

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Jozef Szivós; Aleksej Benedek
Realizácia Franck-Hertzových pokusov

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 16 (1971), No. 4, 202--205

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139780>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1971

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

REALIZÁCIA FRANCK–HERTZOVÝCH POKUSOV

JOZEF SZIVÓS, ALEXEJ BENEDEK, Bratislava

Najbezprostrednejším pokusom overujúcim Bohrov model atómu sú Franck-Hertzové pokusy. V článku sú popísané výsledky týchto pokusov, realizovaných na Katedre fyziky Strojnickej fakulty SVŠT pomocou adaptovanej elektrónky EF 86 a prístrojov bežne dostupných aj na stredných školách.

Bohrov model atómu sa vyučuje ako na stredných, tak i na vysokých školách. Jednu zo základných téz tejto teórie — t. j. že atómy energiu pohltia alebo vyžiaria len po určitých kvantách — možno overiť Franck-Hertzovými pokusmi. Podstata týchto pokusov spočíva v tom, že atómy bombardujeme elektrónmi a pozorujeme zmeny energie elektrónov, ktoré nastanú v dôsledku interakcie elektrónov a atómov. Pokus realizujeme pomocou plynom naplnenej triódy v zapojení podľa obr. 2. Elektróny vystupujúce zo žeravenej katódy sú urýchlené meniteľným napätím medzi katódou a mriežkou, takže možno meniť ich kinetickú energiu. Po prechode cez mriežku sa elektróny dostanú do brzdiaceho poľa medzi mriežkou a anódou triódy. Pohyb elektrónov k anóde môže prebiehať rôznymi spôsobmi:

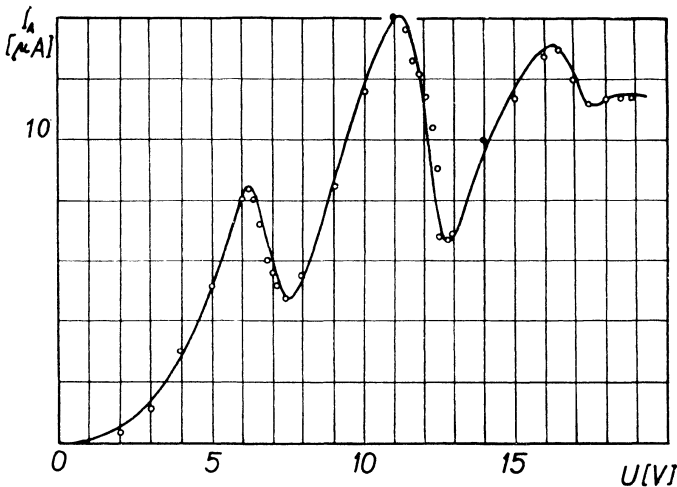
1. elektrón sa nestretne s atómom plynu a dopadne na anódu,
2. elektrón sa stretne s atómom (príp. s viacerými atómami) plynu, ale pri interakcii neodovzdá energiu (pružné zrážky) a dopadne na anódu.
3. elektrón sa stretne s atómom (príp. viacerými) plynu a pri interakcii stráca energiu. Teda dopadá na anódu s menšou energiou než v predchádzajúcich prípadoch.

Vhodnou voľbou „brzdiaceho“ napätia medzi mriežkou a anódou môžeme dosiahnuť toho, že elektróny, ktoré stratili energiu pri zrážkach, nedopadnú na anódu, čo sa prejaví poklesom anódového prúdu. Ako výsledok snímania anódového prúdu pri premennom urýchľovacom a konštantnom brzdiacom napätí dostaneme závislosť zobrazenú na obr. 1. Keďže pokles anódového prúdu nastane len pri určitom urýchľovacom napätí, atómy plynu pohltia len určité množstvo z energie elektrónov. Konštantný rozdiel medzi potenciálmi, pri ktorých poklesy anódového prúdu nastanú, poukazuje na to, že aj v prípade opakovaných zrážok elektróny odovzdávajú atómom plynu vždy to isté kvantum energie.

Pre jednoduchosť a názornosť majú tieto pokusy veľkú pedagogickú hodnotu pri výučbe základného kurzu fyziky. Po dvojročných skúsenostiach na našej katedre sa veľmi dobre osvedčili aj ako študentské laboratorné úlohy, pretože sa dajú kvantitatívne vyhodnotiť. Napriek týmto výhodám nie sú tieto pokusy u nás bežne používané, pretože na našom trhu učebných pomôcok ešte nedostať špeciálne elektrónky vhodné pre spomenutý účel. Pochopiteľne je snaha nájsť medzi bežne vyrábanými thyratronmi také, pomocou ktorých možno Franck-Hertzove pokusy

previesť. Podľa údajov zahraničnej literatúry také thyatrony sú napríklad: ТГ-1-0, 1/1, 3 vyrábané v ZSSR, ďalej FG 27, FG 27A, FG 57, FG 67, GL 5557/FG 17. Sú to výrobky firmy General Electric v USA, teda ich tunajší výskyt je málo pravdepodobný.

Na Katedre fyziky sme skúšali viac druhov thyatronov európskej výroby a medzi nimi sme našli vhodný druh pre Franck-Hertzove pokusy. Je to thyatron Sted 1000 1/1,5, výrobok firmy Siemens. Najlepšie výsledky sme však dosiahli upravenou pentódou EF 86, v ktorej pri výrobe vynechali mriežky g1, g3 a do baňky elektrónky vpustili väčšiu kvapku Hg. Úpravu elektrónky je najlepšie dosiahnúť u výrobcu (TESLA Piešťany), ak tam možno nájsť pochopenie, ale sú aj domáce metódy na úpravu ([1]). Plynovú náplň spomínaného thyatronu tvoria teda nasýtené ortuťové pary, pochádzajúce z ortuťových kvapiek v baňke thyatronu. Hustotu Hg pár môžeme meniť zmenou teploty baňky thyatronu. Pri zisťovaní závislosti anódového prúdu na mriežkovom napätí bolo možné pozorovať viac za sebou nasledujúcich poklesov anódového prúdu (obr. 1). To je súčasne nutná podmienka stanovenia

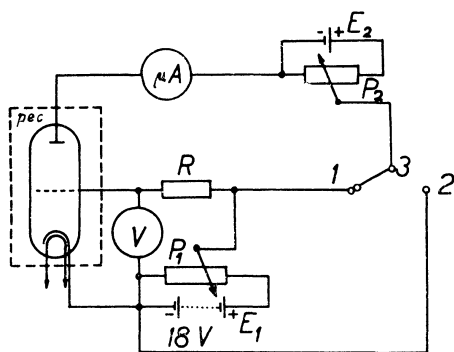


Obr. 1. Franck-Hertzová krivka snímaná pomocou upravenej elektrónky EF 86.

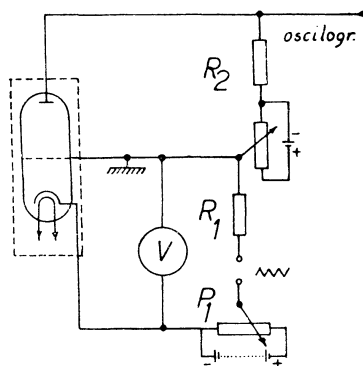
rezonančného potenciálu. Okrem priloženého napätia pôsobí totiž na elektróny ešte aj kontaktný potenciál mriežky vzhľadom na katódu, čo spôsobuje posun polôh poklesu anódového prúdu. Rezonančný potenciál teda možno stanoviť len ako rozdiel medzi napätiami, u ktorých nastanú poklesy anódového prúdu, t. j. treba zaregistrovať najmenej dva za sebou idúce poklesy anódového prúdu.

Pokus sme realizovali v zapojení podľa obr. 2. Meniteľné urýchľovacie napätie (akumulátory do 20 V), merané voltmetrom (citlivosť 0,2 V/dielik), odoberáme z jednosmernej batérie cez potenciometer P_1 (posuvný reostat 1200 Ω). Odpor R (5 k Ω) slúži na obmedzenie mriežkového prúdu. Anódové napätie (brzdíacie) odoberáme zo zdroja E_2 (suchý článok 1,5 V) cez potenciometer P_2 (1 k Ω). Anódový prúd meriame mikroampérom (citlivosť 0,2 μ A/dielik, rozsah 20 μ A) v polohe pre-

pínača 3 — 1. Elektrónka je umiestnená v peci a ohriata na teplotu $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tým sme popísali metódu vhodnú pre študentské laboratórne meranie rezonančného potenciálu, kontaktného potenciálu, rezonančnej energie a frekvencie (príp. vlnovej dĺžky) vyslaného žiarenia.



Obr. 2.



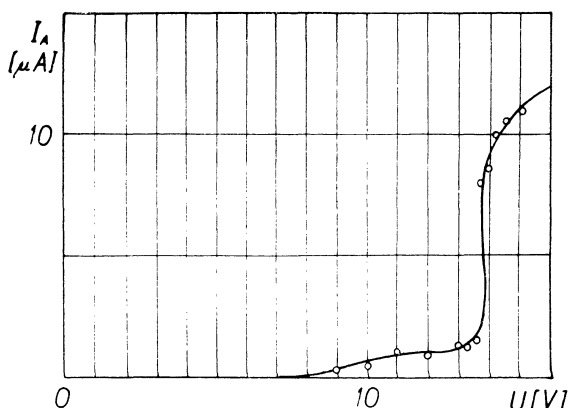
Obr. 3.

Pre kvalitatívnu demonštráciu je vhodnejšie spomenutú Franck-Hertzovú krivku zobraziť pomocou oscilografu. Uvádzame vhodné zapojenie (obr. 3). Zapojenie je podobné ako na obr. 2. Odpor R_2 (podľa vstupných parametrov oscilografu) slúži k dosiahnutiu vychyľovacieho napätia úmerného anódovému prúdu. Ak oscilograf má vývod pilovitých kmitov časovej základne, potom ich môžeme priamo použiť na modulovanie urýchľovacieho napätia. V opačnom prípade možno použiť transformátor ako zdroj modulačného napätia, ale v tomto prípade z transformátora napájame aj časovú základňu oscilografu. Odpor R_1 ($5\text{ k}\Omega$) slúži ako ochranný odpor mriežky. Amplitúda modulačného napätia určuje šírku snímanej časti Franck-Hertzovej krivky. Teda túto časť vidíme na tienidle obrazovky. Zmenou napätia na potenciometri P_1 môžeme uvedenú krivku posúvať po tienidle. Posuňme krivku na tienidle oscilografu tak, aby na svislú priamku, na ktorej leží vrchol krivky, sa dostal jej nasledujúci vrchol. Príslušná zmena urýchľujúceho napätia, ktorú možno zistiť voltmetrom, je rezonančný potenciál.

Graf na obr. 1 sme namerali prvou uvedenou metódou. Z rozboru vyplývajúca hodnota rezonančného potenciálu vychádza $(4,9 \pm 0,2)\text{ V}$. Táto hodnota súhlasí v rámci uvedenej presnosti s hodnotou vyplývajúcou zo spektroskopických meraní $4,88\text{ V}$. Pre kontaktný potenciál sme namerali hodnotu $(2,0 \pm 0,2)\text{ V}$. Znalosť hodnoty kontaktného potenciálu je potrebná pre určenie správnej hodnoty ionizačného potenciálu Hg pár, čo popíšeme v ďalšom.

Meranie ionizačného potenciálu ortuťových pár sme previedli s uvedenou elektrónkou v zapojení podľa obr. 2, v ktorom prepínač bol prepojený do polohy 3—2. Pri tomto meraní elektrónka mala teplotu $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Podľa zapojenia anóda má nižší potenciál než katóda, preto elektróny emitované z katódy nedostihnú anódu a ne-

môžu vyvolať anódový prúd. Aj snímaná charakteristika ukazuje (obr. 4), že do určitej hodnoty urýchľovacieho napätia nepozorujeme anódový prúd. Akonáhle však urýchľovacie napätie dosiahne určitú hodnotu, objaví sa prúd, ktorý má opačný smer



Obr. 4. Závislosť anódového prúdu od urýchľovacieho napätia pri meraní ionizačného potenciálu.

než predtým meraný anódový prúd. Ak mikroampérmeter nemá nulu v prostriedku stupnice, pri tomto meraní ho treba prepólovať. Prúd je zapríčinený dopadom kladných iónov, ktoré sú vytvorené nárazom elektrónov na ortuťové pary v prípade, že elektróny majú dostatočnú energiu. Urýchľovacie napätie, pri ktorom sa objaví ionizačný prúd, nie je skutočný ionizačný potenciál. Treba ho opraviť o hodnotu kontaktného potenciálu mriežky vzhľadom na katódu, čo sme určili z vyhodnotenia grafu na obr. 1. Z grafu na obr. 4 vidieť, že má štyri rôzne oblasti. Prvá (0—8) V je bezprúdová. V druhej (8—12,5) V sa objavuje mierne stúpanie prúdu, čo je zapríčinené fotoelektrónmi vyrazenými z anódy fotónmi, ktoré vznikajú pri budení Hg pár elektrónmi. Z hladiny fotoprúdu sa začína (v tretej oblasti od 12,5—13,5 V) vynárať ionizačný prúd asi pri hodnote 12,5 V, ktorý prechádza vo výboj (13,8 V). Prudký rast prúdu počas výboja obmedzuje ochranný odpor mriežky R a tým je zmiernené stúpanie charakteristiky (štvrtá oblasť, 15 V — vyššie). Teda nami nameraná hodnota ionizačného potenciálu ($12,5 \pm 0,3$) V po korigovaní o kontaktný potenciál ($2,0 \pm 0,2$) V dáva hodnotu ($10,5 \pm 0,3$) V; táto hodnota je v dobrej zhode s hodnotou, ktorá vyplýva zo spektroskopických meraní 10,39 V.

Záverom by sme ešte raz chceli upozorniť na jednoduchosť, názornosť a principiálnu dôležitosť týchto pokusov, ktoré si zaslúžia pozornosť učiteľov fyziky a vysloviť nádej, že potrebné pomôcky sa v dohľadnej dobe objavia aj na našom trhu.

Literatúra

- [1] J. ROSENFELD and C. TYLER: Home Made Franck-Hertz Tube. American Journal of Physics. Vol. 33. (1965), str. 849.