

NEWTON JINAK

VLNOVÁ OPTIKA – NEWTONOVA SKLA

Autoři: Romana Žďárská
Kateřina Štyndlová



Issac Newton
(1642-1727)

Narodil se 25. prosince 1642 na farmě poblíž Grathamu v Anglii. Jeho otec zemřel dva měsíce před jeho narozením a jeho matka se v roce 1645 znovu vdala, přestěhovala se do domu svého muže a zanechala malého chlapce v péči jeho babičky. Newton byl zpočátku jen průměrným školákem, ale potom, co vyhrál zápas nad jiným chlapcem, se změnil a stal se nejlepším studentem.

Když mu bylo 14 let jeho matka opět ovdověla a vrátila se do svého původního domova. Chlapce vzala ze školy, aby pomáhal na farmě.

Newton byl na farmě duchem nepřítomný, raději přemýšlel o matematice. V 1660 jeho strýc zařídil, aby nastoupil zpět do školy a připravoval se na zkoušku na univerzitní kolej Trinity College v Cambrigi.

Trinity College Newton absolvoval v r. 1665 a v r. 1667 byl zvolen členem správní rady této univerzitní koleje. Mezi těmito dvěma daty došlo k epidemii moru, univerzita byla zavřena a Newton strávil 18 měsíců doma. Během této doby rozpracoval četné z mnoha konceptů, které později vedly k jeho slavným objevům v matematice a fyzice.

Newton sám později pravil: „Byl jsem v nejlepší věku pro vynalézání a věnoval jsem se matematice a filozofii (přírodovědě) než kdykoli potom.“

Výsledkem jeho exilu z univerzity bylo několik důležitých objevů v matematice včetně diferenciálního a integrálního počtu.

Newton také objevil, že bílé světlo procházející skleněným hranolem se rozkládá na duhu. Newton ji nazval spektrum barev, které lze znova složit na bílé světlo tím, že prochází druhým skleněným hranolem. Nejrevolučnější však byl jeho objev, že Měsíc je udržován na své oběžné dráze silou vycházející ze Země.

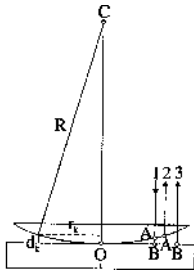
Newton tuto sílu, která byla dříve pokládána za magnetickou, pojmenoval známým slovem gravitace (přitažlivost).



Newtonova skla

Jsou jednoduché zařízení, které umožňuje nejen pozorovat interferenci v odraženém i prošlém světle, ale lze jimi i měřit vlnovou délku světla. Newtonova skla jsou tvořena planparalelní deskou, k níž je přiložena ploskovypuklá čočka. Kulová plocha má velký poloměr křivosti. V okolí místa dotyku čočky s deskou vzniká tenká vzduchová vrstva proměnné tloušťky.

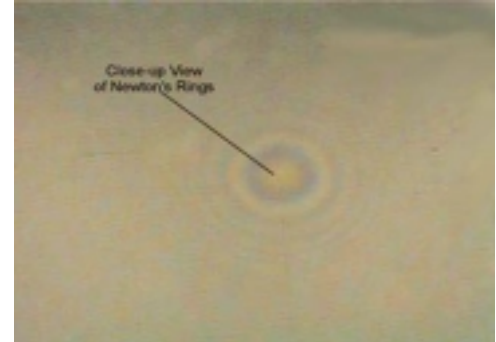
Interferenční obrazec nazýváme Newtonovy kroužky.



Dopadá-li na Newtonova skla monofrekvenční světlo (1), část se odráží v bodě A (2) a část v bodě B (3). Odražená vlnění (2 a 3) jsou koherentní a dochází k interferenci v odraženém světle, která se projeví vznikem tmavých a světlých soustředných kroužků. Při dopadu bílého světla jsou kroužky duhově zabarvené

Použití:

Pomocí Newtonových kroužků se kontroluje opracování rovinných a kulových ploch. K tomu slouží přesně vyrobené rovinné nebo kulové kalibry a z rozložení Newtonových kroužků, které vznikají po přiložení kalibru ke kontrolované ploše, lze vyhodnotit odchylku opracované plochy od kulové plochy kalibru.



Příklad Newtonových kroužků

Co je interference světla?

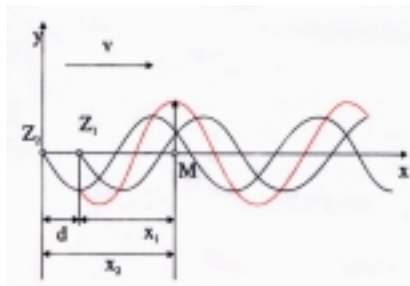
Interference světla = skládání světla

Interference světla dokazuje jeho vlnové vlastnosti. Podstata interference světla (vlnění) je stejná jako u mechanického vlnění. Ukážeme si ji na mechanickém vlnění.

Interference vlnění

Dospěje-li do určitého místa více mechanických vlnění, dochází ke skládání – interferenci vlnění. Body prostředí kmitají s okamžitými výchylkami, které jsou výsledkem skládání (superpozice) více kmitavých pohybů.

Ukážeme si to na dvou vlnění se stejnou amplitudou výchylky, fází a šíří se stejným směrem se stejnou fázovou rychlostí.



Okamžitá výchylka bodu A:

$$y = y_1 + y_2, \text{ kde}$$

$$y_1 = y_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right), \quad y_2 = y_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right).$$

Fázový rozdíl interferujících vlnění

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} = 2\pi \frac{d}{\lambda}.$$

Rozdíl $d = |x_2 - x_1|$ je dráhový rozdíl vlnění. Je zřejmé, že $\Delta\varphi \approx d$. Rovnici $y = y_1 + y_2$ lze upravit

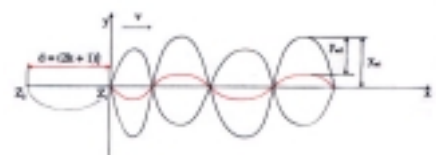
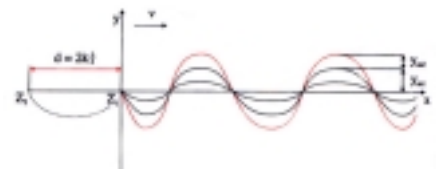
$$\text{na tvar } y = 2y_m \cos \pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1 + x_2}{\lambda} \right).$$

$Y_m = 2y_m \cos \pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda}$ je výsledná amplituda výchylky bodu A.

Je-li $\left| \cos \pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right| = 1$, pak $Y_m = 2y_m$ – vlnění se interferencí zesílí (*interferenční maximum*).

Zesílení nastane v případě, že $\pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} = k\lambda$; $k = 0, 1, 2, \dots$ -

vlnění se v bodě A setkávají ve fázi. Podmínka pro interferenční maximum: $d = k \cdot \lambda = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$.

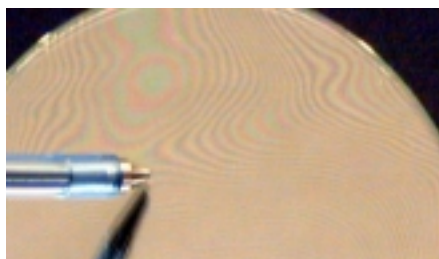


Je-li $\cos \pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} = 0$, pak $Y_m = 0$ – interferenční minimum (při nestejných y_{m1} , y_{m2} , je $Y_m = y_{m1} - y_{m2}$). Vlnění se setkávají s opačnou fází. Podmínka pro *interferenční minimum*: $d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$; $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Interferenci se dvě stejná vlnění zesilují v místech, kde se setkávají se stejnou fází. V místech, kde se setkávají s opačnou fází, nastává zeslabení vlnění.

Využití interference:

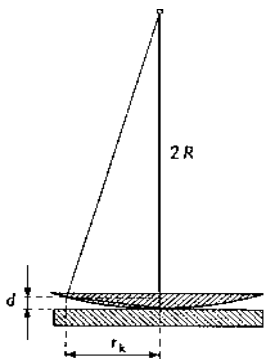
Interference světla našla široké uplatnění v praxi, např. při kontrole opracování rovinných a kulových ploch, při vytváření protiodrazových (antireflexních) vrstev na objektivách optických přístrojů a jinde. Na interferenci je založeno přesné měření vzdáleností, popř. indexu lomu optických prostředí přístrojem zvaným interferometr. Jako zdroj koherentního světla se při interferometrických měřeních používá laser. Na interferenci vysoce koherentního světla laserů je založena holografie.



Interference na tenké vrstvě

Jestliže světlo dopadá na tenkou vrstvu látky o indexu lomu n , omezenou dvěma rovnoběžnými rovinami ve vzájemné vzdálenosti d a umístěné ve vzduchu, odráží se na horní a dolní rovině. Při kolmém dopadu ($\alpha=0$) vzniká optický dráhový rozdíl $\Delta l = 2nd$. Poněvadž na horní rovině nastává při odrazu změna fáze světelných vlnění v opačnou, kdežto při odrazu na dolní rovině se fáze nemění, je $\Delta l = 2nd + 1/2 \cdot \lambda$. Pro vznik interferenčního maxima platí podmínka $2nd = (2k - 1)\lambda/2$, kde $k = 1, 2, 3, \dots$. Podmínka vzniku interferenčního maxima závisí na vlnové délce světla. V případě, že na tenkou vrstvu dopadá bílé světlo, pak se podle tloušťky vrstvy zesiluje světlo určité vlnové délky a vrstva se v odraženém světle jeví zbarvená. Tím se vysvětluje zbarvení např. tenkých mýdlových bublin, olejových skvrn na mokré vozovce apod..

Měření vlnové délky pomocí Newtonových skel



Newtonova skla tvoří planoparalelní deska, k níž je přiložena ploskovypuklá čočka o velkém poloměru křivosti. Mezi čočkou a deskou vzniká klínová vrstva vzduchu a při dopadu svazku rovnoběžných paprsků monofrekvenčního světla dochází k interferenci odraženého světla od obou rozhraní klínové vrstvy. To má za následek vznik interferenčního obrazce v podobě soustavy tmavých a světlých kroužků.

Poloměr r_k světlého proužku, který vzniká v místě interferenčního maxima (k je pořadové číslo kroužku), souvisí s tloušťkou d vzduchové vrstvy vztahem $r_k^2 = d(2R - d)$, kde R je poloměr křivosti optické plochy

ploskovypuklé čočky. Poněvadž $d \ll 2R$, platí $r_k^2 = 2Rd$. Interferenční maximum nastane, když je dráhový rozdíl odražených paprsků $k\lambda$. Musíme si však uvědomit, že při odrazu na skleněné desce se fáze odraženého vlnění mění v opačnou. Dráhový rozdíl je tedy třeba zvětšit o $\lambda/2$, takže platí $2d + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$ a odtud plyne vztah $2d = k\lambda - \frac{\lambda}{2} = (2k - 1)\frac{\lambda}{2}$. Tento vztah platí pro vzduchovou vrstvu ($n = 1$) a kolmý dopad světla na Newtonovy skla. Po dosazení do vztahu pro r_k a úpravě dostaneme pro vlnovou délku vztah $\lambda = \frac{2r_k^2}{(2k - 1)R}$. Při měření vlnové délky pomocí Newtonových skel nelze určit střed kroužků s dostatečnou přesností. Proto měříme průměry D kroužků ($D_k = 2r_k$).

Vlnovou délku pak vypočítáme podle vztahu $\lambda = \frac{D_k^2}{(2k-1)2R}$. Uvedený vztah může sloužit k určení

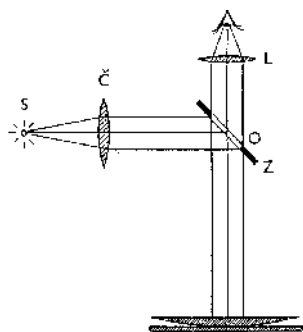
vlnové délky světla při známém poloměru křivosti vypuklé čočky, pokud se vrchol plochy dotýká skleněné desky. Často však čočka vlivem např. prachových částic nedosedne na desku a může vzniknout chyba v určení hodnoty K pro daný Newtonův kroužek. Proto je vhodnější změřit průměry dvou různých kroužků. Pro k-tý kroužek o průměru D_k a n-tý proužek o poloměru D_n platí:

$(2k-1)\lambda = \frac{D_k^2}{2R}; (2n-1)\lambda = \frac{D_n^2}{2R}$. Úpravou těchto rovnic dostaneme vztah pro výpočet vlnové délky

světla: $\lambda = \frac{D_k^2 - D_n^2}{4(k-n)R}$.

Pomůcky k pokusu:

Newtonova skla, zdroj bílého světla, skleněná deska (rovinné zrcadlo), lupa, čočka na stojanu, průhledné pravítko s milimetrovým dělením



Postup pokusu:

Sestavíme měřící zařízení. Newtonova skla, u nich známe poloměr křivosti, položíme na černou podložku (papír) a nad nimi umístíme skleněnou desku nastavenou pod úhlem 45° k dopadajícímu světlu. Skleněná deska odráží světlo do směru kolmého na Newtonova skla a současně umožňuje shora pozorovat interferenční obrazec. Rovnoběžný svazek paprsků vytvoříme pomocí čočky (Č-viz obr.). Další čočku ve funkci lupy umístíme nad odrazovou desku, popř. nad otvor v zrcadle. Pomocí této čočky prohlédneme Newtonovy kroužky a průměr kroužků změříme pravítkem. Jeho měřítko umístíme tak, aby procházelo středem kroužků. Při měření odečítáme polohu k-tého kroužku určité barvy

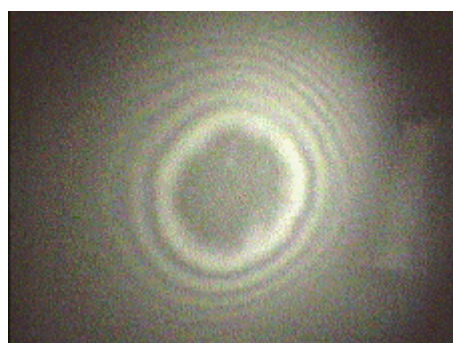
vlevo a vpravo od středu. Z rozdílu těchto poloh určíme průměr kroužku. Měření opakujeme pro kroužky s jinými (n-tými) pořadovými čísly.

{Newtonovy kroužky jsou výraznější, jestliže zdroj bílého světla opatříme barevným filtrem nebo když k měření použijeme sodíkovou výbojku. Poněvadž vlnová délka světla sodíkové výbojky je známé (589nm), můžeme měření pomocí sodíkové výbojky použít pro určení poloměru křivosti ploskovypuklé čočky Newtonových skel.}

Newtonovy kroužky, když Newtonovými skly prochází bílé světlo



Newtonovy kroužky, když Newtonovými skly prochází monofrekvenční světlo



Nám se bohužel pokus nepodařilo zrealizovat.

Použitá literatura:

Fyzika pro gymnázia – optika, doc. RNDr. Oldřich Lepil CSc., RNDr. Zdeněk Kupka Csc.

Fyzika v kostce, Vladimír Lank, Miroslav Vondra

Internet