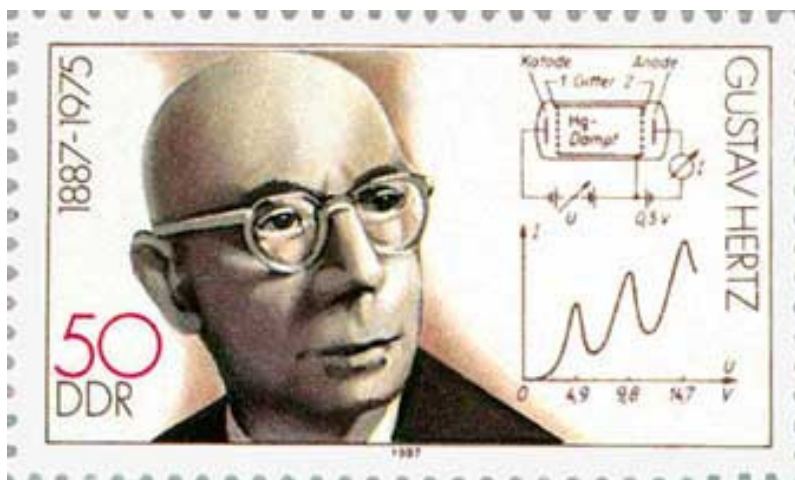


## Fyzikální praktikum 3

### Úloha D Franck-Hertzův experiment

#### Úkoly

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

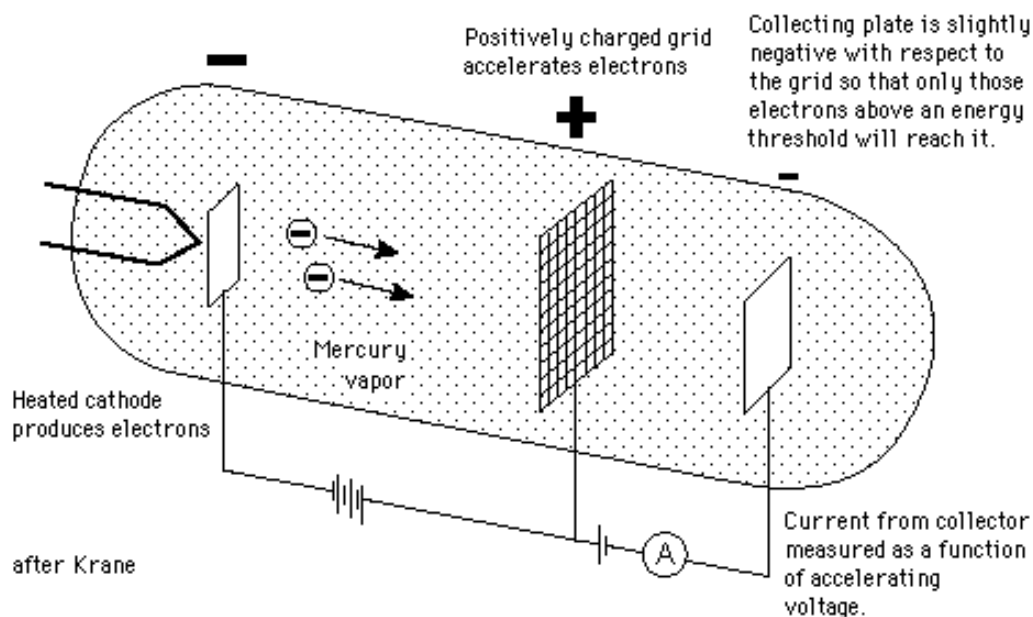


Obrázek 1: Gustav Hertz.

#### Princip Franck-Hertzova experimentu

Začátkem 20. století byla kvantová teorie elektronových stavů v atomech ověřována zejména pomocí atomových spekter. V roce 1914 Franck a Hertz experimentálně prokázali, a to bez použití optické emisní spektroskopie, že kvantové energetické hladiny elektronů skutečně existují a shodují se s hladinami určenými optickou emisní spektroskopií. V roce 1925 byla Franckovi a Hertzovi udělena Nobelova cena za jejich práci.

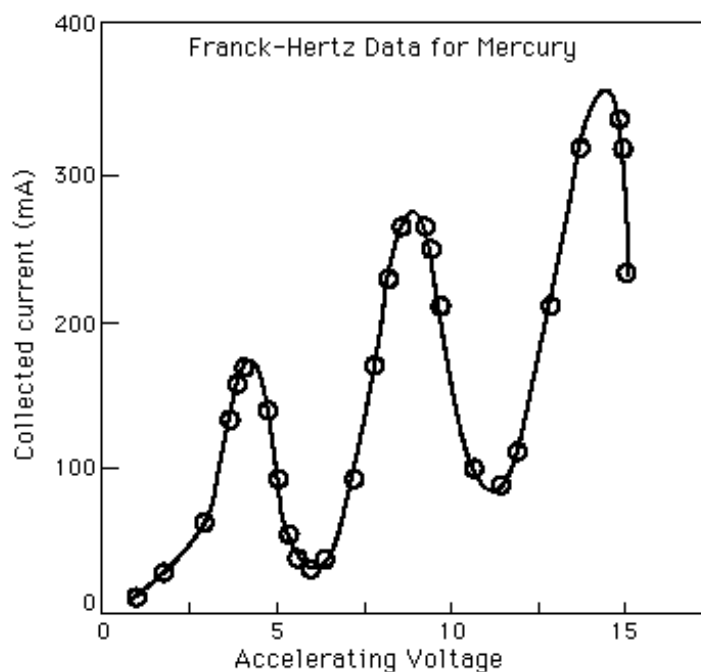
Původní Franck-Hertzův experiment je založen na srážkách elektronů s atomy rtuti. Při srážce atomu s jinou energetickou částicí může být část jejich společné kinetické energie pohlcena atomem tak, že dojde k přechodu elektronu v elektronovém obalu atomu do vyššího energetického stavu. Takto excitovaný atom po určité, často velmi krátké době, přechází zpět do základního stavu emisí



Obrázek 2: Experimentální uspořádání původního Franck-Hertzova pokusu.

jednoho nebo více fotonů. Aby mohl být atom excitován nárazem jiné částice, musí být vzájemná energie srážejících se částic větší než nejnižší excitační energie atomu. Pouze za splnění tohoto předpokladu může dojít k nepružné excitační srážce.

Franck a Hertz využívali aparaturu podobnou té na obrázku 2 pro bombardování par rozličných prvků elektrony s proměnnou kinetickou energií. Elektrony jsou emitovány žhavenou katodou a urychlovány směrem k mřížce. Mezi mřížkou a sběrnou elektrodou (kolektorem) je udržován malý potenciálový rozdíl, který urychlené elektrony po průletu mřížkou přibrzdí. Kolektorový proud roste s urychlujícím napětím pouze v určitém intervalu a po dosažení určité hodnoty urychlujícího napětí nastává prudký pokles kolektorového proudu. Získají-li totiž elektrony v blízkosti mřížky



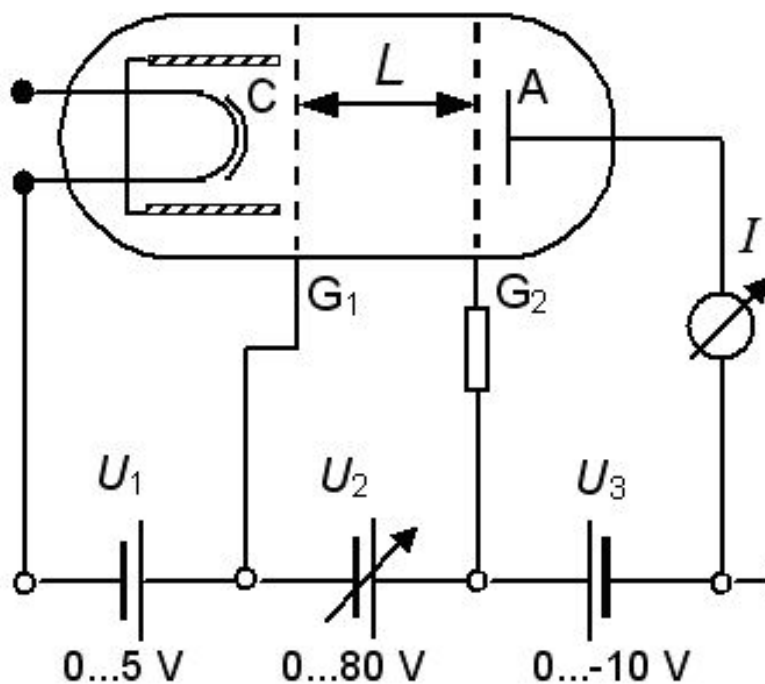
Obrázek 3: Závislost kolektorového proudu na urychlujícím napětí pro rtuť.

kinetickou energii rovnou excitační energii elektronových stavů studovaného atomu, může dojít v blízkosti mřížky k nepružným excitačním srážkám a kinetická energie elektronu po srážce již nestačí na překonání potenciálového rozdílu mezi mřížkou a kolektorem. Elektron pak nedopadá na kolektor, ale na mřížku. Kolektorový proud tedy prudce klesá.

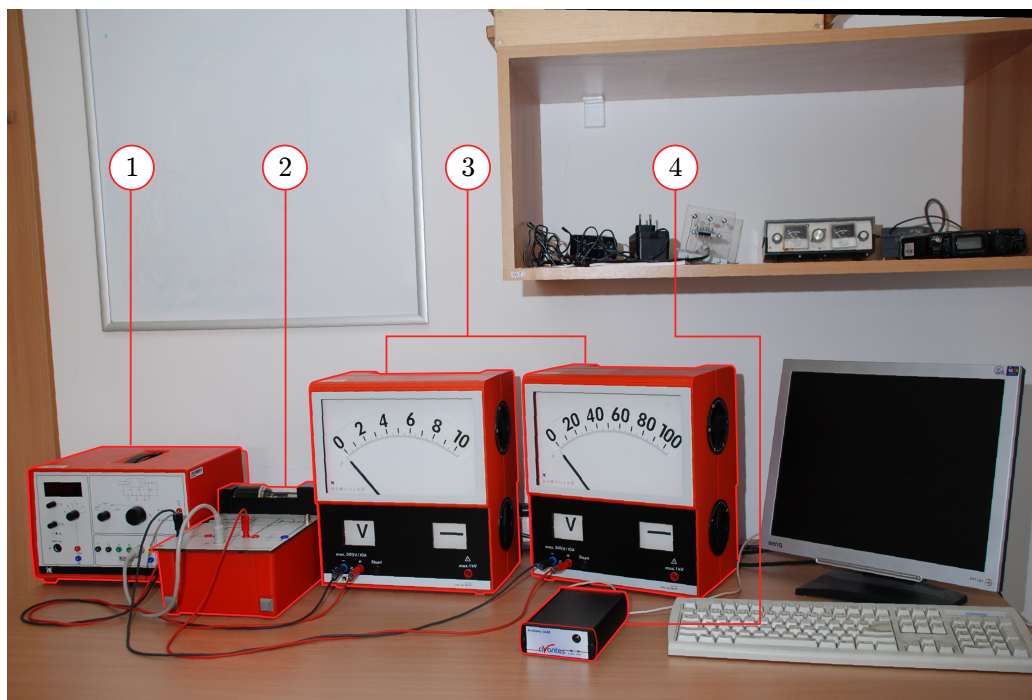
Příklad měření Franck-Hertzova experimentu pro páry rtuti je na obrázku 3. Bylo pozorováno, že závislost kolektorového proudu na urychlujícím napětí vykazuje několik poklesů, které se opakují po asi 4,9 V. Při urychlujícím napětí 4,9 V docházelo v blízkosti mřížky k nepružným excitačním srážkám, při kterých byla excitována nejnižší excitační hladina atomů rtuti a kolektorový proud poklesl. Při urychlujícím napětí asi 9,8 V mohl každý elektron během průletu trubici absolvovat dvě nepružné srážky s atomy rtuti. První nastala zhruba uprostřed mezi žhavenou katodou a mřížkou, druhá v blízkosti mřížky. Obě srážky vedly většinou k excitaci nejnižší energetické hladiny atomu rtuti. Z výše uvedeného je zřejmé, že Franck-Hertzův experiment umožňuje měřit pouze nejnižší energetické hladiny atomů. Přesto však to byl první experiment, který bez použití optické emisní spektroskopie ověřil existenci kvantových hladin atomů, a proto měl velký význam pro atomovou a kvantovou fyziku.

## Experimentální uspořádání

Na obrázku 4 je vyobrazeno experimentální uspořádání Franck-Hertzova experimentu, které budeme používat v praktiku. Uvnitř vakuové trubice je umístěna žhavená katoda C, dvě mřížky  $G_1$  a  $G_2$  ve vzdálenosti  $L$  a anoda (kolektor) A. Malé napětí  $U_1$  mezi katodou C a první mřížkou  $G_1$  slouží ke stabilizaci experimentu. Urychlující napětí  $U_2$  mezi mřížkami  $G_1$  a  $G_2$  slouží k nastavení kinetické energie elektronů. Elektronů jsou pak zpomalovány napětím  $U_3$  mezi mřížkou  $G_2$  a anodou A. Pokud se elektron nepružně srazí v blízkosti mřížky  $G_2$ , zpomalovací napětí  $I$  může způsobit, že elektron již nedopadne na anodu A, ale dopadne na mřížku  $G_2$ . Trubice je plněna



Obrázek 4: Experimentální uspořádání Franck-Hertzova pokusu pro praktikum.



Obrázek 5: Měřící aparatura: 1 - Zdroj napětí, 2 - Vakuová trubice, 3 - Voltmetry, 4 - Spektrometr Avantes.

jistým vzácným plynem. Napětí  $U_1$  a  $U_3$  lze nastavit na požadovanou hodnotu. Napětí  $U_2$  lze buď nastavit na požadovanou hodnotu, nebo je možné jej generovat ve tvaru pily.

## Postup měření

- Podle instrukcí vedoucího v praktikumu sestavte Franck-Hertzův experiment. Vedoucí praktika Vám ukáže, jak nastavit napětí  $U_1$ ,  $U_2$  a  $U_3$  a jak získat  $U_2$  ve tvaru pily.
- Pracujte v režimu, kdy  $U_2$  je aplikováno ve formě pily a ověřte, jaký vliv má napětí  $U_1$  a  $U_3$  na výsledky měření. Nejprve nastavujte různé  $U_3$  ( $U_1$  mějte konstantní) a sledujte závislost  $I=f(U_2)$ . Data nezaznamenávejte, pouze na základě vlastní zkušenosti s chováním experimentu vyvoďte co nejvíce závěrů a podpořte je fyzikální úvahou. Totéž opakujte pro konstantní  $U_3$  a různá  $U_1$ .
- Na základě předchozích experimentů naměřte pro alespoň jednu vhodnou kombinaci  $U_1$  a  $U_3$  závislost  $I=f(U_2)$ .
- Určete energii nejnižší excitační hladiny atomů plynu v trubici. Již před praktikem si zjistěte nejnižší excitační energie vzácných plynů, např. na National Institute of Standards and Technology v podsektci Atomic spectra database (<http://www.physics.nist.gov/PhysRefData/contents.html>). Svůj výsledek srovnajte s daty tabelovanými pro vzácný plyn, který se v trubici skutečně nachází (viz následující bod). V databázi se setkáte se spektroskopickým značením, kde se neutrální atom značí římskou číslicí I, jednou ionizovaný atom číslicí II, dvakrát ionizovaný číslicí III atd. Například neutrální atomy helia se tedy značí He I.
- Na závěr úlohy příručním spektrometrem naměřte spektrum vyzařované z trubice Franck-Hertzova experimentu. S využitím databáze spektrálních čar (např. z National Institute of Standards and Technology) zjistěte, jakým vzácným plynem je trubice plněna. To provedete tak, že známé polohy spektrálních čar vzácných plynů srovnáte s naměřenými. Pro alespoň jednu naměřenou spektrální čáru zjistěte tabelovanou energii horního stavu příslušného zářivého přechodu.