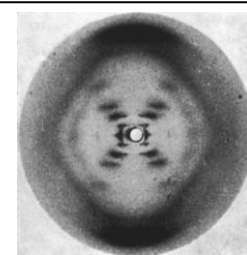


Difrakcia na skrutkovici

(Počet bodov: 10)

Úvod

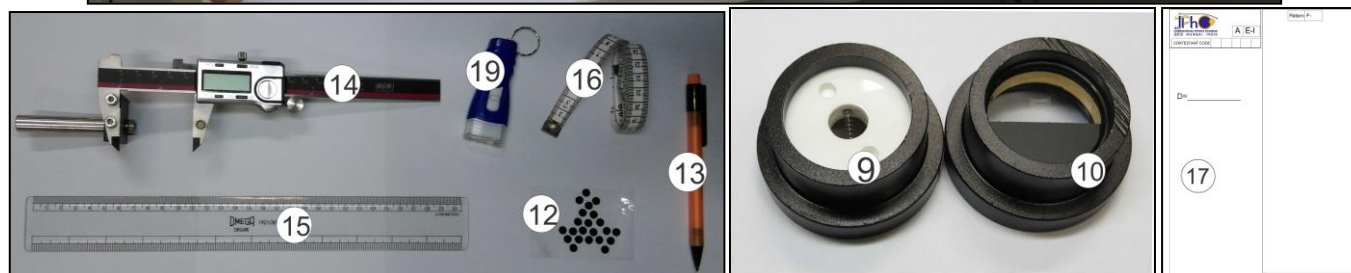
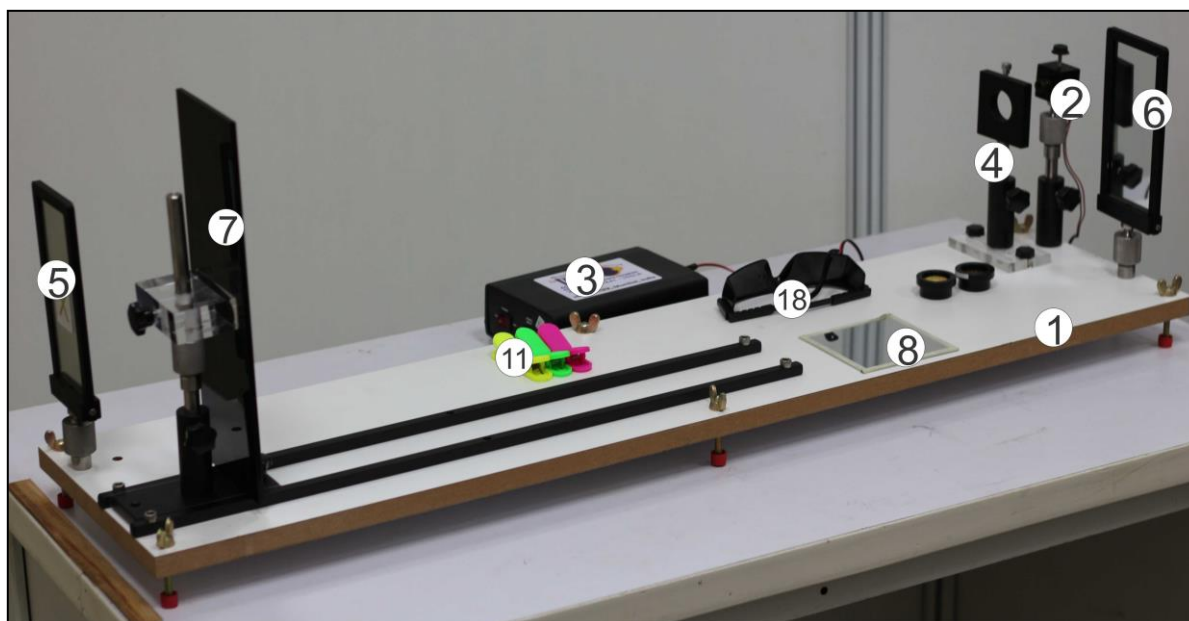
Obrázok difrakcie röntgenového žiarenia (žiarenia X) na DNA (obr. 1) je známy ako „Photo 51“ a stal sa základom objavu skrutkovicovej štruktúry DNA Watsonom a Crikom v roku 1952. Táto experimentálna úloha vám pomôže porozumieť difrakčnému obrazcu na skrutkovici pomocou viditeľného svetla.



Obr. 1: Photo 51

Úloha

S využitím difrakcie určiť parameter skrutkovice.



Obr. 2: Meracie zariadenie pre úlohu E-I

Zoznam pomôcok

[1]	Drevená doska	[11]	Plastikové štipce
[2]	Laserový zdroj s držiakom a podstavcom	[12]	Kruhové čierne samolepky
[3]	DC regulovateľný zdroj napájania laseru	[13]	Ceruzka
[4]	Držiak vzorky	[14]	Digitálne posuvné meradlo s držiakom
[5]	Ľavý reflektor (odrazová vrstva na strane dopadu svetla)	[15]	Pravítko (30 cm)
[6]	Pravý reflektor (odrazová vrstva na strane dopadu svetla)	[16]	Krajčírsky meter (1.5 m)
[7]	Tienidlo (10 cm x 30 cm) s držiakom	[17]	Hárok na zakreslenie vzorky
[8]	Rovinné zrkadlo (10 cm x 10 cm)	[18]	Ochranné okuliare
[9]	Vzorka I (skrutkovicová pružina)	[19]	Baterka – svietidlo
[10]	Vzorka II (vzorka modelujúca dvojitú skrutkovicu vytlačená na sklenenej platničke)		

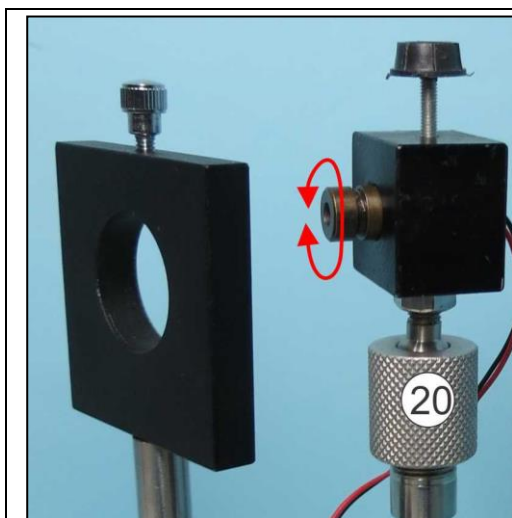
Poznámka: Položky [1], [3], [14], [15], [16] a [18] sa používajú i v experimente E-II.

Opis zariadenia

Drevená doska [1]: Na nej sú pripevnené koľajničky a držiaky lasera, tienidla, reflektorov a vzorky.

Laser s držiakom [2]: Laser s vlnovou dĺžkou $\lambda = 635 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$) je upevnený v kovovom držiaku s guľovým kĺbom ([20] v obr. 3), ktorý umožňuje nastavenie vo všetkých smeroch X-Y-Z. Telesom lasera možno otáčať a konečnú polohu zafixovať hornou fixačnou skrutkou. Lúč sa zaostruje pomocou otočnej šošovky na prednej strane (červená šípka na obr. 3), aby sa získal čistý a ostrý difrakčný obrazec.

DC (jednosmerný) regulovaný napájací zdroj [3]: Na prednej strane je prepínač intenzity (high/low), zásuvka na pripojenie konektora lasera a tri USB zásuvky. Na zadnej strane je vypínač a zásuvka na napájanie (obr. 4).



Obr. 3: Držiaky lasera a vzorky [20] – Guľový kĺbový držiak



Obr. 5: Ľavý reflektor a tienidlo



Obr. 4: DC regulovateľný zdroj

Držiak vzorky [4]: Vzorku uchytíte v držiaku pomocou skrutky (Obr. 3). Držiak je možné nastavovať vodorovne, zvisle a možno ho otáčať.

Ľavý reflektor [5]: Tento reflektor (zrkadlo) je pripevnený k základnej doske (Obr. 5). Nepoužívajte stranu označenú X.

Pravý reflektor [6]: Tento reflektor je upevnený na základnej doske a je odnímateľný (Odstráni sa v experimente E-II). Nepoužívajte stranu označenú X.

Tienidlo s držiakom [7]: Tienidlo je upevnený na guľovom kĺbe, ktorý umožňuje nastavenie do ľubovoľného smeru (Obr. 5). Tienidlo sa zafixuje podľa potreby – Obr. 2 alebo Obr. 6.

Vzorka I [9]: Skrutkovicová pružina upevnená v kruhovom rámičku pomocou bielych akrylových doštičiek.

Vzorka II [10]: Vzorka modelujúca dvojité špirálu vytlačená na sklenenej doštičke upevnenej v kruhovom rámičku.

Digitálne posuvné meradlo [14]: Digitálne posuvné meradlo s pripevneným držiakom (držiak bude potrebný v úlohe E-II). Má tlačidlo On/Off na zapnutie, tlačidlo na nastavenie nuly, tlačidlo prepínača mm/inch (nechať v polohe mm), aretačnú skrutku a gombík na posúvanie pravej čeľuste. Toto meradlo sa použije na meranie záznamu na hárku papiera s difrakčným obrazom.

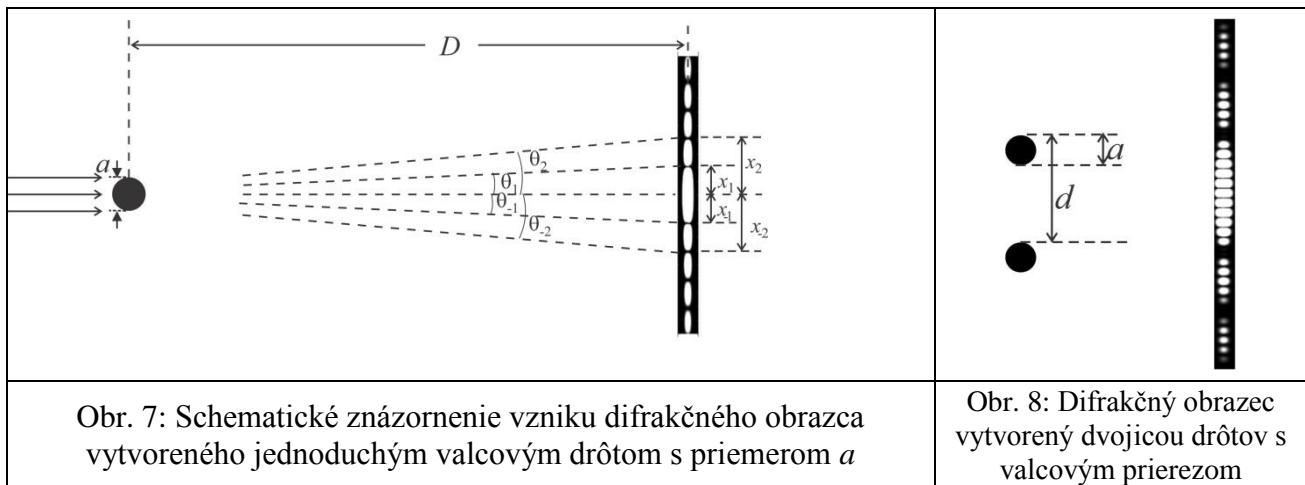
Hárky papiera s difrakčným obrazom [17]: Hárky na záznam difrakčného obrazca treba preložiť na polovicu a pripevniť štipcom na tienidlo. Difrakčný obrazec sa zaznamenáva do vnútra vyznačeného prázdneho obdĺžnikového rámička.

Teória

Pri kolmom dopade laserového lúča s vlnovou dĺžkou λ na valcový drôt s priemerom a dochádza k jeho difrakcii v smere kolmom na drôt. Výsledný obrazec intenzity, ktorý sa zobrazí na tienidle, je na obr. 7.



Obr. 6: Zmeňte polohu tienidla v porovnaní s polohou na obr. 2



Obr. 7: Schematické znázornenie vzniku difrakčného obrazca vytvoreného jednoduchým valcovým drôtom s priemerom a

Obr. 8: Difrakčný obrazec vytvorený dvojicou drôtov s valcovým prierezom

Rozdelenie intenzity svetla ako funkcia uhla θ vzhľadom na smer dopadu je dané vzťahom

$$I(\theta) = I(0) \left[\frac{\sin \beta}{\beta} \right]^2 \quad \text{kde} \quad \beta = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}.$$

Stredná stopa je jasná a pre ostatné uhly okrem $\beta = 0$, pre ktoré $\sin \beta = 0$, intenzita klesá k nule.

n -té minimum intenzity v difrakčnom obrazci je dané uhlom θ_n , pre ktorý platí

$$\sin \theta_n = \pm n \frac{\lambda}{a} \quad n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots,$$

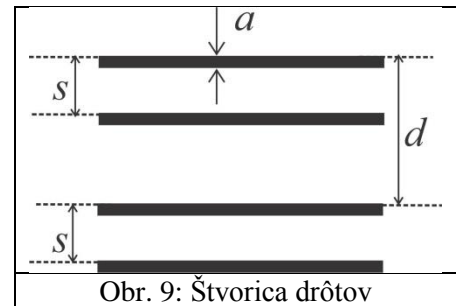
kde \pm zodpovedá obidvom smerom od stredovej stopy ($\theta = 0$).

Difrakčný obrazec spôsobený dvojicou rovnakých rovnobežných drôtov vzájomne vzdialených d (obr. 8) je kombináciou dvoch difrakčných obrazcov (difrakcia na každom z drôtov a interferencia obrazcov pre dvojicu drôtov). Výsledné rozdelenie intenzity je dané vzťahom

$$I(\theta) = I(0) \cos^2 \delta \left[\frac{\sin \beta}{\beta} \right]^2$$

kde $\delta = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}$ a $\beta = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}$

Pre tienidlo umiestnené vo veľkej vzdialenosti D do drôtu je na tienidle vzdialenosť minim od strednej stopy $x_{\pm n} = \pm n \frac{\lambda D}{a}$ v dôsledku difrakcie a $x_{\pm m} = \pm \left(m - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda D}{d}$ v dôsledku interferencie (kde $m, n = 1, 2, 3, \dots$). Podobne pre štvoricu rovnakých drôtov (obr. 9) je výsledné rozdelenie intenzity kombináciou difrakcie na každom z drôtov a interferencie od dvojíc drôtov a závisí teda od parametrov a, d a s . Inými slovami, pozoruje sa kombinácia troch rôznych obrazcov intenzity.



Obr. 9: Štvorica drôtov

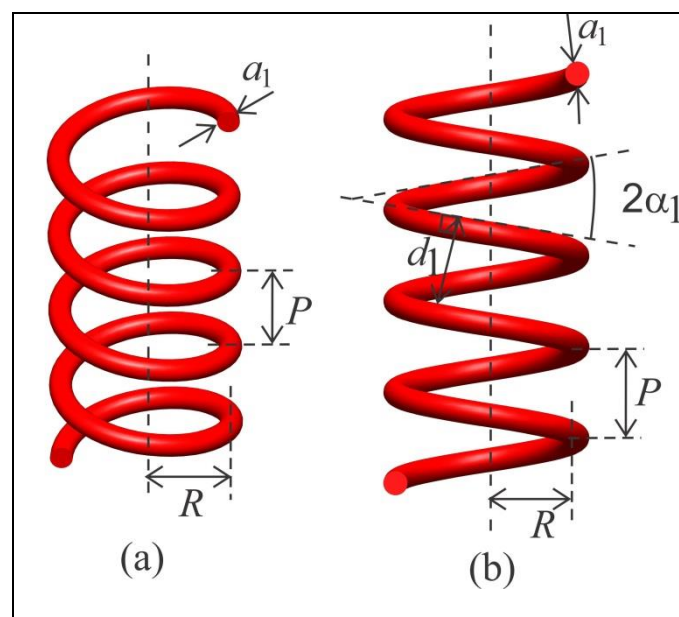
Začiatkové nastavenie

1. Zapnite laserový zdroj a nastavte reflektory tak, aby laserový lúč dopadal na tienidlo.
2. Pomocou plastového pravítka nastavte držiak lasera a reflektory tak, aby bol laserový lúč rovnobežný s drevenou doskou.
3. Zabezpečte, aby stopa laserového lúča sa nachádzala približne v strede tienidla.
4. Vypnite zdroj lasera. Na tienidlo štipcami pripevnite hárok na záznam difrakčného obrazca.
5. Na tienidlo prichyťte štipcom rovinné zrkadlo a zapnite opäť laser.
6. Nastavte tienidlo tak, aby sa odrazený laserový lúč vracal rovnakou cestou nazad do lasera. Po nastavení zrkadlo vyberte.
7. Osvetlenie v kabíne si zapnite alebo vypnite podľa potreby.

Experiment

Časť A: Určenie geometrických parametrov skrutkovicovej pružiny

Vzorka I je skrutkovicová pružina s polomerom R a stúpaním P vytvorená z drôtu s rovnakým priemerom a_1 , obr. 10(a). Pri kolmom pohľade je priemet zložený z dvoch súborov paralelných úsekov drôtu s rovnakým priemerom vzájomne vzdialených d_1 a zvierajúcich vzájomne uhol $2\alpha_1$ (Obr. 10(b)).



Obr. 10: (a) Pohľad na špirálovú pružinu
 (b) Priemet pružiny kolmý na jej os

- Upevnite vzorku I do držiaka tak, aby bola os pružiny zvislá.
- Získajte na záznamovom hároku na tienidle čistý a ostrý difrakčný obrazec tvaru X.

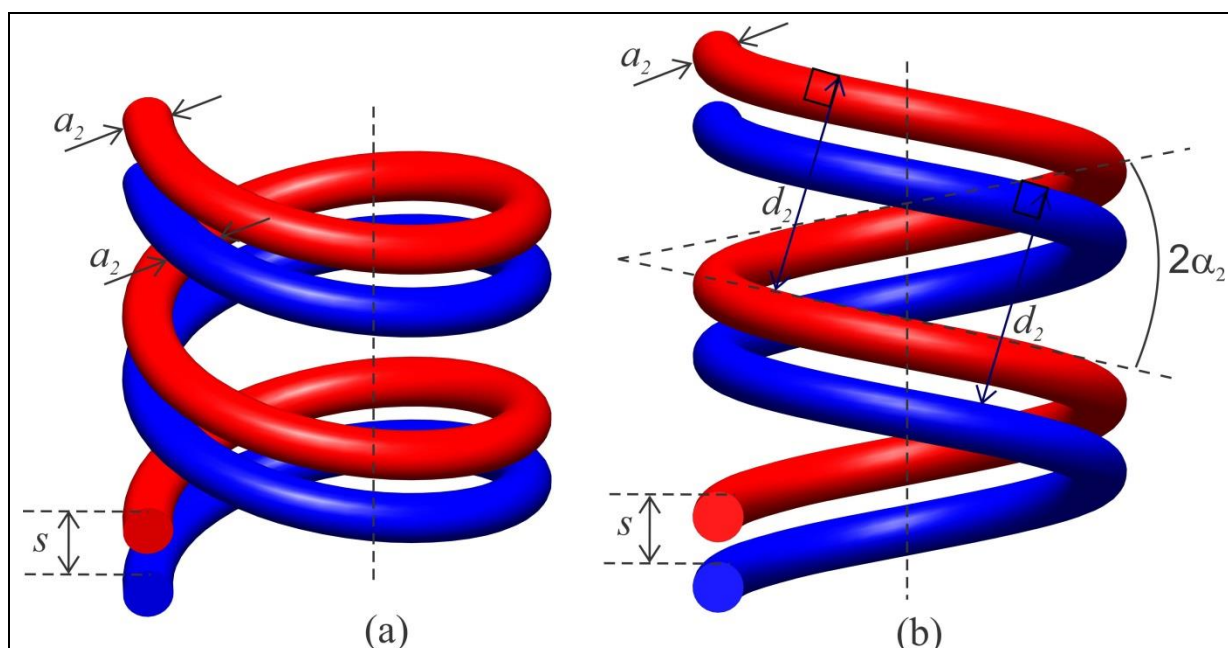
- Na to treba nastaviť
 - zaostrenie laserového lúča (otáčaním šošovky na laseri)
 - smerovanie lúča (natáčaním lasera tak, aby boli osvetlené iba dva závit pružiny)
 - intenzitu lasera (prepínač high/low na zdroji lasera)
 - svetlo okolia (zapínaním alebo vypínaním osvetlenia kabíny)

Ak je stredná stopa príliš jasná, môžete do jej miesta na hárku pre záznam obrazca nalepiť čiernu kruhovú samolepku, aby sa rozptyl jej svetla znížil.

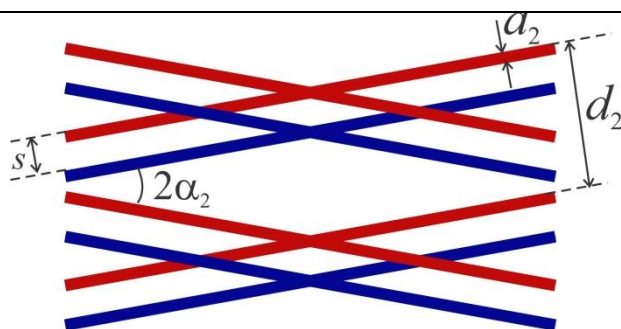
Úloha	Opis	Body
A1	Označte (s použitím priloženej ceruzky [13]) na hárku pre záznam obrazca polohy minim intenzity potrebné pre určenie a_1 a d_1 na obidvoch stranách od stredovej stopy. Hárky so zakresleným obrazcom označte ako P1, P2, atď.	0.7
A2	Zmerajte digitálnym posuvným meradlom príslušné vzdialenosti potrebné na určenie a_1 a zapíšte ich do tabuľky Table A1.	0.5
A3	Zostrojte vhodný graf, označte ho Graph A1, a z jeho smernice určte a_1 .	0.7
A4	Zmerajte príslušné vzdialenosti potrebné na určenie d_1 a zapíšte ich do tabuľky Table A2.	0.8
A5	Zostrojte vhodný graf, označte ho Graph A2, a z jeho smernice určte d_1 .	0.6
A6	Z obrazca v tvare X určte uhol α_1 .	0.2
A7	Vyjadrite P pomocou d_1 a α_1 a určte hodnotu P .	0.2
A8	Vyjadrite R pomocou P a α_1 a určte hodnotu R (zanedbajte a_1).	0.2

Časť B: Určenie geometrických parametrov vzorky modelu dvojitej skrutkovice

Obr. 11(a) ukazuje dva závit dvojitej skrutkovice. Na obr. 11(b) je dvojrozmerný priemet tejto dvojitej skrutkovice kolmý na jej os. Pre každú skrutkovicu máme priemer drôtu a_2 , uhol $2\alpha_2$ a kolmú vzdialenosť závitov d_2 . Osová vzdialenosť skrutkovic je s . Vzorka II predstavuje model dvojitej skrutkovice vytlačený na sklenenej platničke (Obr. 12), ktorej difrakčný obrazec je podobný ako u dvojitej skrutkovice. V tejto časti máte určiť geometrické parametre vzorky II.



Obr. 11: (a) Dvojité skrutkovica, (b) Priemet dvojitej skrutkovice kolmo na jej os.



Obr. 12: Vzorka II – model dvojitej špirály

- Upevnite vzorku II do držiaka.
- Prípnite na tienidlo nový hárok na záznam difrakčného obrazca.
- Získajte na hárku čistý a ostrý obrazec tvaru X.

Úloha	Opis	Body
B1	Označte na hárku pre záznam obrazca polohy minim intenzity potrebné pre určenie a_2, s a d_2 . Môžete použiť viac ako jeden hárok na záznam obrazca.	1.1
B2	Zmerajte príslušné vzdialenosti potrebné na určenie a_2 a zapíšte ich do tabuľky Table B1.	0.5
B3	Zostrojte vhodný graf, označte ho Graph B1, a z jeho smernice určte a_2 .	0.5
B4	Zmerajte príslušné vzdialenosti potrebné na určenie s a zapíšte ich do tabuľky Table B2.	1.2
B5	Zostrojte vhodný graf, označte ho Graph B2, a z jeho smernice určte s .	0.5
B6	Zmerajte príslušné vzdialenosti potrebné na určenie d_2 a zapíšte ich do tabuľky Table B3.	1.6
B7	Zostrojte vhodný graf, označte ho Graph B3, a z jeho smernice určte d_2 .	0.5
B8	Z obrazca v tvare X určte uhol α_2 .	0.2