



Ústřední komise fyzikální olympiády České republiky
Experimentální úloha celostátního kola
64. ročníku FO kategorie A

Difrakce (ohyb) vlnění je užitečným nástrojem pro studium prostorových struktur, jejichž rozměry jsou srovnatelné s vlnovou délkou použitého vlnění. Své místo našla např. při měření přesnosti plochy zrcadel dalekohledů, při studiu vlastností krystalů nebo vlnových vlastností částic. Pomocí difrakce byla také zjištěna struktura deoxyribonukleové kyseliny (DNA). V této úloze budete nejprve zkoumat ohyb světla na překážce a následně ohyb Röntgenova záření na molekule DNA.

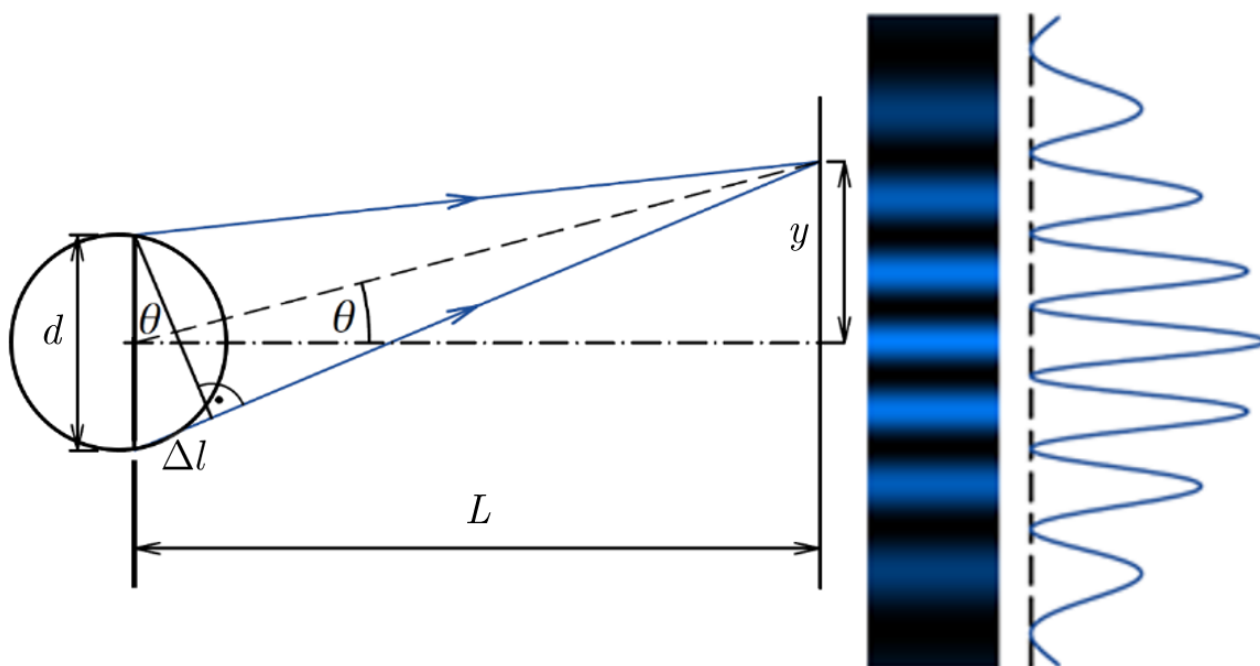
1. Difrakce světla na lidském vlasu

Pro dráhový rozdíl paprsků při ohybu na válcové překážce platí s dobrou přesností vzorec

$$\Delta l_{\max} = (2k - 1) \frac{\lambda}{2},$$
$$\Delta l_{\min} = 2k \frac{\lambda}{2},$$

kde λ je vlnová délka použitého světla a k řád maxima/minima. Povšimněte si, že oproti ohybu na štěrbině jsou podmínky pro maxima a minima prohozené.

- a) S využitím obrázku 1 odvoďte vzorec pro vzdálenost y_k k -tého minima a maxima, kterou měříme od osy soustavy na stínítku ve vzdálenosti L . **2 body**



Obr. 1

Na optické lavici před Vámi je v držák s laserem, držák s lidským vlasem a držák se stínítkem. Vlnová délka světla použitého laseru je $\lambda = (640 \pm 10)$ nm.

b) Změříte vzdálenost od vzorku ke stínítku L a запиšte ji do odpovědního listu. Body pro měření si můžete na stínítku označit tužkou a poté měřit jejich vzdálenosti pomocí posuvného měřítka, k rozsvícení laseru můžete použít kolíček.

Pozor: Pokud při prvním zapnutí laseru nevidíte difrakční obrazec, zkuste upravit polohu laseru nebo vlasu tak, aby byl vlas osvícen.

Vzdálenost naměřenou od středu nultého maxima ke středu prvního levého minima označme jako y_{11} . Vzdálenost naměřená od středu nultého maxima do středu prvního pravého minima bude y_{12} . Pomocí aritmetického průměru těchto dvou hodnot zjistíte vzdálenost y_1 , kterou budete potřebovat pro další výpočty. Pokračujte obdobným způsobem při měření minim následujících dvou vyšších řádů. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky v odpovědního listu.

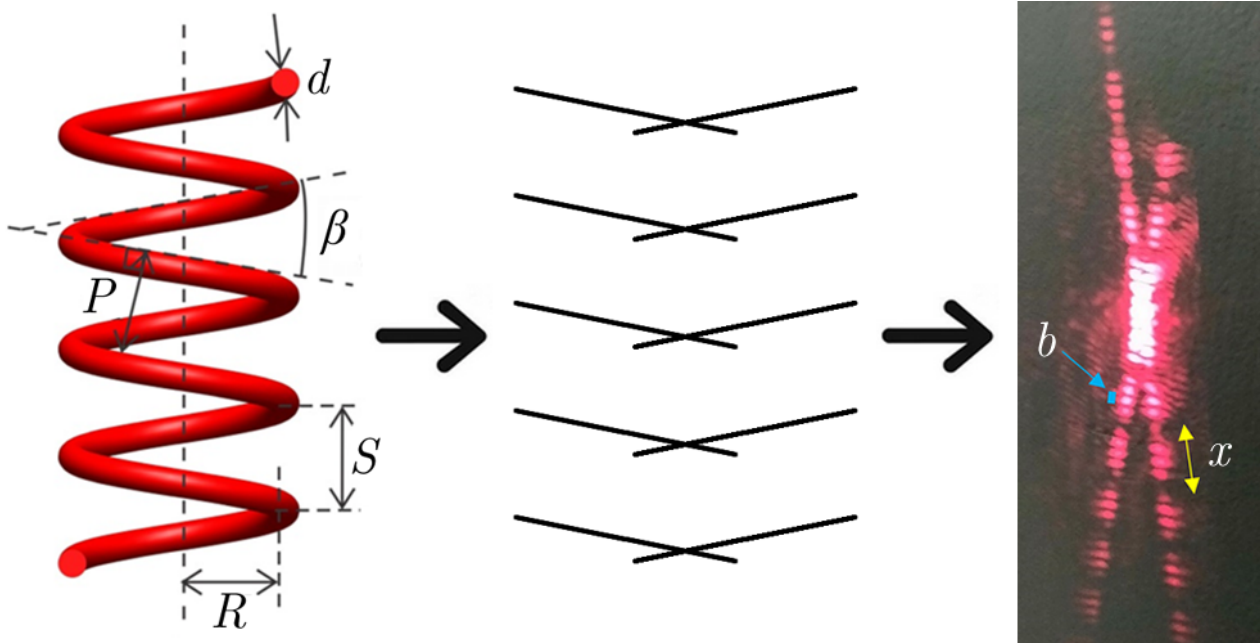
2 body

c) S pomocí hodnot y_1 , y_2 a y_3 vypočtete tloušťky d_1 , d_2 , d_3 . Výslednou tloušťku d určete jako jejich aritmetický průměr (výpočet chyby se nepožaduje).

4 body

2. Difrakce světla na šroubovici

Pokud nedochází k ohybu na jedné válcové překážce, ale na šroubovici, je situace mírně odlišná. Spirálová pružina s průměrem drátu d , roztečí S , poloměrem závitů R a kolmou vzdáleností drátů P , které mezi sebou svírají úhel β (viz obr. 2), vytvoří difrakční obrazec ve tvaru písmene X. Šroubovice se totiž chová jako dvojice zkřížených mřížek vzájemně posunutých o úhel β .



Obr. 2

Na difrakčním obrazci jsou patrné dvě struktury: Hrubá a jemná. Větší, hrubá struktura má svůj původ v menší prostorové struktuře a lze z ní určit průměr drátu d , ze kterého je pružina namotána. Menší, jemná struktura, vzniká ohybem na větší prostorové struktuře a lze z ní určit vzdálenost jednotlivých závitů P .

Lze ukázat, že pro tloušťku drátu d platí

$$d = \frac{\lambda L}{x},$$

kde x je vzdálenost mezi dvěma sousedními minimy hrubé struktury na stínítku a L je vzdálenost stínítka od vzorku. Pro jemnou strukturu lze použít vztah podobný jako pro hrubou strukturu. Vzdálenost drátů P lze vypočítat ze vzdálenosti b mezi sousedními minimy jemné struktury a následující rovnicí:

$$P = \frac{\lambda L}{b}.$$

d) Vyměňte na optické lavici držák s vlasem za držák s pružinkou, která představuje šroubovici. Změřte $10\times$ vzdálenost x mezi různými sousedními minimy hrubé struktury a zapište do odpovědního listu. Opět si můžete polohy označit na stínítku pro pozdější měření, abyste nemuseli jednou rukou držet tlačítko laseru, druhou stínítko a třetí rukou tužku. Ze zjištěných hodnot vypočtete průměr drátu, kterým je pružinka namotána, a to včetně chyby měření. **3 body**

e) Pomocí posuvného měřítka (a trigonometrických vzorců) také $10\times$ určete úhel mezi difrakčními obrazy a vypočítejte úhel β , a to včetně chyby měření.

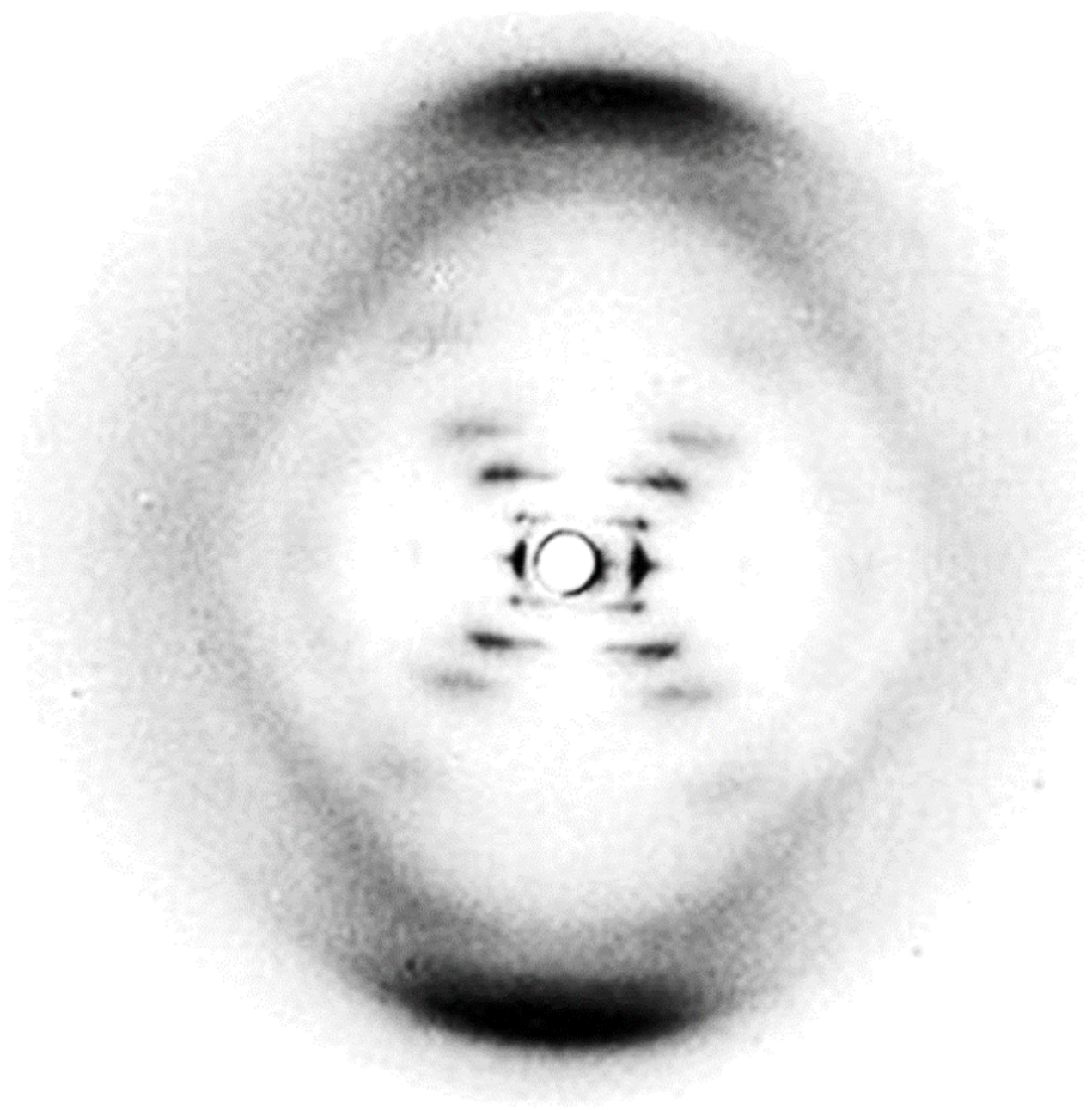
3 body

3. Ohyb rentgenového záření na šroubovici DNA

V květnu 1952 pořídila Rosalinda Franklinová a její student Raymond Gosling rentgenový difrakční snímek gelu složeného z molekul DNA. Tento slavný snímek označovaný jako Plate 51 je na obr. 3. Předpokládejme, že snímek je desetkrát větší než originál, který byl zachycen pomocí rentgenového záření o vlnové délce $\lambda = 0,15$ nm. Stínítko bylo ve vzdálenosti 16 mm od vzorku DNA.

f) Změřte $10\times$ vzdálenosti b mezi různými sousedními minimy jemné struktury na obrázku 3 pomocí posuvného měřítka (hrubá struktura na obrázku není, protože je moc velká). Zapište do odpovědního listu a vypočtete hodnotu P pro molekulu DNA, včetně chyby měření. **3 body**

g) Pouze pomocí posuvného měřítka (a trigonometrických vzorců) určete také úhel β , včetně chyby měření. **3 body**



Obr. 3

Obrázek je 10× zvětšený!