

UNIVERZITA KARLOVA

ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM IV.
PRO OBOR OBECNÁ FYZIKA

IX. Štúdium fotoelektrického javu, určenie Planckovej konštanty

Autor:
Samuel Kočiščák

24. novembra 2017

1 Pracovné úlohy

1. Zmerajte voltampérové charakteristiky fotóniek GKE, GKV.
2. Rozborom charakteristík zistíte, ktorá z nich je vákuová a ktorá je plynom plnená.
3. Zmerajte VA charakteristiky vákuovej fotónky pre záporné hodnoty anódového napätia.
4. Spracovaním výsledkov merania určite hodnotu Planckovej konštanty.

2 Teoretická časť

2.1 Fotónky

Základným princípom funkcie vákuovej fotónky je vonkajší fotoelektrický jav: fotóny dopadajúce na katódu emitujú z jej povrchu elektróny, ktoré môžu viesť elektrický prúd. Teoreticky je fotokatóda funkčná obojsmerne a mali by sme ju nazávať foto-rezistorom s pozitívnou voltampérovou charakteristikou. V praxi býva však fotóna prispôbená na vedenie prúdu jedným smerom: katóda je oveľa väčšia, ako anóda a anóda je vyrobená z kovu vyššej elektrónovej afinity. Ničmenej, fotónka funguje oboma smermi, ale má veľmi asymetrickú voltampérovú charakteristiku.

Jedným z parametrov konštrukcie fotónky je výplň: médium pre pohyb fotoelektrónov môže byť vákuum, no aj zriedený plyn. Tieto 2 typy fotóniek majú (pri konštantnom osvete) triviálne odlišné voltampérové charakteristiky. Pri nízkom napätí obmedzuje tok elektrónov tzv. priestorový náboj nad katódou, pre malé prúdy sa vákuová fotónka správa podobne, ako plynová, prúdové charakteristiky oboch fotóniek sú strmé a v podstate konkávne. Pre vyššie napätia sa však charakteristika plynovej fotónky zmení na konvexnú, ako elektróny naberajú energiu postačujúcu na lavínovitú ionizáciu a tvorí sa veľké množstvo nosičov náboja.

Charakteristiky oboch typov fotóniek sú silno závislé na fotoelektrickom výťažku, poťažmo na materiáloch a geometrii elektród a na vlnovej dĺžke použitého svetla.

2.2 Určenie Planckovej konštanty

Planckova konštantna vystupuje vo vzťahu pre zachovanie energie:

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

kde E_k je kinetická energia uvoľneného fotoelektrónu, A je výstupná práca z materiálu fotokatódy, ν je frekvencia dopadajúceho fotónu a h je Planckova konštantna. Toto E_k je však nutno chápať ako horné obmedzenie energiu elektrónu, keďže elektrón stráca pri pohybe fotónkou časť energie, najmä ak nebol emitovaný úplne na povrchu, stratí značnú časť energie než sa na povrch dostane. Kinetickú energiu možno určiť, keďže platí^[51]:

$$E_k = e(V + K), \quad (2)$$

kde e je veľkosť náboja elektrónu, $V = -U$ je záporne vzaté napätie medzi katódou a anódou a K je tzv. kontaktný potenciál (materiálová konštanta). Ak $V + K > 0$, na anódu dopadnú len elektróny s energiou vyššou, než E_k . Pre napätie väčšie, než kritická hodnota V_0 vytupujúca vo vzťahu

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

je prúd nulový, pretože žiadne elektróny nemajú dostatok energie, aby sa dostali na anódu a prúd preniesli. Keďže V_0 a K nie sú závislé na ν , možno meraním pri rôznych vlnových dĺžkach svetla, platí vzťah:

$$V_0 = \frac{h\nu}{e} + \tilde{c}, \quad (4)$$

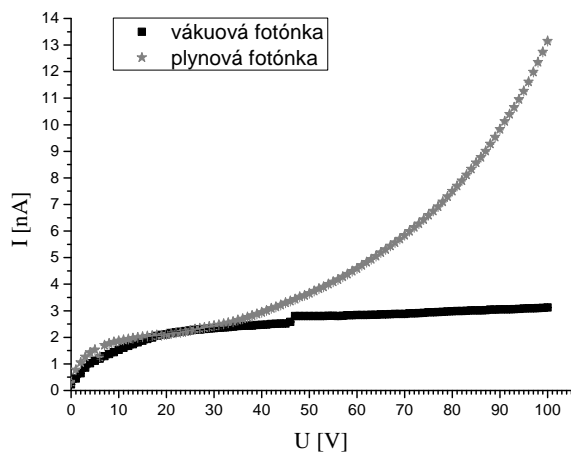
kde \tilde{c} je konštanta závislá na K , e a A , ktorá nie je pre určenie h podstatná.

3 Výsledky merania

Meranie prebehlo v priestoroch základného fyzikálneho praktika, pri izbových podmienkach. Ako zdroj napätia a ampérmeter sme použili prístroj *Kiethley 6487*^[Kth]. Ako zdroj svetla sme použili ortuťovú výbojku, ktorú sme monochromatizovali zaradením filtra vlnovej dĺžky.

3.1 Meranie voltampérových charakteristík

Voltampérovú charakteristiku dvoch neoznačených výbojok sme premerali v rozsahu 0 V až 100 V v kladnom smere (nižší potenciál na katóde). Pred použitú ortuťovú výbojku, ktorá bola zapnutá viac než pol hodiny pred samotným meraním, sme zaradili filter prepúšťajúci čiaru $\lambda = 546$ nm. Voltampérovú charakteristiku oboch fotóniek vidno v grafe na obázku 1.



Obr. 1: Voltampérová charakteristika vákuovej aj plynovej fotónky

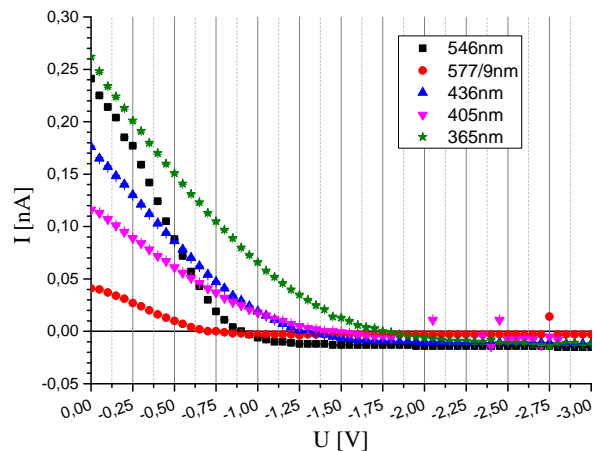
Chybové úsečky znázorňujúce nepresnosť určenia bodov nie sú v grafe viditeľné, sú príliš malé. Neistota v x aj y bola určená podľa [Kth]. Chybám iného pôvodu sa budeme venovať v diskusii.

Určiť, ktorá fotónka je vákuová, nebolo vôbec ťažké, rozdiel medzi charakteristikami je veľmi výrazný. Nie je principiálny dôvod, aby mala plynová fotónka strmšiu charakteristiku pre malé napätia, pravdepodobne je to efekt spôsobený rozličnou konštrukciou a materiálom elektród.

3.2 Určenie Planckovej konštanty

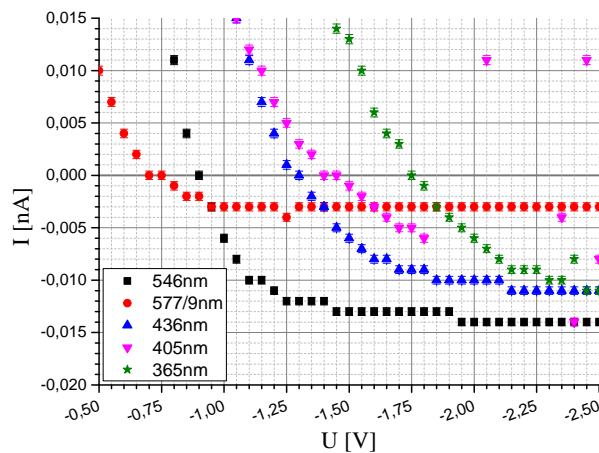
Aby sme určili Planckovu konštantu, premerali sme závernú voltampérovú charakteristiku vákuovej fotónky pri vlnových dĺžkach: 577/579 nm, 546 nm, 436 nm, 405 nm a 365 nm. Keďže vo výsledku budeme študovať maximálnu kinetickú energiu emitovaných fotónov, pre filter 577/579 nm bude táto energia zodpovedať svetlu s menšou vlnovou dĺžkou, teda predpokladáme, že pri použití tohto filtra pracujeme so svetlom vlnovej dĺžky 579 nm.

Všetky V/A charakteristiky možno vidieť v grafe na obrázku 2.



Obr. 2: Záverná oltampérová charakteristika vákuovej fotónky pri rôznych vlnových dĺžkach svetla

V grafe na obrázku 3 vidno zväčšenú časť závislosti z grafu na obrázku 2.



Obr. 3: Záverná oltampérová charakteristika vákuovej fotónky pri rôznych vlnových dĺžkach svetla - priblížená

Potrebujeme určiť kritické napätie V_0 , pri ktorom netečie z katódy už žiadny prúd. Určiť priesečník závislosti s osou x však nie je dosť presné, potrebujeme extrapolovať trend závislosti v kladných prúdoch (pre každú farbu oblasť tesne nad $I = 0$) a určiť priesečník tejto závislosti so saturovanou zápornou hodnotou prúdu, čím opravíme^[St]

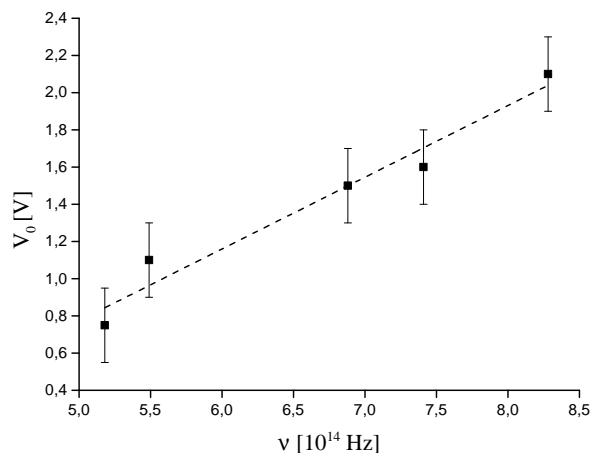
nepresnosť vnesenú nenulovým záporným prúdom pri vysokom závernom napätí (fotoemisia z anódy).

Pre všetky farby možno dobre odhadnúť saturovaná záporná hodnota prúdu I_s . Priesečník tejto hodnoty a trendu v kladnej časti závislosti určíme od oka, táto metóda je za daných okolností úplne postačujúca. V tabuľke 1 sú zapísané odhadnuté hodnoty saturovaného anódového prúdu a im prislúchajúce odhaduté hodnoty V_0 .

Tabuľka 1: Kritické napätia pre jednotlivé farby filtra

farba [nm]	ν [Hz]	I_s [nA]	V_0 [V]
579	$5,18 \cdot 10^{14}$	-0,003	$0,75 \pm 0,2$
546	$5,49 \cdot 10^{14}$	-0,015	$1,1 \pm 0,2$
436	$6,88 \cdot 10^{14}$	-0,012	$1,5 \pm 0,2$
405	$7,41 \cdot 10^{14}$	-0,008	$1,6 \pm 0,2$
365	$8,28 \cdot 10^{14}$	-0,012	$2,1 \pm 0,2$

Nepresnosť odhadujeme na 0,2 V, keďže nepresnosť vnesenú určením polohy bodu od oka odhadujeme na 0,1 V a podľa [St] je nepresnosť vnesená nesplnením predpokladov modelu približne 0,1 V. Podľa 4 očakávame, že $V_0 = f(\nu)$ bude rastúcou afinnou funkciou. Touto teda závislosť z tabuľky 1 fitujeme, závislosť aj fit sú znázornené v grafe na obrázku 4.



Obr. 4: Závislosť V_0 na vlnovej dĺžke svetla

Fit v grafe 4 má predpis $V_0 = s\nu + i$, pričom $s = 3,9(5) \times 10^{-15}$ Vs/C. Podľa 4 vieme, že $s \equiv h/e$, takže $h = es$. Hodnotu e poznáme dostatočne presne: $e =$

$1,602 \times 10^{-19}$ C, relatívne chyba h bude rovnaká, ako relatívna chyba s a teda:

$$h = 6,2(8) \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kgs}^{-1}, \quad (5)$$

čo je v zhode s reálnou hodnotou $h_{real} = 6,63 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kgs}^{-1}$.

4 Diskusia výsledkov

Vo voltampérových charakteristikách oboch fotóniek vidno zvláštne skoky v hodnotách prúdu. Pre plynovú elektrónu prúd poskočil na hodnote 7 V, podobne, ako pre vákuovú pri meraní v závernom smere mnohokrát. Tieto skoky nás príliš netrápia, pretože sú ojedinelé a nepotrebujeme nutne poznať hodnotu prúdu úplne v každom bode. Trochu nás trápí skok vo V/A závislosti vákuovej fotónky v priepustnom smere pri napätí 48 V, keďže nepoznáme jeho pôvod a pomerne závažne ovplyvňuje priebeh voltampérovej závislosti. Skúšali sme závislosť premerať ešte raz a chyba sa prejavilo opäť. Po konzultácii s dozorom v praxi je jasné, že sa skok ukazuje pri každom meraní. Ak nejde o závažnú prístrojovú chybu, ide nejakú zmenu pracovného módu fotónky, čo je za prediktívnymi možnosťami používaného modelu.

Ak by sme poznali energetické spektrum elektrónov vylietavajúcich z povrchu kovu, mohli by sme poredpokladať, ako bude chvost rozdelenia (graf na obrázku 3) vyzeráť a určiť tak presnejšie maximum energie. Na to by bolo treba navrhnúť iný experiment.

Nepresnosť vnesená určením hodnoty saturovaného prúdu a trendu kladného prúdu pri určovaní hodnoty V_0 je značná, ale pri tak malom počte bodov nemožno vyššiu presnosť dosiahnuť nijak. Tomu, že sme nepresnosť určenia V_0 odhadli na 0,2 V rozumne napovedá to, že skutočná hodnota h_{real} je v rámci experimentálnej chyby zhodná s nami určenou hodnotou h , keďže v podstate jediná závažná nepresnosť je vnesená približným určením V_0 .

5 Záver

Premerali sme voltampérovú charakteristiku vákuovej aj plynovej fotónky a určili sme, ktorá z nich je plynová a ktorá vákuová.

Zmerali sme V/A charakteristiku vákuovej fotónky v závernom smere pre niekoľko rôznych vlnových dĺžok.

Približne sme určili hodnotu Planckovej konštanty na $h = 6,2(8) \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kgs}^{-1}$.

6 Zoznam použitej literatúry

- [St] Kolektív ZFP KVOF MFF UK. *Študijný text k meraniu: Studium fotoelektrického javu, určenie Planckovej konštanty*. [cit. 2017-11-24]. URL: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_a09>.
- [Kth] Tektronix. *Model 6487 Picoammeter/Voltage Source Manual Reference Manual* [cit. 2017-11-24]. URL: <<http://www.tek.com/low-level-sensitive-and-specialty-instruments/series-6400-picoammeters-manual/model-6487-picoammeter>>.