

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM IV

Úloha č.: A 16

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

Vypracoval: Martin Dlask stud. sk. 11 dne 1.11.2010

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: dne výsledek klasifikace

Připomínky:

Pracovní úkol:

1. Změřte charakteristiky Franck-Hertzovy trubice s parami rtuti při pokojové teplotě a při dvou vyšších teplotách baňky t_1 , t_2 . Při nejvyšší teplotě a při teplotě pokojové volte pro napětí kolektoru proti 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 trubice na teplotu t_2 sledujte změny, ke kterým dochází a kvalitativně je popište. Proud trubicí udržujte v dovolených mezích (do 50 nA) vhodnou volbou žhavicího napětí (v rozmezí od 4 do 6 V). 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 zákonů kvantové teorie elektrony mohou existovat pouze v atomech pouze ve stavech s určitou energií. Tyto energetické hladiny jsou charakteristické pro každý druh atomu.

Stav elektronu s nejnižší energií nazýváme základní stav.

Pro přechod elektronu na jinou energetickou hladinu musí elektron přijmout či vyzářit foton o vlnové délce λ

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

Kde h je plankova konstanta, c je rychlost světla, ν je frekvence záření a ΔE je energetický rozdíl mezi danými stavy.

Atom v základním stavu může být excitován třeba srážkou s volným elektronem. Při srážce musejí být však splněny zákony zachování energie a hybnosti. Z toho vyplývá, že výsledek srážky musí záviset na kinetické energii částice, jež jí způsobí (např. volný elektron).

Prošel-li pak volný elektron před srážkou elektrickým polem, jež urychlilo jeho pohyb, pak pro jeho kinetickou energii platí:

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

Kde U je potenciálový rozdíl elektrického pole jímž prošel, e je náboj elektronu, m_e je hmotnost elektronu a v je rychlost elektronu.

Přijme-li energii a zvýší-li se pak jeho energie na dostatečnou úroveň pak elektron, může přeskočit z nižší energetické hladiny na vyšší. Tento jev nazýváme excitace.

V krajním případě může dojít k tomu, že volný elektron předá téměř všechnu svoji energii atomu. Napětí potřebné k urychlení elektronu na takovou to energii nazýváme rezonanční potenciál U_r

Jednotlivým rezonančním potenciálům ve zkoumané látce odpovídají spektrální čáry o daných vlnových délkách. Spektrální čára prvního rezonančního potenciálu má vlnovou délku danou vztahem:

$$\lambda_r = \frac{hc}{eU_r} \quad (3)$$

což odpovídá přechodu z nejnižšího vybuzeného stavu do základního.

Srážky tohoto druhu nazýváme nepružné.

Další možností je, že předaná energie atomu není dostatečná k tomu, aby elektron poskočil na vyšší energetickou hladinu. Potom atom zůstává v základním stavu a tento typ srážek nazýváme pružné.

Poslední možností je, že dodaná energie je dost velká na to, aby vyrazila elektron z atomového obalu. Z atomu se poté stává iont a tomuto jevu říkáme ionizace.

Napětí potřebné k urychlení elektronu, aby mohl ionizovat atom nazýváme ionizační potenciál a značíme jej U_i .

Při Franck-Hertzově pokusu je elektronka s kapkou rtuti umístěna v peci. Se zvyšující teplotou roste tlak rtuťových par v elektronce a četnost srážek mezi volnými elektrony a atomy rtuti. Pro změření ionizační závislosti je potřeba dosáhnout teploty kolem 80 °C.

Měříme proud tekoucí kolektorem v závislosti na změně urychlujícího napětí (jde o napětí mezi mřížkou a katodou). Napětí mezi mřížkou a kolektorem pak nazýváme brzdné napětí vytvářející brzdné pole.

Při měření rezonančního potenciálu je třeba ohřát elektronku na 150°C – 200°C.

Měření:

Použité konstanty:

Planckova konstanta $h = 6,02606 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Náboj elektronu $e = 1,60217 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Rychlost světla ve vakuu $c = 299792458 \text{ m/s}$

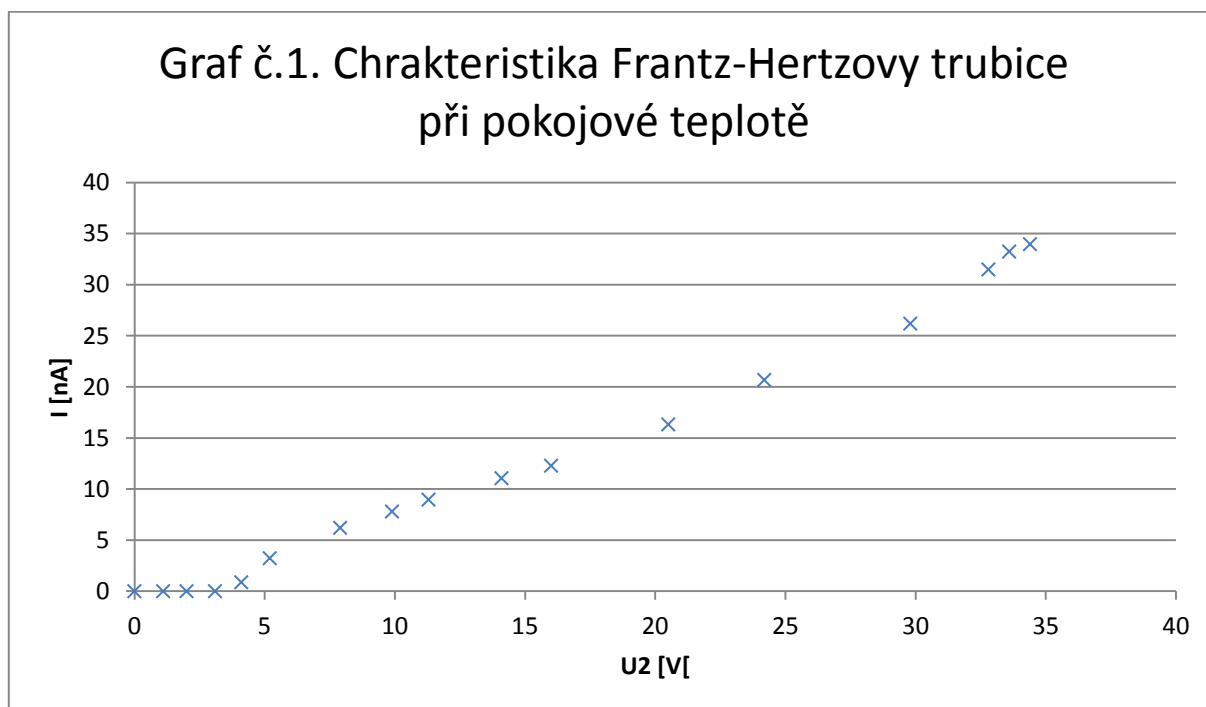
Měření při pokojové teplotě:

Měření jsem započal, změřeni Frank-Hertzovy trubice při pokojové teplotě. Brzdné napětí U_1 jsem si nastavil na hodnotu jednoho voltu a postupně jsem měnil urychlující napětí U_2 přičemž jsem měřil proud I protékající kolektorem.

Při pokojové teplotě se Frank-Hertzova-trubice chovala podle očekávání zhruba jako trioda a naměřená charakteristika zhruba splňuje tři polovinový zákon.

Tabulka č.1. Měření Frank-Hertzovy trubice při pokojové teplotě

$U \text{ [V]}$	0,0	1,1	2,0	3,1	4,1	5,2	7,9	9,9	11,3	14,1
$I \text{ [nA]}$	0,003	0,003	0,003	0,0046	0,878	3,236	6,191	7,813	8,967	11,067
$U \text{ [V]}$	16,0	20,5	24,2	29,8	32,8	33,6	34,4			
$I \text{ [nA]}$	12,294	16,312	20,671	26,18	31,496	33,245	33,956			

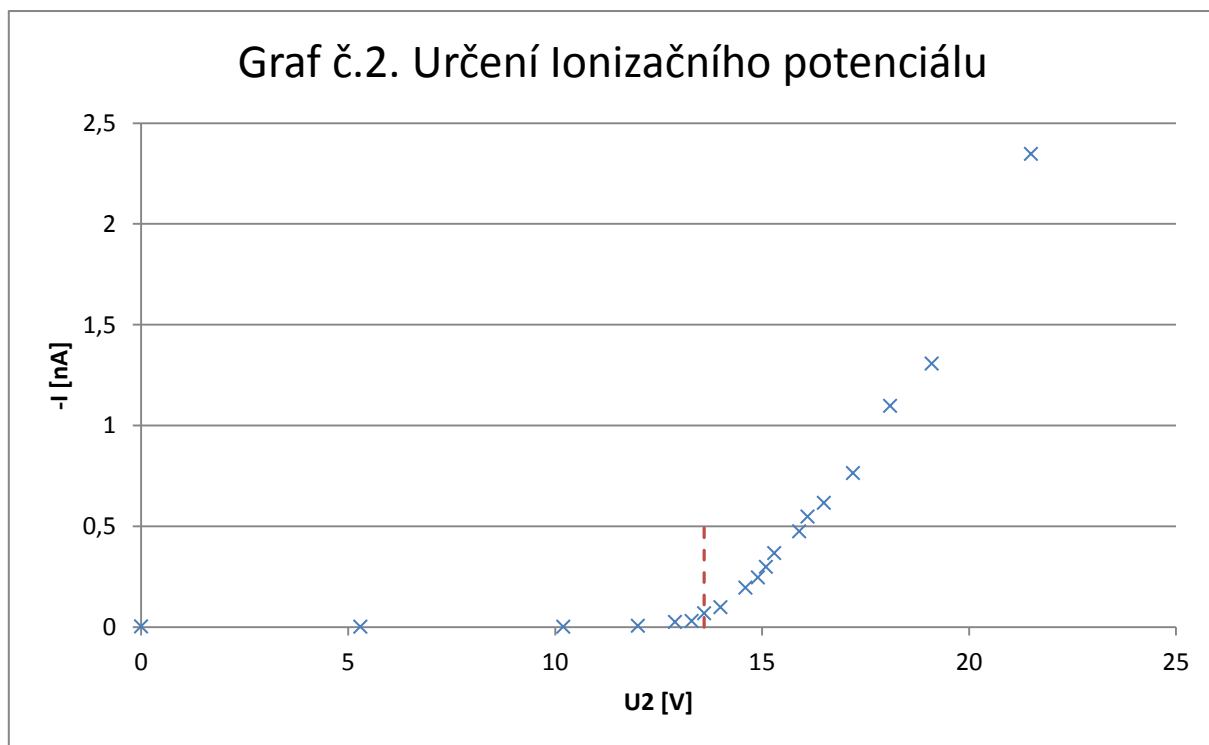


Měření při teplotě $t_1 \approx 353 \text{ K}$:

Během ohřevu trubice na požadovanou teplotu jsem si připojil k trubici osciloskop a brzdné napětí U_1 zvýšil na hodnotu 33V (při této hodnotě mělo brzdná pole dostatečnou úroveň na to, aby zastavilo proud volných elektronů). Na stínítku osciloskopu jsem pak pozoroval, jak proud tvořený prvně při pokojové teplotě volnými elektrony se změnil v tzv. ionizační proud tvořený kladnými ionty rtuti. K tomu to došlo ve chvíli, kdy volné elektrony dosáhly ionizační energie. Při měření jsem tedy měřil záporný proud, zatímco volné elektrony spolehlivě končili v brzdném poli, jež nemohli překonat.

Tabulka č.2. Měření ionizačního potenciálu

$U \text{ [V]}$	$-I \text{ [nA]}$	$U \text{ [V]}$	$-I \text{ [nA]}$
0	0,003	15,3	0,367
5,3	0,001	15,9	0,475
10,2	0,001	16,1	0,548
12	0,006	16,5	0,617
12,9	0,025	17,2	0,764
13,3	0,031	18,1	1,098
13,6	0,068	19,1	1,308
14	0,098	21,5	2,347
14,6	0,196	31,1	29,887
14,9	0,247		
15,1	0,299		

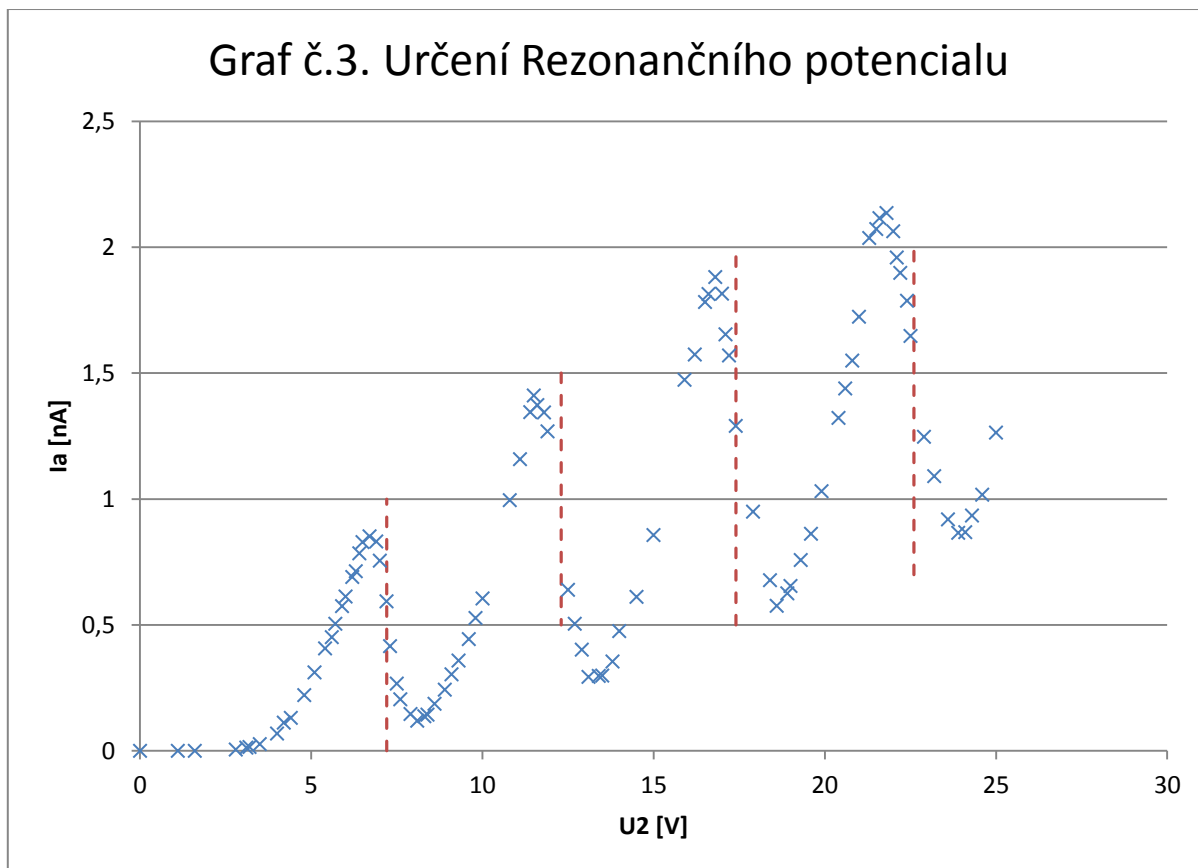


Měření při teplotě $t_2 \approx 473 \text{ K}$:

Při měření Rezonančního potenciálu, bylo nutné opět snížit brzdné napětí U_1 na hodnotu 1V protože při tomto měření byl měřený proud opět tvořen volnými elektrony. Při přechodu od teploty t_1 k teplotě t_2 jsem na stínítku osciloskopu pozoroval postupný vznik poklesu, které postupně nabíraly na ostrosti což je možné, že je dáno tím, že s narůstající teplotou a tlakem v trubici klesala střední volná dráha volných elektronů. Důsledkem čehož nevybuzovali elektrony v atomech rtuti do tak vysokých hladin. A při dostatečné teplotě klesla na tolik, že vybudili a elektrony pouze první excitační potenciál.

Tabulka č.3. Měření rezonančního Potenciálu

$U [V]$	$I [nA]$	$U [V]$	$I [nA]$	$U [V]$	$I [nA]$
0,0	0	10,0	0,605	21,0	1,724
1,1	0	10,8	0,995	21,3	2,036
1,6	0	11,1	1,158	21,5	2,072
2,8	0,005	11,4	1,345	21,6	2,115
3,1	0,013	11,5	1,411	21,8	2,135
3,2	0,015	11,6	1,373	22,0	2,063
3,5	0,027	11,8	1,343	22,1	1,959
4,0	0,069	11,9	1,269	22,2	1,898
4,2	0,112	12,5	0,639	22,4	1,787
4,4	0,131	12,7	0,504	22,5	1,647
4,8	0,221	12,9	0,401	22,9	1,247
5,1	0,311	13,1	0,293	23,2	1,09
5,4	0,407	13,4	0,298	23,6	0,919
5,6	0,451	13,5	0,299	23,9	0,865
5,7	0,505	13,8	0,354	24,1	0,868
5,9	0,574	14,0	0,475	24,3	0,934
6,0	0,613	14,5	0,611	24,6	1,017
6,2	0,69	15,0	0,857	25,0	1,264
6,3	0,713	15,9	1,473		
6,4	0,784	16,2	1,573		
6,5	0,829	16,5	1,782		
6,7	0,851	16,6	1,814		
6,9	0,831	16,8	1,881		
7,0	0,755	17,0	1,815		
7,2	0,593	17,1	1,654		
7,3	0,416	17,2	1,57		
7,5	0,267	17,4	1,29		
7,6	0,204	17,9	0,95		
7,9	0,146	18,4	0,677		
8,1	0,119	18,6	0,576		
8,3	0,137	18,9	0,625		
8,4	0,143	19,0	0,654		
8,6	0,187	19,3	0,758		
8,9	0,243	19,6	0,862		
9,1	0,304	19,9	1,031		
9,3	0,358	20,4	1,322		
9,6	0,443	20,6	1,439		
9,8	0,527	20,8	1,549		



Vyhodnocením dat v tabulce č.3. jsem určil první rezonanční potenciál rtuti U_r a kontaktní napětí U_k .

$$U_r = (5,1 \pm 0,2)eV$$

$$U_k = (2,1 \pm 0,1)eV$$

A pomocí vztahu (3) jsem dopočetl odpovídající vlnovou délku spektrální čáry.

$$\lambda = (221 \pm 3)nm$$

Z vyhodnocení dat v tabulce č.2. jsem určil první ionizační potenciál U_i rtuti, přičemž naměřenou hodnotu bylo nutné korigovat o kontaktní potenciál U_k .

$$U_i = (11,5 \pm 0,2)eV$$

Diskuze:

Předně bych se v diskuzi chtěl zmínit k teplotním hodnotám, při nichž jsem měřil. Při měření jak ionizačního, tak rezonančního potenciálu nebyla příliš důležitá velikost teploty (pouze stačilo, aby náležela danému teplotnímu intervalu, ve kterém bylo možné daný jev naměřit), ale spíše bylo důležité, aby teplota trubice byla na dané hodnotě co možná nejvíce konstantní. Protože je zřejmé, že měřené zákonitosti mají teplotní závislost. Při ustálení na dané teplotě jsem toho dosahoval tak, že nejdříve jsem zvýšil topný proud, jež zahříval trubici a když dosáhl dané hodnoty tak jsem ho snížil. Teplotní závislost se poté chovala jako harmonický oscilátor a oscillovala kolem jedno konstantní hodnoty, ke které se pomalu přibližovala.

Jako první jsem pak měřil ionizační potenciál, protože elektrony pro dosažení potřebovali odpovídající energie která jim byla dodána a tlak při teplotě t_1 byl dostatečná na to, aby při většině srážek měli volné elektrony dost velkou energii na to, aby mohli ionizovat atomy rtuti.

Se vzrůstající teplotou je pak zřejmé, že srážky jsou již tak časté, že volné elektrony již nemají potřebou energii a až postupně se dostávají do stavu, při kterém sotva dosáhnou na první excitační potenciál.

Z toho to důvodu se měřil nejdříve ionizační potenciál a až při vyšší teplotě rezonanční potenciál.

Pokud jde o chyby, třeba chybu v případě určení kolektorového proudu neudávám, protože oscilace hodnoty mnohonásobně překročily chybu přístroje.

Závěr:

Naměřená data jsou v tabulkách č.1 až č.3 přičemž jejich odpovídající grafické interpretace jsou v grafech č.1 až 3.

Naměřený první rezonanční potenciál rtuti: $U_r = (5,1 \pm 0,2)eV$

Naměřené kontaktní napětí : $U_k = (2,1 \pm 0,1)eV$

Vlnová délka spektrálních čar : $\lambda = (221 \pm 3)nm$

Naměřený první ionizační potenciál rtuti: $U_i = (11,5 \pm 0,2)eV$

Literatura:

[1] Studijní texty ze stránek praktika <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp>

[2] J.Brož, V. Roskovec, M. Valouch, Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha 1980