

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM IV

Úloha č.: 9

Název: Studium fotoelektrického jevu. Určení Planckovy konstanty.

Vypracoval: Vít MAREK stud. sk. F/3 dne 5.11.2001

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval:dne výsledek klasifikace

Připomínky:

Pracovní úkol:

1. Změřte voltampérové charakteristiky fotonek GKE, GKV.
2. Rozborem charakteristik zjistěte, která z nich je vakuová a která je plynem plněná.
3. Změřte VA charakteristiky vakuové fotony pro záporné hodnoty anodového napětí.
4. Zpracováním výsledků měření určete hodnotu Planckovy konstanty.

Teorie:

Činnost vakuových a plynových fotonek je založena na vnějším fotoefektu. Při něm dochází k emisi elektronů z povrchu elektrody, na kterou dopadá elektromagnetické záření. Má-li anoda vůči katodě kladné napětí U , protéká fotonkou při osvětlení katody proud I . Při malých napětích proud roste s rostoucím napětím. Pro vysoké napětí dostáváme oblast nasyceného proudu. Pro plynové fotonky však nasycený proud nedostaneme, ale proud se stále zvyšuje s rostoucím napětím. To je způsobeno lavinovou ionizací molekul plynu vyplňujících fotonku.

Stanovení Planckovy konstanty h je založeno na Einsteinově vztahu

$$E_k = h\nu - A \quad (1)$$

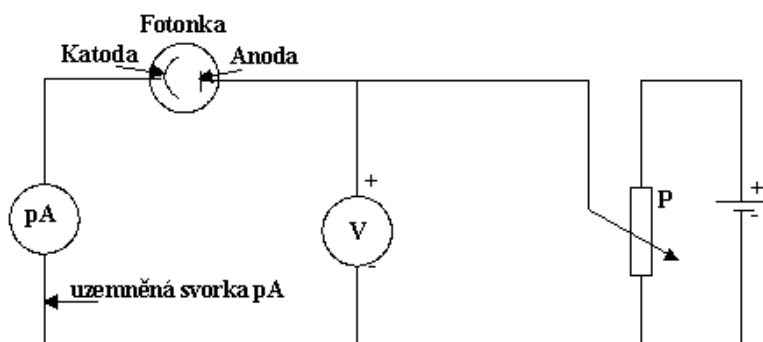
kde E_k je kinetická energie emitovaných fotonů fotokatodou, na kterou dopadá elektromagnetické záření s frekvencí ν . A je výstupní práce elektronu. Ze směrnice přímkové závislosti $E_k = E_k(\nu)$ pak můžeme určit Planckovu konstantu h . Hodnotu E_k stanovím z proměření závislosti proudu fotonky při záporných napětích anody vůči katodě. Je-li rozdíl potenciálu mezi anodou a katodou $V + K$ (V je napětí a K kontaktní potenciál), pak na anodu dopadnou pouze elektrony s energií větší než $e(V+K)$. Pro napětí V_0 větší než kritická mez je proud nulový:

$$e(V_0 - K) = E_k \quad (2)$$

odkud

$$e(V_0 - K) = h\nu - A \quad (3)$$

Obvod pro měření voltampérových charakteristik je zakreslen na *obrázku 1*.



Obr. 1 – Schéma zapojení fotonky pro měření její voltampérové charakteristiky – propustný směr

Výsledky měření:

1, Nejdříve jsem proměřil voltampérové charakteristiky fotonek v propustném směru. Sestavil jsem si zapojení podle *obrázku 1*. Dopadající světlo mělo vlnovou délku $\lambda = 546 \text{ nm}$. Závislost proudu fotonkou na přiloženém napětí jsem proměřil v rozsahu 0 – 58 V. Naměřené závislosti jsou pro jednotlivá měření zakreslena v *grafech 1 a 2*. Závislosti jsou proloženy pomocí B-splínů v programu Origin 6.0.

2, Podle naměřených charakteristik jsem zjistil, že první měřená fotonka (*graf 1*) byla plněná plynem. Druhá (*graf 2*) byla vakuovaná. Viz teorie.

3, Stejným způsobem jako v bodě 1 jsem změřil charakteristiku vakuové fotonky pro závěrný směr (zapojení viz. *obr. 1*, jen změněna polarita připojení fotonky). Měření jsem provedl pro dopadající světlo o vlnových délkách 365, 405, 436, 546 a 577/579 nm. Závislost jsem proměřil od nulového přiloženého napětí až po nulový proud protékající fotonkou. Pro každé měření jsem určil i nasycený proud. Výsledky jednotlivých měření jsou zaznamenány v *grafech 3 – 7*.

4, Pro určení Planckovy konstanty je nutné znát závislost napětí V_0 na frekvenci dopadajícího záření (viz. teorie). Proto jsem se snažil proložit závislost proudu na napětí křivkou. Pro proložení jsem zvolil vždy několik nejbližších bodů (7-10) u nuly a prokládal jsem jimi exponenciálu: $I_0 + A \cdot \exp(-U/t)$. Ze získané rovnice křivky jsem pak dopočítal hodnotu napětí V_0 pro nasycený proud (v grafech označen tečkovanou čarou v okolí $-0,05 \text{ nA}$). Příslušné hodnoty napětí lze i přímo odečíst z grafů. Jednotlivé určené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 1.

Tabulka 1. – Závislost napětí V_0 na frekvenci záření.

λ [nm]	ν [THz]	V_0 [V]	$\epsilon_r V_0$ [V]
365	822	1,87	0,42
405	741	1,64	0,65
436	688	1,60	0,98
546	549	0,93	0,31
578	519	0,78	0,24

λ vlnová délka světla, ν frekvence záření, V_0 kritické napětí, $\epsilon_r V_0$ jeho chyba

Proložením závislosti napětí V_0 na frekvenci záření jsem určil pomocí lineární regrese koeficienty prokládající přímky (graf 8). Směrnice této přímky je $B = (3,6 \pm 1,4) \cdot 10^{-15}$. Ze vztahu (3) lze vidět, že tato směrnice je vlastně podílem Planckovy konstanty a velikosti náboje elektronu. Po dosazení $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ získávám velikost Planckovy konstanty:

$$h = (5,8 \pm 2,3) \cdot 10^{-34} [\text{Js}]$$

Diskuse:

Při proměřování VA charakteristiky vakuované fotonky došlo v oblasti asi 37V k prudkému nárůstu protékajícího proudu. To bylo pravděpodobně způsobeno nedokonalou vakuací fotonky.

Pravděpodobně obsahovala i nějaký plyn, který se při tomto napětí ionizoval. A to se právě projevilo zvýšením protékajícího proudu. Předpokládaná závislost (kdyby nedošlo k dané ionizaci) je zakreslena tečkovanou křivkou v grafu 2 jako extrapolace předcházejících dat.

Při výpočtu Planckovy konstanty jsem získal poměrně velkou chybu (asi 40%), i když se naměřená hodnota liší od tabulkové ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} [\text{Js}]$) asi o 13%. Velikost chyby je hlavně způsobena nepřesným určením koeficientů extrapolujících křivek u grafů 3 – 7. To se projevilo jak na velikosti chyby V_0 (viz. tabulka 1), tak i Planckovy konstanty. Hodnotu V_0 bylo možné také odečíst přímo z grafů, ale nevěděl jsem, jak přesně dané proložené křivky vystihují skutečnou závislost proudu na napětí. Rovnice křivek se také samozřejmě mění i na počtu zvolených bodů, kterými jsem je prokládal.

Závěr:

- 1, Voltampérové charakteristiky fotonek jsou zakresleny v grafech 1 a 2.
- 2, První měřená fotonka byla plněná plynem a druhá byla vakuovaná.
- 3, Voltampérové charakteristiky vakuové fotonky pro záporné hodnoty anodového napětí jsou zakresleny v grafech 3 – 7.
- 4, Zjištěná hodnota Planckovy konstanty je $h = (5,8 \pm 2,3) \cdot 10^{-34} [\text{Js}]$.

Použitá literatura:

- [1] Studijní text k úloze 9, Praktikum IV: <http://www.mff.cuni.cz/iso/study/xbk/zfp/home.htm>
- [2] Základy fyzikálních měření I, J. Brož a kolektiv, Praha 1967