** pro fotoefekt (vyjadřující zákon zachování energie) má pak tvar: $hf = W_v + E_k$.

Je-li kinetická energie uvolněného elektronu velká, pohybuje se elektron velkou rychlostí a je nutné vzít v úvahu závěry vyplývající z teorie relativity (relativistickou energii, ...). Velikost rychlosti, od níž bude nutné fotoefekt počítat relativisticky, závisí na požadované přesnosti výpočtu.

Dopadá-li na povrch kovu elektromagnetické záření s mezní frekvencí (resp. mezní vlnovou délkou), jeho energie stačí pouze na překonání vazebných sil poutajících elektron do daného materiálu tj. na vykonání výstupní práce. Kinetická energie uvolněného elektronu je pak tedy nulová. Pro mezní frekvenci (resp. vlnovou délku) elektromagnetického záření tedy platí: $f_0 = \frac{W_v}{h}$ (resp. $\lambda_0 = \frac{hc}{W_v}$).

Kvantum záření o frekvenci $f < f_0$ nemá dostatek energie na vykonání výstupní práce elektronu z kovu a nemůže jej tedy uvolnit. Je-li $f \geq f_0$, jsou elektrony okamžitě z kovu uvolňovány a jejich počet závisí na počtu kvant, která jsou k dispozici, tj. na intenzitě záření. Tím se vysvětluje růst proudu s růstem intenzity záření.

Vždy ale platí, že jeden foton (jedno kvantum záření) je schopen vyrazit jeden elektron. Ne více!

Einsteinova rovnice také umožňuje experimentálně změřit Planckovu konstantu. Budeme-li měřit závislost kinetické energie vyletujících elektronů na frekvenci záření dopadajícího na katodu, dostaneme lineární funkci, z jejíž směrnice lze určit konstantu *h*. Tato měření prováděl R. A. Millikan v roce 1916.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.