

En tan

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM Ústav fyziky FEKT VUT BRNO		Jméno a příjmení Petr Švaňa			ID 155793
		Ročník 1	Předmět IFY	Kroužek 38	Lab. skup. A
Spolupracoval Ladislav Šulák		Měřeno dne 25. 3. 2013		Odevzdáno dne 8.4.2013	
Příprava	Opravy	Učitel		Hodnocení	
Název úlohy Fotoelektrický jev a Planckova konstanta					Číslo úlohy 24

2013

ÚKOL MĚŘENÍ

1. Stanovte Planckovu konstantu z měření vnějšího fotoelektrického jevu.
2. Určete výstupní práci použité fotonky.

Teorie

Planckova konstanta

Světlo je podivuhodný úkaz. Při vysvětlování jevů s ním spojených bylo poprvé nutno sáhnout ke dvěma různým způsobům popisu. Ke způsobům tak odlišným, že nutnost jejich koexistence při vysvětlování vlastností světla byla neuvěřitelná. Difrakci či interferenci spolehlivě vysvětlila vlnová teorie světla. Tataž teorie naprosto selhala při pokusu objasnit fotoelektrický jev. Zde byla překvapivě úspěšná teorie kvantová, která naopak nedovede předpovědět existenci jevů difrakce. Při určité události vykazuje světlo buď vlnovou, nebo částicovou povahu, nikdy však obojí zároveň. Světlo jako vlnění charakterizujeme frekvencí f nebo vlnovou délkou λ . Vztah mezi nimi je jednoznačný:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

kde $c = 2,998\,108\,m \cdot s^{-1}$ je rychlost šíření světla ve vakuu. Pro částice je charakteristická energie E a hybnost p . Oba přístupy, jak vlnový tak i částicový, jsou navzájem propojeny vztahy:

$$E = hf$$

$$p = h \frac{f}{c} = h \frac{1}{\lambda}$$

Spojovacím článkem je Planckova konstanta h . Jedná se o univerzální fyzikální konstantu o hodnotě $h = \frac{h}{2\pi}$; často může být vyjádřena také ve tvaru \hbar , pak ve vztahu $E = \hbar \omega$ při použití této modifikované Planckovy konstanty figuruje přímo úhlový kmitočet ω :

$$E = h \cdot f = (2 \pi \cdot \hbar) \cdot f = \hbar 2 \pi f = \hbar \omega$$

Fotoelektrický jev

Fotoelektrický jev je jedním z důkazů kvantové povahy elektromagnetického záření. Nastává při vzájemné interakci elektromagnetického záření a látky. Energie záření je při tom předávána elektronům v látce.

Vnitřní fotoelektrický jev

Vnitřní fotoelektrický jev je typický pro polovodiče a dielektrika. Dopadající elektromagnetické záření uvolňuje uvnitř látky elektrony, které také uvnitř látky zůstanou. Generují se tím páry elektron-díra, které zvyšují vodivost látky (fotovodivost).

Vnější fotoelektrický jev

Vnější fotoelektrický jev je typický pro kovy a jejich sloučeniny. Působením elektromagnetického záření získají elektrony takovou energii, že díky její části se mohou nejen vymanit z vazby, ale díky energii, která elektronu po uvolnění ještě zůstane, se pohybují v okolí místa, odkud byly emitovány (fotoemise). Experimenty prováděné po objevu vnější fotoemise ukázaly, že se u ní vždy uplatní tři zákonitosti, které však nebyla schopna vysvětlit Maxwellova teorie elektromagnetického vlnění.

- Pro každý materiál existuje určitá nejnižší frekvence f_m záření, při níž se z látky elektrony ještě uvolní. Pokud je frekvence záření menší než tato mezní frekvence ($f < f_m$) fotoelektrický jev nenastane.
- Kinetická energie emitovaných fotoelektronů je přímo úměrná frekvenci záření ($E_k \approx f$), nezávisí však na intenzitě záření.
- Intenzitě dopadajícího záření je naopak úměrný fotoproud, tedy počet emitovaných elektronů.

Vysvětlení vnějšího fotoelektrického jevu pochází z roku 1905 a je od Alberta Einsteina, který za něj v roce 1921 získal Nobelovu cenu. Elektromagnetické záření frekvence f je pohlcováno nespojitě v kvantech, zvaných fotony. Pod pojmem foton si můžeme představit malou nedělitelnou část optického záření. Energie E fotonů je úměrná frekvenci tohoto záření, rovnice $E = h f$. Elektron, který absorbuje foton, dostal název fotoelektron. Fotoelektron absorpcí fotonu získává jeho energii.

Elektrony jsou v látce vázány. Mají-li se vymanit z této vazby a dostat se na povrch látky, musí na to věnovat část své energie. Pro tuto energii se ustálil název výstupní práce a označuje se symbolem W . Pokud je energie fotoelektronu po absorpci fotonu větší než tato výstupní práce, může se nejen dostat z látky ven (tj. zrušit vazby), ale zbylou energii využít ke svému dalšímu pohybu.

Po opuštění povrchu látky zbývá tedy fotoelektronu kinetická energie E_k , rovná rozdílu energie pohlčeného kvanta hf a výstupní práce W . Právě tuto skutečnost popisuje Einsteinova rovnice vysvětlující vnější fotoelektrický jev:

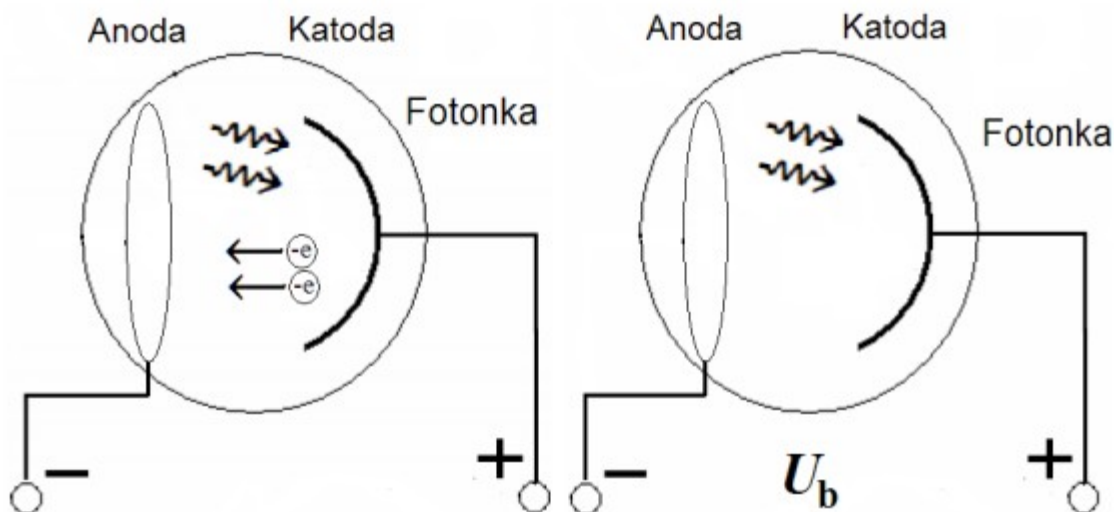
$$E_k = hf - W$$

Výstupní práce W udává práci potřebnou na uvolnění elektronu z látky. Tato práce je tím větší, čím pevněji je elektron ve struktuře látky vázán. Nejnižší hodnotu výstupní práce mají alkalické kovy (např. Li, Na, K). Při použití viditelného světla lze vnější fotoelektrický jev pozorovat jen u těch látek, jejichž výstupní práce je maximálně $3,1 \text{ eV}$. To odpovídá mezní vlnové délce z modrého okraje viditelného světla $\lambda_m = 400 \text{ nm}$.

V kvantové a atomové fyzice je zvykem uvádět energii v jednotkách elektronvolt (eV). Je to energie, kterou získá částice s elementárním nábojem ($e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) při přechodu mezi místy s potenciálovým rozdílem 1 V . Platí tedy

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Přiblížíme-li ve vakuu k osvětlené fotoelektrodě – katodě sběrnou elektrodu – anodu, budou na ni uvolněné fotoelektrony dopadat. Katoda, ze které elektrony odcházejí, se bude stávat kladnou a anoda, na kterou elektrony přicházejí, se bude nabíjet záporně, viz obrázek. Tento proces se však neustále zpomaluje, protože elektrony, které přišly na anodu brání příchodu elektronů dalších (souhlasné náboje se odpuzují). Po velmi krátké době nastane stav dynamické rovnováhy a mezi katodou a anodou se bude udržovat potenciálový rozdíl U_b , který brání příchodu dalších elektronů.



Princip metody měření

Pokračujeme v úvahách o dění ve vakuové fotonce. Elektron, který vylétá z katody má kinetickou energii E_k . Po ustavení rovnováhy je brzdícím napětím U_b zcela zastaven již na povrchu katody. Elektrická energie k tomu potřebná je eU_b . Velikost této elektrické energie musí být proto stejná jako je velikost kinetické energie právě vystupujícího fotoelektronu. Platí tedy

$$eU_b = E_k,$$

a vzhledem k rovnici $E_k = hf - W$ také

$$eU_b = E_k = hf - W,$$

kde e je elementární náboj elektronu. Odtud již snadno dostaneme vztah pro závislost napětí U_b na frekvenci dopadajícího světla

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

kde $\frac{h}{e}$ je směrnice přímky vyjadřující tuto závislost. Pomocí zabulkového procesoru tedy zaneseme body do grafu a proložíme je regresní přímkou. Z této dostaneme směrnici a po vyřešení rovnice $y(x)=0$ i mezní frekvenci f_m . Ze směrnice získáme Planckovu konstantu a pomocí mezní frekvence a Planckovy konstanty vypočítáme práci fotonky.

$$U_b(f_m) = 0$$

$$\frac{dU_b}{df} = \frac{h}{e} \Leftrightarrow h = e \frac{dU_b}{df}$$

Získání hodnot U_b a f pro závislost $U_b(f)$

Z výše uvedeného plyne, že potřebujeme změřit hodnoty napětí U_b při různých frekvencích dopadajícího světla. Stanovení frekvencí světla je snadné. Monochromatické světlo budeme získávat průchodem světla sodíkové výbojky interferenčními filtry. Na každém filtru je uvedena vlnová délka, kterou filtr propouští. Příslušná frekvence vyplyne z jednoduchého

výpočtu $f = \frac{c}{\lambda}$, viz rovnice $\lambda = \frac{c}{f}$.

Víme, že mezi katodou a anodou fotonky se při ozáření ustaví napětí U_b které se rovná kinetické energii právě vystupujícího fotoelektronu. Toto však platí pouze pokud není fotonka zatížena. To znamená, že obvodem, jehož je fotonka součástí, nesmí téci žádný proud. Fotonku si můžeme z elektrického hlediska představit jako velmi měkký zdroj napětí či ekvivalentně zdroj proudu s vysokým vnitřním odporem. Nelze tedy jednoduše připojit mezi katodu a anodu voltmetr. Proud tekoucí vnitřním odporem voltmetru by výsledky znehodnotil.

Postup měření

Na univerzálním měřícím zesilovači jsme nastavili nejnižší hodnotu napěťového zesílení a přepínač režimu zesilovače jsme nechali na hodnotě *electrometer*. Zasunuli jsme mechanickou clonu fotonky (aby na ní nedopadalo žádné světlo) a zapnuli jsme digitální voltmetr s nastaveným počátečním rozsahem 20 V , napájení zesilovače a napájení osvětlovací výbojky.

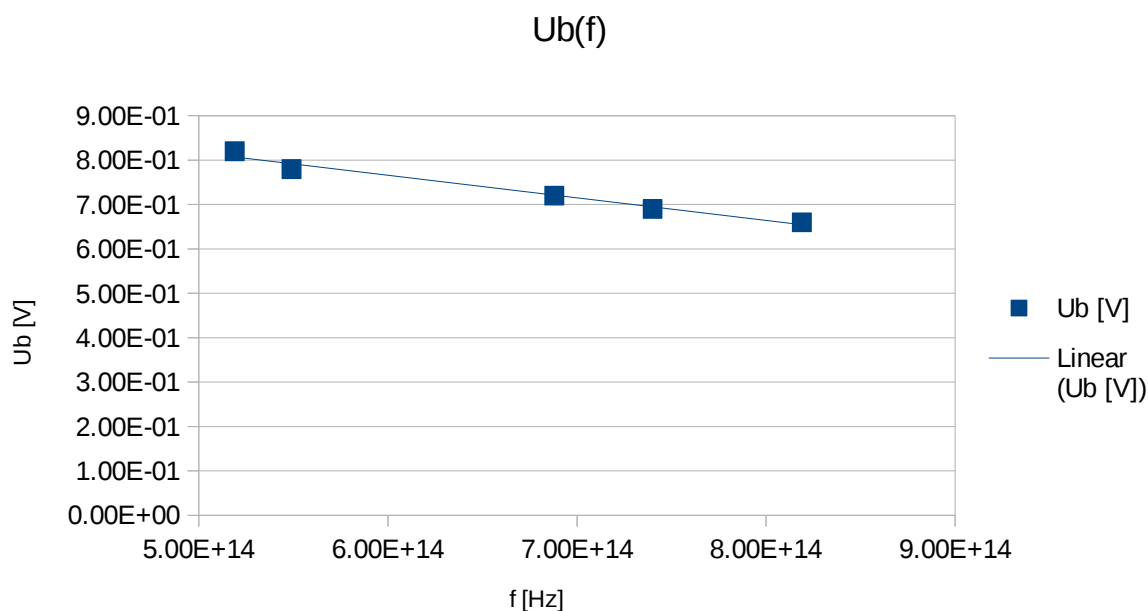
Poté jsme nastavili nulu držením tlačítka k tomu určenému a nastavením potenciometru na co nejmenší hodnotu napětí na výstupu. Toto jsme provedli i pro vyšší hodnoty zesílení. Poté jsme vložili první optický filtr a vysunuli jsme optickou clonu. Nastavili jsme vhodnou

hodnotu zesílení zesilovače, aby napětí na výstupu nebylo vyšší než 10 V . Nameřené hodnoty spolu s hodnotou vlnové délky optického filtru jsme zapsali do tabulky. Poté jsme opět zasunuli optickou clonu a snížili jsme zesílení zesilovače. Tento postup jsme opakovali i pro zbývající filtry.

Naměřené hodnoty

λ [mm]	f [Hz]	U_b [V]
578	5,19E+14	0,82
549	5,49E+14	0,78
436	6,88E+14	0,72
405	7,40E+14	0,69
366	8,19E+14	0,66

Graf napětí na fotonce v závislosti na frekvenci



údaje grafu:

$$U_b(f) = -5,0926928906593\text{E-}16 f + 1,0716455387$$

$$R^2 = 0,9789750178$$

Výpočty

Výpočet f_m :

$$U_b(f_m) = 0$$

Z regresní křivky grafu víme, že

$$U_b(f) = -5,0926 \cdot 10^{16} f + 1,0716 ,$$

takže

$$-5,0926 \cdot 10^{16} f_m + 1,0716 = 0$$

$$5,0926 \cdot 10^{16} f_m = 1,0716$$

$$f_m = \frac{1,0716}{5,0926} \cdot 10^{16}$$

$$f_m = 2,104 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Výpočet h :

$$h = e \frac{dU_b}{df} [J.s] = \frac{dU_b}{df} [e.V]$$

$$h = 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 5,0926 \cdot 10^{-16} = 8,16 \cdot 10^{-35} \text{ Js} = 5,0926 \cdot 10^{-16} \text{ eV}$$

$$h = 8,16 \cdot 10^{-35} \text{ Js}$$

Výpočet W :

$$W = h f_m$$

$$W = 8,16 \cdot 10^{-35} \cdot 2,104 \cdot 10^{15} \text{ J}$$

$$W = 1,717 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Závěr

Tabulková hodnota Planckovy konstanty je $h = 6,6260755 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, ovšem nám vyšel výsledek $h = 8,16 \cdot 10^{-35} \text{ Js}$, tím pádem muselo někde dojít k docela velké chybě při měření. Tato metoda měření sice není příliš přesná a nedá se srovnávat s oficiálním zjišťováním Planckovy konstanty, přesto to neomlouvá tento výsledek. Možné příčiny jsou špatně určená směrnice nebo špatné odčítání napětí, tím pádem i špatná hodnota frekvence.