

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Lukáš Lejdar

Naměřeno: 13. května 2025

Obor: F

Skupina: Út 14:00

Testováno:

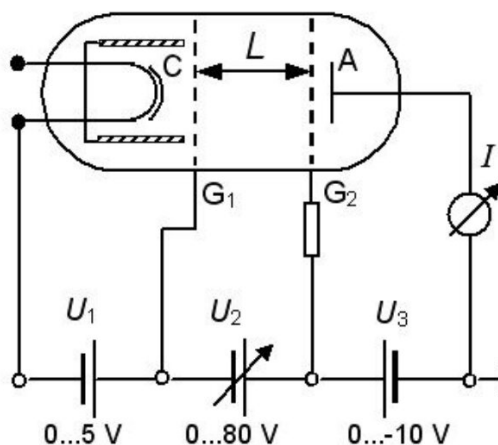
Úloha č. 5: Franck-Hertzův experiment

1. Úvod

V roce 1914 Franck a Hertz experimentálně prokázali kvantování energetických hladin v atomech pomocí analýzy elektronových srážek s parami atomů rtuti. Cílem praktika je provést tento experiment s elektronkou naplněnou některým vzácným plynem a z naměřených dat zjistit o který jde plyn.

2. Postup měření

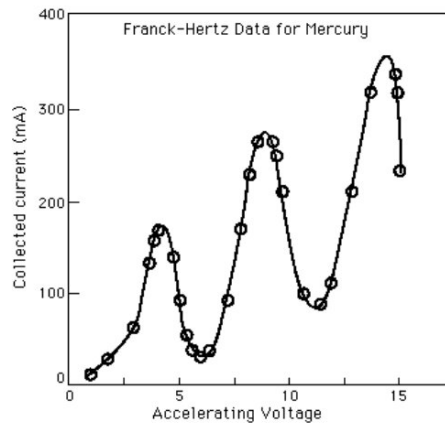
Experimentální uspořádání je schematicky znázorněno na obrázku 1. Z katody C jsou termoemisi uvolňované elektrony, které pak vlétají dovnitř elektronky naplněné některým vzácným plynem. V elektronce se nacházejí postupně dvě mřížky G_1 a G_2 a sběrná anoda. Pro experiment nejpodstatnější je urychlovací napětí mezi mřížkami G_1 a G_2 a brzdné napětí mezi mřížkou G_2 a anodou. Pokud mají elektrony při průletu mřížkou G_2 dostatečně velkou rychlost, dokáží brzdné napětí překonat a anodou začne téct měřitelný proud. V opačném případě si elektrony přitáhne mřížka G_2 .



Obrázek 1: Experimentální uspořádání Franck-Hertzova pokusu

Při zvyšování urychlovacího napětí by se dalo čekat, že proud jenom poroste až do nějaké hranice nasyceného proudu. Voltampérová charakteristika elektronky naplněné rtutí na Obrázku 2, naměřená Franck-Hertzem, ale namísto toho periodicky klesá ve stabilním intervalu přibližně $\Delta U_2 = 4.9 \text{ V}$. Toto je známá hodnota energie jedné výrazné spektrální čáry rtuti, což naznačuje, že pokles proudu vzniká kvůli nepružným srážkám elektronů s atomy, kdy elektron ztratí velkou část své kinetické

energie při excitaci a už není schopný překonat brzdné napětí. Tato hypotéza by měla být jednoduše ověřitelná, protože excitovaný atom sám od sebe brzo zase de-excituje a vyzáří foton o vlnové délce $\lambda = hc/\Delta U_2 = 2530 \text{ Å}$. Na spektrometru by potom měla být vidět jediná spektrální čára o této vlnové délce.

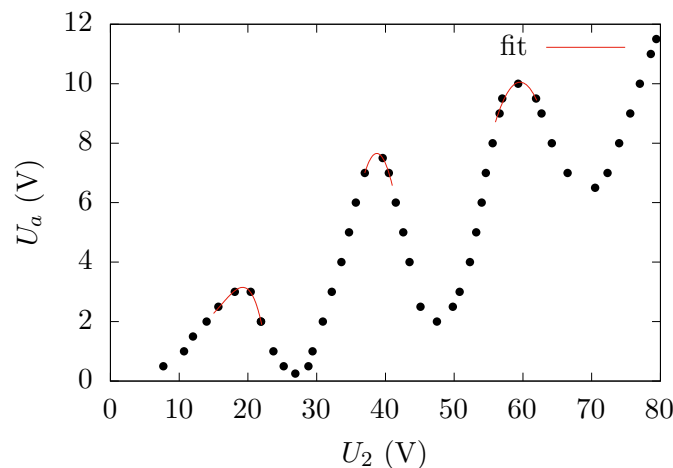


Obrázek 2: Závislost kolektorového proudu na urychlujícím napětí pro rtuť

V uspořádání z obrázku 1. hraje roli ještě několik věcí. Urychlující napětí U_1 slouží ke stabilizaci měření, ale tím ovlivňuje první maximum. Kromě toho, elektron, který překoná první excitační energii ještě musí průměrně urazit jednu střední volnou dráhu, než se srazí s některým atomem a proto maxima nejsou ostrá a ani nenastávají v moment kdy energie elektronů přímo u mřížky G_2 dosáhne excitační energie $\Delta E = e(U_1 + U_2)$. Z těchto důvodů je lepší odečítat jen rozdíl po sobě následujících maxim ΔU_2 a nedívat se na její absolutní velikosti.

3. Výsledky měření

Experimentální aparatura byla sestavená podle Obrázku 1 s rozdílem, že místo anodového proudu se měří anodové napětí $U_a \propto I_a$. Před měřením jsem nejdřív ověřil jestli všechny řídící napětí U_1 , U_2 a U_3 fungují správně a potom hledal nejvhodnější nastavení napětí U_1 a U_3 , aby maxima byli dobře vidět a zabírali co největší část měřícího rozsahu. Tyto hodnoty jsem nakonec našel jako $U_1 = 2.36 \text{ V}$ a $U_3 = 9.91 \text{ V}$ a pro ně změřil závislost $U_a(U_2)$, která je vynesena do Grafu 1.



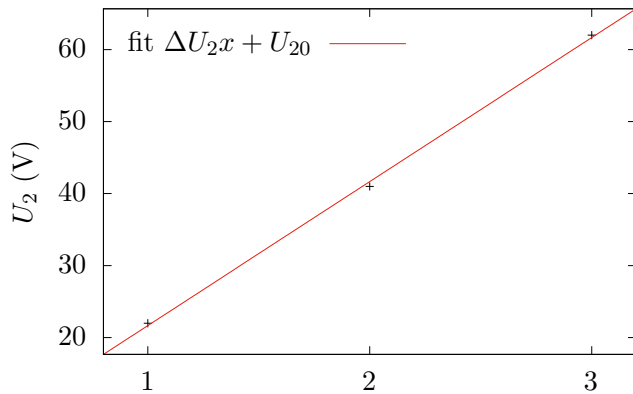
Graf 1: Závislost anodového napětí na urychlujícím napětí U_2

Data v okolí maxim byla nafitovaná polynomy řádu 5 a z nich jsem zjistil souřadnice lokálních maxim, které jsou uvedené v tabulce 1. Z fitu přímkou jsem potom získal sklon ΔU_2 . Takto vysokou první excitační energii má jenom Helium, která má velikost 19.8 eV. Druhá nejvyšší je první excitační energie Neonu, která je 16.6 eV .

$$\Delta U_2 = 20 \pm 0.6 \text{ eV} \quad (1)$$

maximum	U_2 (V)	U_a (V)
1	22.0	3.15
2	41.0	7.65
3	62.0	10.1

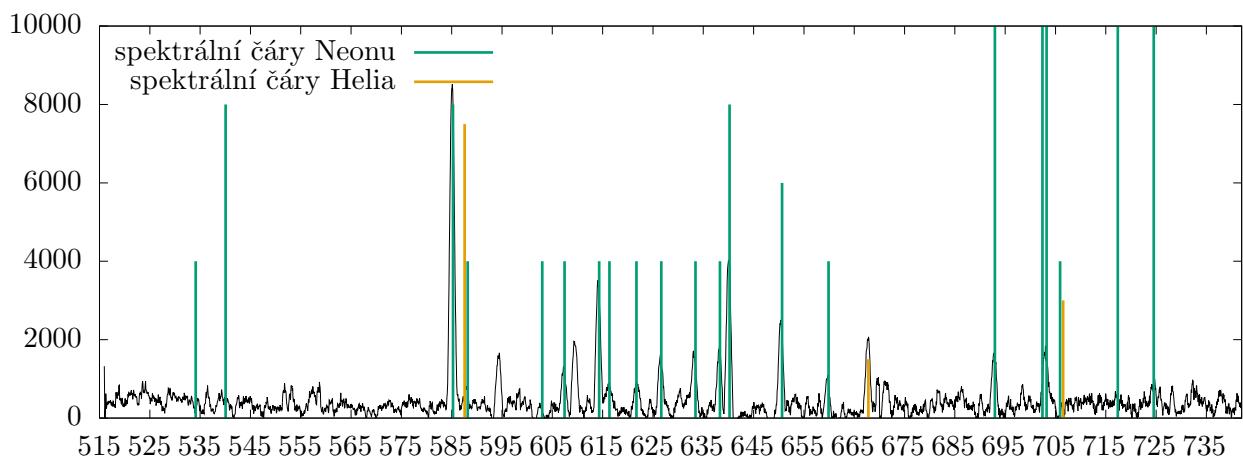
Tabulka 1: Hodnoty lokálních maxim



Tabulka 2

3.1. Emitované spektrum

V praxi se k úloze nachází příruční spektrometr, kterým jsem změřil spektrum vyzařované z trubice Franck-Hertzova experimentu a výsledné hodnoty vynesl do grafu 2. Pokud je efekt způsobený jediným přechodem, měla by na spektrometru být vidět pouze jedna čára o vlnové délce $\lambda = hc/\Delta U_2 = 62 \text{ nm}$, nebo potažmo žádná protože spektrometr nemá dostatečný rozsah. Je ale vidět, že se ve spektru nachází podstatně víc čar, takže změřený rozdíl maxim ΔU_2 pravděpodobně neodpovídá žádné jedné excitační energii. Na druhou stranu víme, že ΔU_2 nemůže být větší než ionizační energie plynu, což možnosti redukuje na Helium, nebo Neon. Známé vlnové délky jsem zjistil z odkazu [2] a vynesl je do Grafu 2 společně se změřeným spektrem. Je vidět, že na data sedí mnohem líp spektrum Neonu. Nejintenzivnější čára ve spektru má vlnovou délku $\lambda \approx 585 \text{ nm}$, která odpovídá přechodu $2s^2 2p^5 3p \rightarrow 2s^2 2p^5 3s$ a její energie je $\Delta E = hc/\lambda = 2.11 \text{ eV}$.



Graf 2: Spektrální závislost plynu v trubici

4. Závěr

Změřil jsem závislost anodového napětí na urychlovacím napětí v trubici Franck-Hertzova experimentu a zjistil, že se maxima opakují s periodou $\Delta U_2 = 20 \pm 0.6$ eV, což je hodnota, která by odpovídala první excitační energii Helia, která je 19.8 eV. Ze spektrální závislosti ale vyplynulo, že neměříme jedinou spektrální čáru, ale celé spektrum, které odpovídá atomům Neonu. Ten má první excitační energii 16.6 eV. Z měření ale stále vyplývá, že existuje nějaká minimální energie, kterou může atom Neonu přijmout při excitaci do vyššího stavu.

Reference

- [1] Návod k úloze https://is.muni.cz/auth/el/sci/jaro2025/F4210/um/fp3-5_Franck-Hertz.pdf.
- [2] Atomic spectra database
<https://www.nist.gov/pml/productsservices/physical-reference-data>.