Laboratorní práce č. 3: Měření vlnové délky světla

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Test k laboratorní práci č 3 : Měření vlnové délky světla

Varianta A

1. Rychlost červeného světla ve skle je 199 200 km.s^{-1}. Určete index lomu skla pro červené světlo

A) 0,664 B) 1,506 C) 5,9 D) 1,7

2. Sluneční paprsky je možno přibližně považovat za rovnoběžné. Jak vysoký je strom, který na vodorovnou rovinu vrhá stín délky 25 m, jestliže svislá tyč výšky 1 m vrhá stín dlouhý 125 cm?

A) 10m B) 15m C) 20m D) 25m

3. Štěrbinou šířky 0,5 mm dopadá jednobarevné světlo vlnové délky 600 nm kolmo na stínítko vzdálené 3,5 m od štěrbiny. Určete vzdálenost 1. minima od přímého směru.

A) 3mm B) 5mm C) 2mm D) 1,5mm

4. Jak se změní frekvence světla při přechodu světla ze vzduchu do vody (n = 1,5)?

A) zmenší se B) zvětší se C) nezmění se D) nelze určit

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Test k laboratorní práci č. 3: Měření vlnové délky světla

Varianta B

1.

Rychlost fialového světla ve skle je 196 700 km.s^{-1}. Určete index lomu skla pro fialové světlo

A) 0,656 B) 5,9 C) 1,525 D) 1,7

2.

Jak se změní rychlost světla při přechodu světla ze vzduchu do vody (n = 1,5)?

A) zmenší se B) zvětší se C) nezmění se D) nelze určit

3.

Vypočítejte, která barva se interferenci zruší při kolmém osvětlení tenké skleněné destičky o tloušťce 0,125 μm, je-li index lomu roven 1,5.

A) 390nm; fialová B) 700nm; oranžová C) 790nm; červená D) 375nm; modrá

4.

Světlo sodíkové čáry λ=589 nm dává na stínítku vzdáleném 1 m od mřížky maximum 1. řádu ve vzdálenosti 11,1 cm od hlavního maxima. Kolik vrypů na 1 mm má mřížka?

A) 532 B) 188 C) 120 D) 380

Test k laboratorní práci č. 3: Měření vlnové délky světla

Varianta C

1.

Jak se změní vlnová délka světla při přechodu světla ze vzduchu do vody (n = 1,5)?

A) zmenší se B) zvětší se C) nezmění se D) nelze určit

2.

Na vrstvu oleje silnou 0,2 μ rozlitou na vodě, dopadá kolmo bílé světlo. Která barva vyhasne a která se odráží v největší intenzitě? Rychlost světla v oleji je 2.10^8 m/s.

A) 600nm B) 400nm C) 300nm D) 750nm

3.

Stanovte hustotu vrypů ohybové mřížky, bylo-li maximum 1. řádu zeleného rtuťového světla, λ=546 nm, pozorováno s úhlovou odchylkou 19°12'.

A) $0,8.\ 10^6\ m^{-1}$ B) $4,0.10^6\ m^{-1}$ C) $16,7.10^6\ m^{-1}$ D) $0,6.10^6\ m^{-1}$

4.

Největší kmitočet elektromagnetického záření, který ještě vyvolá zrakový vjem, je $7,5.10^{14}$ Hz. Určete příslušnou vlnovou délku záření.

A) 400nm, fialová B) 700nm; oranžová C) 790nm; červená D) 375nm; modrá

Test k laboratorní práci č. 3: Měření vlnové délky světla

Varianta D

1. Na vrstvu oleje silnou 0,2 μ rozlitou na vodě, dopadá kolmo bílé světlo. Která barva se odráží v největší intenzitě? Rychlost světla v oleji je 2.10^8 m/s.

A) 600nm B) 400nm C) 300nm D) 600nm

2. Za štěrbinou šířky 0,57 mm je postaveno ve vzdálenosti 1,5 m stínítko. Určete vlnovou délku zeleného světla, byla-li vzdálenost prvních dvou tmavých pruhů na téže straně od hlavního maxima rovna 1,5 mm.

A) 390 nm B) 570nm C) 450 nm D) 700 nm

3. Mydlinová blána (n=1,33) se jevila při kolmém dopadu zbarvena modře (450 nm). Jaká byla její tloušťka?

A) 84 nm B) 31 nm C) 25 nm D) 50 nm

4. Vlnová délka žlutého světla ve vakuu je přibližně 600 nm. Index lomu skla je 1,5. Jaká je frekvence žlutého světla ve vakuu?

A) 5.10^{14}Hz B) 7.10^{14}Hz C) 3.10^{14}Hz D) 6.10^{14}Hz

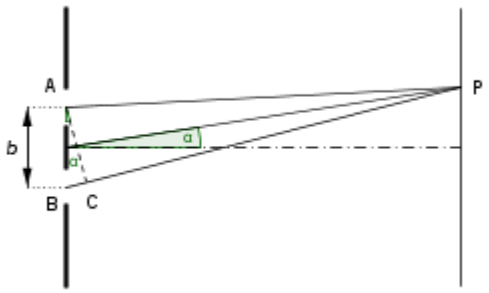
Laboratorní práce č. 3: Měření vlnové délky světla

Pomůcky:

Optická mřížka, přístroj na měření vlnové délky světla, zdroj bílého světla, stupnice s milimetrovým dělením

Teorie:

Jestliže necháme procházet monochromatické světlo dvěma blízkými štěrbinami, tzv. dvojštěrbinou, dojde na každé štěrbině k ohybu světla. Vlnění získaná na jednotlivých štěrbinách jsou koherentní a na stínítku interferují. Zjednodušeně zachycuje situaci obrázek.



Vzdálenost středů štěrbin označíme b, polohu bodu P na stínítku určíme úhlem α. Rozdíl vzdáleností štěrbin od bodu P reprezentuje optický dráhový rozdíl interferujících vlnění. Z pravoúhlého trojúhelníku ABC s ostrým úhlem α při vrcholu A lze tento rozdíl vyjádřit vztahem

$$|BC| = b \,.\sin\alpha$$

V bodě P nastává pro světlo s vlnovou délkou λ **interferenční maximum** tehdy, je-li dráhový rozdíl roven celistvému násobku vlnové délky,

$$b \sin \alpha = k\lambda, \quad k = 0, 1, 2, \ldots$$

Interferenční minimum je v bodě P tehdy, je-li dráhový rozdíl roven lichému násobku poloviny vlnové délky, tedy

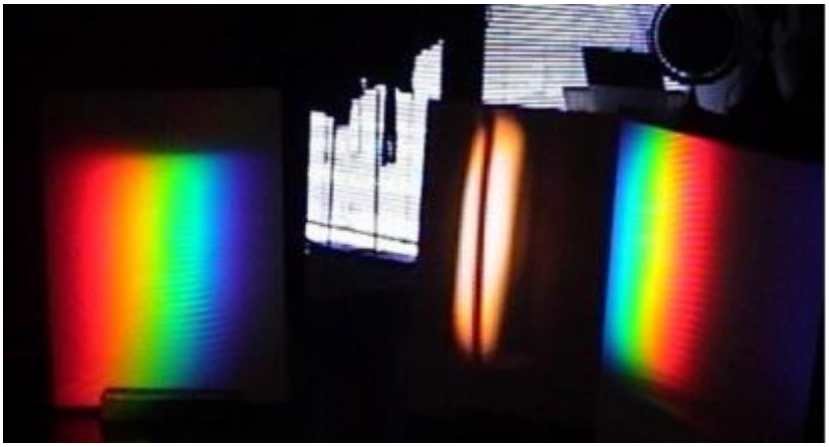
$$b \sin \alpha = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

Při použití monochromatického světelného zdroje dostaneme na stínítku střídavé tmavé a světlé proužky v bodech, které odpovídají podmínkám maxima a minima pro různé hodnoty úhlu α. Pro $\alpha = 0^o$ nastává nejintenzivnější maximum, které označujeme jako maximum nultého řádu, v dalším bodu je maximum prvního řádu apod.

Optická mřížka je tvořena soustavou velkého počtu stejně širokých, rovnoběžných štěrbin, které jsou v malé vzdálenosti od sebe. Tuto vzdálenost nazýváme perioda mřížky (mřížková konstanta). Označuje se písmenem **b**. Reciproká hodnota určuje počet štěrbin na jeden milimetr. Běžné optické mřížky mají řádově 10^2 vrypů na mm.

Př: mřížka má 686 vrypů na 1mm $\Longrightarrow$ $b = \frac{1\ mm}{686} = 0{,}001458$ mm $= 1{,}5.10^{-6}$ m = 1,8 μm.

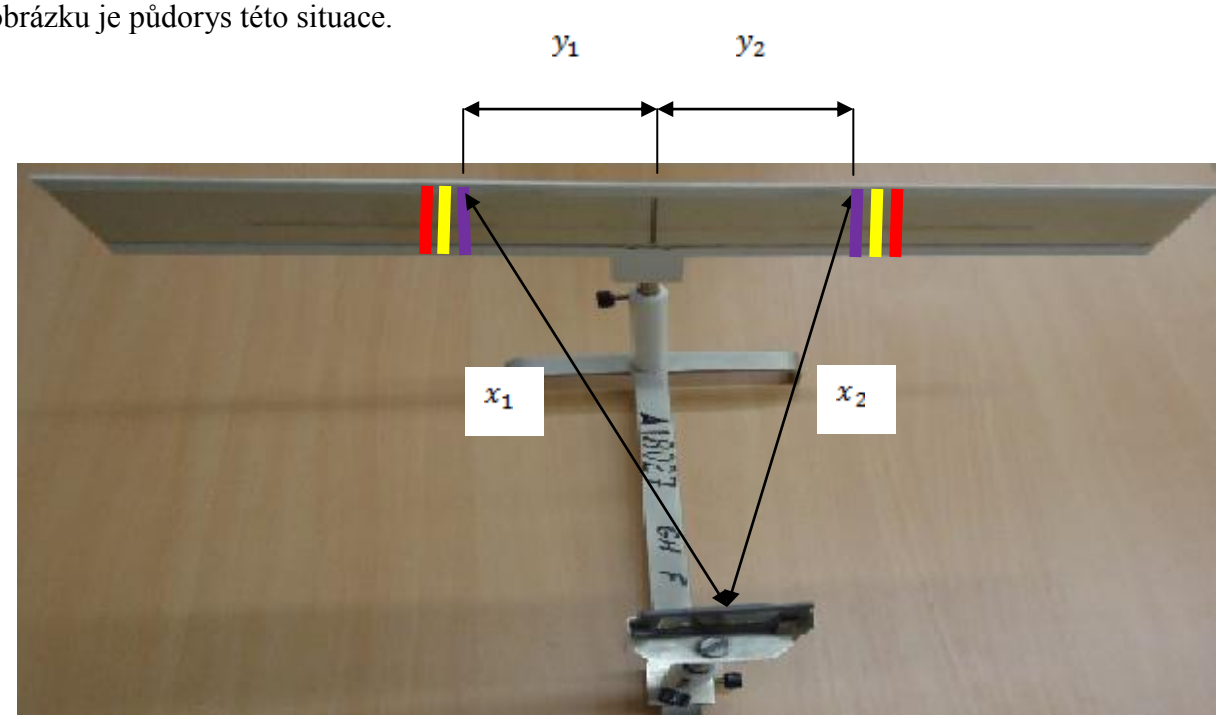
Dopadá-li na mřížku bílé světlo, vznikne uprostřed stínítka ostré bílé maximum nultého řádu a po obou stranách se vytvoří mřížková spektra prvního, druhého a dalších řádů. Blíže k nultému maximu je vždy fialová část spektra a červená část je na vzdálenějším konci.



Provedení:

K měření ohybových úhlů použijeme přístroj, který vidíme na obrázku. Je tvořen držákem optické mřížky, proti níž je stupnice S s milimetrovým dělením. Uprostřed stupnice, v místě, kde by se na stupnici vytvořilo maximum nultého řádu, je štěrbina Š. Štěrbina je osvětlena bílým světlem a pozorujeme ji pohledem přes mřížku M. Po stranách od štěrbiny vidíme symetricky rozložená maxima prvního, druhého a vyšších řádů.

Na obrázku je půdorys této situace.



Pro přesnější měření budeme odečítat hodnoty pro světlo fialové a červené vpravo i vlevo od štěrbiny – y_1, y_2. Podobně zjistíme i vzdálenost daného proužku světla od mřížky – x_1, x_2. Výsledné hodnoty x,y vypočteme aritmetickým průměrem obou naměřených veličin $\Longrightarrow x = \frac{x_1 + x_2}{2}$, $y = \frac{y_1 + y_2}{2}$. $\Longrightarrow$ podle obrázku vidíme: $\sin\alpha = \frac{y}{x}$

Pro každou hodnotu daného měření vypočteme odpovídající vlnovou délku monochromatického světla.

Víme, že bílé světlo je elektromagnetické záření s vlnovými délkami 390nm – fialové světlo; až 790nm – červené světlo. Z toho důvodu změříme vlnovou délku fialového a červeného světla.

Hodnoty odečítáme pro maximum 1. řádu $\Longrightarrow$ k = 1

$$\lambda = b.\sin\alpha = b.\frac{y}{x}$$

Výsledky měření zapíšeme do tabulky:

fialové světlo								
n	vzdálenost y [mm]		vzdálenost x [mm]		y	x	λ	Δλ
	y_1 [mm]	y_2 [mm]	x_1 [mm]	x_2 [mm]	mm	mm	nm	nm
1								
2								
3								
4								
5								
	aritmetický průměr						λ =	Δλ =
červené světlo								
n	vzdálenost y [mm]		vzdálenost x [mm]		y	x	λ	Δλ
	y_1 [mm]	y_1 [mm]	x_1 [mm]	x_2 [mm]	mm	mm	nm	nm
1								
2								
3								
4								
5								
	aritmetický průměr						λ =	Δλ =

fialové světlo: λ = (±) nm ; δλ = %

červené světlo: λ = (±) nm ; δλ = %

Doplňující úkol:

Měření vlnové délky světla laserového ukazovátka

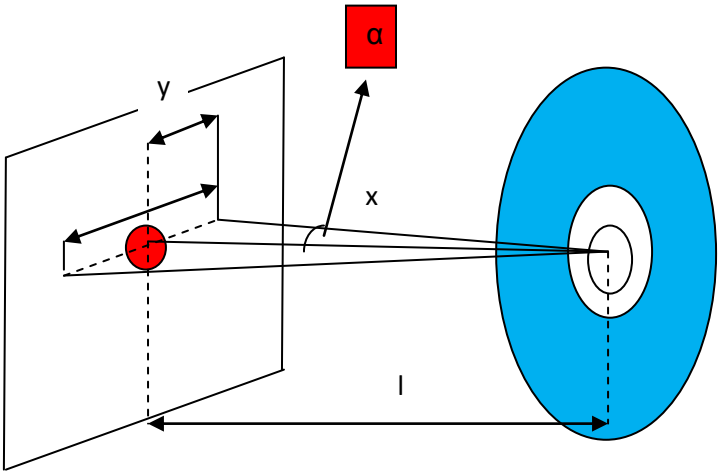
Záznam zvuku nebo počítačového souboru na kompaktním disku (CD, DVD) má podobu mikroskopických prohlubní různé délky (tzv. pitů), jejichž posloupnost nese příslušnou informaci. Pity jsou v drážkách stejné šířky, které na zrcadlovém povrchu disku vytvářejí v podstatě optickou mřížku na odraz.

Na 1mm šířky záznamu připadá 625 drážek. To znamená, že kompaktní disk má vlastnosti optické mřížky s periodou:

$b = \frac{1\,mm}{625} = 1{,}6.10^{-6}\,m = 1{,}6\,\mu m$

Kompaktní disk upevníme do svislé polohy a ve vzdálenosti l = 0,2m umístíme tuhý papír s otvorem, jehož průměr odpovídá průměru laserového ukazovátka. Výška otvoru nad plochou stolu je 6cm (poloměr kompaktního disku).

Laserové ukazovátko vsuneme do otvoru v papíru a laserový paprsek namíříme přibližně do středu záznamu na disku.



Po rozsvícení ukazovátka pozorujeme na papíru výraznou stopu paprsku odraženého od povrchu disku (difrakční maximum 0. tého řádu; stopa by měla dopadnout zpět na ukazovátko), po stranách vidíme výrazná difrakční maxima 1. řádu (dvě červené tečky po stranách ukazovátka)

Pro maximum 1. řádu ⟹ k = 1

$$\lambda = b.\sin\alpha = b.\frac{y}{x} = b.\frac{y}{\sqrt{y^2+l^2}} = \frac{b}{\sqrt{1+\frac{l^2}{y^2}}}$$

Odvození vztahu je jasné z obrázku!

Pro přesnější měření budeme odečítat hodnoty vpravo i vlevo od štěrbiny – y_1, y_2.

Výslednou hodnotu y vypočteme aritmetickým průměrem obou naměřených veličin ⟹ $y = \frac{y_1 + y_2}{2}$

Vzdálenost l jen prostě změříme. Naměřené hodnoty zapíšeme do tabulky a vypočítáme vlnovou délku laserového ukazovátka.

POZOR !!!

Při práci s laserovým ukazovátkem musíme dodržovat bezpečnostní pravidla, aby nedošlo k poškození zraku!!! Proto měření musíme provádět tak, že pozorujeme ohyb ze směru kolmého k laserovému paprsku!!!

Výsledky měření zapíšeme do tabulky:

vlnová délka laserového ukazovátka						
n	l	vzdálenost y		y	λ	Δλ
	mm	y_1 [mm]	y_2 [mm]	mm	nm	nm
1						
2						
3						
4						
5						
	aritmetický průměr				λ =	Δλ =

vlnová délka laserového ukazovátka:

λ = (±) nm ; δλ = %

Protokol č. 3:

Pracoval:			**Pracováno dne:**	
Spolupracoval:			**Vlhkost vzduchu:**	
Třída:			**Tlak vzduchu:**	
Hodnocení:			**Teplota vzduchu:**	

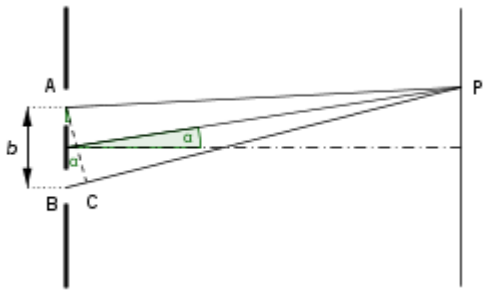
Název úlohy: Měření vlnové délky světla

Pomůcky:

Optická mřížka, přístroj na měření vlnové délky světla, zdroj bílého světla, stupnice s milimetrovým dělením

Vypracování:

Jestliže necháme procházet monochromatické světlo dvěma blízkými štěrbinami, tzv. dvojštěrbinou, dojde na každé štěrbině k ohybu světla. Vlnění získaná na jednotlivých štěrbinách jsou koherentní a na stínítku interferují. Zjednodušeně zachycuje situaci obrázek.



Optická mřížka je tvořena soustavou velkého počtu stejně širokých, rovnoběžných štěrbin, které jsou v malé vzdálenosti od sebe. Tuto vzdálenost nazýváme periodou mřížky (mřížková konstanta). Označuje se písmenem **b**. Reciproká hodnota určuje počet štěrbin na jeden milimetr. Běžné optické mřížky mají řádově 10^2 vrypů na 1 mm.

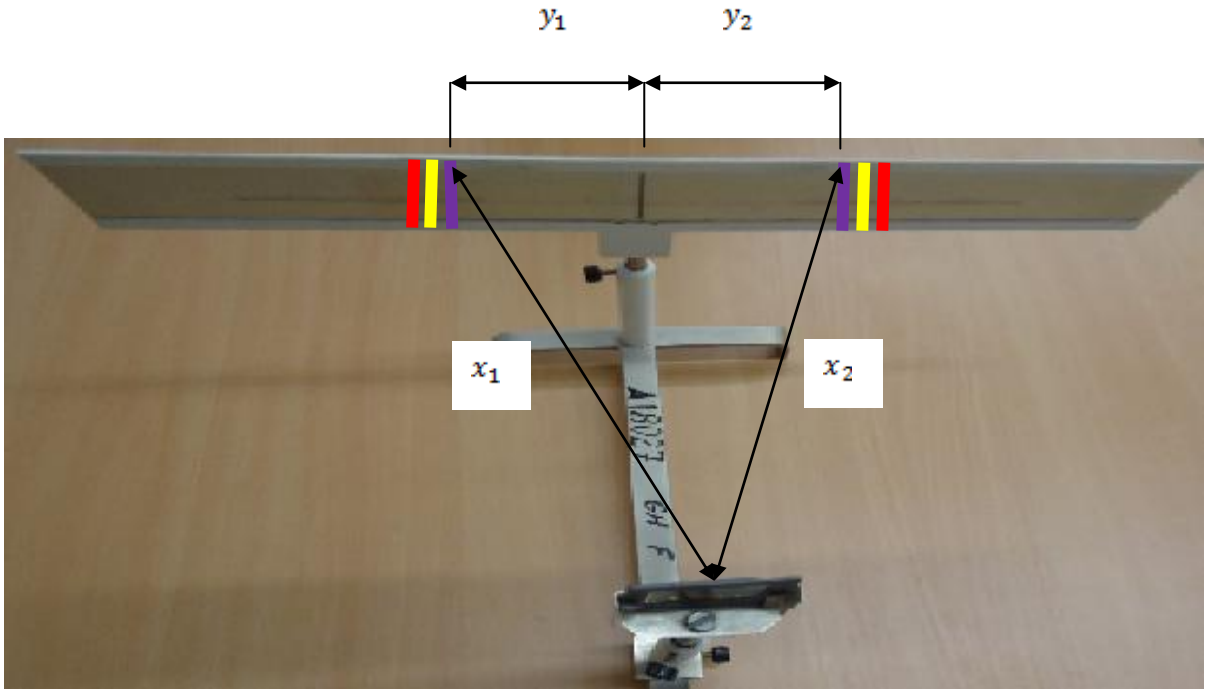
Př: mřížka má 686 vrypů na 1mm $\Longrightarrow$ b = $\frac{1\ mm}{686}$ = 0,001458 mm = $1{,}5.10^{-6}$ m = 1,8 μm.

Dopadá-li na mřížku bílé světlo, vznikne uprostřed stínítka ostré bílé maximum nultého řádu a po obou stranách se vytvoří mřížková spektra prvního, druhého a dalších řádů.

Blíže k nultému maximu je vždy fialová část spektra a červená část je na vzdálenějším konci.

K měření ohybových úhlů použijeme přístroj, který vidíme na obrázku. Je tvořen držákem optické mřížky, proti níž je stupnice S s milimetrovým dělením. Uprostřed stupnice, v místě, kde by se na stupnici vytvořilo maximum nultého řádu, je štěrbina Š. Štěrbina je osvětlena bílým světlem a pozorujeme ji pohledem přes mřížku M. Po stranách od štěrbiny vidíme symetricky rozložená maxima prvního, druhého a vyšších řádů.

Na obrázku je půdorys této situace.



Pro přesnější měření budeme odečítat hodnoty pro světlo fialové a červené vpravo i vlevo od štěrbiny – y_1, y_2. Podobně zjistíme i vzdálenost daného proužku světla od mřížky – x_1, x_2. Výsledné hodnoty x,y vypočteme aritmetickým průměrem obou naměřených veličin

$\Rightarrow \quad x = \frac{x_1 + x_2}{2}, \; y = \frac{y_1 + y_2}{2}$ **podle obrázku vidíme:** $\sin\alpha = \frac{y}{x}$

Pro každou hodnotu daného měření vypočteme odpovídající vlnovou délku monochromatického světla.

Víme, že bílé světlo je elektromagnetické záření s vlnovými délkami 390nm – fialové světlo; až 790nm – červené světlo. Z toho důvodu změříme vlnovou délku fialového a červeného světla.

Hodnoty odečítáme pro maximum 1. řádu ⟹ k = 1

$$\lambda = b.\sin\alpha = b.\frac{y}{x}$$

Mřížka: Počet vrypů na 1mm: n = $\frac{\quad}{1\ mm}$ Perioda mřížky: b = $\frac{1\ mm}{\quad}$ = nm

Výsledky měření zapíšeme do tabulky:

fialové světlo								
n	vzdálenost y [mm]		vzdálenost x [mm]		y	x	λ	Δλ
	y_1 [mm]	y_2 [mm]	x_1 [mm]	x_2 [mm]	mm	mm	nm	nm
1								
2								
3								
4								
5								
	aritmetický průměr						λ =	Δλ =
červené světlo								
n	vzdálenost y [mm]		vzdálenost x [mm]		y	x	λ	Δλ
	y_1 [mm]	y_1 [mm]	x_1 [mm]	x_2 [mm]	mm	mm	nm	nm
1								
2								
3								
4								
5								
	aritmetický průměr						λ =	Δλ =

fialové světlo: λ = (±) nm ; δλ = %

červené světlo λ = (±) nm ; δλ = %

Závěr:

Doplňující úkol:

Měření vlnové délky světla laserového ukazovátka

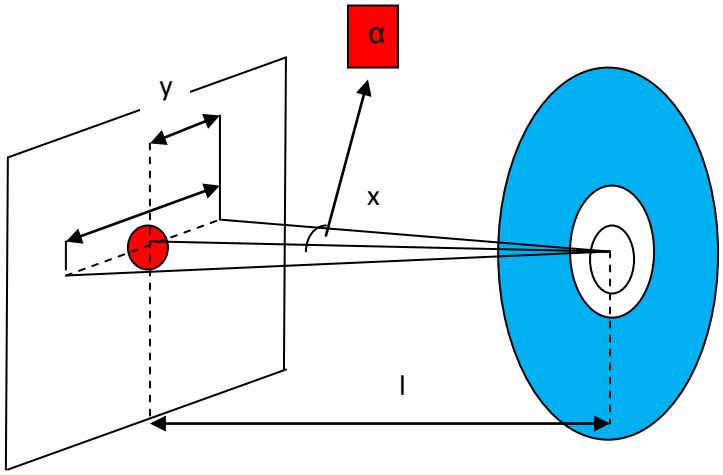
Záznam zvuku nebo počítačového souboru na kompaktním disku (CD, DVD) má podobu mikroskopických prohlubní různé délky (tzv. pitů), jejichž posloupnost nese příslušnou informaci. Pity jsou v drážkách stejné šířky, které na zrcadlovém povrchu disku vytvářejí v podstatě optickou mřížku na odraz.

Na 1mm šířky záznamu připadá 625 drážek. To znamená, že kompaktní disk má vlastnosti optické mřížky s periodou:

$b = \frac{1\ mm}{625} = 1{,}6.10^{-6}\ m = 1{,}6\ \mu m$

Kompaktní disk upevníme do svislé polohy a ve vzdálenosti l = 0,2m umístíme tuhý papír s otvorem, jehož průměr odpovídá průměru laserového ukazovátka. Výška otvoru nad plochou stolu je 6 cm (poloměr kompaktního disku).

Laserové ukazovátko vsuneme do otvoru v papíru a laserový paprsek namíříme přibližně do středu záznamu na disku.



Po rozsvícení ukazovátka pozorujeme na papíru výraznou stopu paprsku odraženého od povrchu disku (difrakční maximum 0. tého řádu; stopa by měla dopadnout zpět na ukazovátko), po stranách vidíme výrazná difrakční maxima 1. řádu (dvě červené tečky po stranách ukazovátka).

Pro maximum 1. řádu ⟹ k = 1

$$\lambda = b.\sin\alpha = b.\frac{y}{x} = b.\frac{y}{\sqrt{y^2+l^2}} = \frac{b}{\sqrt{1+\frac{l^2}{y^2}}}$$

Odvození vztahu je jasné z obrázku!

Pro přesnější měření budeme odečítat hodnoty vpravo i vlevo od štěrbiny – y_1, y_2. Výslednou hodnotu y vypočteme aritmetickým průměrem obou naměřených veličin $\Longrightarrow$ $y = \frac{y_1 + y_2}{2}$.

Vzdálenost l jen prostě změříme. Naměřené hodnoty zapíšeme do tabulky a vypočítáme vlnovou délku laserového ukazovátka.

POZOR !!!

Při práci s laserovým ukazovátkem musíme dodržovat bezpečnostní pravidla, aby nedošlo k poškození zraku!!! Proto měření musíme provádět tak, že pozorujeme ohyb ze směru kolmého k laserovému paprsku!!!

Výsledky měření zapíšeme do tabulky:

vlnová délka laserového ukazovátka						
n	l	vzdálenost y		y	λ	Δλ
	mm	y_1 [mm]	y_2 [mm]	mm	nm	nm
1						
2						
3						
4						
5						
	aritmetický průměr				λ =	Δλ =

vlnová délka laserového ukazovátka:

λ = (±) nm ; δλ = %

Závěr:

Zdroje obrázků (obrázky jsou pod licencí Creativ Commons nalezené pomocí http://www.cmis.cz/dum/:

In techmania.cz [online]. 12.04.2010 [cit. 2012-01-15]. Obrázek ve formátu gif. Dostupné z: http://techmania.cz/edutorium//data/fil_2503.gif

In sunra.lbl.gov [online]. [cit. 2012-01-15]. Obrázek ve formátu gif. Dostupné z: http://sunra.lbl.gov/.../sass20040117/spectrum-01.jpg

Použitá literatura:

Lepil, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia.Optika.* Praha: Prometheus, 2002. ISBN 80-7196-237-6.