

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## Praktikum 4

Úloha č. A 16

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

Pracoval: Mária Šoltésová stud.sk.: F-14 dne: 11.10.2006

Odevzdal dne: .....

**Hodnocení:**

Připomínky:

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	
Výsledky měření	0 - 10	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 2	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

## Pracovná úloha:

1. Zmerajte charakteristiky Franckovej-Hertzovej trubice pri izbovej teplote a pri dvoch vyšších teplotách banky  $t_1$  a  $t_2$ . Pri najvyššej teplote a pri izbovej teplote voľte pre napätie kolektoru a urýchľujúcej elektróde malú zápornú hodnotu (do -1 V). Pri meraní pri teplote  $t_1$  voľte pre toto napätie maximálnu zápornú hodnotu (cca -35 V).
2. V priebehu ohrievania či chladnutia trubice sledujte na obrazovke osciloskopu zmeny, ju ktorým dochádza, a kvalitatívne ich popíšte. Pokúste sa podať vysvetlenie týchto zmien.
3. Z nameraných závislostí určte kontaktný rozdiel potenciálov medzi katódou a urýchľujúcou elektródou trubice, rezonančný a ionizačný potenciál atómov ortuti a vlnovú dĺžku zodpovedajúcu rezonančnému prechodu. Objasnite, prečo je vhodné ionizačný potenciál určovať pri nižšej teplote piecky ako potenciál excitačný.

## Teoretická časť:

Elektróny sa v atómoch nachádzajú v určitých stavoch s diskretnými hodnotami energie, tzv. stacionárnych stavoch. Vplyvom vonkajších podnetov môže dôjsť k excitácii elektrónu – preskoku na vyššiu energetickú hladinu, alebo k ionizácii – opusteniu atómu elektrónom. Pri excitácii elektrónu je prechod medzi stavmi sprevádzaný vyžarovaním elektromagnetického žiarenia, ktorého vlnová dĺžka súvisí s rozdielom energií počiatočného a konečného stavu podľa vzťahu

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

Na štúdium týchto procesov slúži Franckova-Hertzova trubica, ktorá je schematicky znázornená v [1] na obr. 1. Pozostáva zo sklenej trubice, v ktorej sú tri elektródy: katóda (K), mriežka (G) a kolektor (A). V trubici sa nachádza kvapka ortuti a trubica je umiestnená v piecke, ktorá umožňuje meniť tlak ortuťových pár v banke. Privádzaním rôznych napätí na mriežku môžeme regulovať energiu prelietavajúcich elektrónov.

Pri určovaní rezonančného potenciálu  $U_r$  je na mriežku privádzané napätie  $U_I$ , ktoré urýchľuje elektróny emitované z katódy. Trubicu je potrebné zahriať na teplotu 150° - 200°C, aby sa zmenšila stredná voľná dráha elektrónov a každý elektrón sa zrazil s niekoľkými atómami ortuti pred dopadom na kolektor. Charakteristika nameraná za týchto podmienok ma typický tvar znázornený v [1] na obr. 2. Poklesy prúdu nastanú, ak urýchľujúce napätie  $U_I$  dosiahne hodnotu rezonančného potenciálu. V tom prípade totiž prevládajú nepružné zrážky medzi elektrónmi a atómami ortuti. Z jednotlivých poklesov prúdu teda môžeme určiť hodnotu prvého rezonančného potenciálu  $U_r$ .

K poľu medzi katódou a mriežkou prispieva tiež kontaktný rozdiel potenciálov  $U_k$ , ktorý je daný rozdielom výstupných prác mriežky a anódy. Hodnota  $U_k$  je daná ako rozdiel vzdialeností prvého poklesu prúdu od počiatku a prvého a druhého poklesu prúdu.

Pre meranie ionizačného potenciálu  $U_i$  volíme napätie na kolektore nižšie než napätie na katóde, a teda sa na kolektor môžu dostať len kladné ióny. Vďaka mriežke, na ktorú je privedený vysoký kladný potenciál, začne prúd narastať až pri urýchľujúcom napätí vyššom ako ionizačný potenciál.

## Výsledky meraní:

Pri meraní voltampérových charakteristík Franckovej-Hertzovej trubice bol na meranie napätia použitý digitálny multimeter s presnosťou  $0,5\% \pm 3$  dgt pri rozsahu 200 V. Na meranie prúdu sme používali mikrovoltmeter s vysokým odporom. Merali sme na rozsahu 3 mV pri odpore  $10^6 \Omega$ . Uvádzaná presnosť podľa [1] je 3% z rozsahu mikrovoltmetra a 1% z odporu.

Najprv sme zmerali charakteristiku Franckovej-Hertzovej trubice pri najvyššej teplote  $T \approx 150^\circ - 200^\circ\text{C}$ , ktorej zodpovedalo napätie na termočlánku 9 mV. Napätie medzi kolektorom a mriežkou bolo  $U_2 \approx -1$  V. Merali sme závislosť prúdu tečúceho kolektorom  $I_a$  na napätí medzi mriežkou a katódou  $U_1$ .

Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 1, charakteristika je zakreslená v grafe 1. Z grafu 1 sme odčítali hodnoty napätia, pri ktorých majú elektróny energiu rovnú celočíselnému násobku excitačnej energie. Tieto miesta sa vyznačujú prudkým poklesom prúdu  $I_a$ , v grafe 1 sú vyznačené zvislými čiarami. Pre jednoduchšie odčítanie týchto hodnôt sme charakteristiku vyhladili pomocou programu origin. Odčítané hodnoty sú uvedené v tabuľke 2. Lineárnou regresiou sme z hodnôt v tabuľke 2 určili rezonančný potenciál  $U_r$  (smernica) a kontaktný rozdiel potenciálov medzi katódou a urýchľujúcou elektródou  $U_k$  (absolútny člen) ako

$$U_r = (5,3 \pm 0,1) \text{ V}$$

$$U_k = (1,4 \pm 0,2) \text{ V.}$$

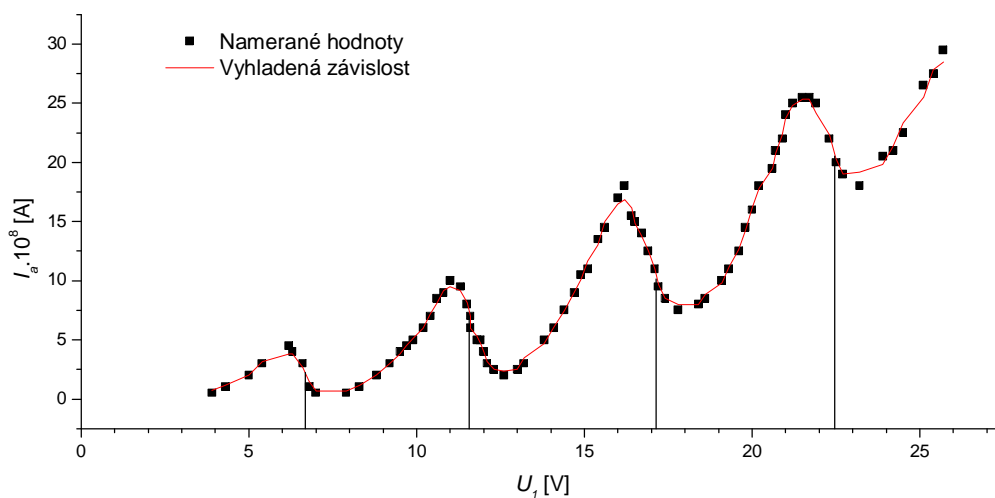
Odhýlky sú určené ako chyby lineárnej regresie, nepresnosť daná meracími prístrojmi je oproti nim zanedbateľná.

Rezonančnému prechodu zodpovedá rozdiel energií  $eU_r$ , podľa vzťahu (1) je teda vlnová dĺžka zodpovedajúca rezonančnému prechodu

$$l = (234 \pm 4) \text{ nm,}$$

chyba je určená prenesením chyby  $U_r$ .

Graf 1: VA charakteristika – určenie rezonančného potenciálu



Tabuľka 1: VA charakteristika – určenie rezonančného potenciálu

$U_i$ [V]	$I_a \cdot 10^8$ [A]	$U_i$ [V]	$I_a \cdot 10^8$ [A]	$U_i$ [V]	$I_a \cdot 10^8$ [A]	$U_i$ [V]	$I_a \cdot 10^8$ [A]
3,9	0,5	11,0	10,0	15,6	14,5	20,7	21,0
4,3	1,0	11,3	9,5	16,0	17,0	20,9	22,0
5,0	2,0	11,5	8,0	16,2	18,0	21,0	24,0
5,4	3,0	11,6	7,0	16,4	15,5	21,2	25,0
6,2	4,5	11,6	6,0	16,5	15,0	21,5	25,5
6,3	4,0	11,8	5,0	16,7	14,0	21,7	25,5
6,6	3,0	11,9	5,0	16,9	12,5	21,9	25,0
6,8	1,0	12,0	4,0	17,1	11,0	22,3	22,0
7,0	0,5	12,1	3,0	17,2	9,5	22,5	20,0
7,9	0,5	12,3	2,5	17,4	8,5	22,7	19,0
8,3	1,0	12,6	2,0	17,8	7,5	23,2	18,0
8,8	2,0	13,0	2,5	18,4	8,0	23,9	20,5
9,2	3,0	13,2	3,0	18,6	8,5	24,2	21,0
9,5	4,0	13,8	5,0	19,1	10,0	24,5	22,5
9,7	4,5	14,1	6,0	19,3	11,0	25,1	26,5
9,9	5,0	14,4	7,5	19,6	12,5	25,4	27,5
10,2	6,0	14,7	9,0	19,8	14,5	25,7	29,5
10,4	7,0	14,9	10,5	20,0	16,0		
10,6	8,5	15,1	11,0	20,2	18,0		
10,8	9,0	15,4	13,5	20,6	19,5		

Tabuľka 2: Určenie rezonančného potenciálu

$n$	$U$ [V]
1	6,8
2	11,7
3	17,1
4	22,5

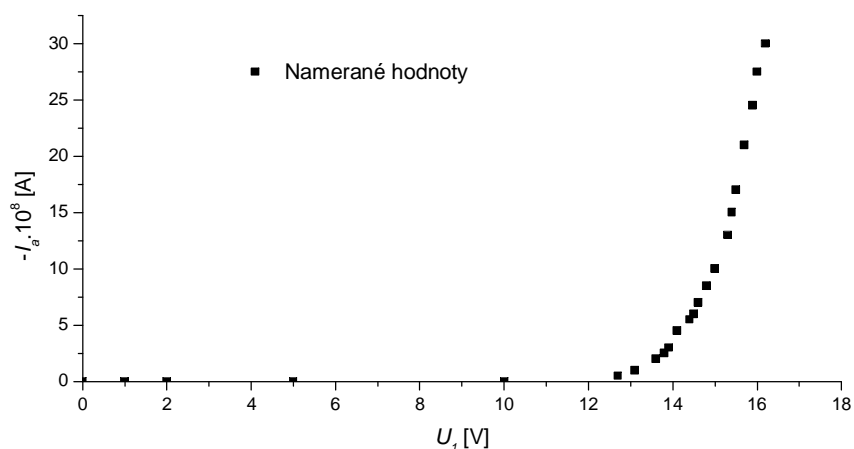
Ďalej sme zmerali charakteristiku pri teplote  $T \approx 80^\circ\text{C}$ , ktorej zodpovedalo napätie na termočlánku 4,5 mV. Napätie medzi kolektorom a mriežkou sme nastavili na hodnotu  $U_2 = -35$  V. Smer pretekajúceho prúdu bol tento krát opačný, pretože sme merali tok kladných iónov.

Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 3, charakteristika je vynesená v grafe 2. Táto charakteristika umožňuje stanoviť ionizačný potenciál  $U_i$ , ktorý určíme ako hodnotu napätia, pri ktorej začína narastať prúd, zmenšenú o kontaktný rozdiel potenciálov  $U_k$  ako

$$U_i = (11,3 \pm 1,0) \text{ V.}$$

Chyba je odhadnutá z grafu 2 vzhľadom k tomu, že nárast prúdu nie je ostrý.

Graf 2: VA charakteristika – určenie ionizačného potenciálu



Tabuľka 3: VA charakteristika – určenie ionizačného potenciálu

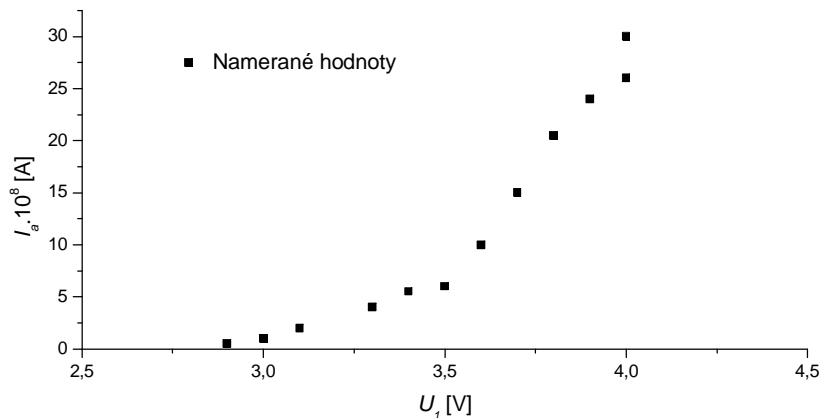
$U_1$ [V]	$I_a \cdot 10^8$ [A]	$U_1$ [V]	$I_a \cdot 10^8$ [A]
0,0	0,0	14,5	6,0
1,0	0,0	14,6	7,0
2,0	0,0	14,8	8,5
5,0	0,0	15,0	10,0
10,0	0,0	15,3	13,0
12,7	0,5	15,4	15,0
13,1	1,0	15,5	17,0
13,6	2,0	15,7	21,0
13,8	2,5	15,9	24,5
13,9	3,0	16,0	27,5
14,1	4,5	16,2	30,0
14,4	5,5		

Nakoniec sme zmerali voltampérovú charakteristiku Franckovej-Hertzovej trubice pri izbovej teplote. Brzdné napätie medzi mriežkou a kolektorom bolo nastavené na hodnotu  $U_2 \approx -1$  V. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 4, voltampérová charakteristika je vynesená v grafe 3.

Tabuľka 4: VA charakteristika pri izbovej teplote

$U_1$ [V]	$I_a \cdot 10^8$ [A]	$U_1$ [V]	$I_a \cdot 10^8$ [A]
0,0	0,0	3,6	10,0
2,9	0,5	3,7	15,0
3,0	1,0	3,8	20,5
3,1	2,0	3,9	24,0
3,3	4,0	3,9	26,0
3,4	5,5	4,0	30,0
3,5	6,0		

Graf 3: VA charakteristika pri izbovej teplote



V priebehu chladnutia trubice z teploty  $t_1$  na izbovú teplotu sme na osciloskope pozorovali zmeny charakteristiky pri brzdnom napätí  $U_2 \approx 1$  V. Pôvodná charakteristika s prudkým nárastom prúdu (viď graf 2) postupne menila svoj tvar na mierne zvlnenú s pomalým nárastom prúdu (viď graf 3).

Pri meraní ionizačného potenciálu je vhodné merať pri teplote vyššej ako izbová, aby sa zvýšil tlak ortuťových pár v trubici a tým sa zvýšil prúd iónov, ktorý je takto lepšie merateľný. Teplota však nemôže byť príliš vysoká, pretože by zrážky s elektrónmi boli príliš časté a len málo elektrónov by sa urýchlilo na energiu dostatočnú na ionizovanie atómov ortuti.

Pre určenie ionizačného potenciálu je naopak výhodné, aby dochádzalo k veľkému počtu excitácií, a teda krátka stredná voľná dráha elektrónu. Toto sa dá dosiahnuť pri vyššej teplote, pri ktorej je tlak ortuťových pár dostatočne veľký, a teda elektrón s väčšou pravdepodobnosťou narazí na atóm ortuti.

### Diskusia:

Chyby meracích prístrojov pri meraní prúdu a napätia sú rádovo 1%. Môžeme ich teda zanedbať vzhľadom ku chybám spôsobeným odčítaním hodnôt z grafov, preto ich ani explicitne neuvádzame. Chyby určenia rezonančného potenciálu  $U_r$  (2%) a kontaktného rozdielu potenciálov  $U_k$  (14%) sú určené z lineárnej regresie, pričom ich hodnota vystihuje skutočnosť, že určenie najväčšieho poklesu vo voltampérovej charakteristike (graf 1) je dosť nepresné. Na určenie ionizačného potenciálu potrebujeme určiť, pri akej hodnote napätia začne stúpať prúd. Nárast prúdu však nie je ostrý, čo sa prejaví na chybe určenia ionizačného potenciálu (9%).

Tvar nameraných voltampérových charakteristík zodpovedá teoretickým predpokladom, viditeľný je prudký nárast prúdu pri teplote  $t_1$  (graf 2), aj pokles a nárast prúdu v dôsledku excitácií pri teplote  $t_2$  (graf 1).

Tabuľková hodnota ionizačnej energie [2] ortuti je udávaná ako 10,4 eV, čo v rámci relatívne veľkej chyby zodpovedá určenému ionizačnému potenciálu. Vlnová dĺžka zodpovedajúca prechodu z prvého excitovaného stavu do základného stavu je udávaná v [2] ako 254 nm, čo sa nezhoduje s určenou vlnovou dĺžkou, nemožno preto vylúčiť, že bol pozorovaný aj prechod medzi inými stavmi.

## Záver:

Zmerali sme charakteristiky Franckovej-Hertzovej trubice pri troch rôznych teplotách. Z charakteristiky zmeranej pri najvyššej teplote (graf 1) sme určili rezonančný potenciál atómov ortuti ako

$$U_r = (5,3 \pm 0,1) \text{ V}$$

a kontaktný rozdiel potenciálov medzi katódou a urýchľujúcou elektródou ako

$$U_k = (1,4 \pm 0,2) \text{ V.}$$

Vlnovú dĺžku zodpovedajúcu rezonančnému prechodu sme určili ako

$$\lambda = (234 \pm 4) \text{ nm.}$$

Z charakteristiky nameranej pri nižšej teplote (graf 2) sme určili ionizačný potenciál atómov ortuti ako

$$U_i = (11,3 \pm 1,0) \text{ V.}$$

Zmerali sme charakteristiku Frankovej-Hertzovej trubice pri izbovej teplote (graf 3).

## Literatúra:

- [1] Študijný text k úlohe A 16, <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp>
- [2] J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch: Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha 1980