



**2004-2006 m. Bendrojo programavimo dokumento 2 prioriteto „Žmogiškųjų išteklių plėtra“ 4 priemonė „Mokymosi visą gyvenimą sąlygų plėtra“**

Projekto sutarties numeris: ESF/2004/2.4.0-K01-160/SUT-261

Projekto pavadinimas: **Inovatyvūs mokymosi metodai ir naujausios technologijos gamtos mokslų bakalauro rengimui**

---

## **FIZ 221 OPTIKA**

### **Laboratorinis darbas**

#### **ORO LŪŽIO RODIKLIO MATAVIMAS MAIKELSONO INTERFEROMETRU**

#### **DARBO TIKSLAS:**

Stebėti lazerio šviesos interferenciją Maikelsono interferometru, susipažinti su Maikelsono interferometro panaudojimu šviesos bangos ilgiui ir oro lūžio rodikliui matuoti.

#### **DARBO UŽDUOTYS:**

1. Išmatuoti lazerio bangos ilgį;
2. Ištirti oro lūžio rodiklio priklausomybę nuo oro slėgio ir išmatuoti oro lūžio rodiklį.

#### **TEORIJA:**

Šviesos bangų interferencija vadinamas toks reiškinys, kai persiklojant erdvėje dviem vienodo dažnio koherentinėms bangoms, suminis šviesos intensyvumas nelygus abiejų bangų intensyvumų sumai. Koherentinės bangos yra tokios bangos, kurių fazių skirtumas yra pastovus.

A. Frenelis parodė, kad bangas galima padaryti koherentinėmis, dalijant nekoherentinės šviesos pluoštą atspindžio arba lūžio būdu. Jis tam tikslui pasiūlė naudoti du briaunomis suglaustus veidrodžius, kurių atspindinčios plokštumos sudaro kampą artimą  $180^\circ$ , arba dvi pagrindais suglaustas stačiašias prizmes, kurių laužiantysis kampas labai mažas. Šviesos pluoštai, atsispindėję nuo veidrodžių ar lūžę prizmėse yra koherentiniai ir persiklojantys, todėl susitikę interferuoja.

T. Jungo pasiūlė kitokį būdą dviem koherentiniams šviesos srautams gauti, paremtą šviesos difrakcijos reiškiniu. Jo metode nekoherentinės šviesos šaltinis apšviečia plyšį ekrane. Iš plyšio sklindanti šviesos banga pasiekia ekraną su dviem siaurais arti esančiais plyšiais. Pro du plyšius praėjusios bangos yra koherentinės, kadangi plyšius nušviečia skirtingos tos pačios bangos dalys. Perėjusi siaurus plyšius šviesa difraguoja, todėl bangos už plyšių stovinčiame ekrane persikloja ir interferuoja.

Šiuo metu koherentines bangas paprasčiausia gauti panaudojant nuolatinės veikos lazerį (pvz. He-Ne lazeris), kadangi lazerio spinduliavimas pasižymi dideliu laikiniu ir erdviu koherentiškumu.

Panagrinėkim interferenciją dviejų viena kryptimi sklindančių plokščių tiesiai poliarizuotų bangų:

$$E_1 = A_1 \sin(\omega t - kz_1) \quad (1)$$

ir

$$E_2 = A_2 \sin(\omega t - kz_2), \quad (2)$$

čia  $A_1$  ir  $A_2$  bangų amplitudė,  $z_1$  ir  $z_2$  bangų nueiti keliai,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  - bangos skaičius,  $\omega$  - ciklinis dažnis. Jei bangų amplitudės apytiksliai lygios, t.y.  $A_1 \approx A_2 \approx A$ , tai suminės bangos elektrinio lauko

$$E_{\Sigma} = E_1 + E_2 = 2A \cos\left(k \frac{z_1 - z_2}{2}\right) \sin\left(\omega t - k \frac{z_1 + z_2}{2}\right) \quad (3)$$

amplitudė

$$A_p = 2A \cos\left(k \frac{z_1 - z_2}{2}\right) \quad (4)$$

priklauso ne tik nuo persiklojančių bangų amplitudžių  $A$ , bet ir nuo jų nueitų kelių skirtumo  $\Delta x = |z_1 - z_2|$ . Jei šis skirtumas lygus sveikam bangų ilgių skaičiui

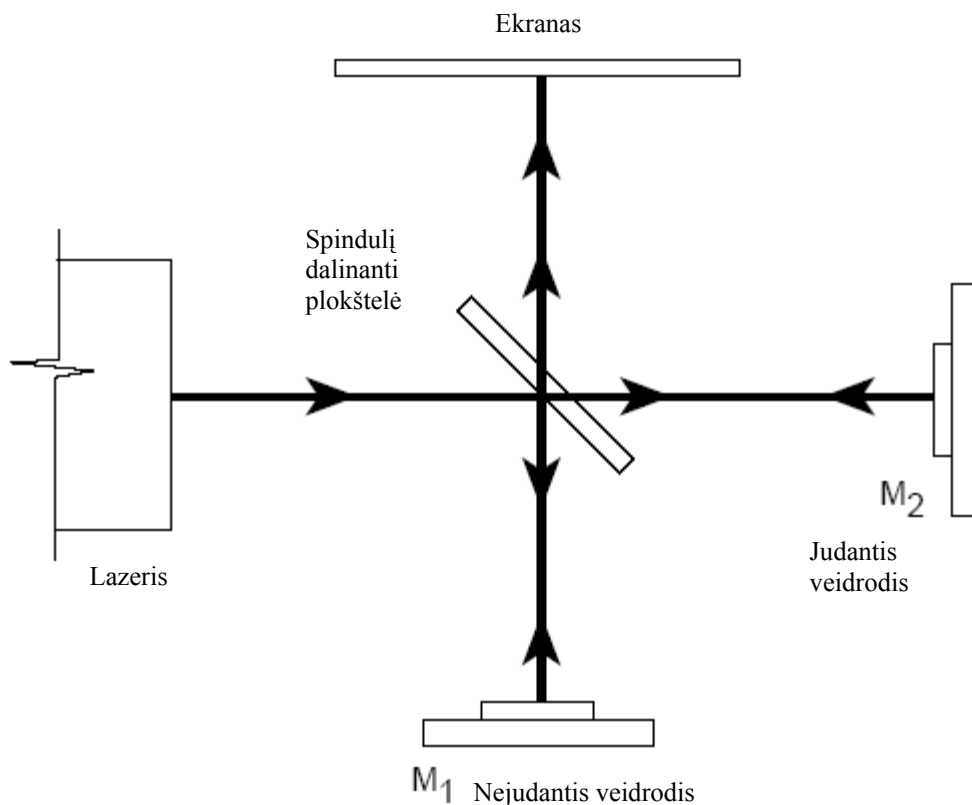
$$|z_1 - z_2| = m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

tai  $A_p = 2A$ , o intensyvumas bus keturis kartus didesnis už kiekvienos iš interferuojančių bangų intensyvumą. Tuose erdvės taškuose, kur tenkinama sąlyga (5), turėsime interferencinius maksimumus. Tuose erdvės taškuose, kur eigos skirtumas lygus sveikam bangos ilgių skaičiui plus pusė bangos ilgio, suminės bangos amplitudė bus lygi nuliui, ten turėsime interferencinius minimumus.

Dviejų viena kryptimi sklindančių bangų interferenciją galima stebėti Maikelsono interferometru, kurio schema parodyta pav.1. Maikelsono interferometre lazerio spindulys pirmiausiai krenta į spindulį dalinančią puskaidrę plokštelę. Dalis spindulio atsispindi ir sklinda link nejudamai įtvirtinto veidrodžio, kita dalis praeina per plokštelę ir sklinda link galinčio judėti statmenai spinduliui veidrodžio. Atsispindėjęs nuo nejudančio veidrodžio ir praėjęs per plokštelę bei atsispindėjęs nuo judančio veidrodžio ir dalinančios plokštelės spinduliai juda viena kryptimi ir interferuoja. Interferencinis vaizdas stebimas ekrane. Jei lazerio spindulys pakankamai platus ir prasiskleidžiantis, tai ekrane matomi šviesūs ir tamsūs interferenciniai žiedai (pav.2).

Kai atstumas nuo dalinančios plokštelės iki veidrodžių, vadinami interferometro pečių ilgiais, vienodi, abu spinduliai iki susitinkant ekrane nueina vienodą kelią, todėl interferencinio vaizdo centre matomas maksimumas. Jei judantį veidrodį pastumti per ketvirtį bangos ilgio, kelių skirtumas pasidarys lygus pusei bangos ilgio, kadangi atstumą iki veidrodžių spinduliai nueina du kartus, t.y. pirmyn ir atgal, ir interferencinio vaizdo centre bus minimumas, o tamsius žiedus pakeis

šviesūs žiedai. Todėl stumiant judantį veidrodį tamsūs žiedai keis šviesius ir atvirkščiai, atrodys tarytum žiedai juda link arba nuo interferencinio vaizdo centro.



Pav.1



Pav.2

Jei suskaičiuoti kiek kartų žiedai pasikeitė, tarkime  $m$ , pastūmus veidrodį atstumu  $d$ , tada spindulių optinių kelių skirtumas

$$|z_1 - z_2| = 2d = m\lambda \tag{6}$$

Išmatavus veidrodžio postūmį  $d$  ir suskaičiavus kiek kartų žiedai pasikeitė, pasinaudodami (6) formule, lengvai randame lazerio šviesos bangos ilgį

$$\lambda = \frac{2d}{m} \quad (7)$$

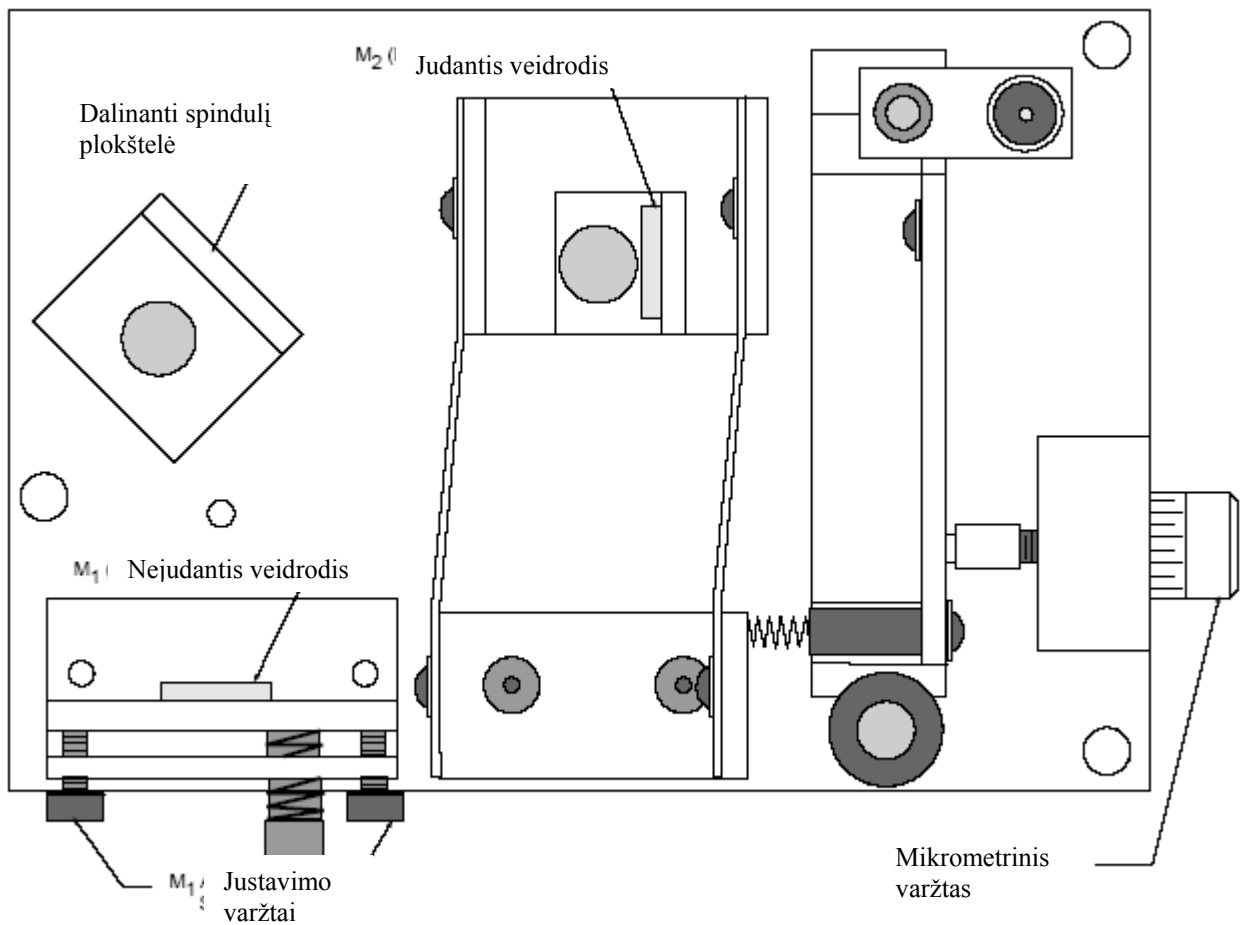
Jei vienam interferometro petyje, spindulio kelyje patalpinti stiklinę kamerą iš kurios gali būti siurbiamas oras, tai optinių kelių skirtumas susidarys dėl oro lūžio rodiklių skirtumo kameroje  $n$  ir aplinkoje  $n_o$ . Esant kiuvetės ilgiui  $d$ , optinių kelių skirtumas bus

$$|z_1 - z_2| = 2d|n_o - n| \quad (8)$$

Palaipsniui siurbdami iš kameros orą ir skaičiuodami kiek interferencinių žiedų pasikeitė, galim išmatuoti slėgio pokyčiui atitinkantį lūžio rodiklio pokytį, kadangi

$$|n_o - n| = \frac{m\lambda}{2d}, \quad (9)$$

jei tik lazerio šviesos bangos ilgis ir kameros ilgis yra žinomi.



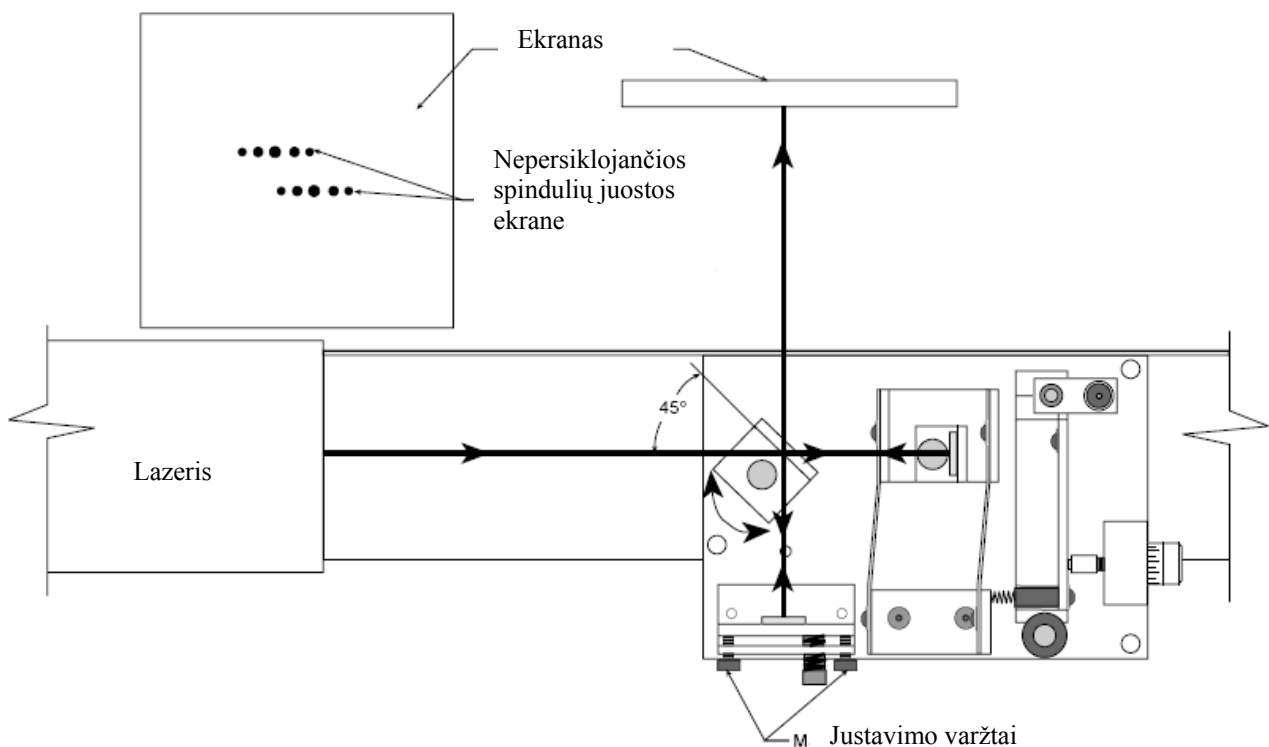
Pav.3

## DARBO PRIEMONĖS:

1. Optinis suolas;
2. Maikelsono interferometras (pav.3);
3. Lėšis su magnetiniu laikikliu ir stovu;
4. He-Ne lazeris;
5. Vakuuminė kamera;
6. Vakuuminė pompa.

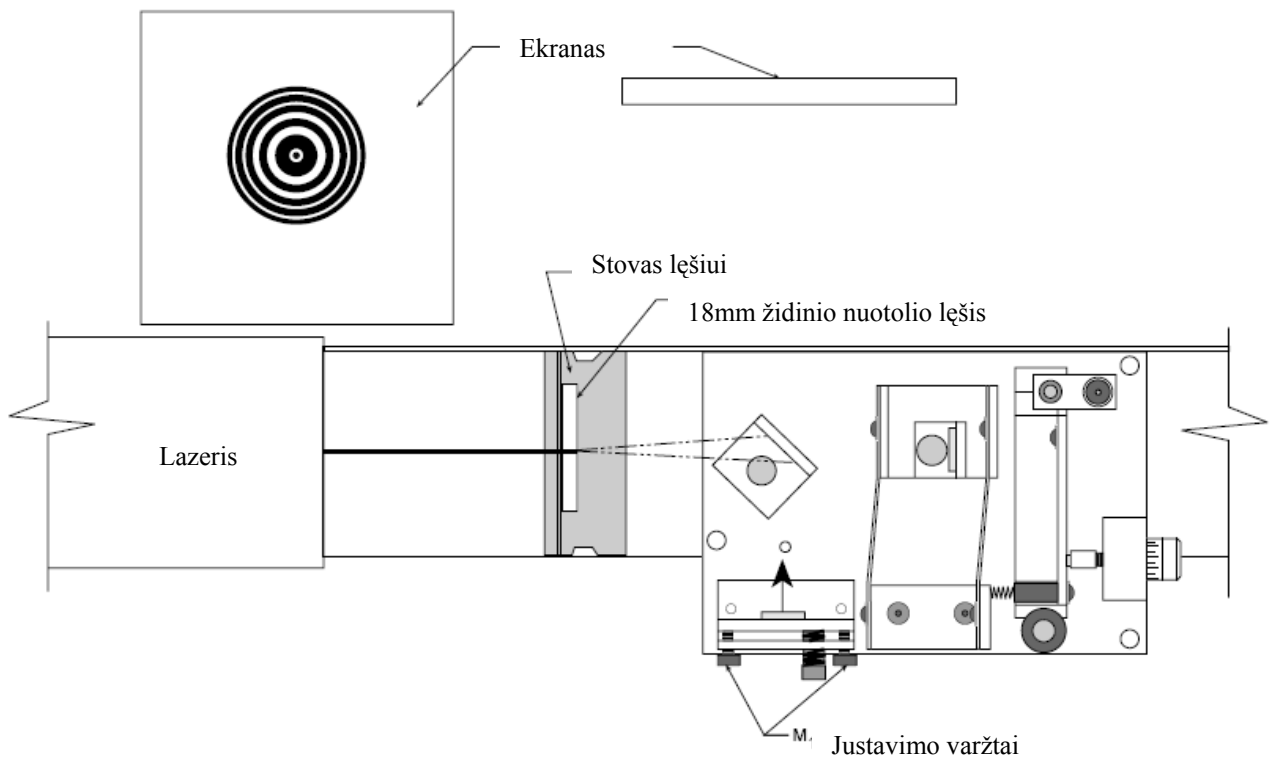
## DARBO EIGA:

*Lazerio šviesos bangos ilgio matavimas.*



Pav.4

1. Pastatykite ekraną ir padėkite interferometrą bei lazerį ant optinio suolo kaip pavaizduota pav.4, kad atstumas nuo lazerio iki interferometro būtų apie 20cm.
2. Įjungus lazerį, ekrane turite matyti 5 ar 10 lazerio šviesos dėmių. Jei dėmių juostos nepersikloja, justavimo varžtais pasiekite, kad dėmių juostose dėmės persiklotų.
3. Pastatykite laikiklį su lėšiu tarp lazerio ir interferometro ir stumdami laikiklį bei lėšį skersai spindulio pasiekite, kad ekrane ryškiai matytųsi interferencinių žiedų vaizdas (pav.5).

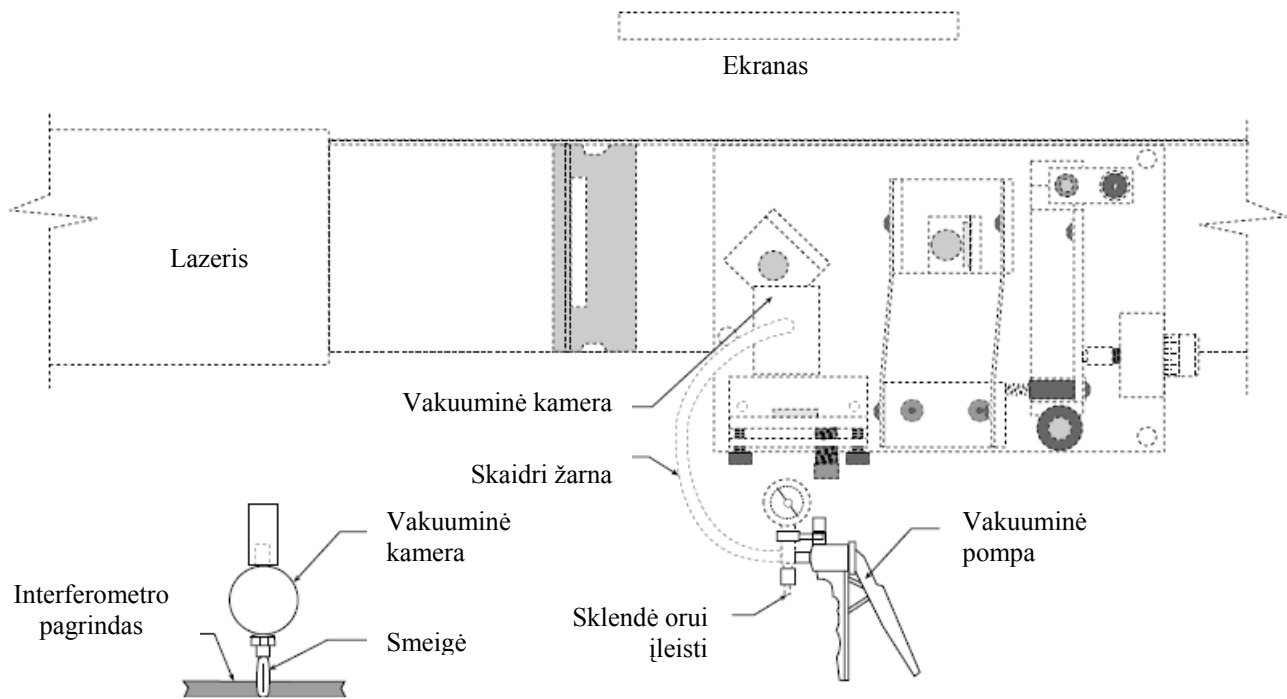


Pav.5

4. Atsukite mikrometro rankenėlę taip, kad svertas, kuris stumia judantį veidrodį, būtų lygiagrečiai su interferometro pagrindo kraštu. Tokiai sverto padėčiai esant rankenėlės pasukimo ryšys su veidrodžio judėjimu bus tiesinis.
5. Pasukite mikrometro rankenėlę vieną kartą prieš laikrodžio rodyklę ir sulygininkite rankenėlės žymę su nuline žyme ant varžto tvirtinimo.
6. Ekrane pažymėkite du gretimus tamsius žiedus, taip bus lengviau skaičiuoti prabėgusių žiedų skaičių.
7. Lėtai sukite mikrometro rankenėlę prieš laikrodžio rodyklę ir skaičiuokite kiek žiedų praeina jūsų padarytas žymes. Suskaičiuokite apie 150 – 200 prabėgusių žiedų. Kai baigiate skaičiuoti, žiedų vaizdas turi būti toks pat, kaip ir pradėdant skaičiuoti žiedus.
8. Pagal mikrometrinio varžto pilnų apsisukimų ir nepilno apsisukimo padalų skaičių apskaičiuokite judančio veidrodžio poslinkį  $d$ . Rankenėlės pasukimas per vieną padalą atitinka veidrodžio poslinkį per vieną mikrometrą.
9. Užsirašykite žiedų, praėjusių padarytas žymes ekrane skaičių  $m$ .
10. Apskaičiuokite lazerio šviesos bangos ilgį ( $\lambda = 2d_m / m$ ) ir bangos ilgio paklaidą, palyginkite gautą rezultatą su He-Ne lazerio šviesos bangos ilgiu.

Oro lūžio rodiklio nustatymas.

1. Įstatykite vakuuminės kameros tvirtinimo smeigę į interferometro pagrindą, kaip parodyta paveikslėlyje 6. Kamara imkite tik už šonų ir nelieskite stiklinių jos langelių pirštais. Pasukite kamara taip, kad spindulys eitų statmenai langams, išilgai kameros ašies.



Pav.6

2. Siurbkite pamažu orą iš vakuuminės kameros vakuumine pompa ir skaičiuokite žiedų, prabėgančių pro žymes ekrane, skaičių. Tai darykite tol, kol slėgis kameroje sumažės apie 50 kPa.
3. Baigę siurbti, užsirašykite vakuuminės pompos manometro rodomą slėgį  $P_f$  ir prabėgusių žiedų skaičių  $m$ .
4. Pakartokite punkto 2 matavimus ne mažiau kaip 5 kartus.
5. Apskaičiuokite tiesinės oro lūžio rodiklio priklausomybės nuo slėgio polinkio kampa

$$\frac{n_i - n_f}{P_i - P_f} = \frac{\Delta m \lambda_0 / 2d}{P_i - P_f}$$

čia  $P_i$  - pradinis oro slėgis;  $P_f$  - galinis oro slėgis;  $n_i$  - oro lūžio rodiklis, kai slėgis  $P_i$ ;  $n_f$  - oro lūžio rodiklis, kai slėgis  $P_f$ ;  $m$  - žiedų, praėjusių pro žymę, kai siurbiamas oras, skaičius;  $\lambda$  - lazerio šviesos bangos ilgis vakuume;  $d$  - vakuuminės kameros ilgis (3 cm).

6. Pasinaudodami tuo, kad vakuumo lūžio rodiklis lygus vienetai ir oro lūžio rodiklis tiesiškai priklauso nuo slėgio bei žinomas šios tiesinės priklausomybės polinkio kampas, apskaičiuokite oro lūžio rodiklį, esant normaliam oro slėgiui.

### KONTROLINIAI KLAUSIMAI:

1. Kokios bangos vadinamos koherentinėmis?
2. Kokiam bangų eigos skirtumui stebimi interferenciniai minimumai, kokiam – maksimumai?
3. Paaiškinkite spindulių eigą Maikelsono interferometre.
4. Kiek reikia pastumti Maikelsono interferometro judantį veidrodį, kad interferencinį maksimumą interferencinio vaizdo centre pakeistų minimumas

### LITERATŪRA:

- 1) V. A. ŠALNA, „Optikos laboratoriniai darbai“, <http://www.ff.vu.lt/bfsk/optika/Laboro.html>
- 2) B. Martinėnas, J. Kaulakys, J. Jakimačius „Fizikos pagrindai“, 2000, „Technika“, Vilnius
- 3) V. A. ŠALNA, „Optika“, 2004, „Enciklopedija“, Vilnius