

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 3

**Zpracoval:** Lukáš Lejdar

**Naměřeno:** 13. května 2025

**Obor:** F

**Skupina:** Út 14:00

**Testováno:**

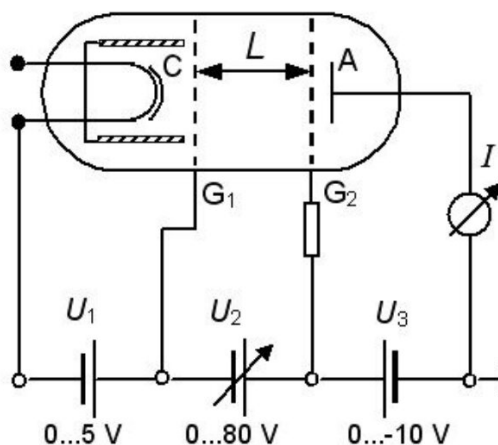
### Úloha č. 5: Franck-Hertzův experiment

#### 1. Úvod

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

#### 2. Postup měření

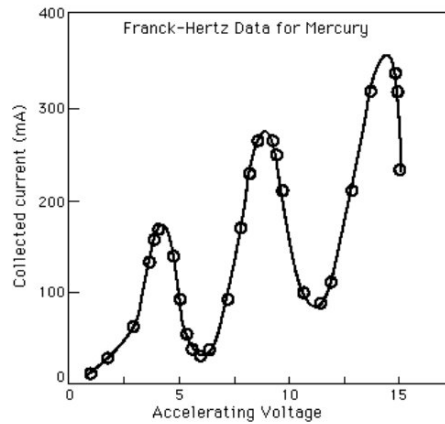
Experimentální uspořádání je schematicky znázorněno na obrázku 1. Z katody C jsou termoemisi uvolňované elektrony, které pak vlétají dovnitř elektronky naplněné některým vzácným plynem. V elektronce se nacházejí postupně dvě mřížky  $G_1$  a  $G_2$  a sběrná anoda. Pro experiment nejpodstatnější je urychlovací 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 napětí  $U_2$  v běžné elektronce se vzduchem by měl anodový proud jenom růst, až do nějaké hranice nasyceného proudu. Voltampérová charakteristika elektronky naplněné rtuť na Obrázku 2, naměřená Franck-Hertzem, ale namísto toho periodicky klesá ve stabilním intervalu přibližně  $\Delta U_2 = 4.9$  V. Toto je známá hodnota energie jedné výrazné spektrální čáry rtuť, 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  $\lambda = hc/\Delta U_2 = 2530 \text{ \AA}$ . Na spektrometru by potom měla být vidět jediná spektrální čára o této vlnové délce.

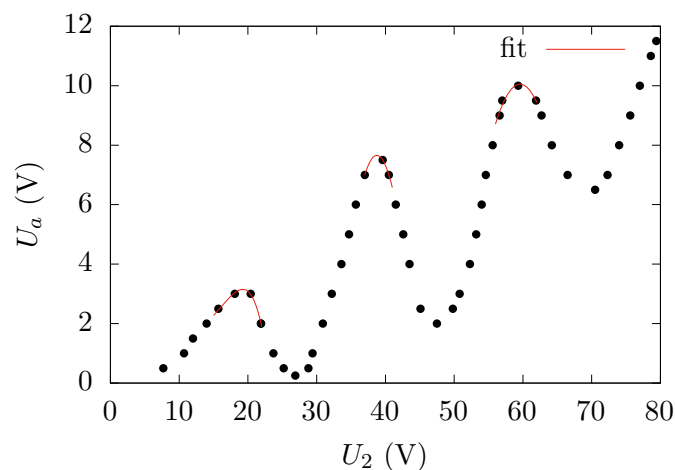


Obrázek 2: Závislost kolektorového proudu na urychlujícím napětí pro rtuť

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  $\Delta U_2$  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 měřicího 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.



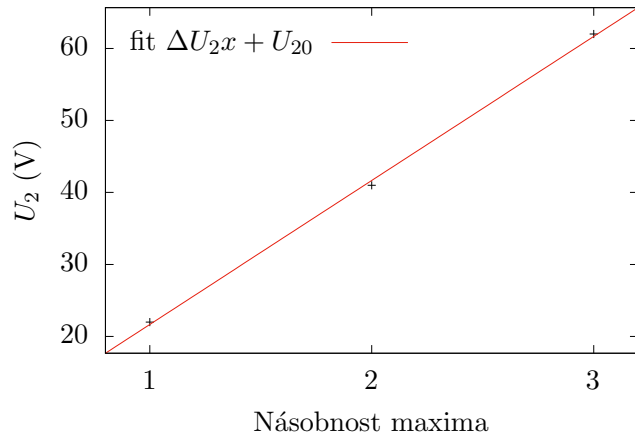
Graf 1: Závislost anodového napětí na urychlujícím napětí  $U_2$

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  $\Delta U_2$ . Ze známých hodnot první excitační energie by měla tato hodnota odpovídat atomům Helia.

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

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

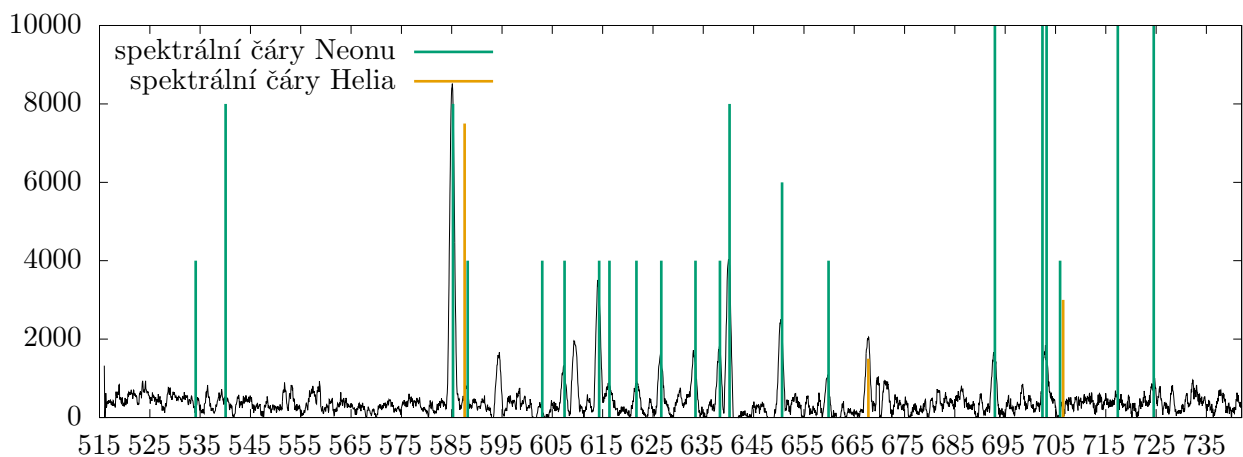
Tabulka 1: Hodnoty lokálních maxim



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. Je vidět, že se ve spektru nachází podstatně víc spektrálních čar, než očekávaná jedna, takže změřený rozdíl maxim  $\Delta U_2$  pravděpodobně neodpovídá žádné jedné excitační energii. Na druhou stranu víme, že  $\Delta U_2$  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 lépe spektrum Neonu.



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. Ze spektrální závislosti ale vyplynulo, že neměříme jedinou spektrální čáru, ale celé spektrum, které odpovídá atomům Neonu. 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](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>.