

FRANCK - HERTZŮV POKUS

Pracovní úkoly:

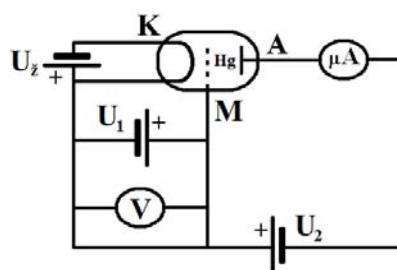
1. Stanovte výpočtem kinetickou energii elektronu urychleného potenciálovým rozdílem 10 V. energii vyjádřete v jednotkách joule [J] a elektronvolt [eV].
2. Experimentálně změřte voltampérovou charakteristiku triody plněné neonem.
3. Ze změřené charakteristiky určete excitační energii atomů neonu.
4. Určete, jakou vlnovou délku má foton vyzářený při přechodu z excitovaného stavu atomu zpět do základního stavu? V jaké části elektromagnetického spektra se nachází?
5. Vysvětlete, proč nejsou minima v naměřené závislosti $I = f(U_1)$ ostrá?

Pomůcky: experimentální sestava Franck-Hertzův pokus (tetroda plněná plynem, řídicí a napájecí jednotka), počítač, vodiče

Teorie:

V letech 1912-1914 James Franck a Gustav Ludwig Hertz studovali voltampérovou charakteristiku elektronky plněné parami rtuti. Cílem pokusu bylo experimentálně dokázat kvantování energie. Nobelovu cenu za fyziku získali oba experimentátoři v roce 1925.

Speciálně připravená elektronka obsahující celkem tři elektrody (katodu, anodu a mřížku) nebyla vakuovaná, jak bylo běžně zvykem, ale plněná parami rtuti. Protože rtuť je za běžných podmínek v kapalném stavu, k jejímu odpaření je nutné zvýšit teplotu elektronky. Vlastní elektrické zapojení obsahuje obrázek 1.



Obrázek 1: Elektrické zapojení Franck-Hertzova pokusu

K emisi elektronů z katody slouží žhavicí spirála napájená zdrojem žhavicího napětí U_z . Emitované elektrony z katody jsou přitahovány směrem k mřížce a díky napětí U_1 získají kinetickou energii velikosti:

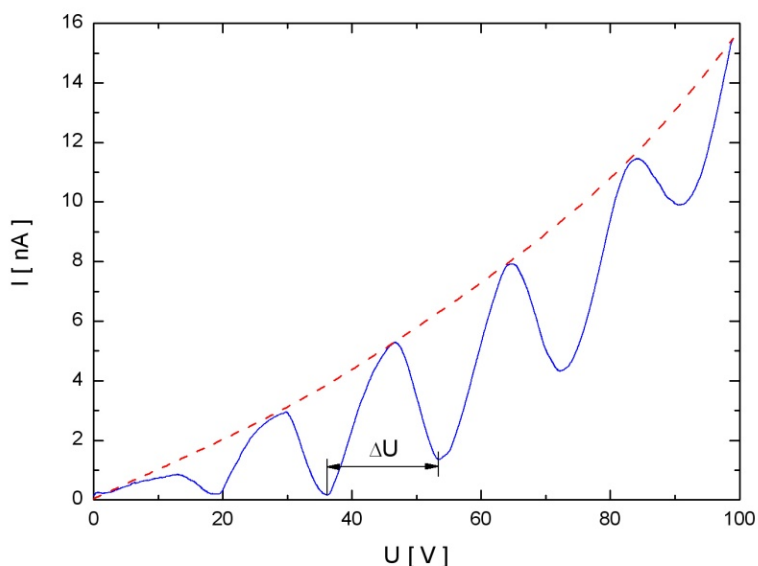
$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 = e \cdot U_1,$$

kde m_e je hmotnost elektronu a e jeho náboj. Elektrické napětí U_2 je naopak orientováno opačným směrem a tvoří pro elektron energetickou bariéru, kterou může překonat pouze, pokud jeho kinetická energie je větší než tato bariéra.

$$E_k \geq e \cdot U_2 \quad \text{tj.} \quad e \cdot U_1 \geq e \cdot U_2.$$

Pokud je prostor uvnitř elektronky vakuovaný, aby elektron doletěl od katody k anodě, stačí splnit podmínku $U_1 \geq U_2$.

Jestliže je elektronka naplněna plynem (v originálním provedení se jednalo o rtuť), pak dochází ke srážkám letících elektronů s atomy tohoto plynu. Během srážky elektron předá část své energie a není potom schopen překonat energetickou bariéru mezi mřížkou a anodou. To se projeví poklesem elektrického proudu tekoucího obvodem. Na voltampérové charakteristice Franck-Hertzovy trubice je vidět několik poklesů elektrického proudu protékajícího obvodem. Tyto poklesy jsou v konstantních rozestupech (viz obrázek 2). První pokles proudu odpovídá situaci, kdy letící elektron se srazí s atomem rtuti a předá mu část své energie. Druhý pokles odpovídá situaci, kdy elektron se během svého letu srazí dvakrát, třetí pokles třem srážkám atd. Pravděpodobnost opakované srážky klesá s počtem srážek, proto při dostatečné energii některé elektrony doletí k anodě a obvodem protéká elektrický proud. Energie, kterou atom plynu získá srážkou, se využije k excitaci některého elektronu v atomovém obalu, tj. přesunutí elektronu na vyšší energetickou hladinu. Hodnoty rozdílů energií jednotlivých hladin jsou pevně dané, proto i množství předané energie musí odpovídat tomuto rozdílu.



Obrázek 2: Voltampérová charakteristika Franck-Hertzovy trubice plněné neonem (Čárkovaně je charakteristika trubice bez plynu.)

Z charakteristiky se špatně odečítají minima pro nízká urychlovací napětí, protože trubicí protéká malý proud a křivka je velmi „plochá“. Může se stát, že poloha prvního poklesu není na grafu vidět. Pro stanovení energie předané atomu je lepší vyjít z rozdílů napětí mezi dvěma následujícími poklesy. Pro n -tý a následující pokles lze zapsat pro přírůstek kinetické energie:

$$e \cdot \Delta U = e \cdot (U_{n+1} - U_n) = \Delta E_k = E_{excit} ,$$

kde e představuje náboj elektronu ($1,602 \cdot 10^{-19}$ C) a E_{excit} excitační energii plynu ve Franck-Hertzově trubicí. Při záměně rtuti jiným plynem budou vzdálenosti poklesů odpovídat excitační energii příslušného plynu.

Atom excitovanou energii může vrátit formou fotonu. Jeho vlnovou délku λ lze stanovit ze vztahu:

$$E_{excit} = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda},$$

kde h představuje Planckovu konstantu, ν frekvenci fotonu a c rychlost světla ve vakuu. Po úpravě dostaneme výsledný vztah:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_{excit}},$$

Pro rtuť použitou v originálním pokusu byla změřena excitační energie o hodnotě $E_{excit} = 4,9 \text{ eV} = 7,8498 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Tabulková hodnota rychlosti světla ve vakuu činí $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, Planckova konstanta má hodnotu $h = 6,6260755 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Pro hledanou vlnovou délku platí:

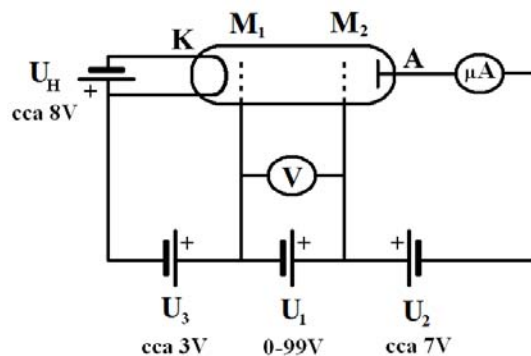
$$\lambda = \frac{6,6260755 \cdot 10^{-34} \cdot 2,9979 \cdot 10^8}{7,8498 \cdot 10^{-19}} \doteq 2,53 \cdot 10^{-7} = 253 \text{ nm}$$

Pro rtuť leží vlnová délka vyzařovaného fotonu v oblasti UV záření.

Z Franck-Hertzova pokusu vyplynula skutečnost, že energie je v mikrosvětě předávána nespojitě po kvantech. Pokud by bylo možné předávání energie spojitě, pak bychom nepozorovali skokové změny proudu, protože elektron o libovolné energii by mohl excitovat při nárazu atom plynu.

Experimentální úloha:

Praktické provedení pokusu je nepatrně složitější, než zapojení popsané v teoretické části. V jednodušším uspořádání s triodou je velikost proudu protékajícího mezi katodou a anodou závislá na velikosti napětí mřížky. Protože napětí mřížky zároveň ovlivňuje rychlost pohybu (kinetickou energii) emitovaných elektronů i jejich množství, nelze regulovat energii a množství elektronů nezávisle. Tuto nevýhodu odstraňuje použití elektronky se dvěma mřížkami, tzv. tetrody. Mřížka \mathbf{M}_1 umístěná v blízkosti žhavené katody slouží k regulaci množství elektronů vyletujících z katody (regulace proudu), mřížka \mathbf{M}_2 k urychlování (regulace kinetické energie elektronů). Z hlediska vyhodnocení experimentu je podstatný přírůstek kinetické energie letícího elektronu mezi mřížkami \mathbf{M}_1 a \mathbf{M}_2 daný napětím U_1 .



Obrázek 3: Elektrické zapojení reálného Franck-Hertzova pokusu

V experimentu je tetroda plněná neonem, který je v plynném stavu již při pokojové teplotě, a odpadá tak nutnost ohřevu tetrody. Úloha je řízena počítačem, kdy uživatel pouze nastavuje požadované hodnoty napětí.

Při velkém protékajícím proudu trubici může dojít k vytvoření vodivého kanálu v plynu a trubice září. V takovém případě je již tekoucí proud ovlivněn zcela jinými mechanismy a výsledky měření nelze použít.

Pokyny pro měření:

1. Zapněte řídicí jednotku úlohy. Vypínač se nachází na zadní stěně.
2. Zapněte počítač a přihlaste se jako uživatel FP5B (účet je nastaven bez hesla).
3. Přepněte tlačítkem *FUNCTION* řídicí jednotku do stavu řízení počítačem (signalizováno kontrolkou *PC*).
4. Spusťte program *Franck-Hertz experiment* ikonou na pracovní ploše PC.
5. Nastavte hodnoty jednotlivých napětí a proved'te měření.
6. Optimalizujte hodnoty jednotlivých napětí, až budete s výsledným grafem charakteristiky tetrody plněné neonem spokojeni.
7. Uložte si naměřená data z vašeho nejlepšího měření.
8. Sestrojte graf $I = f(U_1)$ a vyhodno'te měření.