

19. Demonstrace Franckova-Hertzova pokusu

Pokusem Franckovým a Hertzovým lze ukázat, že atom energie pohlcuje jen po zcela určitých dávkách (po kvantech).

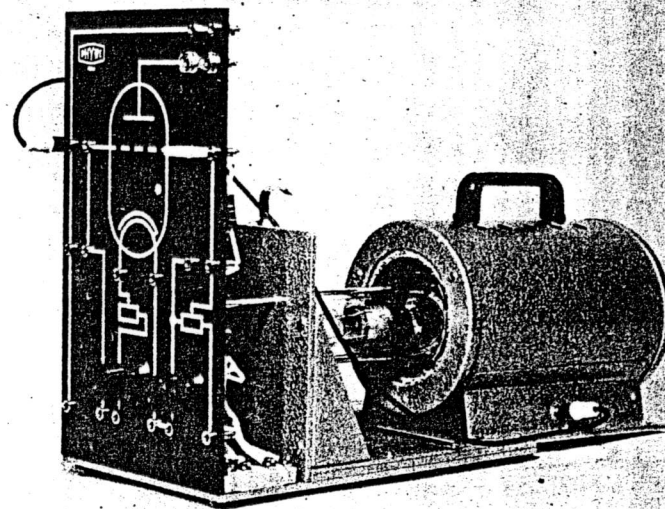
J. Franck a G. Hertz bombardovali atomy zředěného plynu elektrony a sledovali změny energie elektronů, které nastaly v důsledku interakce elektronů a atomů. Měnitelným napětím, přiváděným na příslušné elektrody, urychlovali volné elektrony a rozdělení rychlosti elektronů po srážkách zjišťovali metodou brzdícího potenciálu. Z pokusu vyplynulo, že při rychlosti elektronu menší, než je jistá kritická rychlost, je srážka pružná. Vzroste-li rychlost elektronu na zmíněnou kritickou hodnotu, nastane srážka nepružná; při ní elektron ztrácí svou energii a předá ji atomu, který přejde z normálního stavu do vzbuzeného. Následující návrat ze vzbuzeného stavu do normálního je spojen s vyzařením světelného kvanta (fotonu).

Vzhledem k důležitosti tohoto pokusu vyvinulo několik zahraničních firem názorné pomůcky, které umožňují Franckův a Hertzův pokus jednoduše realizovat a reprodukovat i na středních školách. Za zvláště zdařilou lze považovat soupravu firmy PHYWE, jejíž základní část tvoří trubice s panelem a nasouvateľná elektrická pívka (obr. 120). Trubice je opatřena třemi elektrodami a kapkou rtuti. Principiální schéma trubice a její zapojení je patrné z obr. 121.

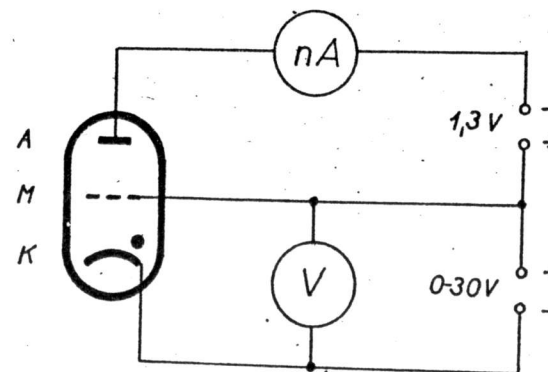
Vyhříváme-li trubici v elektrické pívce při teplotě kolem 200 °C, vznikne v trubici (ve shodě s diagramem na obr. 122) potřebný tlak rtuťových par, který je o něco větší než 10 torrů⁺). Jako vodič pro velikost střídavého napětí, které připojíme k pívce, slouží pomocný diagram na obr. 123.

K trubici připojíme žhavicí napětí 1 V \sim a mezi mřížku M

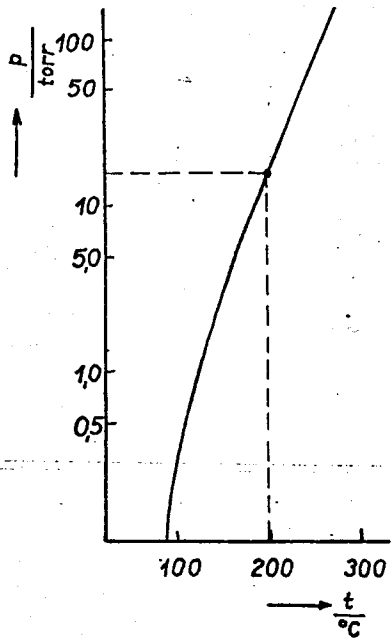
+) Tlak 10 torrů představuje hranici mezi oblastí subatmosférického tlaku a nízkého tlaku (tlak 10⁻¹ torrů představuje hranici mezi oblastí nízkého a velmi nízkého tlaku).



Obr. 120



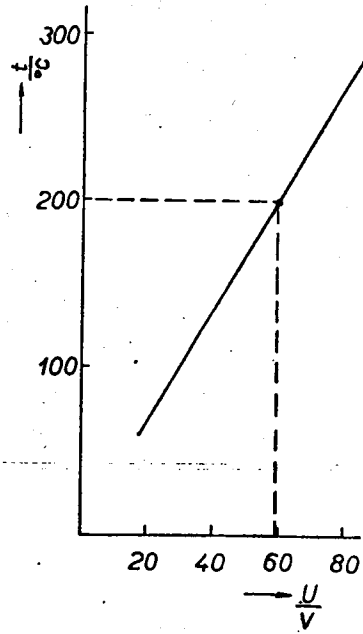
Obr. 121



Obr. 122

a jímací elektrodu A připojíme brzdící stejnosměrné napětí 1,3 V. Mezi katodu K a mřížku M připojíme regulovatelné stejnosměrné napětí, kterým budeme urychlovat elektrony emitované žáhavenou katodou.

Při malém urychlovacím napětí (měříme je připojeným voltmetrem) je rychlost elektronů malá. Po průchodu mřížkou se elektrony dostávají do brzdícího elektrického pole, vytvořeného brzdícím napětím mezi mřížkou a jímací elektrodou. Urychlovací napětí postupně zvyšujeme (zvyšuje se kinetická energie elektronů) a sledujeme proud v obvodu se stejnosměrným měřicím zesilovačem, který jsme zapojili jako nanoampérmetr; navržený měřicí zesilovač popisujeme v kapitole 13.



Obr. 123

Při průchodu elektronů parami rtuťi bude v prostoru mezi katodou a mřížkou docházet ke srážkám s atomy rtuťi. Pokud energie elektronů nedosáhne určité hodnoty, bude proud postupně vzrůstat, což svědčí o tom, že elektrony dopadly na jímací elektrodu, aniž došlo ke srážkám, nebo že šlo o srážky pružné. Při určité energii elektronů nastanou srážky nepružné, při nichž elektrony předávají atomům energii. Vhodnou volbou brzdícího napětí můžeme dosáhnout toho, že elektrony, které ztratily svou energii, nedopadnou na jímací elektrodu; budou zachyceny mřížkou, což se projeví poklesem proudu. Zvyšujeme-li dále urychlovací napětí, mají elektrony po nepružných srážkách ještě další přebytek energie k překonání brzdícího pole. Při dostatečně velkém urychlovacím napětí může po první nepružné srážce dojít na zbývající cestě k mřížce k další jedné nebo více nepružným srážkám.

Jako výsledek závislosti proudu na napětí urychlovacím elektrony (při konstantním brzdícím napětí) obdržíme graf na obr. 124, v němž se objeví několik periodicky se opakujících proudových maxim a minim. Graf nás informuje o nepružných srážkách.

Rozhodující pro naše úvahy jsou rozdíly mezi polohami prvního a dalších proudových maxim nebo rozdíly mezi vzájemnými polohami proudových minim; proudová maxima nebo minima vznikají vždy po skocích napětí 4,9 V. Není rozhodující, že graf je ve skutečnosti poněkud posunut o kontaktní napětí, které je vyvoláno tím, že mřížka a katoda jsou z různých materiálů (první maximum se proto neobjeví při 4,9 V). Kontaktní napětí posunuje celou Franckovu - Hertzovu křivku, avšak nemění intervaly mezi polohami proudových maxim a minim.

Z grafu lze vyhodnotit, že vždy jen po zvýšení urychlovacího napětí o 4,9 V získávají elektrony takovou energii, kterou atomy rtuťi absorbují.

Pro atomy rtuťi má tedy zvláštní význam energie 4,9 eV. Toto kvantum energie odevzdávají elektrony ze své celkové energie atomům rtuťi i při opakovaných nepružných srážkách. (Většina

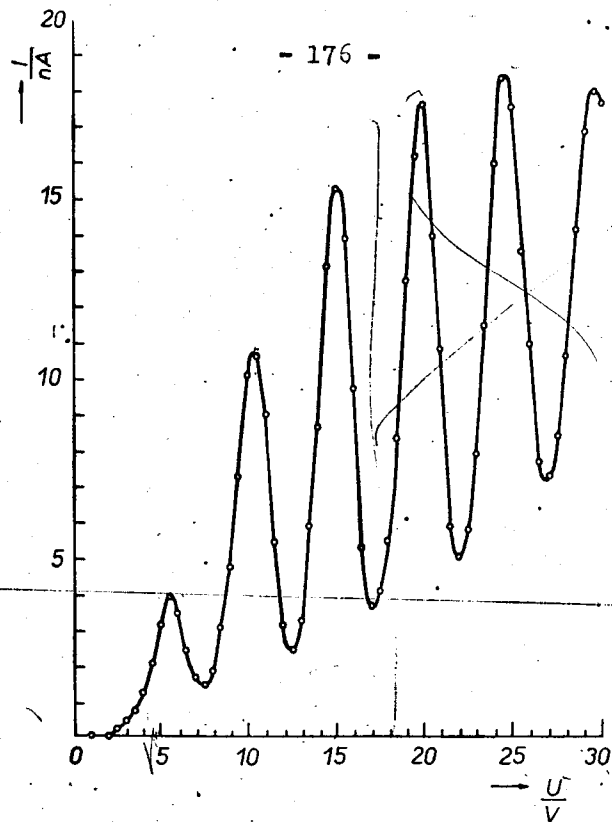
elektronů, dosáhnuvších energie $1 \times 4,9 \text{ eV}$, $2 \times 4,9 \text{ eV}$, $3 \times 4,9 \text{ eV}$, se při uvedených provozních podmínkách trubice zúčastní nepružných srážek.)

Energie $4,9 \text{ eV}$ představuje hodnotu energetického kvanta, při jehož pohlcení přejde atom rtuti z normálního stavu (ve spektroskopii se označuje 6^1S_0) do stavu vzbuzeného (6^3P_1), jehož energie je vyšší o $4,9 \text{ eV}$. Atomy zůstávají ve vzbuzeném stavu jen několik sekund a vracejí se do normálního stavu.

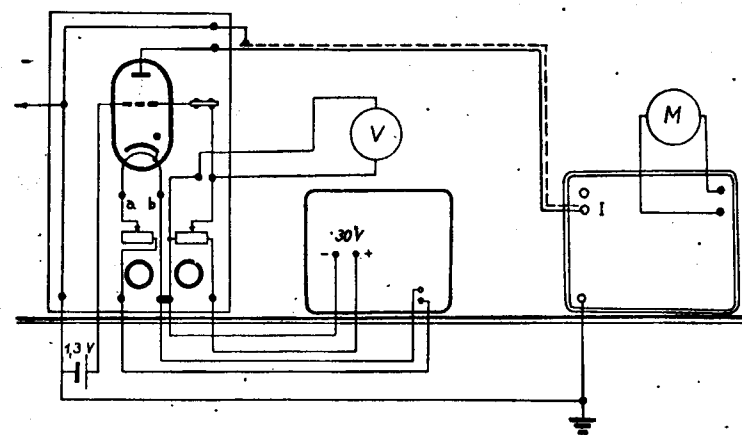
Při přechodu ze stavu vzbuzeného do stavu normálního vydávají atomy rtuti světelná kvanta o kmitočtu $11,6 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$, resp. o vlnové délce 254 nm . Příslušná monochromatická čára leží tedy v ultrafialové části spektra.

Pochody v trubici nemusí být při nepříznivých podmínkách tak jednoduché. Při jedné srážce by mohl být atom ve stavu vzbuzeném, při další by mohl být izolován (izolační potenciál atomů rtuti je $10,4 \text{ V}$). I když při urychlovacím napětí do 30 V je pravděpodobnost vzbuzeného stavu mnohem větší, mohlo by k nežádoucí ionizaci dojít zejména při velkém žhavicím napětí.

Aby provedení pokusu bylo usnadněno a byla zajištěna jeho názornost, vybavila firma PHYWE Franckovu-Hertzovu trubici panelem [30] s funkčním schématem příslušných obvodů se zdírkami pro přehledné připojení vnějších zdrojů a měřicích přístrojů (obr. 125). Vhodnou velikost žhavicího napětí (kolem 1 V ~), které připojíme na střední pár zdírek, vyregulujeme potenciometrem na panelu a kontrolujeme je voltmetrem; voltmetr připojíme na zdíčky, označené na obr. 125 písmeny a , b (ve schématu není kvůli přehlednosti nakreslen). Na levý pár zdírek připojíme jako zdroj brzdicího napětí jeden článek ze školní baterie niklokaadmiových akumulátorů. Proud, který bude procházet jímací elektrodou, ukáže indikační měřidlo M , připojené na výstup stejnosměrného měřicího zesilovače. Na pravý pár zdírek připojíme stejnosměrné napětí 30 V z eliminátoru Tesla M 110 nebo Tesla O52 ; potenciometrem, umístěným nad zdírkami, nastavujeme napětí pro urychlování elektronů emitovaných žhavenou katodou.



Obr. 124



Obr. 125

Před vlastním zahájením pokusu uzemníme kovovou část elektrické pícky (připojení uzemňovacího vodiče k panelu je ve schématu na obr. 125 znázorněno šipkou) a Franckovu - Hertzovu trubici vyhříváme v pícce asi půl hodiny. Elektrická pícka je umístěna za panelem s trubicí. Potřebné střídavé napětí (kolem 60 V) připojíme k pícce z regulačního autotransformátoru RT 2,5 nebo RT 2,5 J. Teploměr musí ve vyhřáté pícce udávat teplotu kolem 200 °C (teplota nesmí ani na okamžik překročit 300 °C).

Poznámka:

Potenciál 4,9 V se nazývá "první kritický potenciál" nebo "rezonanční potenciál" atomu rtuti (pro sodík byl podobně nalezen rezonanční potenciál 2,12 V, pro draslík 1,6 V apod.). Kromě energie, odpovídající prvnímu kritickému potenciálu, mají atomy také jiné, vyšší stupně budící energie, které mohou být nalezeny rovněž metodou elektronových srážek. Experimentální metoda pro vzbuzení do vyšších stacionárních stavů musí však být jinak upravena.