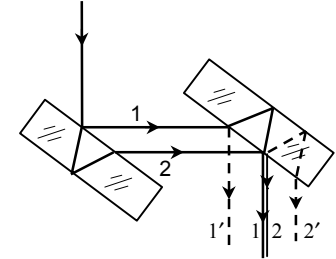


Žameno (Jamin) interferometras sudarytas iš dviejų vienodų plokščių tarpusavyje lygiagrečių stiklo plokštelių, kurių storis h ir lūžio rodiklis n (4.11.1.2 pav.). Šviesos banga krinta į priekinį pirmosios plokštelės paviršių ir dėl dalinio atspindžio bei lūžio susidaro dvi koherentinės bangos (amplitudės dalijimo metodas), sklindančios į antrąją plokštelę ir nutolusios viena nuo kitos. Po atspindžio ir lūžio antroje plokštelėje iš jos išeina keturi spinduliai 1, 1', 2 ir 2'. Du iš jų (1 ir 2) interferuoja ir interferencinis vaizdas priklauso nuo susidariusio tarp jų eigos skirtumo Δ .



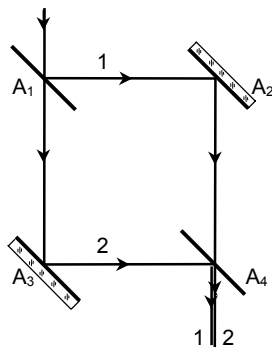
4.11.1.2 pav. Žameno interferometro schema

Kai apšviečiama lygiagrečiais monochromatiniais spinduliais, visoms spindulių poroms eigos skirtumas vienodas. Susidaro tolygiai apšviestas laukas, kurio intensyvumas priklauso nuo Δ . Didžiausias intensyvumas bus tada, kai $\Delta = m\lambda$ ir mažiausias, kai $\Delta = (2m + 1)\lambda/2$. Apšvietus baltąją šviesą, laukas atrodo tolygiai nuspalvintas. Kai abi plokštelės tiksliai tarpusavyje lygiagrečios, eigos skirtumas $\Delta = 0$.

Kai apšviečiama prasiskleidžiančiais spinduliais, susidaro interferencinių juostelių sistema – vienodo polinkio interferencinės juostelės. Atstumas tarp juostelių didėja, mažėjant kampui tarp plokštelių.

Žameno interferometro plokštelės gaminamos storos (iki 2 cm) ir tada spindulių pluošteliai 1 ir 2 yra pakankamai nutolę. Viename jų kelyje įdedama tiriamoji l sluoksnio storio medžiaga su kitoku lūžio rodikliu (n_1) nei supančioji terpė (n_0). Tada tarp pluoštelių susidaro papildomas eigos skirtumas $\Delta' = l(n_1 - n_0)$. Jei $\Delta' = m\lambda$, interferencinis vaizdas pasislenka per m juostelių. Šiuo metodu galima išmatuoti lūžio rodiklio pokytį iki šeštojo ženklo po kablelio.

Lūžio rodiklių matavimas priklauso metrologijos sričiai, kuri vadinama *refraktometrija*. Interferometrinis metodas yra labai jautrus santykinuose matavimuose, tačiau norint jį realizuoti reikia gerai stabilizuoti interferencinį vaizdą. Šiuo aspektu Žameno interferometras turi esminį trūkumą. Plokštelės turi būti pagamintos iš vienalyčio stiklo, neturėti įtempimų ir t. t. Kadangi plokštelės lėtai išyla iki aplinkos temperatūros, tai interferencinio vaizdo kitimas sunkiai kontroliuojamas. Galingi spinduliai sutrikdo šilumos pusiausvyrą, nes dalį šviesos srauto sugeria plokštelės. Todėl Žameno interferometras nėra plačiai naudojamas.



4.11.1.3 pav. Roždestvenskio interferometro schema
mams arti sugerties juostų.

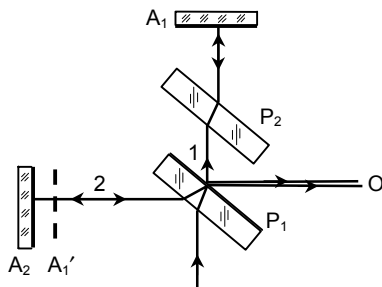
Roždestvenskio interferometras yra Žameno interferometro atmaina. Jis sudarytas iš keturių plokščiųjų veidrodžių A_1 , A_2 , A_3 ir A_4 (4.11.1.3 pav.). Du iš jų (A_2 ir A_3) yra visiškai atspindintys, o kiti du – pusiau skaidrūs šviesos pluoštelių dalikliai. Veidrodžiai A_1 ir A_4 atspindi apie 50 % krintančiosios šviesos. Interferometras sudarytas iš dviejų nepriklausomų bloků, kuriuos galima nutolinti norimu atstumu.

Roždestvenskio interferometras skirtas tiksliams dujų ir garų lūžio rodiklių matavimams arti sugerties juostų.

Maikelsono interferometras turtingas savo istorija. Jis suvaidino svarbų vaidmenį sprendžiant pagrindines fizikos užduotis bei įvairius techninius klausimus; dabar jau paseno. Maikelsonas savo laiku atliko tris svarbiausius eksperimentus:

1. Maikelsono ir Morlio (*Morley*) eksperimentas išaiškino klausimą apie susižavėjimą eteriu;
2. Pirmasis sistemingas spektrinių linijų struktūros nagrinėjimas;
3. Pirmasis tiesioginis spektrinės linijos bangos ilgio palyginimas su etaloniniu metru.

Šiame interferometre šviesos pluošteliu nukreipiamas į pusskaidrią plokštelę P_1 , kuri padalija jį į du beveik vienodo intensyvumo pluoštelių (4.11.1.4 pav.). Vienas iš jų atsispindėjęs nuo veidrodžio A_1 vėl sugrįžta į plokštelę P_1 ir atsispindi nuo jos stebėjimo linkme O . Antrasis pluošteliu krinta į veidrodį A_2 , atsispindi nuo jo ir pereina atgal plokštelę P_1 kryptimi O . Kadangi abu spinduliai (1 ir 2) susidaro iš vieno šviesos pluošteliu, jie yra koherentiniai ir gali interferuoti. 2 spindulys pereina plokštelę P_1 tris kartus, o 1 spindulys – vieną kartą. Todėl papildomam eigos skirtumui kompensuoti 1 spindulio kelyje pastatoma tokio pat storio plokštelė P_2 . Kai interferometro pečiai vienodi, 1 ir 2 spindulio optiniai keliai vienodi ir eigos skirtumas tarp jų lygus nuliui.



4.11.1.4 pav. Maikelsono interferometro schema

Maikelsono interferometre šviesos pluošteliu nukreipiamas į pusskaidrią plokštelę P_1 , kuri padalija jį į du beveik vienodo intensyvumo pluoštelių (4.11.1.4 pav.). Vienas iš jų atsispindėjęs nuo veidrodžio A_1 vėl sugrįžta į plokštelę P_1 ir atsispindi nuo jos stebėjimo linkme O . Antrasis pluošteliu krinta į veidrodį A_2 , atsispindi nuo jo ir pereina atgal plokštelę P_1 kryptimi O . Kadangi abu spinduliai (1 ir 2) susidaro iš vieno šviesos pluošteliu, jie yra koherentiniai ir gali interferuoti. 2 spindulys pereina plokštelę P_1 tris kartus, o 1 spindulys – vieną kartą. Todėl papildomam eigos skirtumui kompensuoti 1 spindulio kelyje pastatoma tokio pat storio plokštelė P_2 . Kai interferometro pečiai vienodi, 1 ir 2 spindulio optiniai keliai vienodi ir eigos skirtumas tarp jų lygus nuliui.

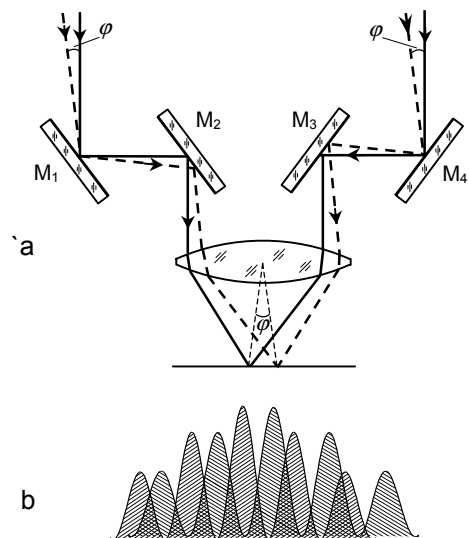
Pažymėkime veidrodžio A_1 atvaizdą A_1' . Galima manyti, kad interferencinį vaizdą lemia oro tarpelis tarp veidrodžio A_2 ir menamojo atvaizdo A_1' . Jei veidrodžiai A_2 ir A_1' tarpusavyje lygiagretūs, interferencinis vaizdas monochromatinėje šviesoje bus sudarytas iš lokalizuotų begalybėje apskritimų (vienodo polinkio interferencinių juostelių). Kai A_2 artėja prie A_1' , juostelės slenka į centrą, o vaizdo kampiniai matmenys didėja iki momento, kai A_2 sutampa su A_1' ir regėjimo lauko apšvieta tampa tolydinė. Tada sakoma, kad veidrodžiai A_2 ir A_1' yra optiniame kontakte. Kai veidrodžiai A_2 ir A_1' sudaro nedidelio kampo pleišta, juostelės lokalizuotos pleišto paviršiuje (vienodo storio interferencinės juostelės).

Nepriklausomai nuo to, lygiagretus A_2 su A_1' ar sudaro tarpusavyje kampą, optinio kelio pokytis bet kuriame interferometro petyje iššaukia interferencinio vaizdo poslinkį, kurį galima įvertinti iki $1/20$ juostelės.

Žvaigždžių interferometras. Tai įtaisas, skirtas matuoti kampinį atstumą tarp dvilypių žvaigždžių bei atskirų žvaigždžių kampinius matmenis. Maikelsono žvaigždžių interferometro schema pavaizduota 4.11.1.5 pav. Šviesa iš žvaigždės krinta į teleskopo objektyvą O , prieš tai atsispindėjusi nuo plokščių veidrodžių M_1 ir M_4 . Žvaigždės atvaizdo plokštumoje susikuria interferencinis vaizdas, panašus į interferencinį vaizdą už dviejų plyšių, tarp kurių atstumas d . Šiame vaizde kampinis atstumas tarp gretimų interferencinių maksimumų lygus

$$\theta = \frac{\lambda}{d};$$

čia λ – šviesos bangos ilgis. Kai yra dvi artimos žvaigždės, tarp kurių kampinis atstumas φ mažas, pro teleskopą matomi du interferenciniai vaizdai, pasislinkę vienas kito atžvilgiu taipogi kampu φ ir dengia vienas kitą. Priklausomai nuo santykio tarp φ ir θ suminio vaizdo interferencinių juostelių matomumas skirtingas. Keičiant atstumą d , kartu ir kampą θ , galima sutapdinti vieno interferencinio vaizdo maksimumų vietas su kito vaizdo



4.11.1.5 pav. Žvaigždžių interferometro schema (a) ir interferencinis vaizdas (b)

minimumais. Tada juostelių matomumas bus blogiausias tokiomis sąlygomis

$$\varphi = \frac{\theta}{2} = \frac{\lambda}{2d}.$$

Išmatavus d ir žinant λ , galima nustatyti kampinį atstumą φ tarp artimų žvaigždžių.

Panašiai nustatomas ir atskiros žvaigždės kampinis matmuo. Manant, kad žvaigždė yra tolygiai švytintis diskas, iš skaičiavimų gaunama, kad interferencinės juostelės išnyksta tada, kai

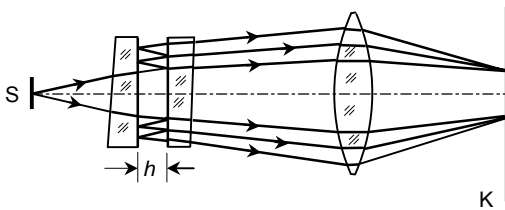
$$\varphi = 1,22 \frac{\lambda}{d}.$$

Žvaigždžių interferometro matavimų tikslumas tuo didesnis, kuo didesnė bazė d . Kai kurių interferometrų $d = 18$ m ir jais galima išmatuoti kampinį atstumą $0,001''$ tikslumu.

4.11.2. DAUGIASPINDULINIAI INTERFEROMETRAI

Daugiaspindulinių interferencinių prietaisų veikimas grindžiamas daugelio šviesos pluoštelių interferencija.

Fabri ir Pero (*Fabry–Perot*) **interferometras** yra savotiška plokščiai lygiagreti oro plokštelė tarp dviejų plokščių stiklo arba kvarco plokštelių paviršių (4.11.2.1 pav.).



4.11.2.1 pav. Fabri ir Pero interferometro schema

Plokštelių paviršiai nukreipti vienas prieš kitą turi būti tarpusavyje griežtai lygiagretūs. Vidiniai plokštelių paviršiai padengti atspindinčiu sluoksniu, kurio atspindžio faktorius didelis. Plokštelės

yra šiek tiek pleišto formos, dėl ko šalinamas nepageidautinas atsispindėjusio nuo išorinių nepadengtųjų paviršių šviesos poveikis.

Jei į tokias dvi plokšteles, tarp kurių atstumas h , krinta λ bangos ilgio šviesa iš tisaus spindulio, tai interferencinis vaizdas bus sudarytas iš bendracentrinė žiedų (vienodo polinkio interferencinių juostelių), lokalizuotų begalybėje. Atstumą tarp gretimų šviesos pluoštelių nusako eigos skirtumas tarp spindulio, sklindančio ta pačia linkme, ir spindulio, du kartus atsispindėjusio nuo veidrodinių paviršių:

$$\Delta = 2 h n \cos \varphi ;$$

čia h – atstumas tarp plokštelių, vadinamas *interferometro* storiu; n – terpės tarp plokštelių lūžio rodiklis (oro $n \approx 1$); φ – kampas, kuriuo spinduliai krinta į veidrodinį paviršių.

Kolimatoriaus židinio plokštumoje K interferuojantys spinduliai sukuria maksimumą, jei eigos skirtumas lygus sveikajam bangos ilgių skaičiui:

$$2 h \cos \varphi = m \lambda. \quad (4.11.2.1)$$

Didėjant spindulių kritimo kampui φ eigos skirtumas ir interferencijos eilė mažėja. Didžiausios interferencijos eilės maksimumas bus centre (kai $\varphi = 0$).

$$m_{\max} = \frac{2h}{\lambda}.$$

Fabri ir Pero interferometre susidaro didelės interferencijos eilės. Pvz., jei $h = 0,5$ cm ir $\lambda = 500$ nm, tai $m = 20000$.

Kampinį atstumą tarp gretimųjų interferencinių maksimumų galima išreikšti išdiferencijavus (4.11.2.1) lygtį:

$$\delta \varphi = \frac{\lambda}{2h \sin \varphi}.$$

Iš šios išraiškos išplaukia, kad tolstant nuo interferencinio vaizdo centro bei didėjant atstumui tarp plokštelių atstumas tarp interferencinių juostelių mažėja.

Daugiaspindulinių interferometrų interferencinės juostelės yra siauros ir jų padėtis priklauso nuo bangos ilgio. Todėl tokie interferometrai gali būti naudojami kaip spektriniai prietaisai. Fabri ir Pero interferometras yra dvi-matės dispersijos spektrinis prietaisas su didele skiriamąja geba.

Interferometro dispersijos sritį galima išreikšti panašiai kaip difrakcinės gardelės, nagrinėjant spektrų persidengimą. Jei m eilės $\lambda + \Delta\lambda$ bangos ilgio žiedas sutampa su $m + 1$ eilės λ bangos ilgio žiedu, tai vienodiems φ galima užrašyti taip:

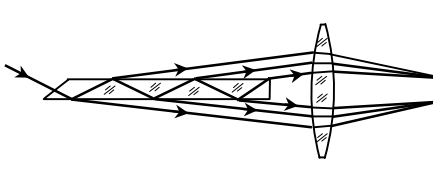
$$(m + 1) \lambda = m (\lambda + \Delta\lambda).$$

Iš čia $\Delta\lambda = \lambda/m$. Įrašius m išraišką iš (4.11.2.1) gaunama:

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{2h \cos \varphi} \approx \frac{\lambda^2}{2h}.$$

Dydis $\Delta\lambda$ vadinamas interferometro *laisvosios dispersijos sritimi*. Tai spektro ruožas, kuriame gretimų eilių spektrai vienas kito dar nedengia. Fabri ir Pero interferometro *laisvosios dispersijos sritis* yra gana siaura ($\approx 0,02$ nm), todėl jis naudojamas kartu su spektriniais prietaisais, kuriais iš anksto išskiriamas spektro ruoželis arba atskiros spektrinės linijos.

Liumerio ir Gerkės (Lummer–Gehrke) interferometras yra plokščia gretasienė vienalyčio stiklo (arba lydyto kvarco) plokštelė (4.11.2.2 pav.). Vienas jos galas nupjautas įstrižai. Dėl to sumažėja nuostoliai dėl krintančiųjų spindulių atspindžio. Krintančiųjų spindulių kryptis pa-



4.11.2.2 pav. Liumerio ir Gerkės interferometro schema

renkama taip, kad sandūroje stiklas – oras kampas būtų artimas visiškojo vidaus atspindžio kampui (bet šiek tiek mažesnis). Tada šviesa beveik visiškai atsispindi nuo sandūros stiklas – oras paviršiaus ir mažą dalis išeina iš plokštelės per viršutinę ir apatinę pusę kryptimi,

sudarančią labai mažą kampą su plokštelės paviršiumi. Išėjusių gretimųjų spindulių intensyvumai mažai skiriasi vienas nuo kito. Interferuojančiųjų pluoštelių skaičius priklauso nuo plokštelės matmenų, lūžio rodiklio ir atspindžio kampo plokštelės viduje

Eigos skirtumą tarp gretimųjų pluoštelių lemia plokštelės storis, jos lūžio rodiklis; jis yra apie 20000λ ir daugiau. Todėl Liumerio ir Gerkės plokštelė matomos aukštos eilės interferencinės juostelės. Tačiau norint jas pamatyti, reikia naudoti gan monochromatinę šviesą, kad nebūtų juostelių persidengimo.

Kai į plokštelę krinta spinduliai įvairiais kampais iš plataus spindulio, tai lęšio židinio plokštumoje susidaro įvairių eilių $m, m + 1, m + 2, \dots$ juostelės, atitinkančios skirtingiems spindulių kritimo kampams, t. y. susidaro vienodo polinkio interferencinės juostelės.

4.11.3. INTERFERENCINIAI ŠVIESOS FILTRAI

Įvairiems eksperimentams dažnai reikia išskirti siaurą spektrinį ruožą. Tam naudojami šviesos filtrai – įtaisai, praleidžiantys tik tam tikro bangos ilgio arba tam tikro spektro ruožo šviesos bangas. Įprastiniais spalvotais stiklais arba nuspalvintomis želatinos plėvelėmis (sugerties šviesos filtrais)

galima išskirti ruožą apie 50 nm. Siauresnį ruoželį (apie 2,5 nm) galima išskirti interferenciniais šviesos filtrais. Interferencinių šviesos filtrų veikimas grindžiamas šviesos interferencijos reiškiniu plokštelėse arba plonose plėvelėse.

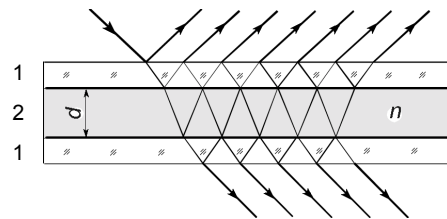
Juostiniai šviesos filtrai apibūdinami maksimalaus *praleidimo faktoriu* $T_{\max} = I_{\max}/I_0$ (čia I_{\max} – filtrą perėjusios šviesos didžiausias intensyvumas, I_0 – į filtrą krintančiosios šviesos intensyvumas); *bangos ilgiu* λ_{\max} , atitinkančiu T_{\max} vietą; *puspločiu* $\delta\lambda$ – spektro ruožu, kurio ribos atitinka $T_{\lambda} = 0,5 T_{\max}$, ir *kontrastingumu* $\gamma = T_{\max}/T_f$ (čia T_f yra fonas).

Norint gauti siauras praleidimo juostas, reikia didinti eigos skirtumą tarp gretimų interferuojančių pluoštelių arba didinti interferuojančių pluoštelių skaičių. Pirmuoju atveju interferuoja du poliarizuotieji pluošteliai, perėję dvejopalaūžę kristalo plokštelę. Turime vadinamuosius *poliarizacinius - interferencinius šviesos filtrus*. Antruoju atveju vyksta daugiaspindulinė interferencija dėl daugkartinio atspindžio tarp lygiagrečių iš dalies skaidrių veidrodžių.

Paprasčiausias interferencinis šviesos filtras yra sudarytas iš dviejų iš dalies skaidrių veidrodžių 1 (4.11.3.1 pav.), tarp kurių yra plonas dielektriko sluoksnis 2. Filtrą pereinanti spinduliuotė daug kartų atsispindi nuo veidrodžių ir kiekvieno atspindžio metu dalis jos patenka į išorę. Sistemos išorėje susidaro begalinė mažėjančios amplitudės spindulių pluoštelių seka. Eigos skirtumas tarp gretimųjų pluoštelių yra pastovus ir jie efektyviai interferuoja.

Atstumas tarp veidrodžių turi tenkinti interferencijos maksimumų susidarymo sąlygą bangai, kurios ilgis atitinka didžiausią šviesos praleidimą. Reikia naudoti atspindinčius sluoksnius su maža sugertimi. Foną tarp maksimumų bei praleidimo juostos pusplotį galima sumažinti naudojant didelės atspindžio gebos veidrodžius, nes tada susikuria didelis interferuojančiųjų pluoštelių skaičius. Šios sąlygos tenkinamos naudojant daugiasluoksnius pusiau skaidrius dielektrinius veidrodžius. Tokio tipo filtrų praleidimo sritis daug mažesnė, o maksimalus praleidimas didesnis už filtrų su pusiau skaidriais sidabruotais veidrodžiais.

Reikia pabrėžti, kad interferencinių filtrų parametrai priklauso nuo šviesos srauto krypties. Paprastai pateiktieji filtrų parametrai atitinka lygiag-



4.11.3.1 pav. Spindulių eiga interferenciniame šviesos filtre

rečių spindulių pluošteliu statmeną kritimą. Pasukant filtrą galima keisti praleidimo juostos vietą spektre (tam tikrame bangos ilgių ruože). Juostos poslinkį galima apskaičiuoti, jei yra žinomi tarp atspindinčių paviršių esančių sluoksnių lūžio rodikliai n_1 ir n_2 . Pasitelkiama „efektinio“ lūžio rodiklio išraiška:

$$n^* = \frac{n_2}{\sqrt{1 - \frac{n_2}{n_1} + \frac{n_2^2}{n_1^2}}}$$

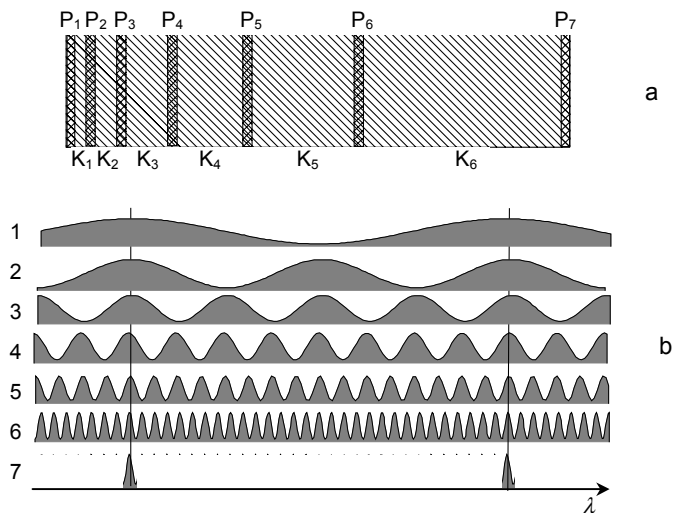
Filtrams su mažo rodiklio tarpikliu (pvz., iš kriolito) n^* vertė yra apie 1,45, o jei tarpiklio lūžio rodiklis yra didelis (pvz., iš cinko sulfido), tai n^* yra apie 2,1.

Jei filtro pasukimo kampas β yra mažesnis už 30° , tai praleidimo smailės bangos ilgis

$$\lambda_\beta = \frac{\lambda_0 \sqrt{n^{*2} - \sin^2 \beta}}{n^*};$$

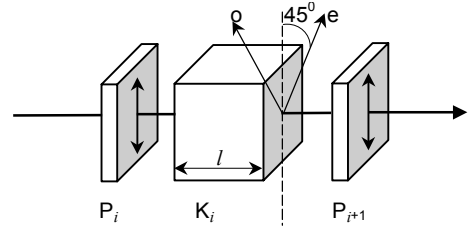
čia λ_0 yra smailės bangos ilgis, kai spinduliai krinta statmenai. Iš šios išraiškos išplaukia, kad didelio n^* filtri mažiau pastumia praleidimo juosta spektre, lyginant su mažų n^* verčių filtrais.

Poliarizacinis-interferencinis šviesos filtras – tai optinis įtaisas, kuriu filtruojamas šviesos energijos srautas. Jo veikimas grindžiamas dau-



4.11.3.2 pav. a – polarizacinio-interferencinio šviesos filtro struktūrinė schema iš šešių elementų; b – atskirų laiptelių (1–6) ir viso filtro visumoje (7) praleidimas

giaspinduline poliarizuotųjų bangų interferencija. Pirminis šviesos pluoštelis suskyla į daug koherentinių pluoštelių optiniame plokštynė, kuri sudaro poliarizatoriai P_i ir dvejetainis plokštė K_i , išpjautos lygiagrečiai su optine ašimi (4.11.3.2 pav.). Poliarizatorių pagrindinės kryptys orientuotos tarpusavyje lygiagrečiai, o kristalo plokštelių optinės ašys pasuktos 45° kampu į jas (4.11.3.3 pav.). Išėjusio iš poliarizatoriaus P_i šviesos vektoriaus amplitudės A_i virpesiai suskyla palei kristalo ašis o ir e į du vienos amplitudės $a_i = A_i \sqrt{2}$ virpesius. Šie įgyja fazių skirtumą



4.11.3.3 pav. Poliarizacinio-interferencinio šviesos filtro i -ojo elemento schema

$$\varphi_i = 2\pi \frac{n_o - n_e}{\lambda} l_i;$$

čia $(n_o - n_e)$ – dvejetainis spindulių lūžio geba, l_i – plokštės K_i storis. Poliarizatoriuje P_{i+1} šie virpesiai vėl sumuojasi ir atstojamojo virpesio išėjusio iš poliarizatoriaus P_{i+1} amplitudė

$$A_{i+1} = A_i \cos\left(\pi \frac{n_o - n_e}{\lambda} l_i\right),$$

kuri skirtinga įvairiems bangos ilgiams λ . Energinis spektrinis elemento praleidimo faktorius

$$T_i = \frac{A_{i+1}^2}{A_i^2} = \cos^2\left(\pi \frac{n_o - n_e}{\lambda} l_i\right).$$

Visos sistemos (plokštynė) praleidimo faktorius yra elementų praleidimo faktorių sandauga:

$$T = \prod_i^{1,k} T_i = \prod_i^{1,k} \cos^2\left(\pi \frac{n_o - n_e}{\lambda} l_i\right).$$

Filtro praleidimas didžiausias ir fonas mažiausias, kai kristalinių plokštelių sekos storiai l_i dvigubai didėja:

$$l_i = l_1 2^{i-1}.$$

Funkcija T tokių įtaisų turi siaurą maksimumą tik kai kurių bangos ilgių ruože (4.11.3.2 pav., 7 kreivė $k = 6$).

Šviesos filtrų sistemos veikimą visumoje galima nagrinėti kaip 2^k spindulių interferencijos padarinį. Šių spindulių fazės didėja pagal arit-

metinę progresiją: $\varphi_0, \varphi_0 + \varphi_1, \varphi_0 + 2\varphi_1, \varphi_0 + 3\varphi_1, \dots$, o virpesių amplitudės vienodos. Taip nagrinėjant gaunama, kad sistemos optinis spektrinis praleidimo faktorius

$$T = \frac{\sin^2 \left[2^k \pi (n_o - n_e) l_1 / \lambda \right]}{2^k \sin^2 \left[\pi (n_o - n_e) l_1 / \lambda \right]}.$$

Poliarizacinių-interferencinių šviesos filtrų praleidimo juostos labai siauros, sudaro šimtąsias nanometro dalis; praleidimas nuo 2 % iki 40 % priklausomai nuo praleidimo juostos pločio ir filtro sandaros. Tokie filtrai sėkmingai naudojami astronominiuose stebėjimuose; jų pagalba stebėtas Saulės vainikas be užtemimo.

4.12. INTERFERENCIJOS TAIKYMAS

Šviesos interferencijos reiškinys plačiai naudojamas įvairiose mokslo ir technikos srityse. Interferencijos metodais galima labai tiksliai matuoti palyginti paprastais būdais. Interferometrais pradžioje išmatuojamas interferencinių juostelių poslinkis, po to nustatomas fazių skirtumas tarp interferuojančių pluoštelių ir apskaičiuojamas optinių kelių eigos skirtumas, susidaręs dėl terpės parametrų pokyčio.

Interferencijos metodai naudojami geometriniuose, metrologiniuose, refraktometriniuose, spektriniuose ir kituose matavimuose. Be to interferencija naudojama ir įvairiuose moksliniuose tyrimuose, turinčiuose teorinę vertę.

Geometriniuose matavimuose nustatoma optinių detalių (veidrodžių, lęšių, prizmių) paviršių kokybė, palyginami mechaniniai kalibrai, įvertinami nedideli mechaniniai poslinkiai ir t. t. Interferencinėje metrologijoje kuriami metodai tiksliam bangos ilgio nustatymui, šviesos bangos ilgio palyginimui su etaloniniu metru. Interferencinės refraktometrijos metodais matuojami labai maži lūžio rodiklio pokyčiai dujose pakitus temperatūrai, slėgiui drėgmei ir t. t., o taip pat skysčiuose ir tirpaluose. Spektroskopijoje interferencija naudojama atskirų spektro linijų struktūrai tirti, nustatyti menkus skirtumus tarp bangos ilgių.

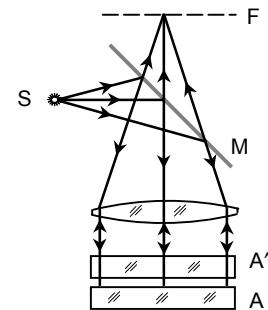
4.12.1. INTERFERENCINIAI GEOMETRINIAI MATAVIMAI

Optinių paviršių kokybės tyrimas. Optinių prietaisų detalių paviršiai turi būti tikslūs ir kokybiški. Plokštieji veidrodžiai arba sferiniai paviršiai neturi skirtis nuo atitinkamų idealiųjų geometrinių paviršių daugiau nei nedidele bangos ilgio dalimi (interferencinės juostelės pločio dalimi). Tokios aukštos kokybės optiniai paviršiai kontroliuojami interferenciniais metodais.

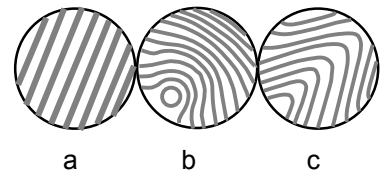
Tam naudojamas specialus optinis kalibras (etaloninis stiklas), pagamintas iš gretasienės plokštelės, kurios vienas paviršius skiriasi nuo plokščiojo ne daugiau kaip 0,1 bangos ilgio. Kontroliuojamasis paviršius prispaudžiamas prie kalibro taip, kad tarp jų susidarytų plonas oro tarpelis. Sklandant šviesai šiuo oro tarpeliu, susikuria vienodo storio interferencinės juostelės, kurios stebimos įrenginiu, pavaizduotu 4.12.1.1 pav.

Šviesa iš spindulio S atsispindėjusi nuo puskaidrio veidrodžio M ir perėjusi lęšį, krinta lygiagrečiu pluoštu į tiriamąją plokštelę A', uždėtą ant optinio kalibro A. Atsispindėję nuo kalibro ir tiriamosios plokštelės paviršių spinduliai pereina puskaidrį veidrodį M ir lęšio židinio plokštumoje F sukuria interferencinį vaizdą, sudarytą iš vienodo storio interferencinių juostelių. Paprasčiausias šių juostelių pobūdis bus tada, kai oro tarpelis tarp paviršių A' ir A yra mažo kampo pleišto pavidalo. Tą galima padaryti lengvai paspaudus plokštelės A' kraštą. Jei plokštelių paviršiai yra idealiai plokšti, tarp jų susidaro taisyklingas pleištas ir interferencinės juostelės bus tiesės, lygiagretės su pleišto briauna (4.12.1.2 a pav.). Visokie nuokrypiai nuo plokštumos sukurs sudėtingą interferencinį vaizdą, nusakantį paviršiaus neatitikimą idealiam (4.12.1.2 b, c pav.).

Norint gauti ryškias interferencines juosteles, reikia naudoti monochromatinę



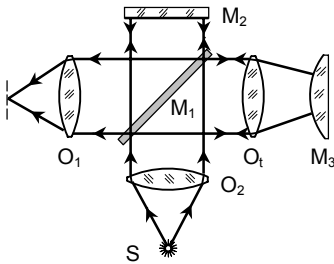
4.12.1.1 pav. Optinių paviršių kokybės tikrinimo įrenginio optinė schema



4.12.1.2 pav. Vienodo storio interferencinės juostelės a – plokštieji paviršiai, tarp kurių nedidelis kampas; b – nedidelis iškilimas arba įdubimas plokštumos krašte; c – iškilimas arba įdubimas išilgai plokštelės

šviesą. Dažniausiai naudojama gyvsidabrio lempa, kurios spektre yra ne daug linijų, nutolusių viena nuo kitos pakankamai nemažu atstumu. Atskirų linijų išskyrimui galima panaudoti šviesos filtrus. Tokiu metodu galima nustatyti nuokrypį nuo plokštumos apie $1/20$ bangos ilgio.

Lęšių ir objektyvų sferinius paviršius galima tirti interferometru (4.12.1.3 pav.), kuris yra Maikelsono interferometro modifikatas ir skiriasi

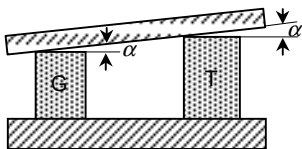


4.12.1.3 pav. Lęšių paviršių tyrimo interferometru schema

nuo jo taškiniu spinduoliu, kuris su lęšiu O_2 sukuria plokščiąją bangą. Tiriamasis lęšis arba objektyvas O_t yra viename interferometro petyje, kuriame pastatytas išgaubtas veidrodžius M_3 . Lygiagretus šviesos pluoštelis, perėjęs objektyvą O_t ir atsispindėjęs nuo iškilio veidrodžio M_3 , vėl pereina O_t ir tampa lygiagretus (objektyvo O_t židiny susitampa su veidrodžio M_3 kreivumo centru). Jei objektyve O_t nėra iškraipymų (aberacijų), abiejų interferometro pečių šviesos pluošteliai per-

sidengę sukuria tolygiai apšviestą lauką. Kai pasireiškia aberacija, matomi tamsūs žiedai tose vietose, kuriose objektyvas sukuria papildomą eigos skirtumą. Šiuo metodu galima aptikti ne tik nuokrypį nuo sferinio paviršiaus, bet ir trūkumus dėl nevienalytiškumų stikle.

Galinių matų tikrinimas. Šiuolaikinėje gamyboje labai svarbūs ilgio matavimai. Ilgio etalonai – tai plieno plokštelės arba cilindrai, kurių galai nupoliruoti taip, kad jie būtų tiksliai plokšti ir tarpusavyje lygiagretūs. Atstumas tarp tokio kalibro galų turi būti žinomas dideliu tikslumu (iki dešimtųjų mikrometro dalių).



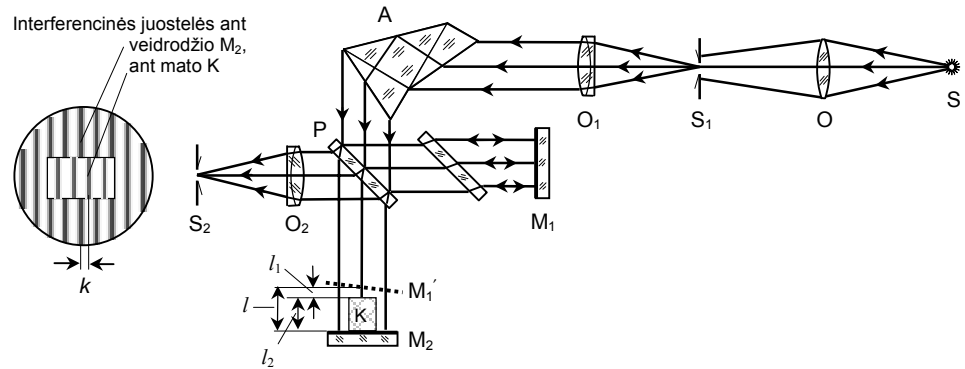
4.12.1.4 pav. Galinių matų tikrinimo schema

Naudojimo metu kalibrai dėvisi, todėl reikia turėti labai tikslus etalonus, kurie naudojami tik darbo kalibrų patikrinimui. Pradžioje tikrinamos galinių matų plokštumos. Kai galai plokšti, tada vienas darbinio mato T galas (4.12.1.4 pav.) ir vienas etalono G galas pritrinamas prie optiškai plokščios plieno plytos. Ant jų viršutinių galų uždedamas optinis kalibras. Ši plokštelė liečia

tik vieną kiekvieno kalibro briauną, ir tarp jos ir etalono G paviršių susidaro α kampo oro pleištas. Stebimos interferencinės juostelės. Pagal atstumus

tarp jų galima apskaičiuoti ilgių skirtumą tarp darbo galinio mato ir etalono. Šiuo metodu galima nustatyti galinių matų aukščių skirtumą iki 0,002 cm.

Galinių matų ilgiui matuoti, lyginant su šviesos bangos ilgiu, o taip pat dviejų galinių matų santykiniams ilgiams nustatyti naudojami interferometrai – *interferenciniai komparatoriai*. Dažniausiai naudojamas Kiosterso



4.12.1.5 pav. Kiostersio interferometro schema

interferometras, sudarytas iš Maikelsono interferometro ir prizminio monochromatoriaus (4.12.1.5 pav.). Šviesa iš linijinį spektrą turinčio spindulio S kondensatoriumi O nukreipiama į vertikalų įėjimo kolimatoriaus plyšį S₁. Iš kolimatoriaus objektyvo O₁ išėjęs lygiagrečių spindulių pluoštas krinta į prizmę A, kurioje suskaidomas į spektrą ir nukreipiamas į interferometre esančią dalijimo plokštelę P. Ant interferometro veidrodžio M₂ paviršiaus centre pritrinamas galinis matas K. Veidrodis M₁ orientuojamas taip, kad jo menamasis atvaizdas M₁' su veidrodžiu M₂ sudarytų nedidelį oro pleišną. Atsispindėję nuo veidrodžio M₁, nuo galinio mato K plokštumos ir nuo laisvojo veidrodžio M₂ paviršiaus spinduliai interferuoja ir susikuria dvi vienodo storio interferencinių juostelių sistemos, kurios stebimos pro išeinamojo kolimatoriaus horizontalųjį plyšį S₂. Sukant prizmę A galima sutaptinti plyšį S₂ su įvairiais plyšio S₁ monochromatiniais atvaizdais ir stebėti interferencinį vaizdą įvairiuose bangos ilgiuose.

Jei atstumai nuo M₁ iki M₂ ir K yra atitinkamai l₂ ir l₁, tai eigos skirtumai interferencinių juostelių sistemose lygūs:

$$2l_2 = (m_2 + k_2)\lambda \quad \text{ir} \quad 2l_1 = (m_1 + k_1)\lambda ;$$

čia m₁ ir m₂ – sveikieji skaičiai, o k₁ ir k₂ – taisyklingos trupmenos. Tada galinio mato ilgis

$$l = l_2 - l_1 = (m + k)\lambda/2 ;$$

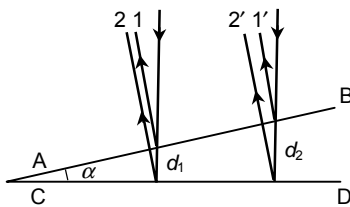
čia $m = m_2 - m_1$ ir $k = k_2 - k_1$.

Taigi norint išmatuoti galinio mato ilgį, reikia iš interferencinių vaizdų nustatyti m ir k .

Kai matuojami santykiniai dviejų galinių matų ilgiai, jie pritrinami ant veidrodžio M_2 ir iš interferencinių juostelių poslinkio didumo nustatomas matų ilgių skirtumas.

Mažų mechaninių poslinkių matavimas. Interferencijos reiškinį galima taikyti kaip jautrų metodą, galintį nustatyti labai mažus kokio nors kietojo kūno storio pokyčius.

Tarkim, kad dvi plokštumos AB ir CD sudaro mažo kampo α pleišta (4.12.1.6 pav.). Krintant į pleišta lygiagrečių spindulių pluošteliui, matomos



4.12.1.6 pav. Interferencinių juostelių susikūrimas pleište

vienodo storio interferencinės juostelės, lygiagrečios su pleišto briauna. Kadangi kampas α mažas, geometrinis spindulių eigos skirtumas lygus $2d$; čia d pleišto storis spindulių atspindžio vietoje. Jei pleištas yra ore ir pleišto medžiagos lūžio rodiklis n didesnis už oro, tai 1 spindulys, atspindėjęs nuo paviršiaus AB, keičia fazę dydžiu π ir optinis eigos skirtumas Δ_1 tarp

spindulių 1 ir 2 šviesiai juostelei bus lygus:

$$\Delta_1 = 2d_1n - \lambda/2 = m\lambda .$$

Jei paviršiai tolsta vienas nuo kito išlaikydami kampą α , konkrečioje vietoje pleišto storis d_1 didėja ir Δ_1 jau nebus lygus $m\lambda$. Kai storis įgyja tokią vertę d_2 , kad eigos skirtumas tampa lygus $(m + 1)\lambda/2$, nagrinėjamame taške vėl susikuria šviesi juostelė. Tada tenkinama tokia lygybė:

$$\Delta_2 = 2d_2n - \lambda/2 = (m + 1)\lambda .$$

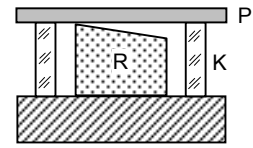
Taigi pasislinkus interferenciniam vaizdai per vieną juostelę, pleišto storis konkrečioje vietoje pakinta tokiu dydžiu:

$$d_2 - d_1 = \lambda/2n .$$

Tokiu metodu galima išmatuoti 10^{-5} cm eilės storio pokyčius.

Šiuo metodu galima, pvz., matuoti kietųjų kūnų šiluminio plėtimosi koeficientą. Tam naudojamas prietaisas, vadinamas *dilatometru* (4.12.1.7 pav.), Jame yra žiedas K, pagamintas iš lydyto kvarco su menku

šiluminio plėtimosi koeficientu. Ant žiedo padėta stiklo plokštelė – etalonas P. Žiedo viduje yra tiriamais stulpelio pavidalo bandinys R, kurio galiniai paviršiai gerai nupoliruoti. Bandinys dedamas taip, kad tarp jo viršutinio paviršiaus ir stiklo plokštelės apatinio paviršiaus susidarytų pleišto pavidalo oro sluoksnis. Apšvietus iš viršaus monochromatine šviesa, matomos interferencinės vienodo storio juostelės.



4.12.1.7 pav Interferencinio dilatometro schema

Kadangi žiedo K ir bandinio R šiluminio plėtimosi koeficientai skirtingi, kaitinant oro sluoksnio storis kinta ir interferencinės juostelės pasislenka. Iš juostelių poslinkio galima nustatyti bandinio matmenų pokytį ir kartu apskaičiuoti šiluminio plėtimosi koeficientą.

Interferenciniu metodu galima matuoti mažus ilgio pokyčius ir dėl kitų priežasčių: mechaninių tempimų, lenkimų ir t. t.

4.12.2. INTERFERENCINĖ REFRAKTOMETRIJA

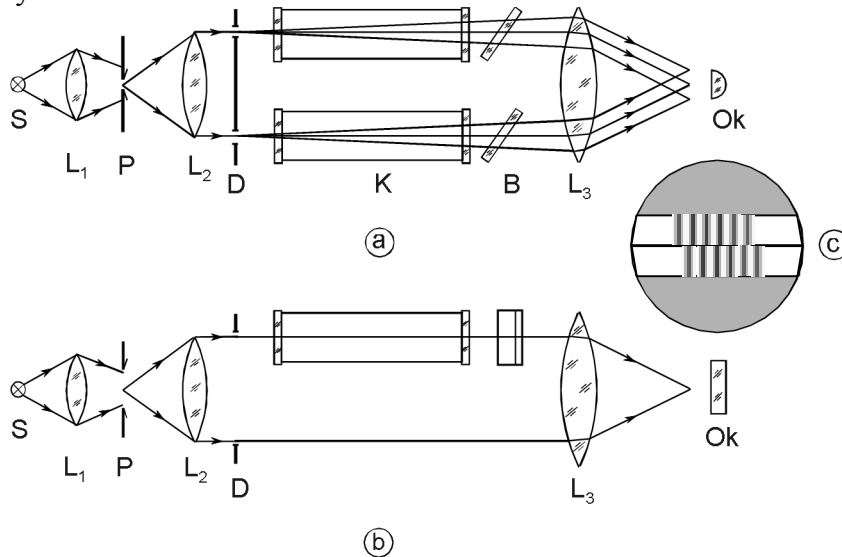
Refraktometrija yra medžiagų fizikinių ir cheminių tyrimo metodų visuma, skirta lūžio rodikliui nustatyti. Tarp visų metodų, naudojamų refraktometrijoje, jautriausias yra interferencinis metodas, kuriuo galima išmatuoti labai mažus (iki 10^{-8}) dujų arba skysčių lūžio rodiklio skirtumus.

Medžiagos lūžio rodiklį nusako jos sandara, bet kartu jis priklauso nuo išorinių sąlygų (pvz., temperatūros, slėgio). Sukurta keletas interferencinių metodų, kuriais matuojami dujų lūžio rodikliai ir skysčių bei kietųjų kūnų lūžio rodiklių nedideli skirtumai

Daugumoje interferometrų šviesos pluoštelis dalijamas į du, kurie po to dengiasi ir interferuoja. Tokie prietaisai vadinami *dvispinduliniais interferometrais*. Vienas iš tokių yra Reilio interferometras, skirtas dujų ir skysčių lūžio rodikliui matuoti.

Reilio interferometro optinė schema pavaizduota 4.12.2.1 pav. Šviesa iš spinduolio S krinta į siaurą plyšį P, esantį kolimatoriaus objektyvo L_2 židinio plokštumoje. Lygiagretus spindulių pluoštelis, sklindantis iš objektyvo, dalijamas dviem diafragmos D plyšiais į dvi antrines koherentines šviesos bangas. Difragavę šviesos pluošteliai pereina dvi vienodas kiuvetes K, surenkami objektyvu L_3 židinio plokštumoje ir interferuoja. Kiuvetės užima tik viršutinę erdvės dalį tarp diafragmos D ir objektyvo L_3 . Per apatinę dalį spinduliai sklinda šalia kiuvečių. Susidaro dvi interferencinių juostelių sistemos (4.12.2 c pav.), kurios matomos pro okuliarą Ok. Kadangi kiuvetės

nelabai siauros, tai atstumas tarp plyšių pakankamai didelis ir interferencinės juostelės yra labai arti viena kitos. Jas stebėti reikia pro didelio didinimo okuliarą. Jis pagamintas iš $2 \div 3$ mm skersmens cilindrinės lazdelės, kuri orientuota lygiagrečiai su įeinamuoju plyšiu. Švytinčio taško atvaizdas, žiūrint pro tokį okuliarą, atrodo kaip vertikali šviesi linija, kurios ilgi lemia objektyvo skersmuo.



4.12.2.1 pav. Reilio interferometro optinė schema

(a - vaizdas iš viršaus, b - vaizdas iš šono, c - vaizdas pro okuliarą)

Maksimumų ir minimumų padėtis priklauso nuo interferuojančių pluoštelių optinio eigos skirtumo. Kadangi apatinę juostelių sistemą sukuriančių spindulių perėjimo interferometrą sąlygos nekinta, tai maksimumų ir minimumų padėtys yra pastovios. Apatinė juostelių sistema yra nejudama ir gali būti atskaitos sistema, kurio atžvilgiu nagrinėjama viršutinė juostelių sistema.

Panagrinėsime viršutinę juostelių sistemą. Jei optinė sistema visiškai simetriška ir kiuvetėse esančių medžiagų lūžio rodikliai vienodi (pvz., oro slėgis abiejose kiuvetėse yra vienodas), tai viršutinės juostelių sistemos centre bus šviesi juostelė – nulinis maksimumas, nes spindulių optinių kelių skirtumas iki šio taško lygus nuliui $\Delta = l_n - l_n = 0$ (čia l – kiuvetės ilgis, n – oro lūžio rodiklis). Abiejose nulinio maksimumo pusėse yra tamsios juostelės – minimumai susidarantys, kai eigos skirtumas $\Delta = \pm (2m + 1) \lambda / 2$. Kitiems maksimumams eigos skirtumas $\Delta = \pm \lambda, \pm 2\lambda$ ir t. t. Taigi kiekvie-

nai interferencijos juostelei galima nustatyti jas lemiančių bangų eigos skirtumus.

Jei vienoje kiuvetėje esančių dujų lūžio rodiklis pakinta, maksimumų ir minimumų padėtys keičiasi ir viršutinė interferencinių juostelių sistema pasislenka. Tai įvyksta dėl spindulių optinių kelių skirtumo pokyčio:

$$\Delta l = l n_1 - l n = l(n_1 - n).$$

Žinant per kiek juostelių apatinės atžvilgiu pasislenka viršutinė juostelių sistema, galima nustatyti, kuris interferencijos maksimumas atsiranda centriniame taške. Taigi galima nustatyti spindulių, lemiančių šio maksimumo susidarymą, eigos skirtumą. Jei vaizdas pasislenka per k juostelių, tai centre atsiranda m -tasis maksimumas, taigi eigos skirtumas lygus $k\lambda$. Todėl

$$l(n_1 - n) = k\lambda.$$

Naudojant monochromatinę šviesą, centrinės juostelės negalima atskirti nuo gretimų ir, pakitus spindulių eigos skirtumui sveiku bangos ilgių skaičiumi, galima nepamatyti juostelių poslinkio. Apšvietus baltąją šviesą, centrinė abiejų interferencinių vaizdų juostelė yra achromatinė, o šalia išsidėsčiusios – salvotos. Tai palengvina aptikti centrinės juostelės padėtį.

Kiuvetėje esančių dujų lūžio rodiklis matuojamas kompensaciniu metodu. Kiuvetes pereinančiųjų spindulių kelyje yra įstatytas kompensatorius B, sudarytas iš dviejų pakreiptų gretasienių stiklo plokštelių. Viena plokštelė įtvirtinta nejudamai, o kitos polinkio kampą galima keisti. Dėl to kinta spindulių optinis eigos skirtumas ir viršutinė interferencinių juostelių sistema paslenka. Taigi viršutinės juostelių sistemos poslinkį, lemiamą dujų lūžio rodiklio pokyčiu vienoje iš kiuvečių, galima kompensuoti mikrometriiniu sraigtu, atitinkamai pasukus kompensacinę plokštelę.

4.12.3. INTERFERECINĖ METROLOGIJA

Iki 1960 m. tarptautiniu susitarimu ilgio etalonas buvo atstumas tarp dviejų plonų brūkšnelių, nubrėžtų ant platinos iridžio X skerspjūvio formos strypo, esančio 273 K temperatūroje. Šis strypas vadinamas tarptautiniu metro etalonu (standartinis metras) ir saugomas Prancūzijoje. Etalono kopijos yra daugelyje pasaulio metrologinių laboratorijų.

Po to, kai buvo galima tiksliai išmatuoti bangos ilgį interferenciniais metodais, iškilo mintis palyginti kokios nors spektrinės linijos bangos ilgį su standartinio metro ilgiu. Pirmą kartą tokį palyginimą atliko 1892 m. Maikelsonas ir Benua. Tam jie naudojo šiek tiek pakeistą Maikelsono interferomet-

lą. Palyginimui buvo naudota raudonoji kadmio linija, sužadinama tam tikromis sąlygomis (ore, esant 288 K temperatūrai ir 760 mm Hg slėgiui). Išmatuotasis kadmio linijos bangos ilgis buvo lygus 643,84696 nm. Išmatuota $0,5 \cdot 10^{-6}$ tikslumu. Su šiuo pirminiu bangos ilgių etalonu lyginami visų kitų linijų bangos ilgiai. Taigi standartinis metras sudaro raudonosios kadmio linijos 1553163,5 bangos ilgius. Vėliau, naudojant Fabri ir Pero interferometro sistemą, matavimų tikslumas padidėjo iki $0,2 \cdot 10^{-6}$.

Norint, kad šaltinis spinduliuotų pakankamai siaurą monochromatinę spektro liniją, reikia pagal galimybes pašalinti visas priežastis, sukeliančias spinduliavimo trikdymą. Spinduliuotė turi vykti žemo slėgio garuose. Tada gerokai sumažėja spektro linijos išplitimas dėl atomų susidūrimo. Trikdantis garų jonais sukurtų elektrinių laukų poveikis bus nedidelis, jei išlydžio srovės stipris minimalus. Sunkiausia pašalinti Doplerio reiškinių poveikį, kurį lemia šiluminis spinduliuojančiųjų atomų judesys, dėl ko linija išplinta. Todėl reikia naudoti spinduliuojančią medžiagą, sudarytą iš sunkesnių atomų pakankamai žemose temperatūrose. Be to, gamtinių medžiagų atomai yra izotopų mišinys, dėl ko atsiranda supersmulkioji linijos struktūra.

1960 m. 11-oji matų ir svorių generalinė konferencija apibrėžė metrą šviesos bangos ilgiais. Pasiūlyta panaudoti bangos ilgį (vakuume) spinduliuotės, kurią skleidžia masės skaičiaus 86 kriptono atomas, vykstant šuoliui tarp lygmenų $2p_{10}$ ir $5d_5$ (bangos ilgis 605,78021 nm). Tada metras yra ilgis, lygus 1650763,73 minėtų bangos ilgių. Naujuoju metro etalonu galima metrą atkurti dviem eilėm tiksliau už platinos iridžio etaloną. Metras atkuriamas šviesos bangos ilgiais naudojant lempą, užpildytą ^{86}Kr izotopu, kuri statoma prieš interferometrą.

Tačiau šviesos bangos ilgio, kaip pirminio ilgio standarto, parinkimas nepašalina galimybės naudoti pagalbinis mechaninius standartus. Tokie standartai geresni yra ne brūkšniniai, bet galiniai matai, nes juos patogiau tiesiogiai palyginti su šviesos bangos ilgiu bei naudoti gamybinėje praktikoje.