



2007–2013 m. Žmogiškųjų išteklių plėtros veiksnių programos 2 prioriteto „Mokymasis visą gyvenimą“ VP1-2.2-ŠMM-09-V priemonės „Studijų programų plėtra Nacionalinėse kompleksinėse programose“

Projektas

„I ir II pakopos studijų modernizavimas medžiagotyros, nano- ir šviesos technologijų proveržio kryptimis (LaMeTech studijos)“

Projekto numeris VP1-2.2-ŠMM-09-V-01-005

ŠVIESOS BANGOS ILGIO DIFRAKCIŅE GARDELE NUSTATYMAS INTERFERENCINIŲ METODU.

Praktinio užsiėmimo konspektas
magistrantūros programos
„Saulės elementų ir modulių inžinerija“
studentams

Parengė
doc., dr. D. Jasaitis
prof., dr. A. Jukna
dr. V. Valuntaitė

Vilnius 2012

Darbo tikslu šiame darbe yra nustatyti šviesos bangos ilgį difrakcine gardele interferenciniu metodu bei nustatyti plyšio plotį ir bangų ilgių, telpančių plyšyje, skaičių.

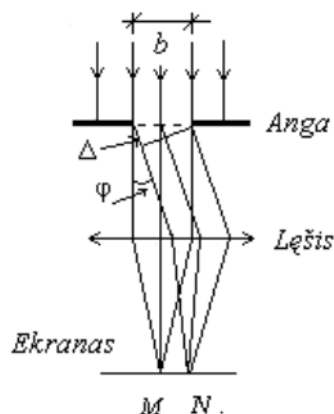
Šviesos difrakcija tai šviesos nukrypimas nuo tiesiaieigio sklidimo ir užlinkimas į šešėlio sritį. Šviesos difrakcija pastebima, kai šviesa „aplenkia“ sutiktas kliūtis arba šviesai sklindant pro siauras aneles bei plyšelius. Difrakcija sąlygojama bangine šviesos prigimtimi. Drauge su šviesos difrakcija vyksta ir šviesos interferencija.

Skiriamos dvi difrakcijų rūšys: Frenelio ir Fraunhoferio (Fraunhofer). Abi jas aiškinant pasitelkiamas Frenelio – Hiuigenso principas apie antrines bangas. Jeigu šviesos šaltinis ir stebėjimo taškas yra nuo pertvaros tiek toli, kad spinduliai, krintantieji į pertvarą, ir spinduliai, einantieji į stebėjimo tašką, sudaro praktiškai lygiagretų pluoštą, kalbama apie Fraunhoferio arba lygiagrečių spindulių difrakciją. Frenelio iširtą atvejį stebime tada, kai pakankamai arti ties angą esantis taškinis šaltinis į angą ar kliūtį siunčia praktiškai sferines bangas.

Šviesos difrakcija pro difrakcinę gardelę yra Fraunhoferio difrakcija.

Jeigu statmenai į difrakcinę gardelę krinta monochromatinės šviesos lygiagrečių spindulių pluoštas (plokščia šviesos banga), tai pagal Hiuigenso ir Frenelio principą visi angos taškai tampa antrinių koherentiškų bangų šaltiniais.

1 paveiksle pavaizduotas lygiagrečių spindulių pluoštas krintantis į b pločio siaurą ir ilgą plyšį, kuris išpjautas neskaidriame ekrane. Jų spinduliuojama šviesa, surinkta glaudžiančiuoju lęšiu interferuoja ekrane, lęšio židinio plokštumoje. Ten matoma sistema šviesių ir tamsių juostų.



1 pav. Fraunhoferio difrakcija plyšyje

Suprasti, ties kuria vieta (koku kampu φ) bus matomos tamsios ar šviesios juostos (interferencijos minimumai ar maksimumai) padeda Frenelio zonų (juostų) metodas. Jo esmė yra ta, kad bangos paviršius angoje suskaidomas į zonas taip, kad pirmosios zonos ribos yra tie paviršiaus

angoje taškai, kurių atstumas nuo ekrano centro yra tarp L ir $L + \frac{\lambda}{2}$ (L yra trumpiausias atstumas tarp angos centro ir ekrano), antrosios – tas atstumas yra tarp $L + \frac{\lambda}{2}$ ir $L + \frac{2\lambda}{2}$ ir t.t. Kadangi dvejose gretimose zonose esančių šaltinių bangos, atėjusios į ekrano centrą nueina kelius, kurių ilgis skiriasi per $\frac{\lambda}{2}$, jos sužadina priešingų fazių virpesius ir todėl slopina viena kitą.

Taške M (1 pav.), esančiame prieš angelės centrą, matysime interferencijos maksimumą (šviesią juostą), kadangi visų spindulių optiniai keliai nuo angos iki ekrano yra vienodi, o angoje plokščiosios bangos sukelti antriniai šaltiniai siunčia vienodos fazės bangas. Dviejų nuo angelės kraštų einančių bet kuria kryptimi φ spindulių optinių eigių skirtumas Δ yra susijęs su angos pločiu:

$$\Delta = b \sin \varphi . \quad (1)$$

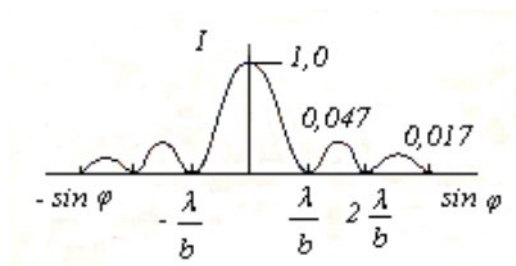
Taip parinkus Frenelio zonas visoje angoje telpa ($\Delta : \lambda/2$) zonų. Taip sudarius zonas aišku, kad zonų skaičius plyšyje priklauso nuo polinkio kampo φ , todėl jeigu tą kampą atitinka lyginis Frenelio zonų skaičius, taške N stebėsime difrakcinį minimumą., o tai atitinka sąlygą:

$$b \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, 3 \dots). \quad (2)$$

Jei plyšyje telpa nelyginis zonų skaičius, t.y. tenkinama sąlyga:

$$b \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, 3 \dots), \quad (3)$$

stebimi interferenciniai maksimumai, atitinkantys vienos nekompensuotos Frenelio zonos spinduliavimą. Kaip matyti iš intensyvumo skirstinio ekrane (2 pav.) didžiausias energijos kiekis yra sukauptas centriniame maksimume.



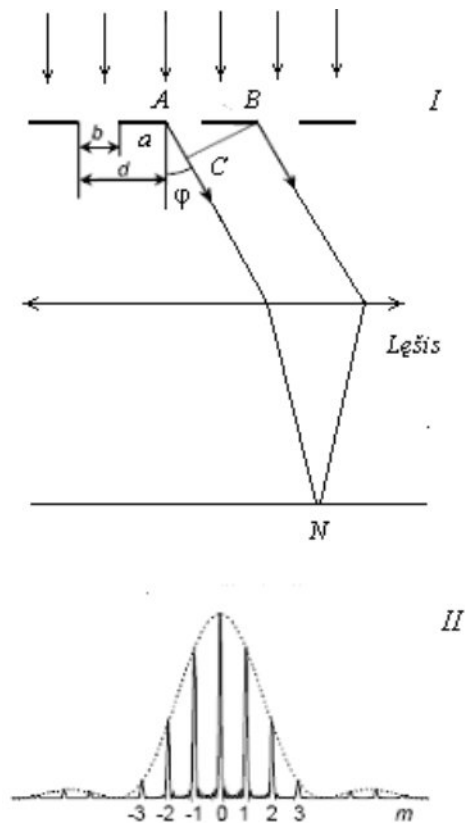
2 pav. Šviesos intensyvumo skirstinys

Maksimumų padėtis priklauso nuo šviesos bangos ilgio, todėl difraguojant baltai šviesai centrinis maksimumas yra baltas, o kiti maksimumai būna sudaryti iš spalvotų juostų taip, kad arčiau centro susidaro trumpesnių (melsvesnių) bangų maksimumai. Tiesa, ryškaus spalvų išskyrimo vieno plyšio atveju gauti neįmanoma. Taip pat (2) lygtis rodo, kad interferencinis vaizdas

priklauso nuo spindulių kritimo kampo φ , todėl judinant plyšį lygiagrečiai pačiam sau į kairę ar dešinę, difrakcinis vaizdas nesikeis, jei tik spinduliai kris į plyšį tuo pačiu kampu.

Kai šviesa sklinda per didelį skaičių plyšių, kurių angos plotis yra a , o angas skiria b pločio neskaidrūs tarpai (3 pav.) – taip vadinamą difrakcinę gardelę, kiekvieno plyšio sudarytas difrakcinis vaizdas yra toks pat, o visos gardelės difrakcinis vaizdas yra visuose plyšiuose difragavusių bangų interferencijos pasekmė.

Difrakcinė gardelė – tai daugelio vienodų b pločio lygiagrečių plyšių, atskirtų vienodo a pločio neskaidriais tarpais, sistema.



3 pav. Fraunhoferio difrakcija difrakcinėje gardelėje

Dydis $d = a + b$ yra vadinamas gardelės konstanta. Kadangi visi plyšiai yra vienodai nutolę vienas nuo kito, tai dviejų gretimų plyšių vienodu kampu sklindančių spindulių eigos skirtumas vienodas, ir tai galioja visai gardelėi:

$$\Delta = AC = d \sin \varphi. \quad (4)$$

Vieno plyšio sudaromų maksimumų padėtis nesikeičia ir jų padėtis tenkina sąlygą (3) (jų numanoma padėtis 3 pav. II pavaizduota punktyru). Bet daugelio plyšių atveju, kai kuriomis kryptimis vieno plyšio šviesa smarkiai stiprins kitą, kai bus tenkinama (4) lygtimi nusakomo optinių kelių skirtumui pritaikyta sąlyga:

Projektas „I ir II pakopos studijų modernizavimas medžiagotyros, nano- ir šviesos technologijų proveržio kryptimis (LaMeTech studijos)“

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad (5)$$

bus stebimi pagrindiniai, žymiai aštresni, maksimumai (jų padėtis 3 pav. II pavaizduota aštriomis linijomis). Analogiška situacija yra ir minimumų atveju: kryptimis, kurias apibrėžia vieno plyšio minimumų sąlyga (2) nebus stebima šviesa ir nuo kitų plyšių. Tad čia stebimi pagrindiniai minimumai, o papildomus minimumus atitinka sąlyga:

$$d \sin \varphi = k \frac{\lambda}{N}, \quad (6)$$

čia N – plyšių skaičius, o k – visi sveiki skaičiai, išskyrus 0, N , $2N$... ir t.t., kai (6) sutampa su (2) – pagrindinių minimumų sąlyga.

Pagrindinių maksimumų padėtis priklauso nuo šviesos bangos ilgio, todėl aukštesnių eilių ($m > 0$) difrakcinių maksimumai yra spalvoti – skirtingų bangų ilgių spinduliai krinta skirtingoje vietoje ir tai panaudojama spektriniuose prietaisuose. Difrakcinės gardelės gali skirtis savo matmenimis, forma, režių skaičiumi (nuo 0,2 režių/mm iki 6000 režių/mm), todėl taikomos įvairių spinduliuotės spektro dalių: nuo Rentgeno spindulių iki infraraudonosios jo dalies skaidymui į monochromatinius spindulius.

Darbo priemonės šiame darbe yra lazeris (monochromatinės šviesos šaltinis), difrakcinė gardelė, keičiamo pločio plyšys, padėklas.

Lazerio šviesos spindulio kelyje pastatoma difrakcinė gardelė ir popieriaus lape ant stovo padėklo stebimas difrakcinis vaizdas. Išmatuojamas atstumas h_1 nuo difrakcinės gardelės iki popieriaus lapo, kuriame stebimas difrakcinis vaizdas. Išmatuojami atstumai l_1 ir l'_1 nuo nulinės eilės maksimumo ($m = 0$) iki pirmos eilės maksimumo ($m = \pm 1$) ir apskaičiuojama šio atstumo vidutinė reikšmė $\langle l_1 \rangle$. Nustatomi vidutiniai atstumai nuo nulinio difrakcinio maksimumo iki antrosios ($m = \pm 2$) ir trečiosios eilės ($m = \pm 3$) maksimumų $\langle l_2 \rangle$ ir $\langle l_3 \rangle$.

Pasinaudojus difrakcinės gardelės lygtimi ir tarus, kad galioja sąlyga $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{\langle l \rangle}{h}$, nustatomas lazerio generuojamos šviesos bangos ilgiai λ_{01} , λ_{02} , λ_{03} :

$$\lambda_m = \frac{d \sin \varphi}{m} = \frac{d \langle l_m \rangle}{m h_1} \quad (7)$$

čia d – difrakcinės gardelės konstanta, $m = 1, 2, 3$ (pirmosios, antrosios, trečiosios eilės difrakcinis maksimumas).

Nustatomas vidutinis bangos ilgis $\langle \lambda \rangle$.

Difrakcinė gardelė nusukama į šoną iš šviesos spindulio kelyje pastatomas plyšys taip, kad šviesos spindulys kristų tiesiai į plyšį. Sraigtu keičiamas plyšio plotis a tol, kol gaunamas ryškus

Projektas „I ir II pakopos studijų modernizavimas medžiagotyros, nano- ir šviesos technologijų proveržio kryptimis (LaMeTech studijos)“

vaizdas. Išmatuojami atstumai nuo nulinės eilės maksimumo ($m = 0$) iki pirmos eilės maksimumų ir nustatoma šių atstumų vidutinė reikšmė $\langle l_1 \rangle$. Nustatomi vidutiniai atstumai nuo nulinio difrakcinio maksimumo iki antrosios ($m = \pm 2$) ir trečiosios eilės ($m = \pm 3$) maksimumų $\langle l_2 \rangle$ ir $\langle l_3 \rangle$.

Pasinaudojus vieno plyšio difrakcijos stebėjimo sąlyga $\alpha \sin \varphi = \pm(2m + 1) \frac{\lambda}{2}$ bei prielaida, kad

galioja sąlyga $\sin \varphi \approx \tan \varphi = \frac{\langle l \rangle}{h}$ gaunama plyšio pločio a nustatymo lygtis:

$$a = \frac{(2m + 1) \langle \lambda \rangle}{2 \sin \varphi} \approx \frac{(2m + 1) \langle \lambda \rangle h_2}{2 \langle l_m \rangle}, \quad (8)$$

čia h_2 – atstumas nuo plyšio iki popieriaus lapo, kuriame stebimas difrakcinis vaizdas.

Apskaičiuojamos plyšio pločio reikšmės kiekvienam atvejui: a_1 , a_2 , a_3 . Po to apskaičiuojamas vidutinis plyšio plotis $\langle a \rangle$.

Nustatomas bangų ilgių, telpančių pločio $\langle a \rangle$ plyšyje, skaičius (N):

$$N = \frac{\langle a \rangle}{\langle \lambda \rangle} \quad (9)$$

Rekomenduojamos temos ir klausimai diskusijoms:

1. Kokį reiškinį vadiname šviesos difrakcija?
2. Huienso Frenelio principas. Frenelio zonų metodas.
3. Difrakcinė gardelė, jos konstanta.
4. Apibūdinkite interferencijos maksimumų ir minimumų susidarymo sąlygą.
5. Parašykite ir paaiškinkite difrakcinės gardelės lygtį.
6. Paaiškinkite difrakcinių spektrų susidarymą.

Literatūra:

1. A. Bogdanovičius. Fizikos pagrindai inžinerijoje. II dalis: vadovėlis. Vilnius: Technika, 2010, 326 p.
2. B. Martinėnas. Fizika: vadovėlis. Vilnius: Technika, 2008., 384 p.
3. R. A. Bendorius. Elektromagnetizmas. Šiuolaikinės fizikos pradmenys: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2009, 133 p.
4. A. Tamašauskas, J. Vosylius, Č. Radvilavičius. Fizika 3. Vilnius: Mokslas. 1992, 180 p.