

**Fyzika mikrosvěta (SŠ)****Pozorování elektronové difrakce****Fyzikální princip**

V roce 1924 vyslovil francouzský fyzik LOUIS DE BROGLIE hypotézu, že také částice o nenulové klidové hmotnosti (elektrony, atomová jádra, atomy ap.) projevují vlnové vlastnosti. Podle de Broglieovy hypotézy pro částice o nenulové klidové hmotnosti platí následující vztahy:

$$f = \frac{E}{h} = \frac{m c^2}{h}, \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m v}, \quad (2)$$

kde  $E$  je energie,  $f$  frekvence,  $\lambda$  vlnová délka,  $p$  hybnost,  $m$  klidová hmotnost a  $v$  rychlost částice,  $c$  je rychlost světla a  $h$  Planckova konstanta ( $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ).

Jedním z prvních experimentů, který ověřil tuto hypotézu, byl Davissonův-Germerův pokus, při kterém dopadal svazek elektronů urychlený napětím na monokrystal niklu. Rozptýlené elektrony byly registrovány v závislosti na úhlu rozptylu  $\phi$  a na stínítku byla pozorována interferenční maxima. Vztah mezi vzdáleností atomů v krystalu (mřížková konstanta  $b$ ), vlnovou délkou  $\lambda$  a úhlem rozptylu  $\phi$  je dán podmínkou:

$$2 b \sin\phi = n \lambda, \quad (3)$$

kde  $n = 0, 1, \dots$  je řád difrakce.

V elektrickém poli o urychlovacím napětí  $U$  získají elektrony kinetickou energii a rychlost:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v^2 = e U \quad (4) \quad \Rightarrow$$

$$v = \sqrt{\frac{2 e U}{m_e}}, \quad (5)$$

kde  $m_e$  je klidová hmotnost elektronu a  $e$  je hodnota elementárního náboje. Přepíšeme-li rovnici (2) dosazením za  $v$  ze vztahu (5) dostáváme vztah pro vlnovou délku de Broglieovy vlny:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 e m_e U}}. \quad (6)$$

**Cíl**

1. Seznámit se s vzdáleně ovládaným experimentem *Pozorování elektronové difrakce*.
2. Experimentálně ověřit de Broglieovu hypotézu, že elektrony projevují vlnové vlastnosti.
3. Experimentálně a teoreticky vypočítat vlnovou délku rozptýlených elektronů.
4. Vypracovat protokol o měření.

**Pomůcky**

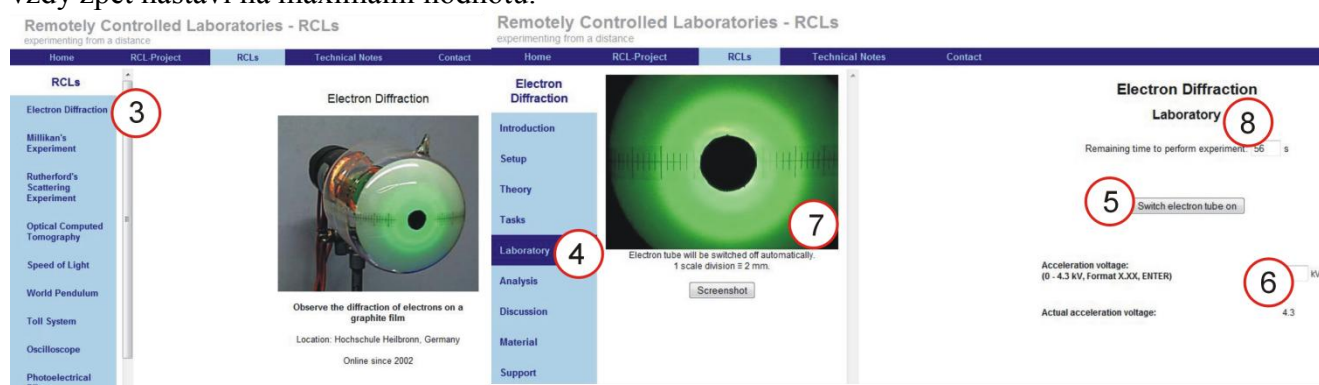
Počítač s připojením na internet.

## Schéma



Obr. 1: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

Na webové stránce <http://rcl.physik.uni-kl.de/> (viz obr. 1) si nejprve vyberte jazykovou mutaci (nejlépe angličtinu, viz číslo 1) a poté klikněte na nápis "RCLs" v horní modré liště (viz číslo 2). Na další webové stránce (viz obr. 2) se vám v levé části zobrazí seznam vzdáleně ovládaných experimentů. Klikněte na položku s názvem "Electron Diffraction" (viz číslo 3) a otevře se vám nová webová stránka s tímto experimentem. Zde si můžete v levém modrém sloupci přečíst o tomto experimentu (teorie, úkoly, analýzy, sestava experimentu apod.). Pokud chcete přejít k měření, musíte kliknout na nápis "Laboratory" (číslo 4). Při ovládání experimentu nejprve klikněte na nápis "Switch electron tube on" (číslo 5) a nastavte hodnotu napětí v rozmezí 0 až 4,3 kV (číslo 6). V levé části obrazovky je obraz z webové kamery, který sleduje aktuální změny na experimentu (číslo 7) a na práci s tímto experimentem je vyhrazen čas 60s (číslo 8). Při jakékoliv aktivitě na stránce se časový limit vždy zpět nastaví na maximální hodnotu.



Obr. 2: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

## Postup měření

1. Jedná se o vzdáleně (přes internet) ovládaný experiment, je tedy potřeba zapnout počítač a připojit se na internet. Experiment je umístěn na stránce <http://rcl.physik.uni-kl.de/> (viz obr. 1-2).
2. Pokud by se na této webové stránce vyskytly chyby, vyzkoušejte tento experiment v jiném webovém prohlížeči.
3. K vyhodnocení experimentu bude potřeba speciální program, který je schopen změřit vzdálenosti pixelů (bodů) na obrazovce počítače. Můžete zvolit např. program JR Screen Ruler Pro, který lze stáhnout z adresy <http://www.spadixbd.com/freetools/jruler.htm>. Tento program stáhnete do svého počítače za méně než 10 s. Program je zdarma.
4. Pokud je vše v pořádku lze přejít k měření. Nejprve se seznámte s ovládáním experimentu a proveďte jedno zkušební měření, kde se seznámíte s funkcemi jednotlivých tlačítek.
5. Na webové stránce, kde se experiment ovládá, klikněte na tlačítko "Switch electron tube on" a poté zadejte hodnotu napětí (v rozsahu 0 až 4,3 kV), kterým se urychlují dopadající elektrony. Zadanou hodnotu potvrďte klávesou ENTER. Zadanou hodnotu napětí  $U$  si poznamenejte.

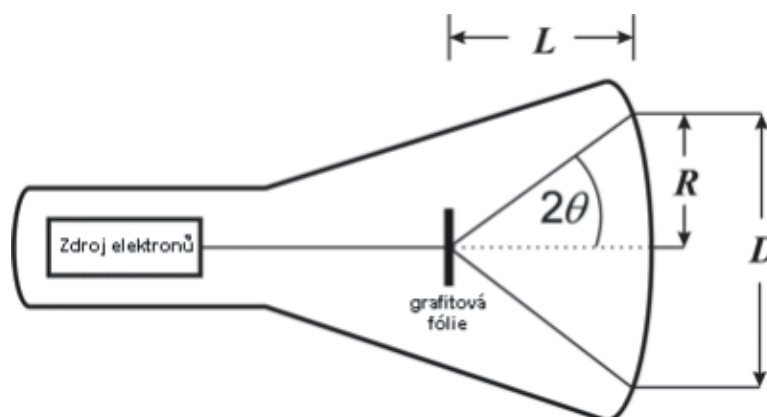
Tab. 1

zadaná hodnota napětí  $U =$

6. Nyní se podívejte na obraz z webové kamery. Na fluorescenčním stínítku jsou zobrazeny interferenční kroužky (kroužky jsou mírně rozmazané, protože elektrony emitované z katody nevylétávají zcela stejnou rychlostí). Pomocí např. programu JR Screen Ruler Pro určete průměr vnějšího světlého kroužku (na obrazovce je zobrazeno měřítko, kde vzdálenost mezi dvěma malými dílky je rovna 2mm a vzdálenost mezi většími značkami na pravítku odpovídá 1cm). Měření proveďte třikrát (pro stejný difrakční obrazec) a hodnoty zapište do tab. 2.

Tab. 2

průměr (vnějšího) maxima $D_1$ [mm]			
poloměr (vnějšího) maxima $R_1 = \frac{D_1}{2}$ [mm]			
aritmetický průměr $R_1$ [mm]			



Obr. 3: Urychlené elektrony difraktují na tenké grafitové fólii a vytvářejí na fluorescenčním stínítku interferenční kroužky, převzato [4].

7. Z obr. 3 platí vztah:

$$\operatorname{tg}(2\phi) = \frac{R}{L}, \quad (7)$$

kde  $L = 135 \text{ mm}$  je vzdálenost mezi vzorkem grafitu a fluorescenčním stínítkem. Z tohoto vztahu vypočítejte úhel rozptylu  $\phi$ .

8. Nyní můžete (z experimentálně naměřených hodnot) vypočítat vlnovou délku  $\lambda$  elektronu ze vztahu (3), kde mřížková konstanta grafitu  $b = 0,123 \text{ nm}$  a řád difrakce  $n = 1$ .

Tab. 3

experimentálně změřená vlnová délka elektronu  $\lambda =$

9. Z de Broglieovy hypotézy lze vypočítat (dle teorie) vlnová délka  $\lambda$  elektronu. Dosazením hodnot do vztahu (6) vypočítejte vlnovou délku elektronu  $\lambda$  ( $e$  a  $m_e$  si vyhledejte v Matematicko-fyzikálních tabulkách a hodnotu  $U$  dosadte z tab. 1). Srovnajte výsledky z tab. 3 a tab. 4.

**Tab. 4**

dle teorie vypočítaná vlnová délka elektronu  $\lambda =$

10. Body 5-9 tohoto postupu ještě jednou zopakujte pro jinou hodnotu napětí  $U$ .
11. Vypracujte protokol o měření, který má standardní části: Úvod, Teoretická část, Experimentální část (naměřená data, grafy, výpočty a tabulky), Závěr a Zhodnocení měření.

### Doplňující otázky

1. Z jakých základních částí se skládají a na jakém principu fungují elektronky?
2. Na jakém principu funguje klasická televizní obrazovka, LCD obrazovka a plazmová obrazovka?
3. Pokuste se provést podobný experiment v laboratoři nebo ve třídě. Jaké pomůcky budete k tomuto pokusu potřebovat?

### Použitá literatura

- [1] Štoll, I.: *Fyzika pro gymnázia. Fyzika mikrosvěta*. Prometheus, Praha, 2002.
- [2] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: *Fyzika. Část 5. Moderní fyzika*. VUTIUM, Brno, 2006.
- [3] Reichl, J.: *Encyklopedie fyziky*. [on-line] [cit. 2010-8-16]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/>.
- [4] <http://rcl.physik.uni-kl.de/>. [on-line] [cit. 2010-8-16].