

# Franckův - Hertzův experiment

Vypracovali:

**Matěj Tušek, Štěpán Válek, Petr Vašíček.**

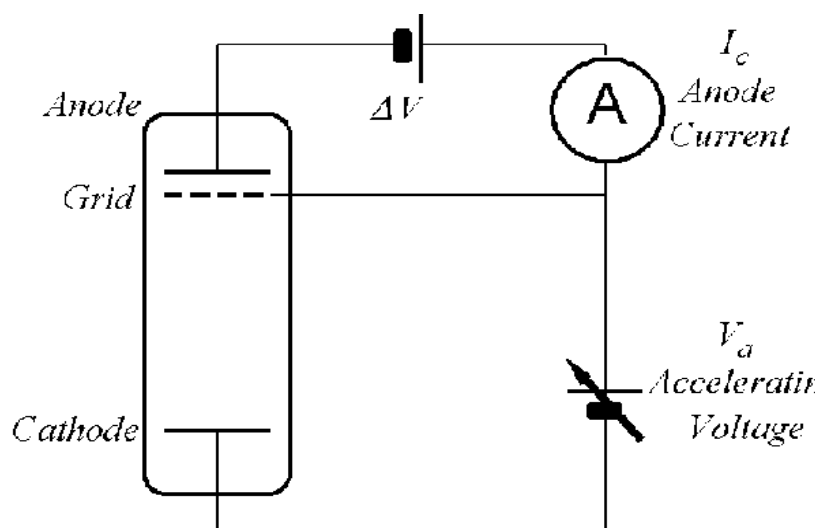
## Úvod

V roce 1925 obdrželi pánové **James Franck** a **Gustav Hertz** Nobelovu cenu za fyziku za svůj objev zákonů, které nám umožňují předvídat děje při srážce elektronu s atomem. Poprvé experiment předvedli v roce 1914, dvanáct let před vznikem kvantové mechaniky, a poskytli tak jasný důkaz Bohrova postulátu, který říká, že energetické stavy atomů jsou kvantovány a že výměna energie mezi atomy a okolím probíhá pouze tehdy, když tato energie nabývá určitých hodnot.

V tomto experimentu jsou atomy par rtuti excitovány nepružnými srážkami s elektrony o určité energii (jde tedy o předání mechanické energie). Z pokusu je vidět, že elektrony předávají atomům svou energii pouze po určitých částech, které odpovídají rozdílům energetických hladin atomů. Ačkoliv se experiment zdá poměrně snadný a objasňující, stále nabízí možnost dalšího zkoumání.

## Uspořádání Franckova – Hertzova experimentu

Elektrony jsou urychlovány napětím  $V_a$  mezi žhavenou katodou a mřížkou. Mezi anodou a mřížkou je malé brzdné napětí  $\Delta V$ , které brání elektronům s energií menší než  $e\Delta V$  dospět na anodu. V trubici jsou zředěné páry rtuti.



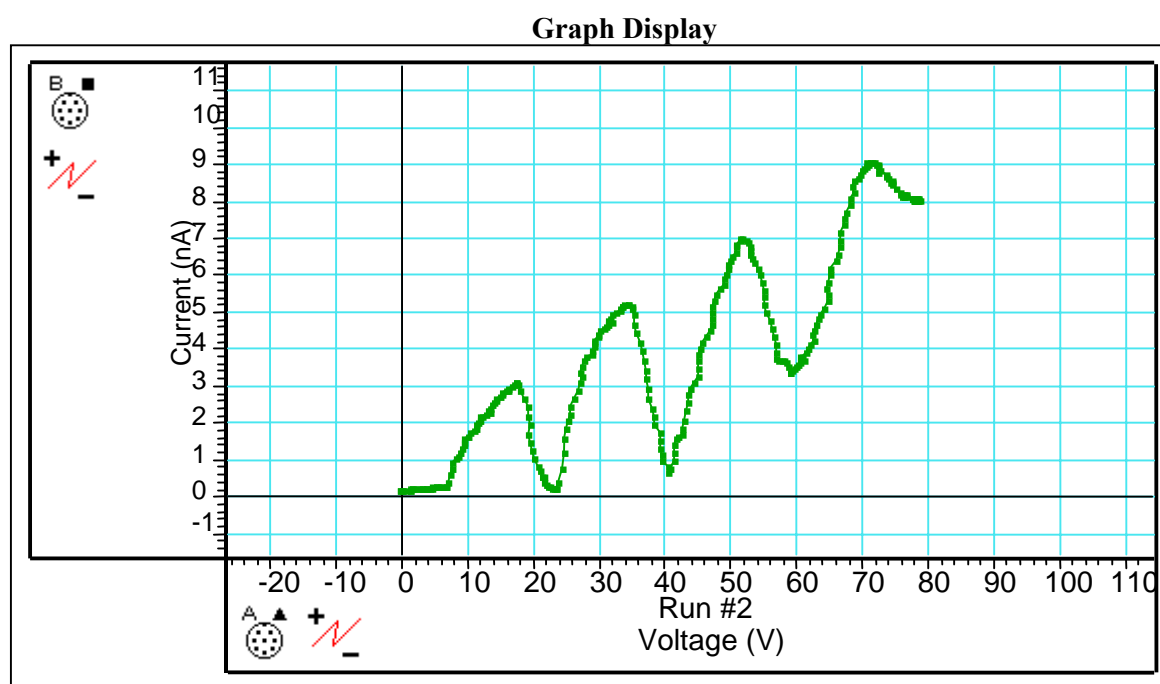
## Modifikace experimentu (atomy neonu)

Uspořádání a princip pokusu jsou prakticky totožné jako při pokusu s rtutí. Liší se pouze obsah katodové trubice – **NEON**. Tuto variantu jsme prozkoumali i prakticky.

Neon se samozřejmě nemusí zahřívat jako je tomu při pokusu s rtutí a zároveň poskytuje větší rozsah urychlovacího napětí (až 80V), a tak jsme si pokus oproti svým předchůdcům ulehčili. Vyšší rozsah urychlovacího napětí je dán vysokou stabilitou neonových atomů (plně obsazené hladiny 1s, 2s, 2p) a následně vyšší ionizační energií (21.51 eV , rtuť: 10.4 eV). Ionizace je v tomto pokusu nežádoucí, neboť zvyšuje počet nosičů náboje i měřený proud. Nás ale zajímá proud daný počtem těch elektronů emitovaných z katody, které se dostanou až na anodu.

Mezi mřížkami jsme pozorovali nejprve jeden zářící kotouč, který se se vzrůstajícím napětím posouval směrem ke katodě. Jakmile se dostal přesně doprostřed mezi mřížky začal se vytvářet další (elektrony začínají předávat energii dvěma atomům). Nakonec jsme dostali čtyři kotouče, což odpovídá počtu minim křivky závislosti anodového proudu na urychlovacím napětí, kterou jsme zaznamenávali na osciloskopu. Maxima nastala při celých násobcích přibližně 18 voltů. Elektrony urychlené tímto napětím měli tedy energii 18eV. Jelikož je neon velice stabilní, měl by téměř okamžitě vyzářit kvantum elektromagnetického záření o vlnové délce  $\lambda=hc/E$ . Dosadíme-li do vztahu dostaneme vlnovou délku ultrafialového záření. Během experimentu jsme ale pozorovali jasně červené záření odpovídající intenzivním čarám ve spektru neonu ( podle tabulek asi 640 nm). Rozdíl byl způsoben tím, že neon přešel do jiného energetického stavu než měl před srážkou.

Nakonec jsme došli k závěru, že Franck s Hertzem měli pravdu. **Energie je kvantována, a to bez ohledu na její formu** (kinetické energie dodaná elektrony je v pokusu atomy vyzářena).

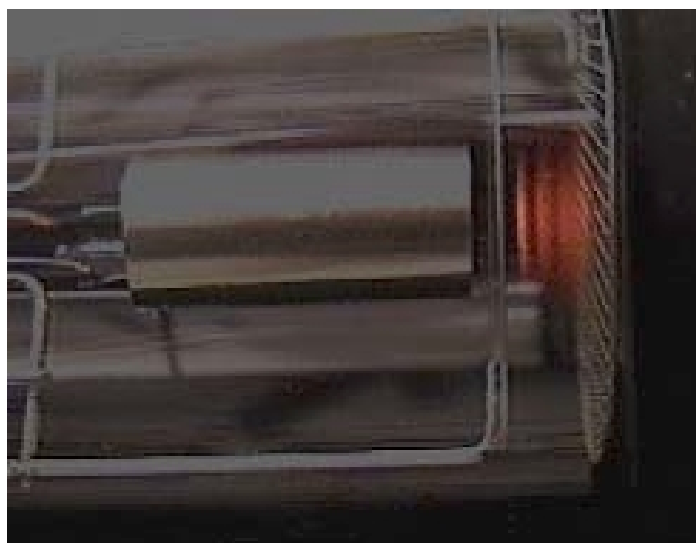


## KROUŽKY

Při provedení pokusu s neonem můžeme pozorovat viditelný důkaz procesu pohlcování energie při srážkách elektronů s atomy.

Urychlené elektrony způsobují excitaci elektronů atomu neonu, tyto elektrony pak záhy přecházejí do stabilnějšího stavu o nižší energii a přitom vyzařují energii takovým způsobem, že v místě excitace sledujeme viditelné záření.

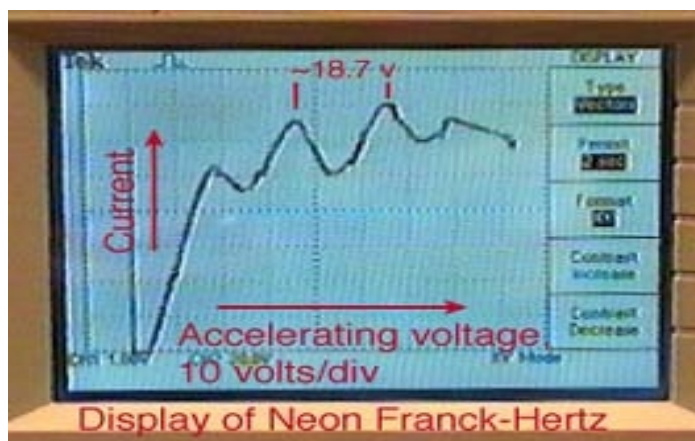
Mezi 18.3 a 19.5 eV je přibližně 10 energetických hladin atomu neonu. Neon „deexcituje“ do stavu o energii 16.57 a 16.79 eV. Tento energetický rozdíl odpovídá vlnové délce pozorovaného záření.



### Podstata Franck - Hertzova pokusu

Elektrony jsou urychlovány napětím  $U$  mezi žhavenou katodou a mřížkou. Mezi anodou a mřížkou je malé brzdné napětí  $U'$ , které brání elektronům s energií menší než  $eU'$

dospět na anodu. V trubici jsou zředěné páry rtuti. Jsou patrné náhlé poklesy anodového proudu při  $U = 4,89$  V a celočíselných násobcích této hodnoty. Tyto poklesy je možné vysvětlit takto: Rozdíl dvou energií atomu rtuti v základním stavu v prvním excitovaném stavu je 4,89 V. Urychlované elektrony se srážejí s atomy rtuti. Pokud mají elektrony menší energii než je minimum 4,89 V, srážky budou pružné. Jestliže elektrony energie 4,89 V dosáhnou, situace se rázem změní. Atomy začnou tyto kvanta energie pohlcovat elektronům nezbude dostatek energie k překonání brzdného napětí  $U'$  a nedospějí k anodě, čímž anodový proud prudce poklesne. Při vyšším napětí zůstane elektronům dostatek energie k překonání brzdného napětí a můžeme pozorovat opětovný růst proudu. Situace se opakuje při napětích, která jsou celočíselnými násobky excitační energie. Elektrony ji odevzdají při dvou, třech a více srážkách a jejich kinetická energie vždy poklesne pod  $eU'$ . Experiment je důkazem toho, že energie kvantování nezáleží formě energie.



POZOROVÁNO NA OSCILOSKOPU

## KDO JE KDO ?



### James Franck

1882-1964

1925 Nobelova cena (spolu s Gustavem Hertzem) za experimentální práce a objev zákonů o dopadu elektronu na atom.

Německý fyzik James Franck se narodil roku 1882 v Hamburku. Studoval na univerzitě v Heidelbergu a v Berlíně, působil ještě v Göttingenu. Od roku 1935 žil v USA. Zabýval se atomovou spektroskopií, studoval fotosyntézu.



### Gustav Hertz

22.7.1887 - 30.10.1975

Německý fyzik Gustav Hertz se narodil roku 1887 v rodině advokáta. Studoval na univerzitě v Göttingenu, Mnichově a Berlíně (tam se po ukončení studia stal asistentem ve fyzikálním ústavu). V letech 1920 – 1925 působil ve fyzikální laboratoři firmy Philips a v roce 1925 se stal profesorem na univerzitě v Halle.

### Použité materiály:

doc Ivan Štoll: Fyzika mikrosvěta

Arthur Beiser: Úvod do moderní fyziky

PHYWE – University Laboratory Experiments Physics

General Catalogue of Physics Experiments – Leybold