

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Jan Beran

Naměřeno: 1. dubna 2019

Obor: UF

Skupina: F4210/04

Testováno:

Úloha . 6: Franck-Hertzův experiment

1. Úkoly

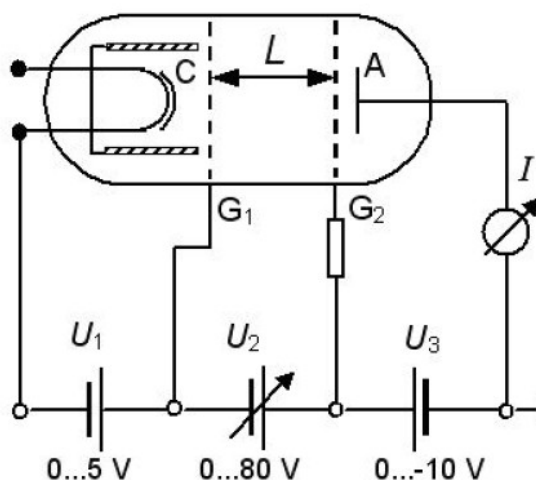
1. Sledujte vliv nastavení experimentu na chování proudu procházejícího trubicí.
2. Změřte závislost anodového proudu na urychlovacím napětí a určete energii nejnižší excitační hladiny atomů vzácného plynu v trubicí.
3. Naměřte spektrum vyzařované z trubice Franck-Hertzova experimentu a určete, jaký plyn v trubicí září.

2. Teorie

Narazí-li do atomu elektron, jehož energie je rovna excitační energii elektronových stavů studovaného atomu, dojde k předání energie, přičemž kinetická energie elektronu poklesne a excitovaný atom po krátké době přijatou energii vyzaří formou fotonů a vrátí se do základního stavu.

Uspořádání Franck-Hertzova experimentu je takové, že v první části jsou elektrony urychlovány napětím mezi emitorem a mřížkou, přičemž v této části dochází k nepružným srážkám s atomy plynu. Ve druhé části za mřížkou jsou elektrony napětím zpomalovány, díky čemuž s nízkou kinetickou energií u mřížky již na kolektor nedoletí. Ty, které doletí, pak vyvolávají kolektorový proud.

Zapojení podle, kterého jsme měřili je následující



Obrázek 1: Experimentální uspořádání Franck-Hertzova pokusu pro praktikum.

V praxi měníme napětí mezi emitorem a mřížkami, tedy U_2 , přičemž U_1 a U_3 necháme konstantní a sledujeme závislost kolektorového proudu I na urychlujícím napětí. Dojde-li k excitaci atomu těsně před mřížkou, elektron nebude mít dostatečnou kinetickou energii, aby překonal napětí U_3 a dojde k prudkému poklesu proudu. Tyto poklesy se opakují každý přirozený násobek napětí na voltech, číselně odpovídající nejnižší energiové hladině atomů v elektronvoltech.

3. Měření

Nejprve jsem ověřil chování proudu procházejícího trubicí na nastavení napětí U_1 a U_3 . Když jsem proměřoval závislost $I = f(U_1)$ zjistil jsem, že čím je hodnota U_1 větší, tím je větší proud. To je nejspíše způsobeno, že více emitovaných elektronů je nasměrováno ke kolektoru. Dále, pro závislost $I = f(U_3)$ jsem naměřil, že pokud zvýším napětí U_3 klesne proud I . Toto chování je nejspíše způsobeno tím, že elektrony jsou brzděny mezi mřížkou G_2 a kolektorem, tudíž ke kolektoru dorazí pouze elektrony, které mají vyšší kinetickou energii, než bude napětí U_3 .

Nyní jsem pro konkrétní hodnoty napětí U_1 a U_3 , které jsem nastavil na hodnoty:

$$U_1 = 3,08 \text{ V} \qquad U_3 = 8,55 \text{ V} \qquad (1)$$

Poté jsem proměřil závislost $I = f(U_2)$. Hodnoty jsou v kapitole 5. v tabulce 2. Tyto hodnoty jsem vykreslil do grafu 2, kde jsem okolí vrcholů proložil polynomy 4. stupně, protože vím, že hodnota energie je přímo rovna nejvyšší hodnotě proudu. Tedy všechny tyto křivky mají tvar rovnice daný jako:

$$I_a = a_0 + a_1 \cdot U + a_2 \cdot U^2 + a_3 \cdot U^3 + a_4 \cdot U^4 \qquad (2)$$

Hodnoty pro jednotlivé koeficienty každé křivky jsou v tabulce 1. Na grafu z obrázku 2 směrem zleva doprava odpovídají křivky v jednotlivých okolicích vrcholů postupně polynomům, I_1 , I_2 a I_3 .

	I_1	I_2	I_3
a_0	0,000033167499999841000000	3,316749999984100000000000	-0,000110652504913510000000
a_1	-0,000003424429166651200000	-3,424429166651200000000000	0,000007812009606828000000
a_2	0,000000132385416666100000	0,000000132385416666100000	-0,000000206914209464480000
a_3	-0,000000002270833333324200	-0,000000002270833333324200	0,000000002437098149872700
a_4	0,000000000014583333333277	0,000000000014583333333277	-0,000000000010770280817715

Tabulka 1: Hodnoty koeficientů, pro polynomy proložené okolím vrcholů.

Pomocí derivace polynomů a položení derivace nule jsem zjistil polohu maxima. Tyto polohy maxim by měli odpovídat energiím a jejím celočíselným násobkům. Nejnižší excitační energie pro jednotlivé vrcholy (Samozřejmě postupně z obrázku 2 zprava doleva.) je tedy:

$$E_1 \doteq 22,4 \text{ eV} \qquad (3)$$

$$E_2 \doteq 19,6 \text{ eV} \qquad (4)$$

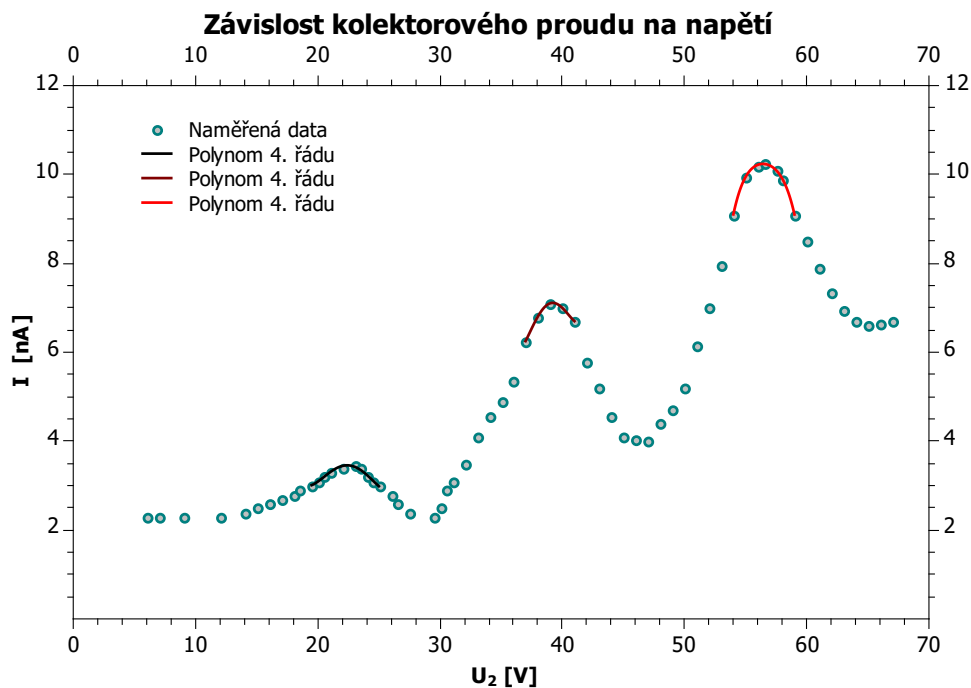
$$E_3 \doteq 18,8 \text{ eV} \qquad (5)$$

Energie nejnižší excitační hladiny je tedy

$$E = (20,3 \pm 1,9) \text{ eV}, \qquad (6)$$

kde relativní odchylka tohoto měření je 9,3 %. Tato hodnota by odpovídala první excitační energii helia, která je 19,8 eV.

Druhou metodou je možnost zjistit rozdíl napětí ΔU mezi dvěma maximy, kde tyto hodnoty by měli odpovídat přímo jednotlivým hodnotám energií.



Obrázek 2: Graf závislosti kolektorového proudu na napětí, kde jsou okolí vrcholů proloženy polynomy 4. stupně.

Protože mám pouze tři maxima jsem schopen dopočítat dva rozdíly, které jsou (kde exponenty u řeckého velkého delta nejsou mocniny, ale pouze indexy k označení měření)

$$\Delta^1 U = 16,8 \text{ eV} \quad (7)$$

$$\Delta^2 U = 17,7 \text{ eV} \quad (8)$$

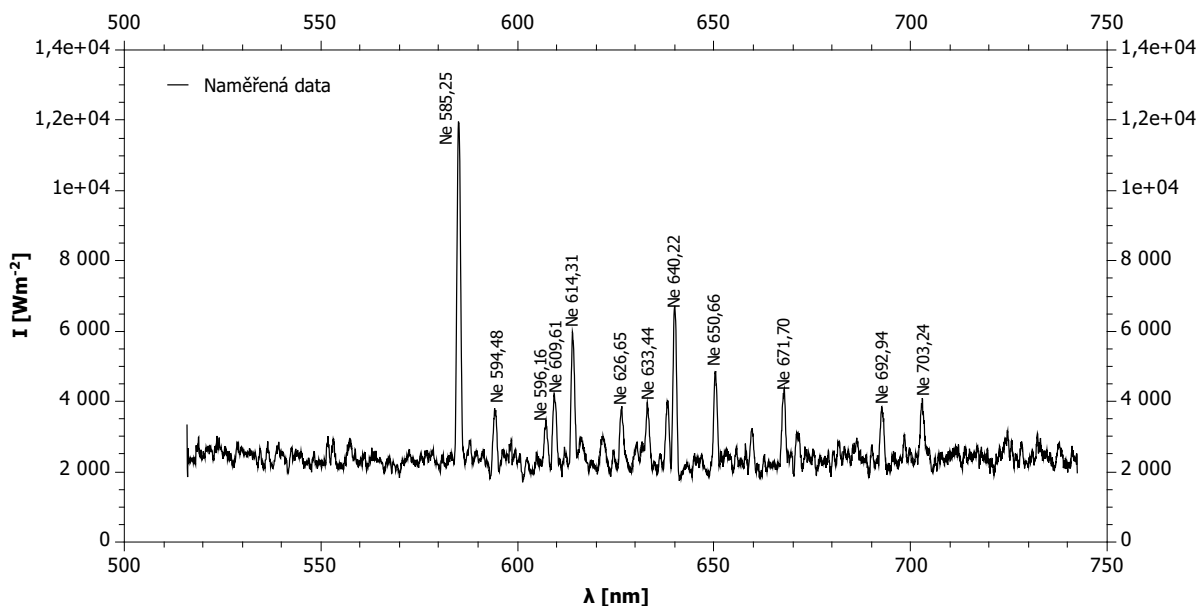
a tyto rozdíly přímo odpovídají excitačním energiím.

Energie nejnižší excitační hladiny je tedy

$$E = (17,3 \pm 0,6) \text{ eV}, \quad (9)$$

kde relativní odchylka měření je 3,7 %. Tato hodnota by odpovídala spíše energii nejnižší excitační hladiny pro neon, která je 16,79 eV.

Dále jsem proměřil spektrum onoho plynu. Spektrum je na obrázku 3. Tyto spektrální čáry jsem porovnal s databází z National Institute of Standards and Technology a zjistil jsem že se jedná o neon. Jednotlivé spektrální čáry, které se mi podařilo identifikovat jsem popsal, jak je vidět taktéž na obrázku 3.



Obrázek 3: Naměřené spektrum zkoumaného plynu.

4. Závěr

Nejprve jsem prověřil chování kolektorového proudu na napětí U_1 a U_3 , jejichž vliv jsem popsal výše. Dále jsem proměřil závislost kolektorového proudu na napětí U_2 , tedy závislost $I = f(U_2)$. Z toho jsem určil energii nejnižší excitační hladiny plynu nejdříve pomocí jednotlivých maxim, kdy by měla jednotlivá maxima odpovídat celočíselným násobkům energie nejnižší excitační hladiny. Energie nejnižší excitační hladiny mi vyšla $E = (20,3 \pm 1,9)$ eV. Tento výsledek napovídal, že by se mohlo jednat o plyn helium s excitační energií 19,8 eV.

Také jsme určil energii nejnižší excitační hladiny plynu pomocí rozdílu poloh maxim. Takto i vyšla hodnota excitační energie $E = (17,3 \pm 0,6)$ eV. Tento výsledek by naopak napovídal, že se jedná o neon s excitační energií 16,79 eV.

Nakonec jsem ovšem proměřením spektra pomocí spektroskopu na obrázku 3 zjistil, že se jedná o neon.

Ukázalo se tedy, že stanovení nejnižší excitační energie pomocí rozdílu maxim napětí je přesnější než pomocí jednotlivých maxim. To mohlo být způsobeno tím, že v obvodu docházelo ke ztrátě napětí a tím k systematické chybě. Tím, že jsem měřil napětí přímo na zdroji, jsem neměřil skutečné napětí U_2 , které – pakliže byli v obvodu ztráty bylo menší. Zatímco když jsem počítal s rozdíly jednotlivých maxim, tak se mi tato systematická chyba odečetla s tou stejnou chybou v druhém maximu.

5. Dodatek

U_2	U_a	I_a [nA]	U_2	U_a	I_a [nA]
6,0	2,30	2,30	37,0	6,25	6,25
7,0	2,30	2,30	38,0	6,80	6,80
9,0	2,30	2,30	39,0	7,10	7,10
12,0	2,30	2,30	40,0	7,00	7,00
14,0	2,40	2,40	41,0	6,70	6,70
15,0	2,50	2,50	42,0	5,80	5,80
16,0	2,60	2,60	43,0	5,20	5,20
17,0	2,70	2,70	44,0	4,55	4,55
18,0	2,80	2,80	45,0	4,10	4,10
18,5	2,90	2,90	46,0	4,05	4,05
19,5	3,00	3,00	47,0	4,00	4,00
20,0	3,10	3,10	48,0	4,40	4,40
20,5	3,20	3,20	49,0	4,70	4,70
21,0	3,30	3,30	50,0	5,20	5,20
22,0	3,40	3,40	51,0	6,15	6,15
23,0	3,45	3,45	52,0	7,00	7,00
23,5	3,40	3,40	53,0	7,95	7,95
24,0	3,20	3,20	54,0	9,10	9,10
24,5	3,10	3,10	55,0	9,95	9,95
25,0	3,00	3,00	56,0	10,10	10,10
26,0	2,80	2,80	56,5	10,25	10,25
26,5	2,60	2,60	57,5	10,00	10,00
27,5	2,40	2,40	58,0	9,90	9,90
29,5	2,30	2,30	59,0	9,10	9,10
30,0	2,50	2,50	60,0	8,50	8,50
30,5	2,90	2,90	61,0	7,90	7,90
31,0	3,10	3,10	62,0	7,35	7,35
32,0	2,60	2,60	63,0	6,95	6,95
33,0	4,10	4,10	64,0	6,70	6,70
34,0	4,55	4,55	65,0	6,60	6,60
35,0	4,90	4,90	66,0	6,65	6,65
36,0	5,35	5,35	67,0	6,70	6,70

Tabulka 2: Naměřená data pro závislost $I = f(U_2)$.