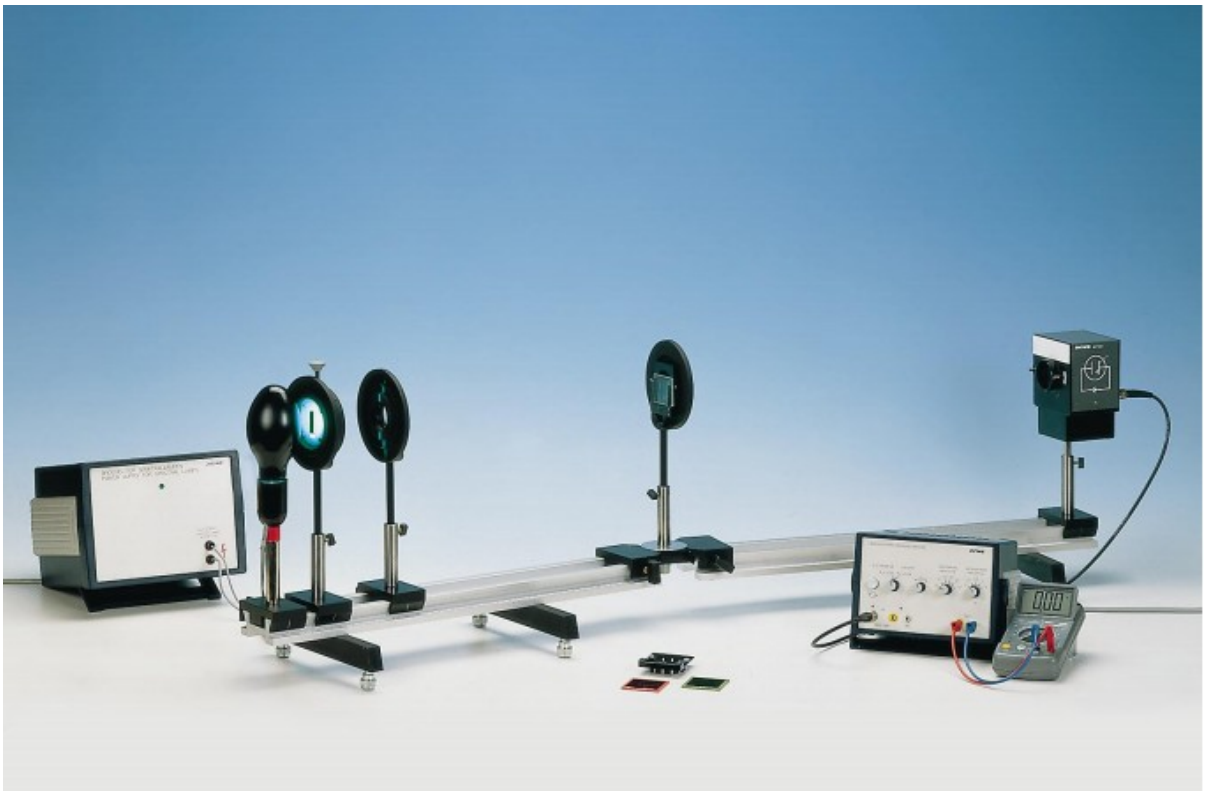
Určení Planckovy konstanty pomocí fotoelektrického jevu

Související témata:
Externí fotoelektrický jev, výstupní práce elektronu z kovu, absorpce, energie fotonu

Princip a úkol:
Fotocitlivý prvek - fotonka je postupně osvětlován monochromatickým světlem různých vlnových délek. U fotonky dochází v důsledku dopadu světelného záření vhodných vlnových délek k podstatným změnám elektrických vlastností. Jde o tzv. fotoelektrický jev, který je založen na tom, že při osvětlení látky dojde k uvolnění nábojů. Planckovu konstantu lze změřit na základě měření hodnot tzv. brzdného napětí a pomocí vztahů pro fotoelektrický jev.

Zařízení
Fotocitlivý prvek - fotonka
Difrakční mřížka 600 čar/mm
Diafragma – kruhová clona (s uzávěrkou) zachycující okrajové paprsky
Barevné interferenční filtry 580 nm, 525 nm
Optická lavice - otočná
Držák clony, nastavitelná štěrbina,
Držák čoček a držák barevných filtrů
Čočky s ohniskovou vzdáleností f +100 mm
Vysokotlaká rtuťová výbojka 80 W
Stíněný BNC kablík
Propojovací vodiče, 250 mm,
Zdroj pro spektrální výbojku
Univerzální zesilovač
Digitální multimetr



Obr. 1 : uspořádání experimentu

Sestavení a postup měření:

Obr. 1 ukazuje experimentální uspořádání experimentu.

1) Umístěte rtuťovou výbojku a fotonku na příslušné konce optické lavice
2) Difrakční mřížku vložte do držáku a upevněte otáčením otočného čepu
3) Umístěte štěrbinu ve vzdálenosti asi 9 cm, čočkou ve vzdálenosti cca 20 cm, zaostřete štěrbinu na fotonku v rovině okénka
4) Vyberte štěrbinu takové šířky, aby obraz štěrbiny byl asi 1 cm (pro snazší nastavení upevněte zde průhlednou lepicí páskou proužek papíru o šířce 3 cm, s jeho pomocí můžete pozorovat i jinak neviditelné UV čáry, které se projeví jako mírná fluorescence papíru)
5) Posouváním nosného ramene fotonky pomocí stavěcího šroubu můžeme nastavit fotonku na jednu vybranou barvu (vlnovou délku) dopadajícího světla. Postupně pokryjte barevnými obrazy štěrbiny vstup clony a po několika sekundách určete odpovídající úroveň napětí. Pro omezení zkreslení měření difrakcí druhého řádu pro žluté a červené spektrální čáry nasaďte na objímku ještě před clonu barevné interferenční filtry (525-nm sklíčko pro žluté spektrální čáry a 580-nm sklíčko pro červené spektrální čáry).
6) Před každým měřením vybijte vstupní kondensátor zesilovače a zkontrolujte jeho nulový bod při uzavřené cloně. Obvykle se k tomu užívá nulovací tlačítko (na měřícím zesilovači zcela vlevo).
7) Přibližně po deseti minutách je měřicí zesilovač připraven k použití.
8) Spektrální výbojku zapojíme na napájecí zdroj, fotoprvek na zesilovač. Nastavení parametrů měření:

   Měřící zesilovač nastavte do režimu - elektroměr: $Re > 10^{13}\ \Omega$

   zesílení = 100

   časová konstanta = 0

   multimetr – voltmetr: 2 V DC

Teorie a rozbor

Při ozáření kovového tělesa světlem dostatečně vysoké frekvence vystupují z jeho povrchu „vyražené“ elektrony (fotoelektrický jev). Počet těchto elektronů je úměrný intenzitě dopadajícího světla, jejich energie (kinetická) však závisí pouze na frekvenci světla. Vysvětlení fotoelektrického jevu podal v r.1905 Einstein a znamenalo začátek vývoje kvantové fyziky. Podle kvantové fyziky si můžeme světlo o frekvenci f představit jako proud mnoha stejných částic (fotonů) s energií o velikosti hf. Fotonku tvoří skleněná vakuovaná baňka, jejíž stěny jsou kromě vstupního okénka postříbřeny. Proti vstupnímu okénku je nanesena citlivá vrstva schopná fotoemise. Tato vrstva je z draslíku naneseného na vhodné kovové podložce a představuje katodu. Kolem je kruhovitě umístěna anoda. Pokud foton vstupujícího světla dopadne na katodu, pak v případě, že přináší dostatek energie, může uvolnit elektron z katody. Některé z uvolněných elektronů mohou dosáhnout anodu. Mezi anodou a katodou se po krátkém (nabíjecím) čase dosáhne mezní napětí. Elektrony se budou pohybovat proti elektrickému poli (napětí U) jen, pokud budou mít dostatečnou kinetickou energii.

Elektron uvolněný fotonem o frekvenci f nabývá podle zákona zachování energie maximální kinetickou energii

$$E_K = h f - A$$

kde h je Planckova konstanta a A výstupní práce daná materiálem kovu. Tato výstupní práce odpovídá mezní energii, jakou dopadající světlo musí mít, aby k uvolnění elektronů v daném materiálu vůbec došlo.

Kinetická energie uvolněných elektronů odpovídá práci vnějšího elektrického pole fotonky, ve kterém se elektrony nacházejí, jsou-li pod napětím tohoto vnějšího pole U

$$eU = h f - A$$

Celkově tedy získáváme vztah mezi napětím U a frekvencí světla f, s přihlédnutím ke vztahu mezi frekvencí a vlnovou délkou světla také vztah mezi napětím a vlnovou délkou světla λ

$$U = \frac{h}{e} - \frac{A}{e} \wedge \quad = \frac{c}{\lambda}$$, kde $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ As.

Fotonka je osvětlována monochromatickým světlem různých vlnových délek, které propouštějí interferenční filtry postupně osazované na světelný vstup.

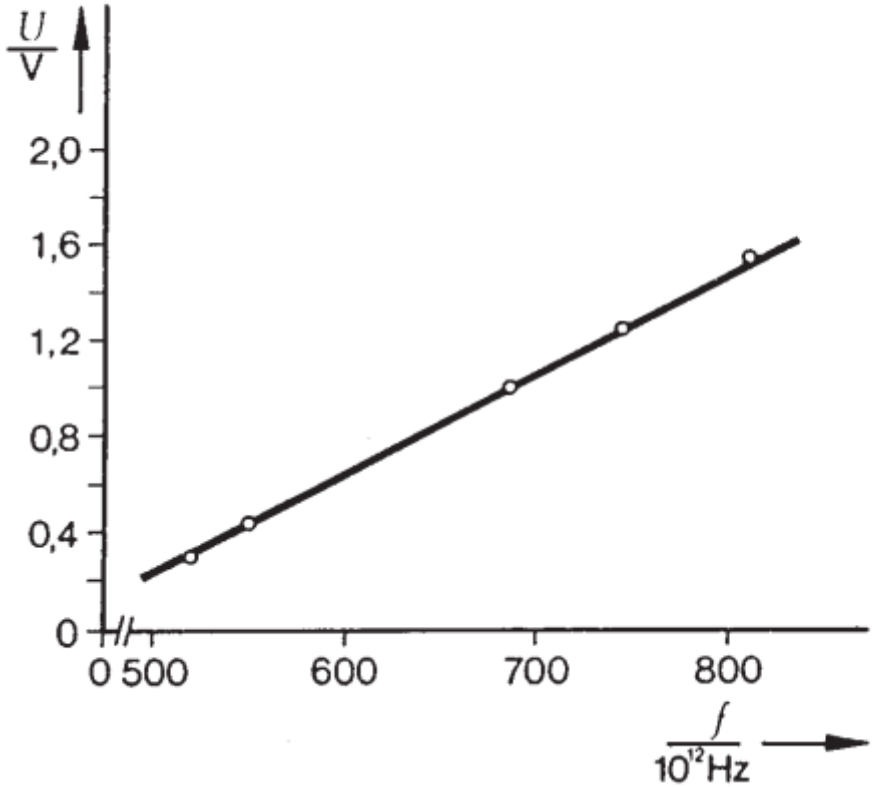
Opakováním měření pro různé frekvence, tj. různé vlnové délky světla získáme lineární funkci *U=U(f),* a ze směrnice této přímky pro vlnové délky

$$tg\alpha = \frac{h c}{e}$$

můžeme výpočtem určit Planckovu konstantu ***h***

$$h = \frac{e\, tg\alpha}{c}$$

Fig. 2: Voltage of the photo-cell as a function of the frequency of the irradiated light.



Poznámka

An additional contact potential ϕ occurs because the surfaces of the anode and cathode are different:

$$eU + \phi = \frac{m}{2} v^2$$

If we assume that A and ϕ are independent of the frequency, then a linear relationship exists between the voltage U (to be measured at high impedance) and the light frequency f:

$$U = -\frac{A + \phi}{e} + \frac{h}{e} f$$

If we assume $U = \alpha + bf$ to the values measured in Fig. 2 we obtain:

$$h = 6.7 \pm 0.3 \cdot 10^{-34}$$

Literature value: $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$ Js.