

## 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

Elektrony v atomech se vyskytují ve stacionárních stavech, jimž odpovídají určité hodnoty energie. Na základě vnějších podnětů může elektron přejít do jiného stavu s vyšší energií (tzv. excitace) nebo zcela opustit atom, ze kterého se poté stane iont (tzv. ionizace). Ke studiu těchto procesů slouží Franck-Hertzova trubice. Ta je tvořena baňkou, která obsahuje tři elektrody: katodu K, kolektor A a mřížku G mezi nimi. Baňka navíc obsahuje kapku rtuti a tím pádem i rtuťové páry, s nimiž elektrony letící od katody na kolektor interagují. Přivedením různých napětí na mřížku lze regulovat energii prolétávajících elektronů. Ohříváním trubice je ovlivňována hustota rtuťových par a tedy i volná dráha elektronů.

Při určování ionizační energie je na kolektor přiveden nižší potenciál než na katodu, a tudíž se na kolektor mohou dostat pouze kladné ionty. Díky mřížce, na níž je přiveden vysoký kladný potenciál dochází k urychlování elektronů napětím  $U_2$ . Proud začne protékat, když je napětí dostatečné, aby došlo k ionizaci.

Při určování rezonančního potenciálu je elektron na cestě k mřížce urychlován a sráží se s atomy rtuti, dokud jeho energie nedosáhne excitační energie. Potom svou energii vynaloží na excitaci některého atomu rtuti a je opět urychlován. Pokud je napětí  $U_2$  rovno celočíselnému násobku rezonančního potenciálu, je pravděpodobné, že elektron nedaleko mřížky provede excitaci a již mu nezbyde energie na překonání malého potenciálového rozdílu mezi mřížkou a katodou. Procházející proud tedy poklesne.

Atomy při změně svého stavu mohou vyzářit, nebo pohltit foton, jehož vlnová délka souvisí s rozdílem energií dle následujícího vztahu:

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

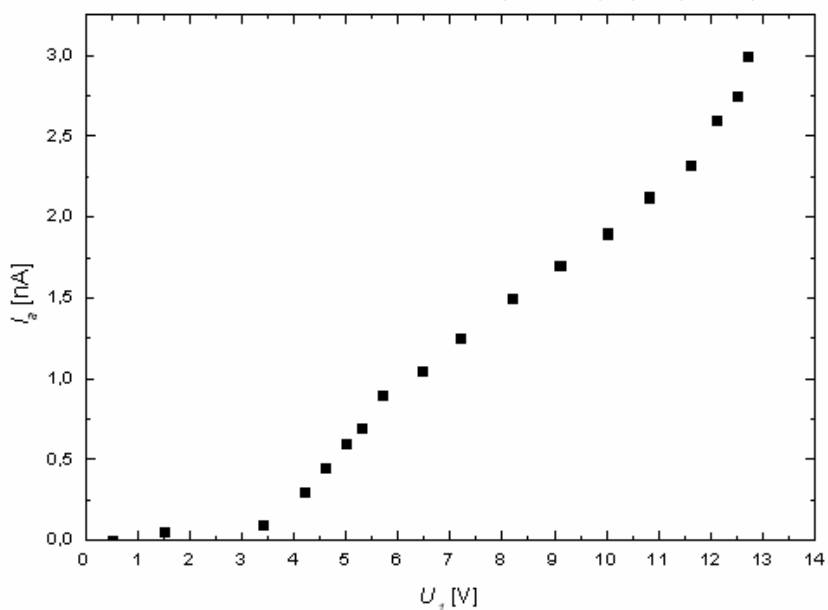
## Měření

Nejdříve jsem změřila charakteristiku Franck-Hertzovy trubice při pokojové teplotě. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 1 a vyneseny v Grafu 1. Mezi mřížkou a kolektorem jsem nastavila napětí  $U_2 = 1V$ .

$U_1$ [V]	0,5	1,5	3,4	4,2	4,6	5,0	5,3	5,7	6,5
$I_a$ [nA]	0	0,05	0,10	0,30	0,45	0,60	0,70	0,90	1,05
$U_1$ [V]	7,2	8,2	9,1	10,0	10,8	11,6	12,1	12,2	12,7
$I_a$ [nA]	1,25	1,50	1,70	1,90	2,13	2,33	2,60	2,75	3,00

Dále jsem zvýšila teplotu trubice, abych mohla změřit ionizační potenciál. Napětí na termočlánek se stabilizovalo na hodnotě 4,3 mV, což zhruba odpovídá teplotě 80°C. Napětí mezi mřížkou a kolektorem jsem nastavila na  $U_2 = 30V$ . Naměřené hodnoty jsou zapsány v Tabulce 2 a zakresleny v Grafu 2. Směr protékajícího proudu je tentokrát opačný, protože jsem měřila tok iontů.

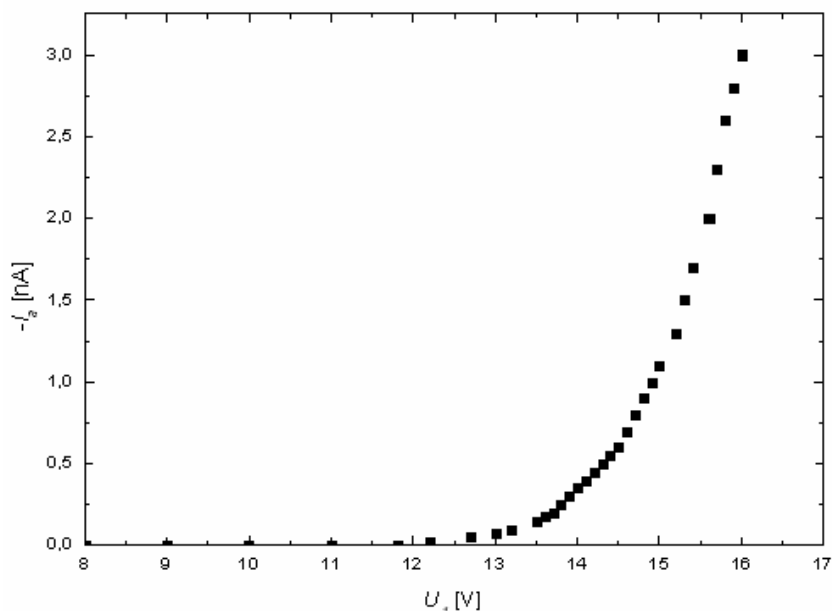
Graf 1: Charakteristika Franck-Hertzovy trubice při pokojové teplotě



Tabulka 2: Určení ionizačního potenciálu

$U_1$ [V]	11,0	11,8	12,2	12,7	13,0	13,2	13,5	13,6	13,7	13,8
$I_a$ [nA]	0,00	0,00	0,03	0,05	0,08	0,10	0,15	0,18	0,20	0,25
$U_1$ [V]	13,9	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8
$I_a$ [nA]	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80	0,90
$U_1$ [V]	14,9	15,0	15,2	15,3	15,4	15,6	15,7	15,8	15,9	16,0
$I_a$ [nA]	1,00	1,10	1,30	1,50	1,70	2,00	2,30	2,60	2,80	3,00

Graf 2: Určení ionizačního potenciálu



Z Grafu 2 jsem odečetla polohu ionizačního potenciálu  $U = (13,3 \pm 0,5)V$ , ale skutečnou hodnotu ionizačního potenciálu dostanu až po odečtení kontaktního potenciálu, který dostanu proměřením rezonanční charakteristiky.

Pro měření rezonanční charakteristiky jsem zvýšila napětí na termočláнку na 9mV, čemuž odpovídá teplota trubice 150 až 200°C. Napětí mezi mřížkou a kolektorem jsem nastavila na  $U_2 = 1V$ . Naměřené hodnoty jsou uvedené v Tabulce 3 a v Grafu 3. Z poklesů proudu v Grafu 3 jsem určila rezonanční potenciál  $U_r$  a kontaktní napětí  $U_K$ :

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

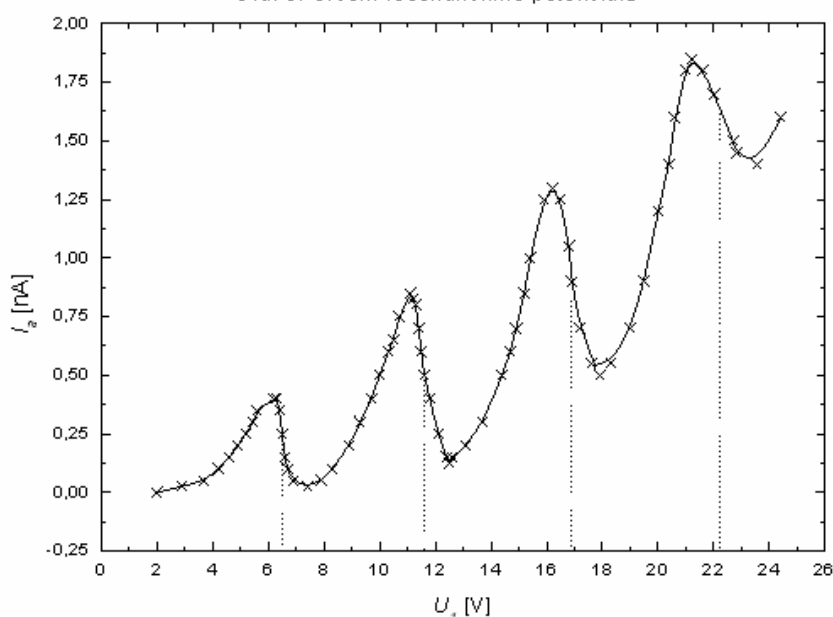
$$U_K = (1,3 \pm 0,2)V$$

Ionizační potenciál dostanu korekcí o hodnotu kontaktního napětí:

$$U_i = (12,0 \pm 0,7)V$$

$U_1$ [V]	2,0	2,9	3,7	4,2	4,6	4,9	5,2	5,5	5,6	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,9	7,4
$I_a$ [nA]	0,00	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,40	0,35	0,25	0,15	0,10	0,05	0,03
$U_1$ [V]	7,9	8,3	8,9	9,3	9,7	10,0	10,3	10,5	10,7	11,1	11,2	11,3	11,4	11,5	11,6	11,8	12,1
$I_a$ [nA]	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,65	0,75	0,85	0,83	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,25
$U_1$ [V]	12,4	12,5	12,6	13,1	13,7	14,4	14,7	14,9	15,2	15,4	15,9	16,2	16,5	16,8	16,9	17,2	17,9
$I_a$ [nA]	0,15	0,13	0,15	0,20	0,30	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	1,25	1,30	1,25	1,05	0,90	0,70	0,50
$U_1$ [V]	17,6	18,3	19,0	19,5	20,0	20,4	20,6	21,0	21,2	21,6	22,2	22,7	22,8	23,6	24,4		
$I_a$ [nA]	0,55	0,55	0,70	0,90	1,20	1,40	1,60	1,80	1,85	1,80	1,70	1,50	1,45	1,40	1,60		

Graf 3: Určení rezonančního potenciálu



Resonančnímu přechodu odpovídá energie  $U_{r,e}$ . Ze vztahu (1) jsem určila vlnovou délku přechodu:

$$\lambda = (237 \pm 5)\text{nm}$$

## Diskuse

## Závěr

Použitím Franck-Hertzovy trubice jsem změřila ionizační a rezonanční potenciál rtuti a kontaktní napětí trubice. Výsledné hodnoty jsou:  $U_i = (12,0 \pm 0,7)V$

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

$$U_K = (1,3 \pm 0,2)V$$

Resonančnímu napětí odpovídá vlnová délka spektrální čáry:

$$\lambda = (237 \pm 5)\text{nm}$$

## Literatura

[1] Studijní text k fyzikálnímu praktiku IV. - <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>