

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM Ústav fyziky FEKT VUT BRNO		Jméno a příjmení Ján Mochňak			ID 175 288
		Ročník 1	Předmět IFY	Kroužek 34	Lab. skup. B
Spolupracoval Dávid Prexta		Měřeno dne 2/27/2015		Odevzdáno dne 2/13/2015	
Příprava	Opravy	Učitel		Hodnocení	
Název úlohy Fotoelektrický jev a Planckova konstanta					Číslo úlohy 24

2015

ÚKOL MĚŘENÍ

Stanovte Planckovu konstantu z merania vonkajšieho fotoelektrického javu a určte výstupnú prácu použitej fotónky.

TEORETICKÁ PRÍPRAVA

Pri vysvetľovaní javou spojených so svetlom bolo nutné siahnuť ku dvom rôznym spôsobom popisov. Spôsoby sú navzájom veľmi odlišné, že nutnosť ich koexistencie pri vysvetľovaní bola neuveriteľná. Difrakcia či interferencia spoľahlivo vysvetlí vlnovú teóriu svetla, ale úplne zlyhá pri pokuse objasniť fotoelektrický jav. Pri nej bola úspešná teória kvantová, ktorá naopak nedokáže predpovedať existenciu javov difrakcie. Pri určení udalostí vykazuje svetlo buď vlnovú alebo časticovú povahu, nikdy však oboje zároveň.

Svetlo ako vlnenie charakterizujeme frekvenciou f alebo vlnovou dĺžkou λ .

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

c je rýchlosť šírenia svetla vo vákuu ($2.998 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$).

Pre častice je opäť charakteristická energia E a hybnosť p . Tieto dva prístupy sú navzájom prepojené vzťahmi:

$$E = hf \quad (2)$$

$$p = h \frac{f}{c} = h \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

Spoločným parametrom je Planckova konštanta h . Jedná sa o univerálnu fyzikálnu konštantu s hodnotou $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$. Často môže byť táto konštanta tiež vyjadrená

vo tvare $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, ktorý sa potom objavuje spoločne s kruhovou frekvenciou ω a upravuje vzťah energie (2):

$$E = \hbar\omega \quad (4)$$

Číselnú hodnotu Planckovej konštanty je možné uvádzať v [eV·s] namiesto [J·s]. Prevodný vzťah je $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ a hodnota Planckovej konštanty je potom $h = 4.136 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$. Často sa používa v atómovej fyzike.

STANOVENIE PLANCKOVEJ KONŠTANTY

Pre stanovenie Planckovej konštanty využijeme fotoelektrický jav – je jedným z dôkazov kvantovej povahy elektromagnetického žiarenia. Nastáva pri vzájomnom pôsobení elektromagnetického žiarenia a látky. Energia žiarenia je pri tom predávaná elektrónom v látke.

Máme dva typy fotoelektrického javu vnútorný a vonkajší. Vnútorný jav je pre náš prípad nevyhovujúci. Je to hlavne z dôvodu, že je typický pre polovodiče a dielektriká.

Vonkajší jav vysvetlil A. Einstein v roku 1905. Elektromagnetické žiarenie frekvencie f je pohlcované v kvantách, fotónov, ktorých energia E je frekvencii f úmerná. Tento vzťah je popísaný rovnicou (2), kde konštantou úmernosti je hľadaná Planckova konštanta. Fotoelektrón, ktorý absorboval fotón môže opustiť povrch ožiarenej látky iba ak pohltená energia je väčšia, ako energia potrebná k tomu, aby sa dostal z látky von. Táto energia sa označuje symbolom W - názov výstupnej práce. Po opustení povrchu látky zostáva fotoelektrónu kinetická energia E_K :

$$E_K = hf - W \quad (5)$$

Keď sa vo vákuu priblížime k fotoelektróde (osvetlenej látke) ďalšiou elektródou (zbernou), budú na ňu dopadať fotoelektróny. Ak spojíme obidve elektródy vonkajším obvodom začne pretekať prúd, pričom súčiastka, ktorá pracuje na popísanom princípe sa nazýva *vákuová fotónka*.

Vložíme medzi obidve elektródy fotónky napätie U tak, že fotoelektróda bude kladná voči zbernej elektróde, budú fotoelektróny svojej ceste medzi fotoelektódou a zbernou elektródou brzdené. So vzrastajúcim napätím s prúd obvodom znižuje. Pri určitom $U = U_b$ prúd obvodom ustane. Práca $e \cdot U_b$, ktorá je potrebná v brzdiacom elektrickom poli vykonať pri priechode medzi oboma elektródami, dosiahla práve hodnoty kinetickej energie E_K ktorú má fotoelektrón k dispozícii. Preto platí:

$$eU_b = E_K = hf - W \quad (6)$$

a pre brzdné napätie:

$$U_b = \frac{h}{e}f - \frac{W}{e} \quad (7)$$

Tu môžeme vidieť, že brzdné napätie U_b je lineárne funkciou frekvencie dopadajúceho žiarenia. Stanoviť brzdné napätie pre svetlo jedinej frekvencie však pre výpočet Planckovej konštanty nestačí. Vo vzťahu (7) je ešte iná neznáma – výstupná práca. Potrebujeme teda najmenej jedno ďalšie meranie. Navyše, ako pri meraní uvidíme, je možné brzdné napätie určiť iba s istou zreteľnosťou tolerance. Každá ďalšia zmeraná hodnota zníži chybu merania. Budeme preto merať závislosť brzdného napätia frekvenciou svetla, ktorým fotónku

ožarujeme. Planckovu konštantu vypočítame ako súčin náboja elektrónu e a smernice priamkovej závislosti $U = U_b(f)$:

$$U_b = e \frac{\Delta U_b}{\Delta f} \quad (8)$$

PRINCÍP METÓDY MERANIA

Po opustení povrchu látky ostáva fotoelektronu kinetická energia E_K , ktorá vyplíva zo zákona zachovania energie:

$$E_K = hf - W = \frac{hc}{\lambda} - W \quad (9)$$

Výstupnú prácu W potrebnú pre uvoľnenie elektrónu z látky a energiu E_K , ktorú má vylietajúci elektrón z katódy sa po ustálení rovnováhy U_b úplne zastaví. Potrebná elektrická energia je potom eU_B :

$$eU_b = E_K = hf - W \quad (10)$$

($e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C - elementárny náboj elektrónu).

Získavame vzťah pre veľkosť brzdného napätia:

$$U_b = f \frac{h}{e} - \frac{W}{e} = f \frac{h}{e} - f_m \frac{h}{e} = \frac{h}{e}(f - f_m) \quad (11)$$

Rovnica popisuje priamkovú závislosť. Planckovu konštantu získame zo smernice tejto priamky:

$$h = e \frac{\Delta U_b}{\Delta f} \quad (12)$$

Extrapoláciou tejto priamky dostávame na vodorovnej osi hodnotu medznej frekvencie f_m , pričom si musíme pamätať že $U_b = 0$. Medzná frekvencia nám posluží pre výpočet výstupnej práce W :

$$W = hf_m \quad (13)$$

TABUĽKA NAMERANÝCH A VYPOČÍTANÝCH HODNÔT

λ [nm]	f [Hz]	U_b [V]
578	$5.1868 \cdot 10^{14}$	0.75
546	$5.4908 \cdot 10^{14}$	0.82
405	$6.8761 \cdot 10^{14}$	1.36
366	$7.4024 \cdot 10^{14}$	1.61
346	$8.1912 \cdot 10^{14}$	1.8

Výpočet f z λ

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{2.988 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}}{578 \cdot 10^{-9} \text{m}} \doteq 5.1868 \cdot 10^{14} \text{Hz} \quad (14)$$

takto postupujeme pre každú hodnotu λ .

Výpočet medznej frekvencie f_m

$$U_b(f_m) = 0 \quad (15)$$

regresná priamka z nameraných hodnôt udáva:

$$\begin{aligned} U_b(f) &= 3.688 \cdot 10^{-15} * f - 1.164 \\ 3.688 \cdot 10^{-15} * f - 1.164 &= 0 \quad f = \frac{1.164}{3.688 \cdot 10^{-15}} \\ f &= f_m \doteq 3.1561 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \end{aligned} \quad (16)$$

Výpočet Planckovej konštanty h

$$\begin{aligned} h &= e \frac{\Delta U_b}{\Delta f} = e \frac{|U_{b1} - U_{b5}|}{|f_1 - f_5|} \\ &\doteq 1.602 \cdot 10^{-19} \frac{|0.75 - 1.8|}{|5.1868 \cdot 10^{14} - 8.1912 \cdot 10^{14}|} \\ &\doteq 5.5987 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \end{aligned} \quad (17)$$

Výpočet práce fotónky W

$$\begin{aligned} W &= hf_m = 5.5987 \cdot 10^{-34} \cdot 3.1561 \cdot 10^{14} \doteq \\ &\doteq 1.7670 \cdot 10^{-19} \text{ J} \end{aligned} \quad (18)$$

Výpočet odchýlky Planckovej konštanty

$$\begin{aligned} \delta(h) &= \frac{\Delta h}{h_p} * 100 = \frac{|h - h_p|}{h_p} * 100 \doteq \\ &\doteq \frac{|5.5987 \cdot 10^{-34} - 6.626 \cdot 10^{-34}|}{6.626 \cdot 10^{-34}} * 100 \doteq 15.5040 \% \end{aligned} \quad (19)$$

ZÁVER

Na základe nameraných hodnôt, ktoré sú uvedené v tabuľke sa nám podarilo overiť Planckovu konštantu. V našom prípade sa jedná o hodnotu **$5.5987 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$** , čo sa od tabuľkovej hodnoty líši o neuveriteľných **15.5040 %**. Taktiež sme vypočítali prácu fotónky **$W \doteq 1.7670 \cdot 10^{-19} \text{ J}$** pri medznej frekvencii **$f_m \doteq 3.1561 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$** .

Celkom nás zarazila odchýlka vypočítanej Planckovej konštanty oproti jej tabuľkovej hodnote. Táto nepresnosť mohla byť zapríčinená najskôr nepresným nulovaním meracieho prístroja, ale taktiež sme mohli zmenšiť rozsah na meracom prístroji, aby sme dosiahli presnejšie hodnoty. V neposlednom prípade musíme zvažovať aj zaokrúhľovanie hodnôt pri jednotlivých výpočtoch. Osobne si myslím, že aj napriek trošku väčšej nepresnosti sa nám podarilo túto teóriu potvrdiť.

GRAFICKÉ ZÁVISLOSTI

