

Dualismus vln a částic

Filip Horák¹, Jan Pecina², Jiří Bárdoš³

¹Mendelovo gymnázium, Opava, Horaksro@seznam.cz

²Gymnázium Jeseník, pecinajan.jes@mail.com

³Gymnázium Teplice, jiri.bardos@post.gymtce.cz

Abstrakt:

Budeme se zabývat dokazováním dualistické povahy hmoty, podle de Broglieho hypotézy. Tohoto cíle dosáhneme pomocí teoretického a experimentálního ověření. Budeme demonstrovat vlnově-částicový charakter hmoty.

Úvod

Již na počátku 20. století P. Debye a P. Scherrer určovali mřížkovou konstantu krystalů pomocí difrakce rentgenového záření, pomocí jejich metody, která vychází z faktu, že RTG záření se chová jako vlna. Stejně tak se chová každé elektromagnetické vlnění (např. světlo, které můžeme považovat za proud fotonů). Berme jako fakt, že fotony mají svou vlnovou délku a hybnost (podle A. Einsteina). De Broglie poté přichází s myšlenkou, že se každá hmotná částice může chovat jako vlna.

Teoretické zpracování

Základem našeho teoretického zpracování, je odvození vzorce pomocí kterého budeme schopni spočítat vlnovou délku jakékoli hmotné částice, tuto vlnovou délku poté budeme porovnávat s vlnovou délkou naměřenou naším experimentem. K odvození příslušného vzorce využijeme de Broglieho hypotézu, charakterizovanou vztahem:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

(1)

kde λ je výsledná vlnová délka, h je Planckova konstanta, charakterizující hodnoty energie světla, ($h=6,22 \cdot 10^{-34}$ Js) a p je hybnost.

Hybnost lze vypočítat z energetické rovnice elektronu, produkovaného experimentem.

$$eU = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} \quad (2)$$

kde e je elektrický náboj elektronu, U je napětí, kterým elektron urychlujeme. $\frac{1}{2}mv^2$ je klasický vzorec pro výpočet kinetické energie. A $p^2/2m$ je jeho úprava s dosazením hybnosti. Tuto hybnost tedy můžeme vypočítat pomocí této rovnice:

$$p = \sqrt{2emU} \quad (3)$$

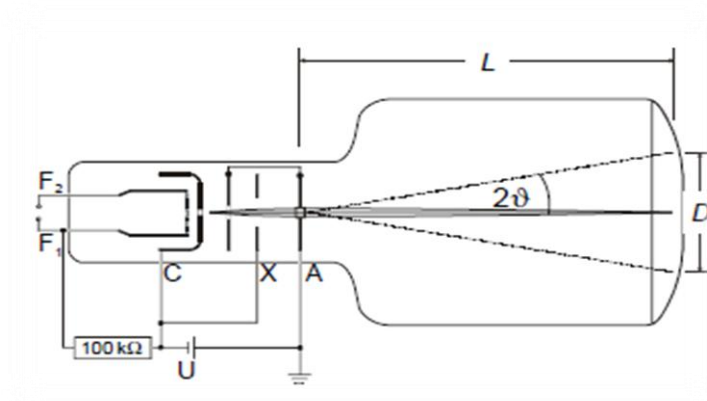
kde m je hmotnost částice, e její elektrický náboj a U napětí, kterým elektron urychlujeme. Pokud tento vzorec upravíme podle de Broglieho hypotézy, získáváme výsledný vzorec pro výpočet vlnové délky.

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2emU}} \quad (4)$$

Experiment

- Popis aparatury

Naše aparatura se skládá z vysokonapětového zdroje (Leybold Didactic 521 70, $U_{\max} = 5\text{kV}$) a z elektronové difrakční trubice.



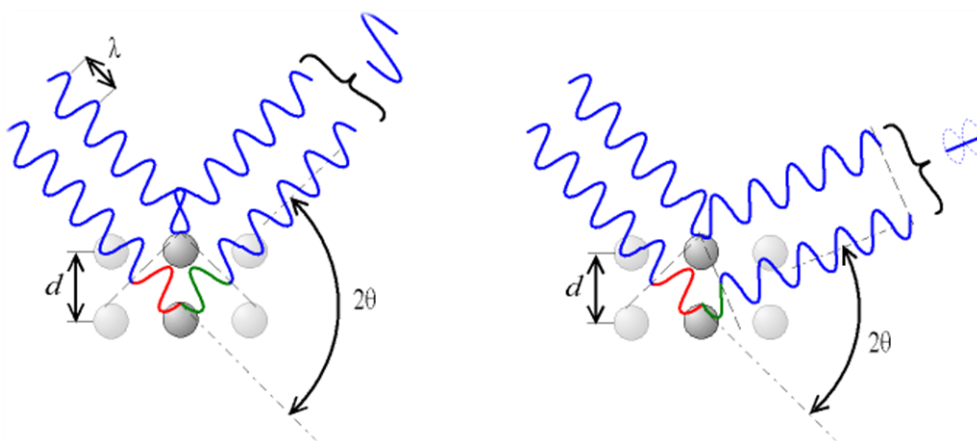
Obr. 1: Elektronová difrakční trubice, F... zdroj elektronů, C... katoda, X... zaostřovací elektrody, A... anoda obsahující grafitový polykrystal, L... vzdálenost mezi polykrystalem a stínítkem, D... průměr interferenčního obrazce

- Průběh

Připojením k elektrickému obvodu se generuje úzký svazek elektronů, proudící skrz polykrystal. Každý úhel ϑ pod kterým se elektron odrazí od polykrystalu musí splňovat Braggovu podmínku, aby nastala interference na stínítku.

$$2d \sin \vartheta = n\lambda$$

(5)



Obr. 2: Odraz vlny od krystalu a) stejná fáze (konstruktivní interference) b) odlišná fáze (destruktivní interference)

Grafitový polykrystal je látka obsahující takový počet monokrystalů, že jsou vždy některé otočeny tak, aby splňovaly Braggovu rovnici a to v celé množině rovin tečné ke kuželu o vrcholovém úhlu 2ϑ . Všechny paprsky tedy společně vytvoří difrakční kužel s vrcholovým úhlem 2ϑ , který se na stínítku projeví jako kružnice a protože pracujeme s polykrystalem grafitu, který má dvě krystalografické roviny (o mřížkových konstantách $d_1 = 2,13 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ a $d_2 = 1,23 \cdot 10^{-10} \text{ m}$) zobrazí se kružnice dvě.

Pomocí posuvného měřidla změříme přesný průměr obou interferenčních kružnic. Z naměřených hodnot jsme schopni vypočítat úhel ϑ pomocí vzorce.

$$2 \sin \vartheta = \frac{D}{2L}$$

(6)

Pomocí vzorců 5 a 6 dostaneme výsledný vzorec pro výpočet vlnové délky elektronu s použitím naměřených hodnot (použita aproximace funkce \sin pro malé úhly)

$$\lambda = d \frac{D}{2L}$$

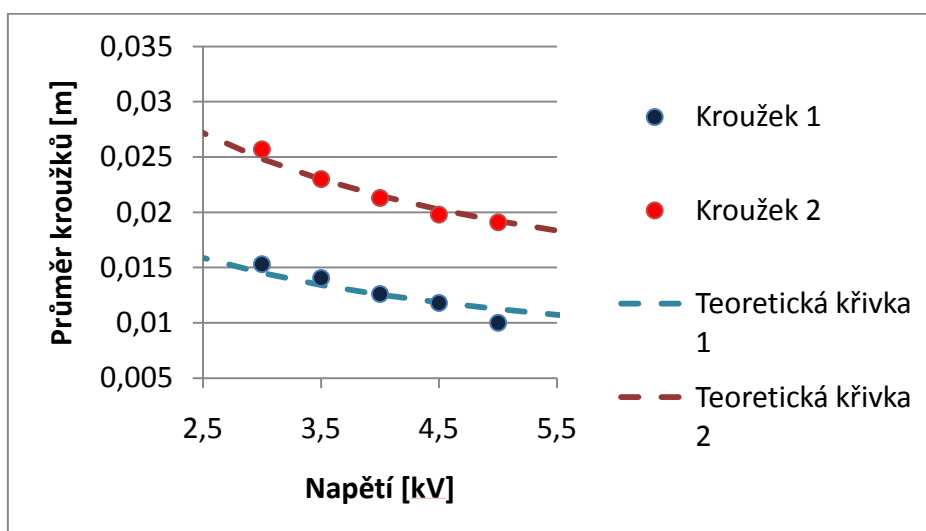
(7)

Výsledky

- Naměřené hodnoty

U [kV]	λ_1 (d_1) [pm]	λ_2 (d_2) [pm]	λ_t [pm]	φ_λ [pm]
3	24,14	23,42	22,4	23,3
3,5	22,17	20,96	20,7	21,3
4	19,88	19,41	19,4	19,6
4,5	18,62	18,04	18,3	18,3
5	15,78	17,4	17,3	16,8

Obr. 3: λ_1, λ_2 jsou hodnoty vlnových délek elektronů spočítané z rovnice (7); λ_t je hodnota spočítaná z teoretické rovnice (4)



Obr. 5: Se zvyšujícím se napětím zdroje se zvyšuje rychlost elektronů, tím se jednak zvyšuje pravděpodobnost průletu polykrystalem, jednak se zmenšuje úhel ϑ a v závislosti na něm i průměr interferenční kružnice. Graf nám také porovnává hodnoty experimentálně získané s teoretickým modelem.

Závěr

Hodnoty získané experimentálně jsou velmi blízké teoretickému modelu. To potvrzuje relativní přesnost našich měření.

Získané údaje potvrzují de Broglieho hypotézu, tedy dualistickou povahu hmoty, jejíž využití v praxi může být Zenerova dioda udržující konstantní napětí na zdroji pomocí tunelového jevu. Zároveň jsme dokázali univerzalitu Planckovy konstanty nejen pro fotony, ale i pro ostatní částice a hmotu.

Poděkování

Děkujeme organizátorům *Týdne vědy* na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské za technickou podporu a hlavně našemu garantovi Jaroslavu Adamovi, bez něž by tato práce nevznikla.

Reference

[1] P. Navrátil: *Dualismus vln a částic* (2008)

[2] Difrakce – teorie

<http://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction>

[3] Fyzikální portál FJFI ČVUT

<http://fyzport.fjfi.cvut.cz/index.php?said=&sbid0=293&dsp=all>