

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM III

Úloha č.: XVI

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

**Vypracovala:** ..... **stud. sk.** ..... **dne:** 12/2004.....

**Odevzdal dne:** ..... **vráceno:** .....

**Odevzdal dne:** ..... **vráceno:** .....

**Odevzdal dne:** .....

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

**Připomínky:**

## I. Pracovní úkol

- I. Změřte charakteristiky Franck-Hertzovy trubice při pokojové teplotě a při dvou vyšších teplotách baňky  $t_1$  a  $t_2$ . Při nejvyšší teplotě a při teplotě pokojové volte pro napětí kolektoru a urychlující elektrodě malou zápornou hodnotu (do -1V). Při měření při teplotě  $t_1$  volte pro toto napětí maximální zápornou hodnotu (cca -35V).
- II. V průběhu ohřívání či chladnutí trubice sledujte na obrazovce osciloskopu změny, ke kterým dochází a kvalitativně je popište. Pokuste se podat vysvětlení těchto změn.
- III. 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.

## II. Teorie

Podle kvantové teorie mohou elektrony v atomech existovat ve zcela určitých (stacionárních) stavech, kterým odpovídají diskrétní hodnoty vazebné energie elektronů s jádrem. Tyto energie (energetické hladiny) jsou charakteristické pro daný druh atomu. Stav s nejnižší energií nazýváme základním stavem. Atom v základním stavu může být převeden do některého stavu s vyšší energií, říkáme, že je excitován. Po určité době přechází sám do stavu základního, což je doprovázeno vyzářením elektromagnetického záření, pro které platí:

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

$\Delta E$  ..... rozdíl energií výchozího a konečného stavu

$h$  ..... Planckova konstanta

$\nu$  ..... frekvence světla

$c$  ..... rychlost světla

$\lambda$  ..... vlnová délka

V krajním případě může některý z elektronů v atomu může vnějším působením získat takovou energii, že atom zcela opustí. To nazýváme ionizací. Takovým vnějším působením může být srážka s jiným elektronem. Při srážce platí zákon zachování hybnosti a energie. Byl-li elektron před srážkou urychlován napětím  $U$  je jeho kinetická energie:

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

$m$  ..... hmotnost elektronu

$v$  ..... rychlost elektronu

$e$  ..... náboj elektronu

Je-li kinetická energie elektronu tak malá, že nestačí k převedení atomu do excitovaného stavu, dochází k tzv. pružné srážce (tj. elektron energii neztrácí). Má-li elektron energii dostačující k tomu, aby převedl atom do excitovaného stavu, dochází k tzv. nepružné srážce. Elektron při ní ztrácí energii odpovídající rozdílu energií základního a excitovaného stavu. V krajním případě ztrácí elektron celou svojí kinetickou energii. Urychlující napětí potřebné na

to, aby elektron dostal právě tuto energii, nazýváme rezonančním potenciálem  $U_{rn}$ . Přejde-li elektron z excitovaného stavu zpět do stavu základního, vyzáří elektromagnetické záření vlnové délky:

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

Spektrální čára s vlnovou délkou  $\lambda_r$ :

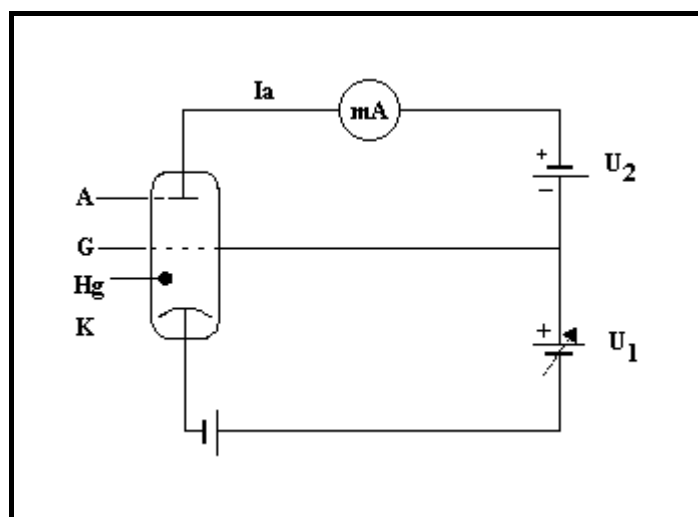
$$\lambda_r = \frac{hc}{eU_{rn}} \quad (4)$$

odpovídá přechodu z nejnižšího excitovaného stavu do stavu základního.

Při dalším zvýšení urychlovacího napětí může elektron získat takovou energii, která je postačující k tomu, aby atom ionizovala. Minimální hodnota urychlujícího napětí potřebná k ionizaci se nazývá ionizační potenciál  $U_i$ . Tomu odpovídá vlnová délka:

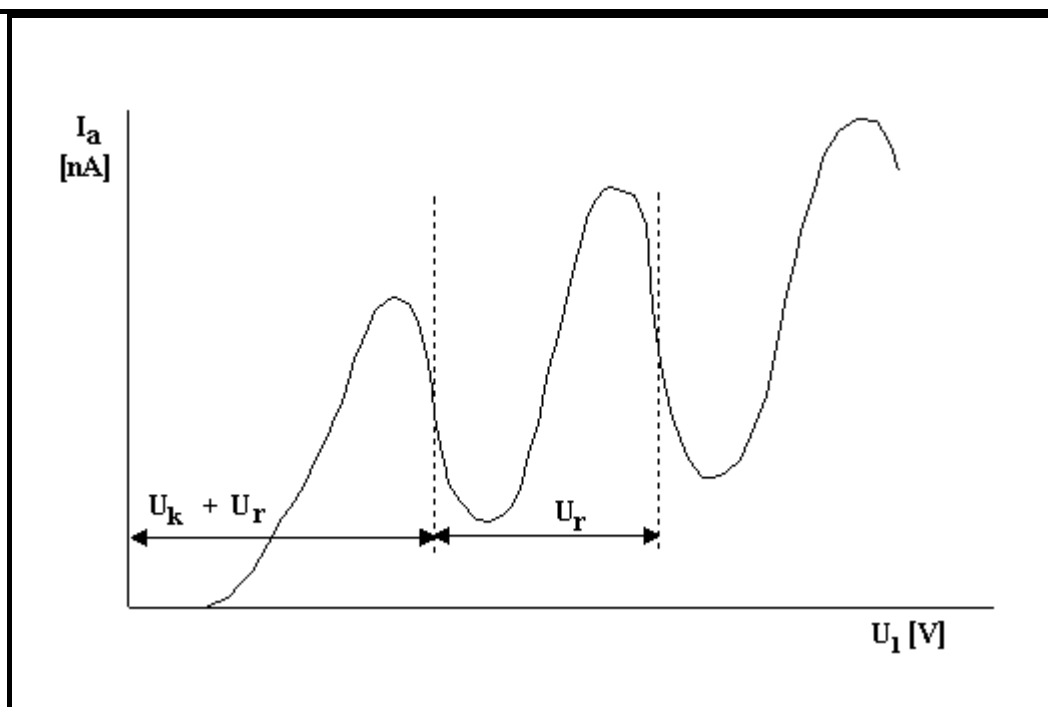
$$\lambda_{\infty} = \frac{hc}{eU_i} \quad (5)$$

Uspořádání experimentu je znázorněno na obr. 1. Elektronka s malým množstvím rtuti je umístěna v pícce, kde se zvyšující se teplotou vzrůstá tlak rtuťových par. Nanoampérmetrem měříme proud kolektorem  $I_a$  v závislosti na urychlujícím napětí  $U_1$  (regulované napětí mezi mřížkou a katodou). Napětí  $U_2$  mezi mřížkou a kolektorem vytváří brzdné napětí.



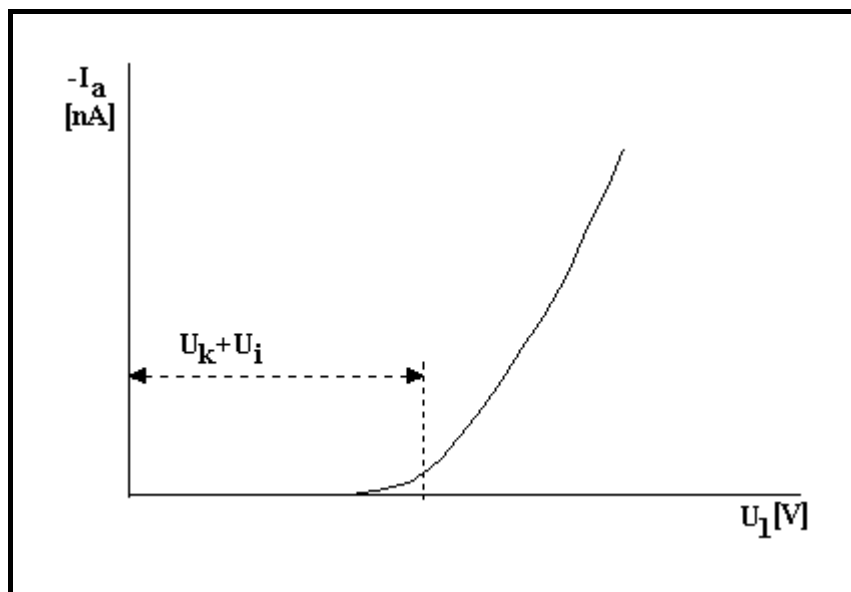
obr. 1

Pro měření rezonančního napětí je třeba ohřát elektronku na 150 – 200°C. Závislost, kterou bychom měli naměřit, je znázorněna na obr. 2. Z této charakteristiky lze určit jak rezonanční potenciál, tak potenciálový rozdíl mezi katodou a urychlující elektrodou trubice.



obr. 2

Pro měření ionizačního potenciálu je třeba dosáhnout teploty kolem  $80^\circ\text{C}$ . Z naměřené závislosti (obr. 3) je možné určit ionizační napětí.



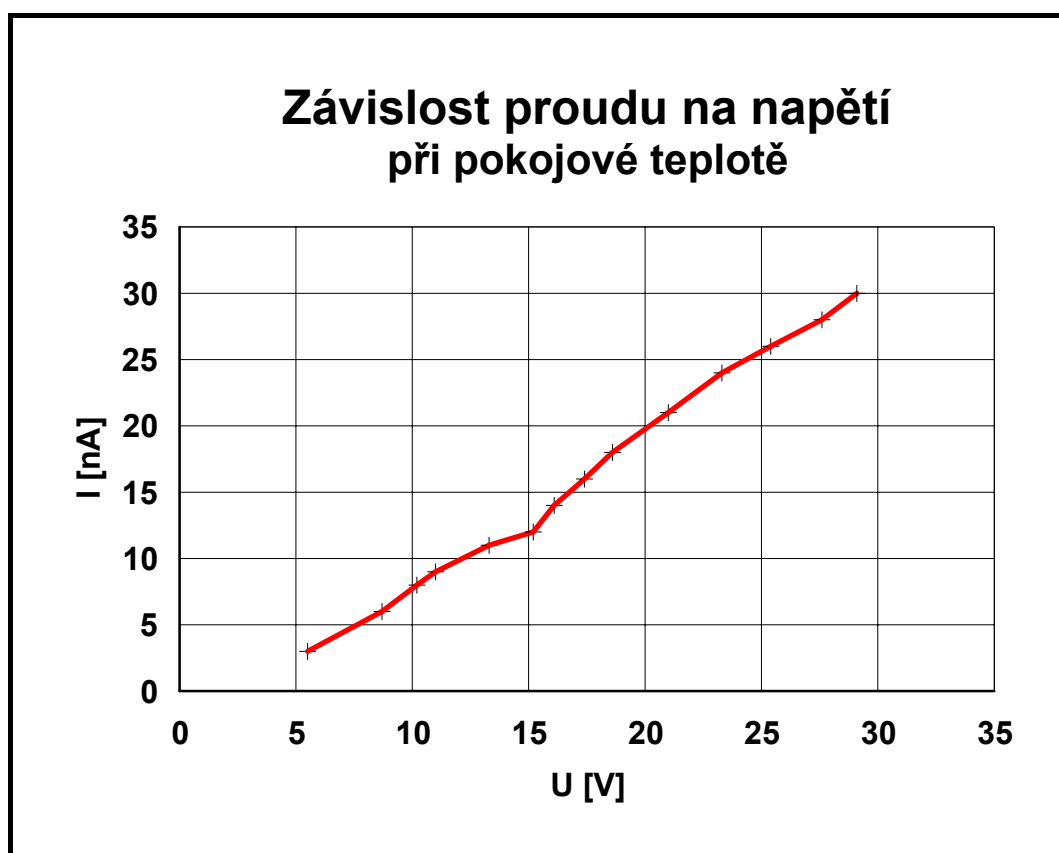
obr. 3

### III. Výsledky měření

#### A. Pokojová teplota

tab. 1 – závislost proudu na napětí při pokojové teplotě a  $U_2 = 1V$

|           |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $U_1$ [V] | 5,5 | 8,7 | 10,2 | 11,0 | 13,3 | 15,2 | 16,1 | 17,4 | 18,6 | 21,0 | 23,3 | 25,4 | 27,6 | 29,1 |
| $I$ [nA]  | 3,0 | 6,0 | 8,0  | 9,0  | 11,0 | 12,0 | 14,0 | 16,0 | 18,0 | 21,0 | 24,0 | 26,0 | 28,0 | 30,0 |

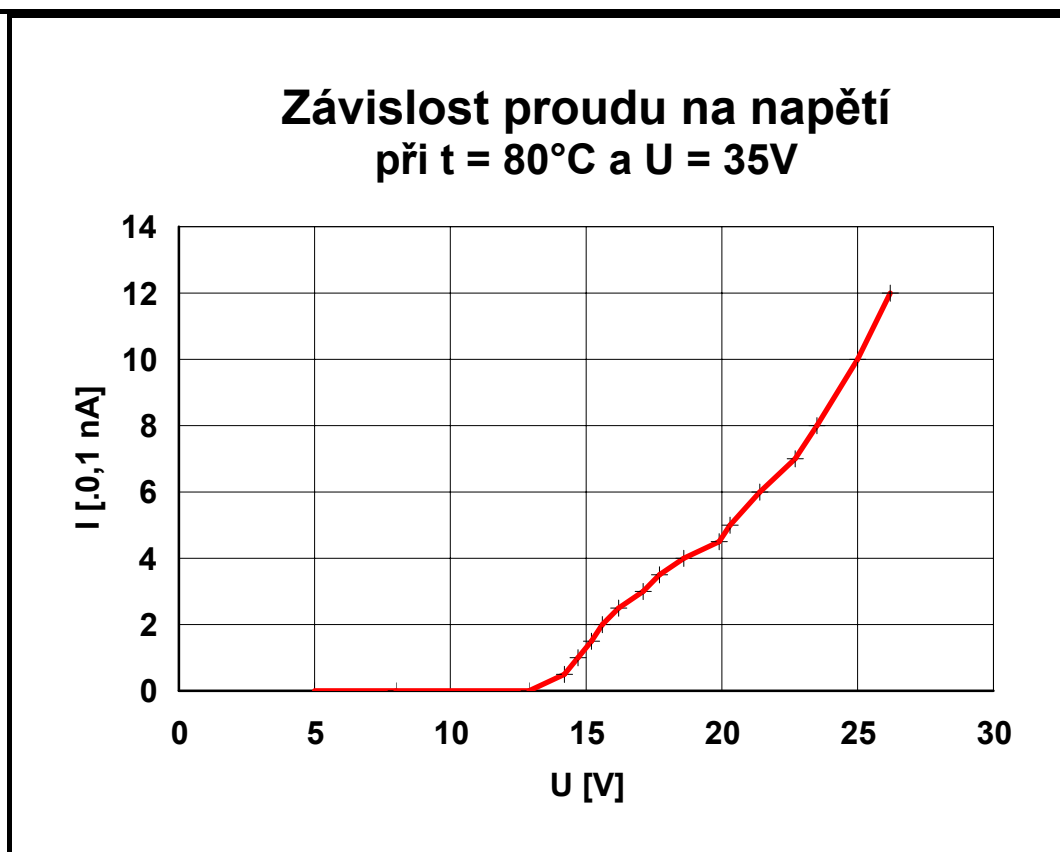


graf 1

#### B. Ionizační potenciál

tab. 2 – závislost proudu na napětí při teplotě přibližně  $t = 80^\circ\text{C}$  a  $U_2 = 35V$

|                                  |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $U_1$ [V]                        | 5,0 | 8,0 | 12,9 | 14,2 | 14,7 | 15,2 | 15,6 | 16,2 | 17,1 | 17,7 | 18,6 | 19,9 | 20,3 | 21,4 | 22,7 | 23,5 | 25,0 | 26,2 |
| $I$ [ $\cdot 10^{-10}\text{A}$ ] | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,5  | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 2,5  | 3,0  | 3,5  | 4,0  | 4,5  | 5,0  | 6,0  | 7,0  | 8,0  | 10,0 | 12,0 |



graf 2

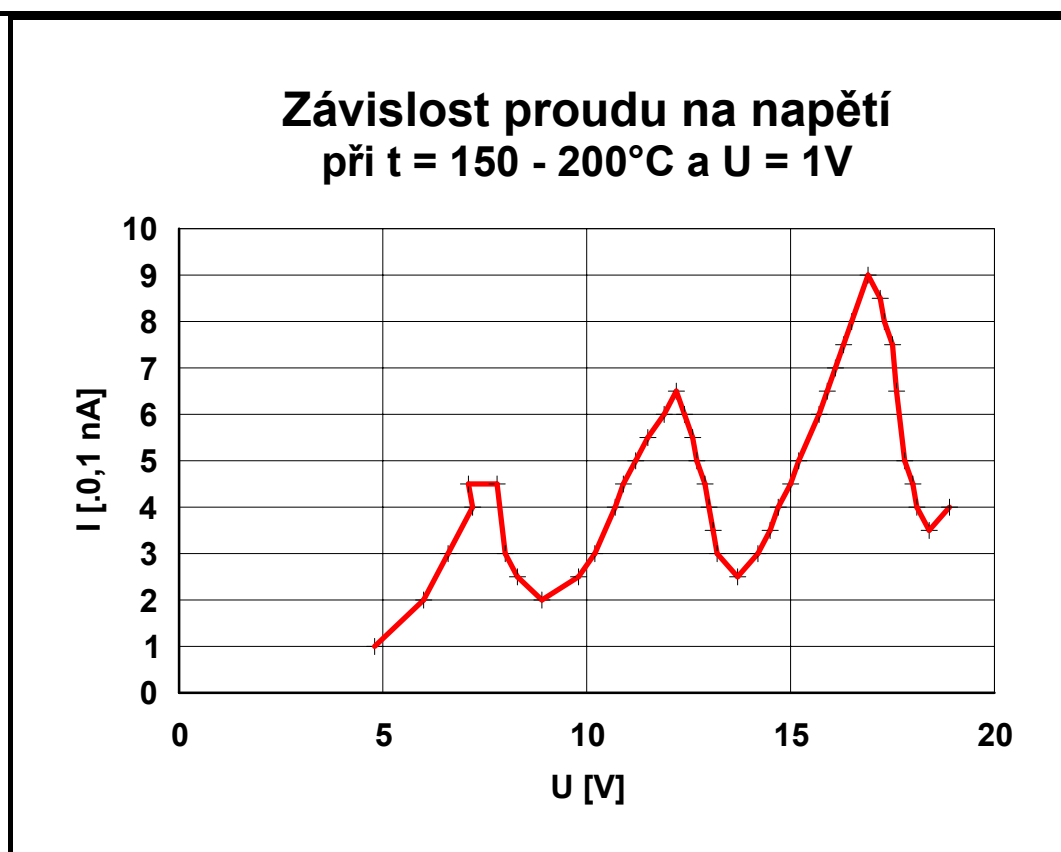
$$U_i + U_k = (14,2 \pm 0,1)V$$

$$U_i = (10,5 \pm 0,1)V$$

$$\lambda = (118 \pm 1)nm$$

### C. Rezonanční potenciál

| tab. 3 – závislost proudu na napětí při $t = 150 - 200^\circ\text{C}$ a $U_2 = 1\text{V}$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $U_1$ [V]   | 4,8  | 6,0  | 6,6  | 7,2  | 7,1  | 7,8  | 8,0  | 8,3  | 8,9  | 9,8  | 10,2 | 10,7 | 10,9 | 11,2 | 11,5 |
| $I$ [ $\cdot 10^{-10}\text{A}$ ]  | 1,0  | 2,0  | 3,0  | 4,0  | 4,5  | 4,5  | 3,0  | 2,5  | 2,0  | 2,5  | 3,0  | 4,0  | 4,5  | 5,0  | 5,5  |
| $U_1$ [V]   | 11,9 | 12,2 | 12,4 | 12,6 | 12,7 | 12,9 | 13,0 | 13,1 | 13,2 | 13,7 | 14,2 | 14,5 | 14,7 | 15,0 | 15,2 |
| $I$ [ $\cdot 10^{-10}\text{A}$ ]  | 6,0  | 6,5  | 6,0  | 5,5  | 5,0  | 4,5  | 4,0  | 3,5  | 3,0  | 2,5  | 3,0  | 3,5  | 4,0  | 4,5  | 5,0  |
| $U_1$ [V]   | 15,7 | 15,9 | 16,1 | 16,3 | 16,5 | 16,9 | 17,2 | 17,3 | 17,5 | 17,6 | 17,8 | 18,0 | 18,1 | 18,4 | 18,9 |
| $I$ [ $\cdot 10^{-10}\text{A}$ ]  | 6,0  | 6,5  | 7,0  | 7,5  | 8,0  | 9,0  | 8,5  | 8,0  | 7,5  | 6,5  | 5,0  | 4,5  | 4,0  | 3,5  | 4,0  |



graf 3

$$U_{r1} = (4,4 \pm 0,1)V$$

$$U_{r2} = (5,0 \pm 0,1)V$$

průměrná hodnota  $U_r = (4,7 \pm 0,1)V$

kontaktní potenciál  $U_k = (3,7 \pm 0,1)V$

$$\lambda = (264 \pm 5)nm$$

## IV. Diskuse

Voltampérová charakteristika při pokojové teplotě se nám chová jako u lineárního prvku. Podle teoretického předpokladu by se měla chovat jako u vakuové diody. Závislost proudu na napětí při teplotě  $150 - 200^\circ\text{C}$  odpovídá předpokládanému průběhu. Rezonanční potenciál nám vyšel  $U_r = (4,7 \pm 0,1)V$  a kontaktní potenciál  $U_k = (3,7 \pm 0,1)V$ . Vlnová délka odpovídajícího záření  $\lambda = (264 \pm 5)nm$ . Chyby potenciálu jsme určili odhadem. Největší nepřesnost vzniká při odečtech z grafu. Teplota v trubici také nebyla stálá. Z průběhu proudu v závislosti na napětí při  $80^\circ\text{C}$  jsme určili ionizační potenciál  $U_i = (10,5 \pm 0,1)V$ . Proměřená závislost také odpovídala teoretickému průběhu. Při určování ionizačního potenciálu je těžké odhadnout, kdy dochází k prudkému nárůstu proudu, což nám přináší do měření chybu.

---

Při měření ionizačního potenciálu potřebujeme menší teplotu než při měření rezonančního potenciálu, protože se zvyšující se teplotou vzrůstá tlak v baňce a tím se zmenšuje střední volná dráha elektronů. Pro měření ionizačního potenciálu musí být střední volná dráha dostatečně dlouhá, aby elektron získal urychlováním dostatečnou energii k ionizaci. Energie potřebná k excitaci je nižší než energie potřebná k ionizaci, tedy stačí menší volná dráha (vyšší teplota).

Při růstu teploty docházelo ke snižování proudu a postupné změně polarizace, což je způsobeno zkracováním střední volné dráhy, takže energie už není postačující k ionizaci a tedy místo kladně nabitých iontů dopadají na elektrodu elektrony.

## V. Závěr

Proměřili jsme voltampérové charakteristiky Franckovy-Hertzovy trubice při pokojové teplotě, při teplotě 80°C a při teplotě 150 – 200°C, viz graf 1 – 3.

Ionizační potenciál  $U_i = (10,5 \pm 0,1)V$

Rezonanční potenciál  $U_r = (4,7 \pm 0,1)V$

Kontaktní potenciál  $U_k = (3,7 \pm 0,1)V$

Vlnová délka odpovídající rezonančnímu přechodu  $\lambda = (264 \pm 5)nm$

## VI. Literatura

Fyzikální praktikum III – texty z internetu