

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM IV

Úloha č.: 16

Název: Měření rezonančního a ionizačního potenciálu rtuti, Franckův-Hertzův pokus

Vypracoval: Vít MAREK

stud. sk. F/3

dne 7.11.2001

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: .....

Posuzoval: .....dne ..... výsledek klasifikace .....

Připomínky:

### Pracovní úkol:

1. Změřte charakteristiky Franck-Hertzovy trubice při pokojové teplotě a při dvou vyšších teplotách baňky  $t_1$ ,  $t_2$ . Při nejvyšší teplotě a při teplotě pokojové volte pro napětí kolektoru a urychlující elektrodě malou zápornou hodnotu (do  $-1$  V). Při měření při teplotě  $t_1$  volte pro toto napětí maximální zápornou hodnotu (cca  $-35$  V).
2. V průběhu ohřívání či chladnutí trubice sledujte na obrazovce osciloskopu změny, ke kterým dochází a kvalitativně je popište. Pokuste se podat vysvětlení těchto změn.
3. Z naměřených závislostí určete kontaktní rozdíl potenciálů mezi katodou a urychlující elektrodou trubice, rezonanční a ionizační potenciál atomů rtuti a vlnovou délku odpovídající rezonančnímu přechodu. Objasněte proč je vhodné ionizační potenciál určovat při nižší teplotě píčky než potenciál excitační.

### Teorie:

Podle základních představ kvantové teorie mohou atomy existovat pouze v určitých základních stavech. Přechod mezi jednotlivými stavy je doprovázen vyzařováním elektromagnetického záření s frekvencí

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

kde  $h$  je Planckova konstanta,  $c$  rychlost světla ve vakuu a  $\lambda$  vlnová délka světla. Přechod může být způsoben například srážkou atomu s elektronem. Výsledek srážky závisí na energii elektronu (zákon zachování energie a hybnosti):

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = eU \quad (2)$$

kde  $e$  je náboj,  $m$  hmotnost elektronu a  $v$  rychlost elektronu. Podle toho dělíme výsledek srážky:

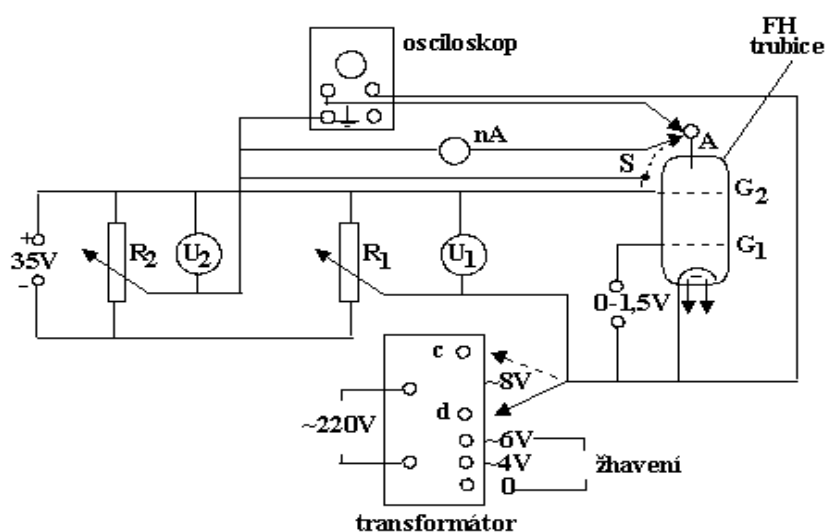
1, kinetická energie elektronu je tak malá, že nestačí ani k převedení atomu do nejnižšího vybuzeného stavu. Jedná se o srážku pružnou.

2, Elektron má již dostatečnou energii aby mohl převést atom do vzbuzeného stavu (nepružná srážka prvního druhu). V krajním případě pak předá atomu veškerou svou kinetickou energii. Potřebné urychlovací napětí  $U_m$  se pak nazývá rezonančním potenciálem. Atom pak při přechodu do základního stavu vyzařuje energii:

$$\lambda = \frac{hc}{eU} \quad (3)$$

3, Elektron má tak vysokou energii, že může atom ionizovat. Potřebné urychlovací napětí  $U_i$  se pak nazývá ionizační potenciál.

K měření rezonančního a ionizačního potenciálu použijeme zapojení podle obrázku 1.



Obr. 1 – Zapojení Franck-Hertzovy trubice

### Výsledky měření:

1, Nejdříve jsem proměřil závislost proudu tekoucího F.-H. trubici na napětí při pokojové teplotě. Zapojení bylo sestaveno podle *obr. 1*. Brzdné napětí jsem nastavil na  $U_2 = 1V$ . Charakteristiku F.-H. trubice jsem proměřil v rozsahu  $0 - 30 nA$ . Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v zápisu z měření. Na základě získaných hodnot jsem sestrojil *graf 1* popisující získanou závislost. Pak jsem zvýšil teplotu asi na  $80^\circ C$  a proměřil charakteristiku znovu. Velikost brzdného napětí však byla nastavena na  $U_2 = 35V$ . Na základě získaných dat (viz. protokol měření) jsem sestrojil *graf 2* popisující naměřenou závislost proudu na napětí. Po zvýšení teploty na  $150 - 200^\circ C$  jsem charakteristiku změřil znovu. Brzdné napětí  $U_2$  jsem opět nastavil na  $1V$ . Získané výsledky jsou vyneseny do *grafu 4*.

2, V průběhu zahřívání Franck – Hertzovy trubice jsem sledoval závislost proudu na napětí. Při zvyšování teploty z pokojové na  $80^\circ C$  se měnila charakteristika z *grafu 1* na charakteristiku v *grafu 2*, ale proud změnil směr (proud byl vůči měření při pokojové teplotě záporný). Při dalším zvyšování teploty (na  $150 - 200^\circ C$ ) se charakteristika změnila na charakteristiku z *grafu 4* (proud opět změnil směr, peaky se postupně zvětšovaly).

Při pokojové teplotě byly hlavními nositeli elektrického náboje elektrony. Při zvyšování teploty rostl tlak par rtuti tím se zvětšila pravděpodobnost srážky elektronu s atomem rtuti. Volná dráha elektronů však byla ještě dostatečně velká, aby při napětí  $U$  získali dostatečnou energii k ionizování atomů rtuti. Při teplotě  $80^\circ C$  pak byly hlavními nositeli náboje ionty rtuti (proud změnil znamení). Při dalším zvyšování teploty se zvyšoval tlak par rtuti a tím se snižovala střední volná dráha elektronů. Ty již nemohli získat dostatečnou energii k ionizaci atomů rtuti. Hlavními nositeli náboje se tak opět staly elektrony (opět změna směru proudu).

3, Z *grafu 3 a 4* jsem v programu Origin odečetl vzdálenost jednotlivých peaků. Za hodnotu rezonančního napětí jsem vzal jejich průměr  $U_m = (5,6 \pm 0,2) V$ . Chybu jsem odhadl s přesností odečítání z grafů a z disperze odečtených hodnot. Hodnotu kontaktního potenciálu jsem pak určil na  $U_k = (1,5 \pm 0,1) V$ . V *grafu 2* jsem pak zvětšil oblast v oblasti  $5 - 15V$  (oblast vzrůstu proudu). Data jsem pak nafitoval polynomem určil jsem hodnotu vzrůstu proudu asi na  $12,2 V$ . Ionizační proud je pak  $U_i = (10,7 \pm 0,2) V$ .

Vlnová délka odpovídající rezonančnímu potenciálu je podle vztahu (3)  $\lambda_R = (220 \pm 10) nm$ .

### Diskuse:

Určené ionizační napětí  $U_i$  je větší než uvádí tabulky ( $10,4 V$ ). Je to hlavně způsobeno nedostatkem měřených bodů z této oblasti závislosti (hodnota byla nakonec určena nafitováním závislosti v této oblasti polynomem). Rezonanční napětí se pak liší oproti tabulkovému ( $4,9 V$ ) podstatně více. Při měření mohlo dojít k chybě také díky poklesu teploty v pícce (napětí na termočlánek kleslo během měření v obou případech asi o  $0,1 mV$ ).

Vysvětlení určování ionizačního potenciálu při teplotě nižší než rezonančního je v podstatě vysvětleno v bodě 2. Při vyšším napětí by se totiž volná dráha elektronů snížila natolik, že by nedosáhli takové energie, aby mohli ionizovat atomy rtuti.

### Závěr:

- 1, Charakteristiky Franck-Hertzovy trubice při pokojové teplotě a při dvou vyšších teplotách baňky  $80^\circ C$ ,  $150^\circ C$  jsou zakresleny v grafech 1-4.
- 2, Vysvětlení pozorovaných jevů je uvedeno v bodě 2.
- 3, Kontaktní potenciál mezi anodou a katodou je  $U_k = (1,5 \pm 0,1) V$ .  
Rezonanční potenciál rtuti je  $U_m = (5,6 \pm 0,2) V$ .  
Ionizační potenciál rtuti je  $U_i = (10,7 \pm 0,2) V$ .  
Vlnová délka odpovídající rezonančnímu potenciálu je  $\lambda_R = (220 \pm 10) nm$ .

### Použitá literatura:

- [1] Studijní text k úloze 16, Praktikum IV: <http://www.mff.cuni.cz/iso/study/xbk/zfp/home.htm>
- [2] Základy fyzikálních měření I, J. Brož a kolektiv, Praha 1967