

**Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK**

**PRAKTIKUM III**

Úloha č.: 16

Název: Meranie rezonančného a ionizačného potenciálu ortuti. Franck-Herzov pokus

Vypracoval: Viktor Babjak.....stud. sk.F3 ..... dne: 6. 11. 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:.....

## Pracovné úlohy:

1. Zmerajte charakteristiky Franck-Hertzovej trubice pri izbovej teplote a pri dvoch vyšších teplotách banky  $t_1$ ,  $t_2$ . Pri najvyššej teplote a pri izbovej teplote voľte pre napätie kolektoru a urýchľujúcej elektródy malé záporne napätie (do -1 V). Pri meraní pri teplote  $t_1$  voľte pre toto napätie maximálnu zápornú hodnotu (cca -35).
2. V priebehu ohrievania či chladnutia trubice sledujte na obrazovke osciloskopu zmeny, ku ktorým dochádza a kvalitatívne ich popíšte. Pokúste sa podať vysvetlenie týchto zmien.
3. Z nameraných závislostí určite 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:

### Franck-Hertzov pokus

Cieľom tejto úlohy je sledovať procesy, ku ktorým dochádza pri zrážkach elektrónov s atómami [1]. Elektróny môžu v atómoch existovať len v určitých stavoch – energetických hladinách. Týmto stavom zodpovedajú diskkrétne hodnoty väzbovej energie elektrónu s jadrom (energetické hladiny sú charakteristické pre daný druh atómov). Prechody medzi jednotlivými stavmi sú spojené s absorpciou (prechod na vyššiu hladinu) resp. s vyžiarovaním (prechod na nižšiu hladinu) elektromagnetického žiarenia s frekvenciou  $\nu$ , vlnovou dĺžkou  $\lambda$

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

Za istých podmienok môže elektrón atóm úplne opustiť, vtedy hovoríme o ionizácii.

Tieto prechody môže spôsobovať napríklad zrážka elektrónu s atómom. V závislosti na kinetickej energii elektrónu  $E_k$  môžu nastať tri prípady:

- pružná zrážka – nastáva, keď kinetická energia  $E_k$  elektrónu nepostačuje ani na to, aby sa atóm dostal do vzбудeného stavu s najnižšou energiou (atóm zostáva v základnom stave, elektrón nestráca energiu)
- nepružná zrážka – nastáva, keď má elektrón dostatočnú energiu na to, aby previedol atóm do niektorého vzbudeného stavu. V krajnom prípade môže elektrón všetku svoju energiu odovzdať atómu. Napätie, ktoré je potrebné na to, aby nastal tento prípad, sa nazýva rezonančný potenciál. Každému z rezonančných potenciálov zodpovedá v spektre skúmaného prvku spektrálna čiara s vlnovou dĺžkou  $\lambda_r$ , pre ktorú platí

$$I_r = \frac{hc}{eU_r} \quad (2)$$

- kde  $h$  označuje Planckovu konštantu,  $c$  rýchlosť svetla vo vákuu,  $e$  náboj elektrónu a  $U_r$  rezonančný potenciál.
- pri ďalšom zvýšení urýchľujúceho napätia môže elektrón pri zrážke atóm ionizovať. Minimálna hodnota urýchľujúceho napätia, ktorá je potrebná na ionizáciu, sa nazýva ionizačný potenciál  $U_i$ . Pre zodpovedajúcu vlnovú dĺžku platí

$$I_i = \frac{hc}{eU_i} \quad (3)$$

Franck-Hertzova trubica je v podstate trióda naplnená parami ortuti, ktorých koncentrácia sa dá meniť zmenou teploty. Podrobnejší popis Franck-Hertzovej trubice je uvedený v [1].

## Výsledky meraní:

Premeral som charakteristiku Franck-Hertzovej trubice pre tri rôzne teploty: pri izbovej teplote, pri teplote približne 80 °C a približne 150 – 200 °C.

Urýchľovacie napätie  $U$  som meral pomocou voltmetra na rozsahu 200 V. Pre chybu určenia napätia  $U$  platí

$$s_U = 0,002 \cdot U + 2 \text{ digit} . \quad (4)$$

Prúd trubicou som určoval pomocou mikrovoltmetra na rozsahoch 3, 10, 30 mV. Pre tento prístroj sa uvádza presnosť 3% z maximálnej výchylky na rozsahoch 1 mV a 3 mV, 2% na rozsahu 10 mV a vyšších. Prúd trubicou som určil podľa

$$I = \frac{U}{R} . \quad (5)$$

Vstupný odpor bol nastavený ako  $R = 10^6 \Omega$ . Presnosť nastavenia tohto odporu je 1%.

*Voltampérová charakteristika pri izbovej teplote (približne 24 °C)*

Podľa teoretických predpokladov by sa táto závislosť mala tvarovo zhodovať s charakteristikou obvyčajnej vákuovej diódy. Počas merania bolo nastavené brzdné napätie  $-1V$ . Namerané hodnoty sú uvedené v *tabuľke 1* a sú zobrazené v *grafe 1*.

*Tabuľka 1 – Izbová teplota*

$U [V]$	$\sigma_U [V]$	$I [nA]$	$\sigma_I [nA]$
0,0	0,2	0,00	0,09
3,7	0,2	0,00	0,09
3,8	0,2	0,06	0,09
3,9	0,2	0,18	0,09
4,0	0,2	0,30	0,09
4,1	0,2	0,42	0,09
4,2	0,2	0,60	0,09
4,4	0,2	0,90	0,09
4,5	0,2	1,20	0,09
4,6	0,2	1,56	0,09
4,7	0,2	1,98	0,09
5,0	0,2	2,76	0,09
5,2	0,2	3,80	0,30
5,6	0,2	5,20	0,30
6,1	0,2	7,20	0,30
6,4	0,2	8,60	0,30
6,7	0,2	9,80	0,30
7,1	0,2	11,00	0,90
7,7	0,2	13,50	0,90
8,1	0,2	15,00	0,90
8,4	0,2	16,50	0,90
8,8	0,2	18,50	0,90
9,1	0,2	20,00	0,90
9,8	0,2	22,00	0,90
10,5	0,2	24,00	0,90
11,5	0,2	26,50	0,90
12,4	0,2	29,00	0,90

*Voltampérová charakteristika pri teplote približne 80 °C*

Teplote trubice približne 80 °C zodpovedá napätie termočlánku  $U_{term} \approx 4,5mV$ . Počas merania bolo nastavené brzdné napätie  $-35V$ . Namerané hodnoty sú uvedené v *tabuľke 2* a sú zobrazené v *grafe 2*.

Tabuľka 2 – Teplota približne 80 °C

$U [V]$	$\sigma_U [V]$	$-I [nA]$	$\sigma_I [nA]$
0,0	0,2	0,00	0,09
13,0	0,2	0,00	0,09
13,1	0,2	0,06	0,09
13,7	0,2	0,12	0,09
14,0	0,2	0,18	0,09
14,2	0,2	0,24	0,09
14,4	0,2	0,30	0,09
14,7	0,2	0,42	0,09
15,1	0,2	0,72	0,09
15,4	0,2	0,96	0,09
15,6	0,2	1,20	0,09
15,8	0,2	1,44	0,09
16,0	0,2	1,74	0,09
16,3	0,2	2,16	0,09
16,4	0,2	2,46	0,09
16,7	0,2	2,94	0,09
16,9	0,2	3,80	0,30
17,1	0,2	4,40	0,30
17,4	0,2	5,50	0,30
17,8	0,2	6,20	0,30
18,2	0,2	7,20	0,30
18,5	0,2	8,60	0,30
18,8	0,2	9,40	0,30
19,0	0,2	11,00	0,90
19,3	0,2	13,00	0,90
19,5	0,2	15,00	0,90
19,6	0,2	17,00	0,90

Voltampérová charakteristika pri teplote približne 150 °C

Teplote trubice približne 150 °C zodpovedá napätie termočlánku  $U_{term} \approx 9,3mV$ . Počas merania bolo nastavené brzdné napätie  $-1V$ . Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 3 a sú zobrazené v grafe 3.

Tabuľka 3 – Teplota približne 150 °C

$U [V]$	$\sigma_U [V]$	$I [nA]$	$\sigma_I [nA]$
0,0	0,2	0,00	0,09
3,4	0,2	0,00	0,09
3,5	0,2	0,06	0,09
4,9	0,2	0,30	0,09
5,6	0,2	0,48	0,09
6,1	0,2	0,66	0,09
6,6	0,2	0,72	0,09
6,7	0,2	0,66	0,09
6,8	0,2	0,48	0,09
6,9	0,2	0,36	0,09
7,0	0,2	0,18	0,09
7,2	0,2	0,06	0,09
7,7	0,2	0,12	0,09
8,9	0,2	0,24	0,09
9,5	0,2	0,42	0,09

10,0	0,2	0,60	0,09
10,5	0,2	0,78	0,09
11,0	0,2	1,02	0,09
11,4	0,2	1,20	0,09
11,5	0,2	1,14	0,09
11,7	0,2	1,02	0,09
11,8	0,2	0,84	0,09
12,0	0,2	0,66	0,09
12,2	0,2	0,42	0,09
12,3	0,2	0,30	0,09
12,8	0,2	0,18	0,09
13,6	0,2	0,30	0,09
14,0	0,2	0,42	0,09
14,5	0,2	0,60	0,09
15,0	0,2	0,84	0,09
15,7	0,2	1,20	0,09
16,1	0,2	1,50	0,09
16,3	0,2	1,56	0,09
16,7	0,2	1,50	0,09
16,8	0,2	1,38	0,09
16,9	0,2	1,26	0,09
17,0	0,2	1,14	0,09
17,2	0,2	0,96	0,09
17,4	0,2	0,78	0,09
17,6	0,2	0,60	0,09
18,1	0,2	0,48	0,09
19,0	0,2	0,48	0,09
19,7	0,2	0,78	0,09
20,3	0,2	1,08	0,09
20,6	0,2	1,20	0,09
20,9	0,2	1,32	0,09
21,4	0,2	1,56	0,09
21,6	0,2	1,50	0,09
21,9	0,2	1,38	0,09
22,3	0,2	1,02	0,09
22,5	0,2	0,90	0,09
22,8	0,2	0,72	0,09
23,6	0,2	0,63	0,09
24,7	0,2	0,90	0,09
25,4	0,3	1,32	0,09
25,9	0,3	1,62	0,09
26,3	0,3	1,80	0,09
26,4	0,3	1,83	0,09
26,6	0,3	1,86	0,09

#### *Určenie rezonančného a ionizačného potenciálu*

Pri meraní rezonančného potenciálu elektróny vylietavajúce z katódy prekonajú niekoľko zrážok s atómami ortuti. Stredná dráha medzi zrážkami sa dá regulovať zmenou koncentrácie pár ortuti. Pri meraní ionizačného potenciálu je brzdné napätie vyššie ako urýchľujúce napätie, takže elektróny nedopadnú na anódu, a tak meriame prúd ionizovaných atómov. Ionizačný potenciál sa meria pri nižšej teplote preto, aby elektróny boli viac urýchlené, t.j. aby mali väčšiu strednú voľnú dráhu.

Z *grafu 3* som určil hodnoty kontaktného rozdielu potenciálov a rezonančného potenciálu. Určil som body, v ktorých krivka klesá a zároveň ma v nich inflexné body (hľadané body sú v *grafe 3* vyznačené vertikálnymi čiarami). Tieto body sú zobrazené v *grafe 4* tak, že na x-ovej osi je poradie bodov  $n$  a na y-ovej osi je príslušná hodnota napätia  $U$ . Týmito bodmi som pomocou programu *Origin* preložil priamku

$$U = (1,75 \pm 0,04) + (5,14 \pm 0,01)n .$$

Z koeficientov tejto priamky som určil hodnoty hľadaných potenciálov. Uvedené chyby koeficientov sú chybami lineárnej regresie podľa programu *Origin*. Skutočné chyby sú vyššie, pretože musíme brať do úvahy nepresné odčítanie hodnôt z *grafu 3* a takisto chyby merania. Výslednú chybu určenia jednotlivých potenciálov odhadujem na 0,2 V.

- kontaktný rozdiel potenciálov:  $U_k = (1,75 \pm 0,20) V$
- rezonančný potenciál:  $U_r = (5,14 \pm 0,20) V$

Hodnote  $U_r$  zodpovedá vlnová dĺžka  $\lambda_r$ , ktorú môžeme určiť podľa vzťahu (2)

$$I_r = (241 \pm 9) nm .$$

Pri výpočte používam nasledujúce hodnoty:

- $h = 6,0260755 \cdot 10^{-34} Js$
- $e = 1,60217733 \cdot 10^{-19} C$
- $c = 299792958 ms^{-1}$

Hodnotu ionizačného potenciálu  $U_i$  som určil z *grafu 2* z napätia, pri ktorom prúd začína výrazne rásť. Hľadaný bod je v *grafe 2* vyznačený vertikálnou čiarou. Od hodnoty odčítanej z *grafu 2* som odčítal hodnotu kontaktného rozdielu potenciálov  $U_k$ , a tak som dostal hodnotu ionizačného potenciálu  $U_i$

$$U_i = (13,3 \pm 1,0) V .$$

## Diskusia:

Charakteristika Franck-Hertzovej trubice pri izbovej teplote má tvar podobný charakteristike vákuovej diódy. Namerané charakteristiky pri vyšších teplotách zodpovedajú závislostiam, ktoré sú uvedené a popisované v študijnom texte ku úlohe, viď [1].

Chyby merania boli spôsobené chybou meracích prístrojov, nepresným odčítaním hodnôt z grafov. Namerané hodnoty mohlo ovplyvniť aj okolie, napr. aj slabé pohnutie vodičom vedúcim k trubici dost' výrazne ovplyvnilo nameranú hodnotu prúdu  $I$ .

Pri postupnom zahrievaní Franck-Hertzovej trubice som pozoroval zmeny voltampérovej charakteristiky na obrazovke osciloskopu. Tieto zmeny sú spôsobené zmenou tlaku ortuťových pár v trubici. Pri zahrievaní trubice dochádza ku zvyšovaniu koncentrácie pár ortuti v trubici, čím sa zvyšuje pravdepodobnosť zrážky elektrónu s atómom ortuti. Postupne vzniká viac iónov, ktoré môžu viesť elektrický prúd, čo sa prejaví na zmene tvaru charakteristiky.

Výsledná závislosť je zobrazená v *grafe 3* – v tejto závislosti sú minimá a maximá.

Ionizačný potenciál som určoval pri nižšej teplote ako potenciál rezonančný. Je to vhodné preto, že na meranie potrebujeme dostatočne urýchlené elektróny (aby mohli ionizovať atómy)Z. Pri nižšej teplote je nižšia koncentrácia pár ortuti v trubici a elektróny majú väčšiu strednú voľnú dráhu.

Určenie ionizačného potenciálu z *grafu 2* je zaťažené veľkou chybou, pretože nárast prúdu vo V-A charakteristike nie je dostatočne strmý, a preto nebolo možné potenciál určiť s lepšou presnosťou.

Na určenie rezonančného potenciálu bola vhodná vyššia teplota, ktorá zaistila krátku strednú voľnú dráhu elektrónu a tým pádom vysokú pravdepodobnosť, že elektrón excituje niektorý atóm ortuti hneď potom, keď dosiahne potrebnú energiu.

**Záver:**

Premeral som charakteristiku Franck-Hertzovej trubice pre tri rôzne teploty: pri izbovej teplote, pri teplote približne 80 °C a približne 150 – 200 °C.

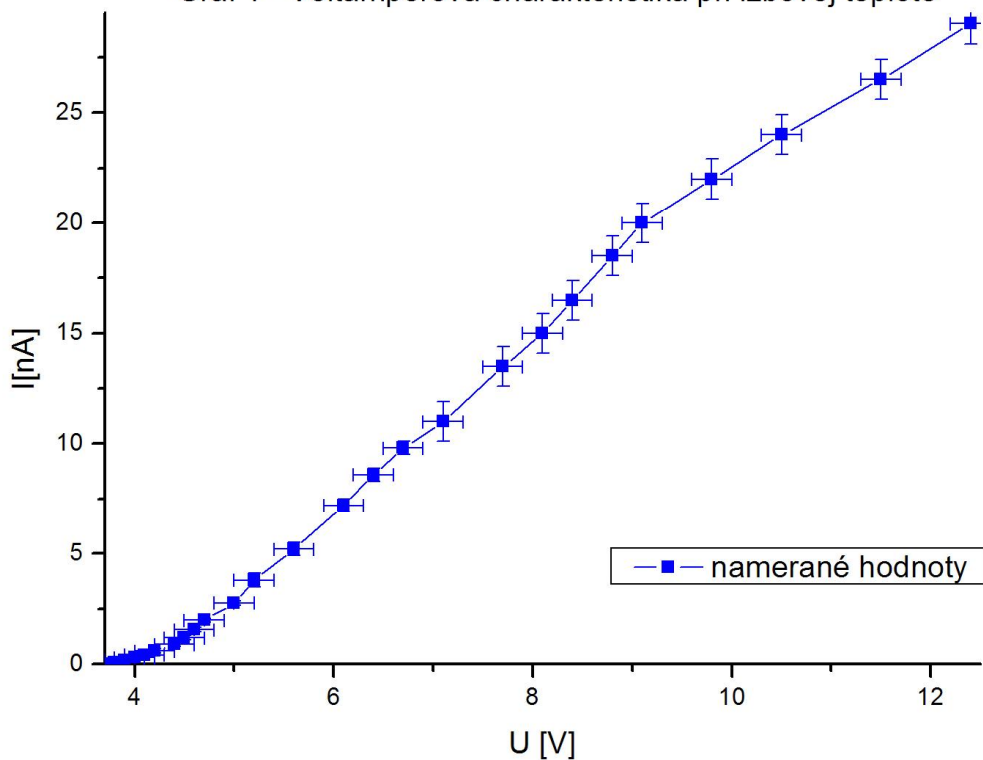
Pri ohrievaní trubice som pozoroval zmeny charakteristiky v dôsledku zmeny koncentrácie pár ortuti v trubici.

Z nameraných charakteristík pre vyššie teploty som určil kontaktný rozdiel potenciálov medzi katódou a urýchľujúcou elektródou trubice  $U_k = (1,75 \pm 0,20)V$ , rezonančný potenciál  $U_r = (5,14 \pm 0,20)V$  a jemu zodpovedajúcu vlnovú dĺžku  $\lambda_r = (241 \pm 9)nm$  a ionizačný potenciál  $U_i = (13,3 \pm 1,0)V$ .

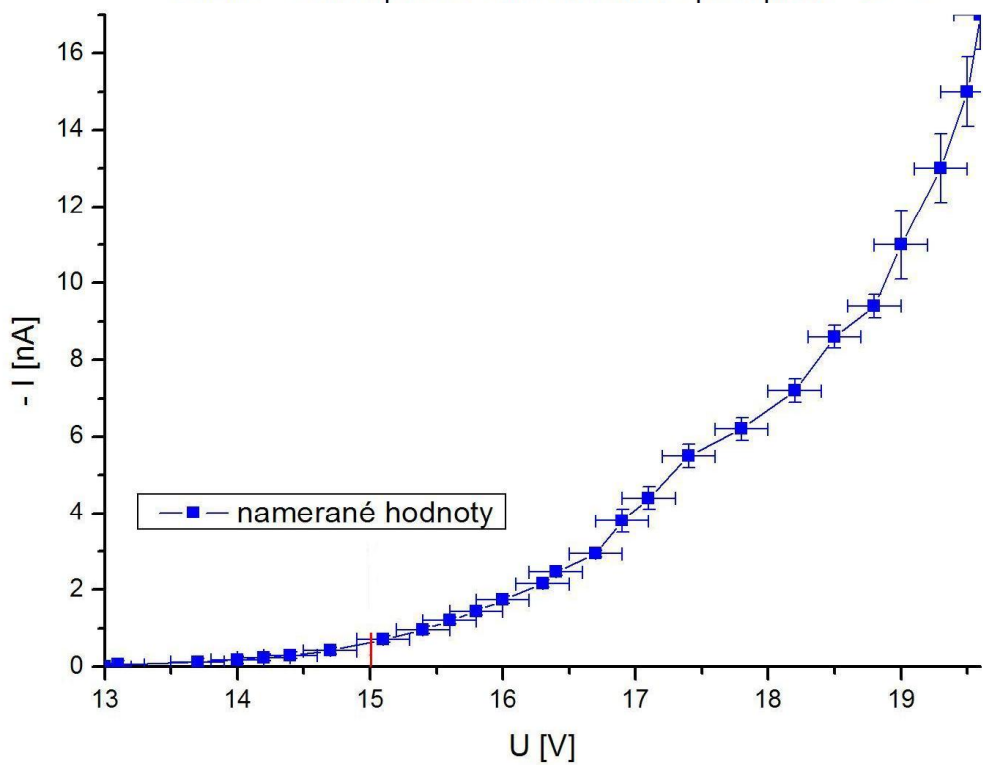
**Literatúra:**

[1] študijný text na stránkach fyzikálneho praktika: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>

Graf 1 - Voltampérová charakteristika pri izbovej teplote

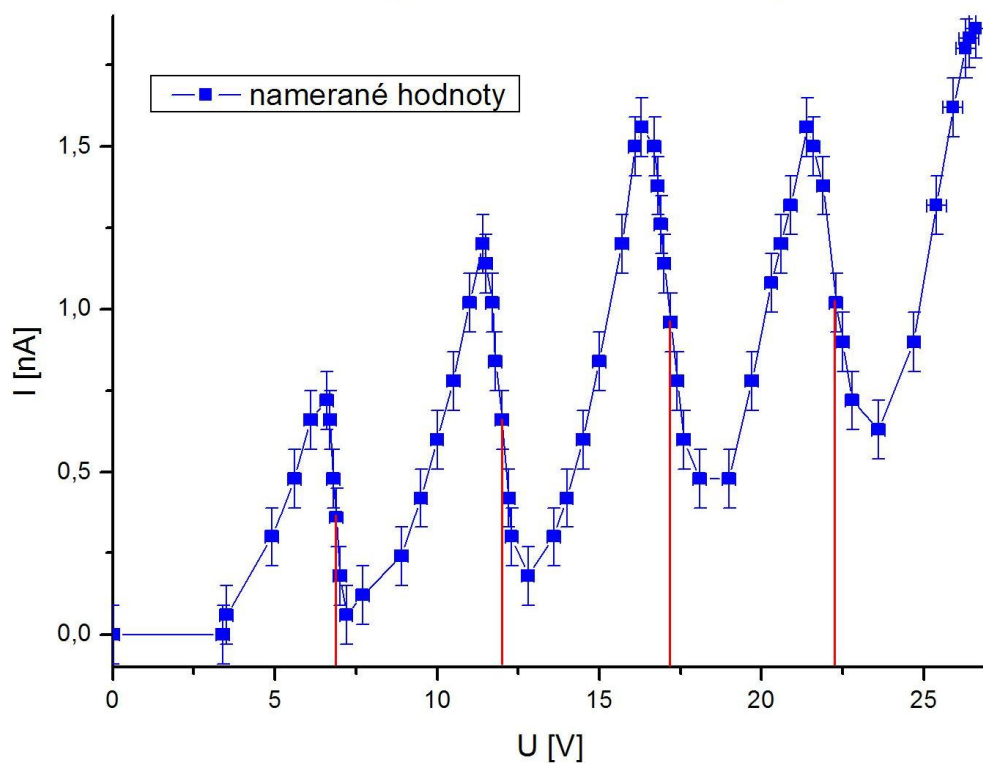


Graf 2 - Voltampérová charakteristika pri teplote  $\sim 80^\circ\text{C}$





Graf 3 - Voltampérová charakteristika pri teplote ~150 °C



Graf 4 - Určenie kontaktného rozdielu potenciálov a rezonančného potenciálu

