



**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

#### MALIU DĒSNIO TIESIAI POLIARIZUOTAI ŠVIESAI TIKRINIMAS

#### DARBO TIKSLAS:

Susipažinti su tiesiai poliarizuotos šviesos savybėmis, patikrinti Maliu dėsnį.

#### DARBO UŽDUOTYS:

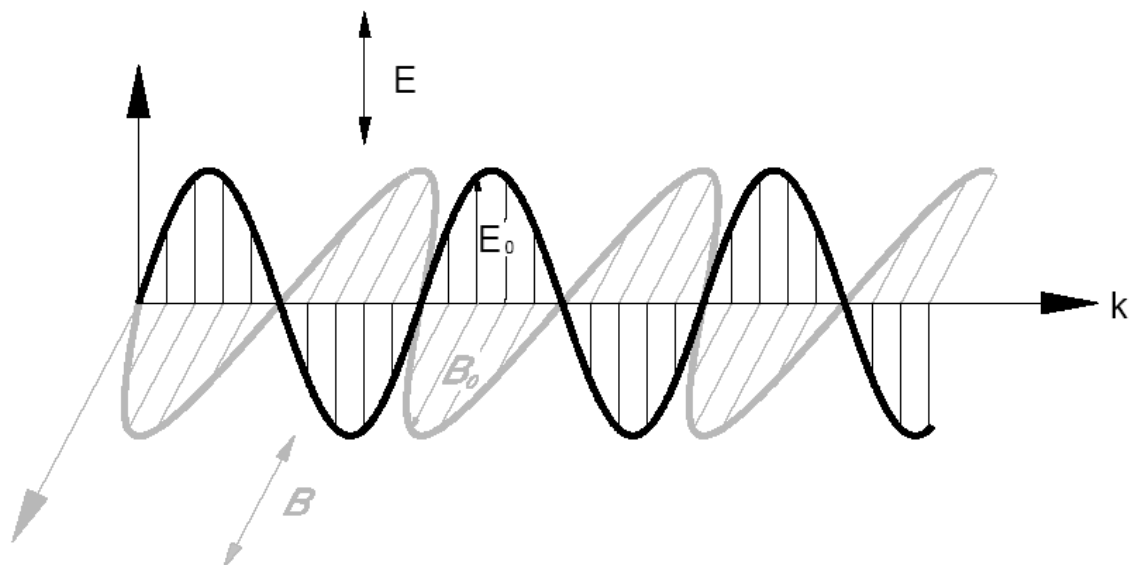
1. Išmatuoti praėjusios pro du poliarizatorius nepoliarizuotos šviesos šaltinio šviesos intensyvumą, keičiant kampą tarp poliarizatorių ašių.
2. Palyginti išmatuotą praėjusios pro poliarizatorius šviesos intensyvumo priklausomybę nuo kampo tarp poliarizatorių ašių su teorine, apskaičiuota pagal Maliu dėsnį.

#### TEORIJA:

Nagrinėdami šviesos bangų poliarizaciją, šviesą laikysime plokščia harmonine skersine elektromagnetine banga. Tokios bangos elektrinio lauko stipris kinta pagal dėsnį

$$\vec{E}(t, r) = \vec{e} E_0 \cos(\omega t - kz + \varphi_0), \quad (1)$$

čia  $E_0$  – bangos amplitudė,  $\vec{e}$  - vienetinis poliarizacijos vektorius,  $\omega = 2\pi\nu$  - ciklinis dažnis,  $k = 2\pi/\lambda$  - bangos skaičius,  $\varphi_0$  - pradinė fazė,  $t$  - laikas,  $z$  - koordinatė išilgai bangos sklidimo krypties. Iš elektromagnetinių bangų teorijos yra žinoma, kad elektromagnetinės bangos elektrinio lauko stiprio  $\vec{E}$ , magnetinio lauko indukcijos  $\vec{B}$  ir bangos sklidimo greičio  $\vec{v}$  vektoriai yra vienas kitam statmeni (Pav.1). Jei bangos elektrinio lauko stiprio vektorius visą laiką virpa vienoje plokštumoje, išvestoje per bangos sklidimo kryptį, tai tokia banga tiesiai poliarizuota. Plokštuma išvesta per vektorius  $\vec{E}$  ir  $\vec{v}$  vadinama bangos poliarizacijos plokštuma.



Pav.1

Jei vektoriaus  $\vec{E}$  (kartu ir vektoriaus  $\vec{B}$ ) orientacija atžvilgiu bangos sklidimo krypties, plokštumoje statmenoje  $\vec{v}$ , atsitiktinai kinta, tai turim nepoliarizuotą arba natūralią šviesą. Tokią šviesą spinduliuoja šviesos šaltiniai, kuriuos sudaro daug atskirų spinduolių (atomų), spinduliuojančių atsitiktinės poliarizacijos bangas.

Jei elektrinio lauko vektoriaus orientacija ir kartu poliarizacijos plokštumos orientacija kinta pagal tam tikrą dėsnį, tai turim poliarizuotą šviesą. Priklausomai kokią trajektoriją brėžia vektoriaus  $\vec{E}$  galas plokštumoje statmenoje bangos sklidimo kryptčiai, turim tiesiai, apskritimu ir elipse poliarizuotą šviesą. Kokios poliarizacijos šviesa bus, priklauso nuo vektoriaus  $\vec{E}$  ortogonalinių komponentų

$$\vec{E}_x = \vec{i} E_{0x} \cos(\omega t - kz + \varphi_{0x}) \quad (2)$$

ir

$$\vec{E}_y = \vec{j} E_{0y} \cos(\omega t - kz + \varphi_{0y}) \quad (3)$$

amplitudžių  $E_{0x}$  ir  $E_{0y}$  santykio bei pradinių fazių  $\varphi_{0x}$  ir  $\varphi_{0y}$  skirtumo

$$\varphi = \varphi_{0x} - \varphi_{0y}. \quad (4)$$

Išraiškose (2) ir (3)  $\vec{i}$  ir  $\vec{j}$  vienetiniai koordinačių ašių  $x$  ir  $y$  vektoriai. Jei pasirinksim  $\varphi_{0x} = 0$ , tada išraiškas (2) ir (3) galėsime užrašyti

$$\vec{E}_x = \vec{i} E_{0x} \cos(\omega t - kz), \quad (5)$$

$$\vec{E}_y = \vec{j} E_{0y} \cos(\omega t - kz + \varphi) \quad (6)$$

Šviesa bus tiesiai poliarizuota, kai fazių skirtumas tenkina sąlygą

$$\varphi = \pi m, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (7)$$

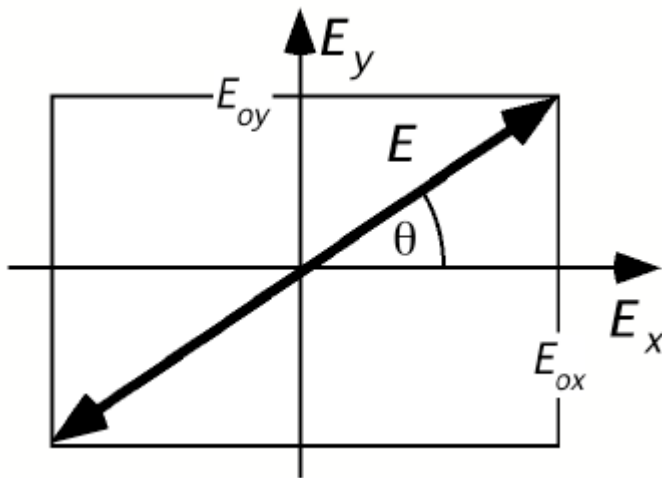
nes tada bangos elektrinio lauko stiprio vektorius

$$\vec{E} = (\vec{i} E_{0x} \pm \vec{j} E_{0y}) \cos(\omega t - kz) \quad (8)$$

savo orientacijos nekeičia ir virpa vienoje plokštumoje, kuri sudaro kampą

$$\theta = \arctan\left(\frac{E_{0y}}{E_{0x}}\right) \quad (9)$$

su plokštuma  $(x, z)$ , pav.2.



Pav.2

Kai abiejų komponenčių amplitudės vienodos

$$E_{0x} = E_{0y} = E_0, \quad (10)$$

šviesa bus kairinės apskritiminės poliarizacijos, jei

$$\varphi = \frac{\pi}{2} + 2\pi m, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (11)$$

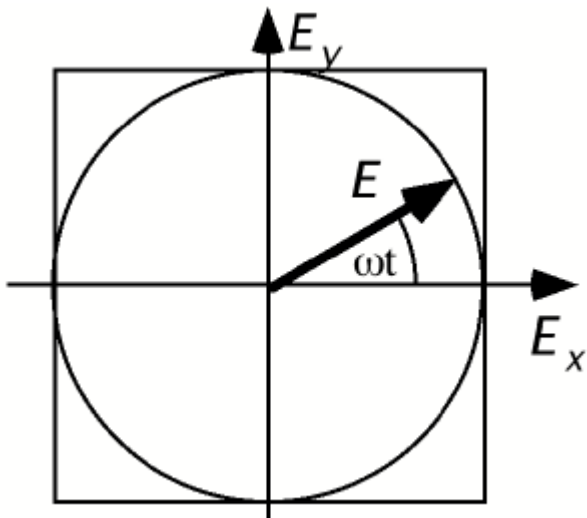
arba dešininės apskritiminės, jei

$$\varphi = -\frac{\pi}{2} + 2\pi m, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (12)$$

nes tada bangos elektrinio lauko stipris

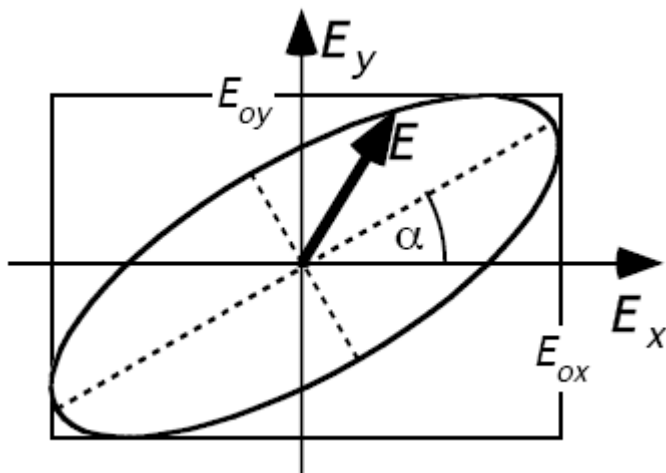
$$\vec{E} = E_0 (\vec{i} \cos(\omega t - kz) \pm \vec{j} \sin(\omega t - kz)), \quad (13)$$

o  $\vec{E}$  vektoriaus galas brėžia apskritimą plokštumoje statmenoje bangos sklidimo kryptiai (pav.3), ir erdvėje kairinę arba dešininę spiralę.



Pav.3

Kai komponentių amplitudžių santykis ir fazių skirtumas bet koks, turėsime elipsinės poliarizacijos šviesą, kadangi tada  $\vec{E}$  vektoriaus galas brėžia elipsę plokštumoje statmenoje bangos sklidimo kryptiai (pav.4),

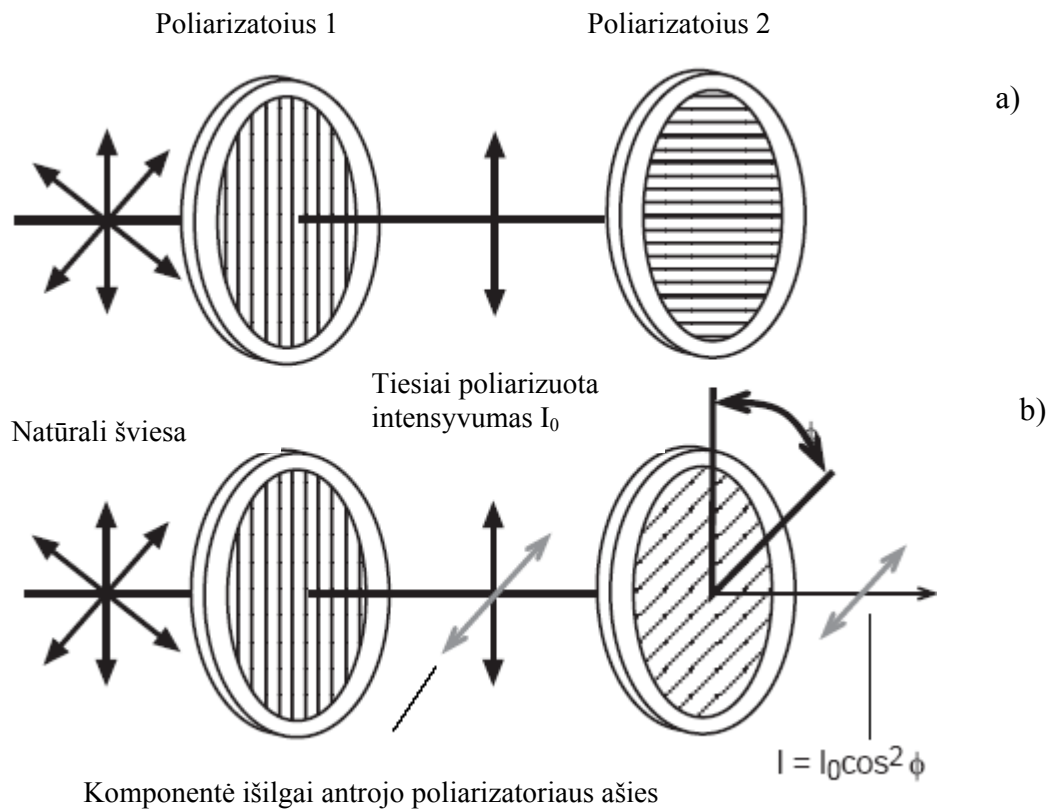


Pav.4

Elipsės didysis pusašis sudaro kampą

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \left( 2 \frac{E_{0y}}{E_{0x}} \frac{\cos \varphi}{1 - E_{0y}^2 / E_{0x}^2} \right) \quad (14)$$

su plokštuma  $(x, z)$ .



Pav.5

Prietaisai skirti tiesiai poliarizuotai šviesai gauti iš nepoliarizuotos šviesos vadinami poliarizatoriais. Poliarizatorius pilnai praleidžia tiesiai poliarizuotą šviesą, kurios poliarizacijos plokštuma orientuota išilgai poliarizatoriaus ašies ir pilnai atspindi arba sugeria šviesą, kurios poliarizacijos plokštuma statmena poliarizatoriaus ašiai. Poliarizatoriai yra įvairių tipų. Plačiausiai naudojami plėveliniai poliarizatoriai. Plėvelinis poliarizatorius, tai dažniausiai stiklo plokštelė padengta plėvele, pasižyminti stipria anizotropine šviesos sugertimi (dichroizmu). Tokia plėvelė beveik pilnai praleidžia tinkamos poliarizacijos plokštumos orientacijos (išilgai optinės ašies) tiesiai poliarizuotą šviesą ir beveik pilnai sugeria statmenai optiniai ašiai poliarizuotą šviesą.

Jei nepoliarizuotos šviesos kelyje pastatyti du poliarizatorius pasuktus taip, kad jų optinės ašys sudarytų statų kampą (sakoma poliarizatoriai sukryžiuoti), tai į tokią dviejų poliarizatorių sistemą krentanti nepoliarizuota šviesa, poliarizuota tiesi už pirmojo poliarizatoriaus, pro antrąjį poliarizatorių nepraeis (Pav.5,a). Kai kampas  $\phi$  tarp poliarizatorių ašių nelygus  $90^\circ$ , tai praėjusios pro abu poliarizatorius šviesos elektrinio lauko stipris amplitudė

$$E(\phi) = E_0 \cos \phi \quad (15)$$

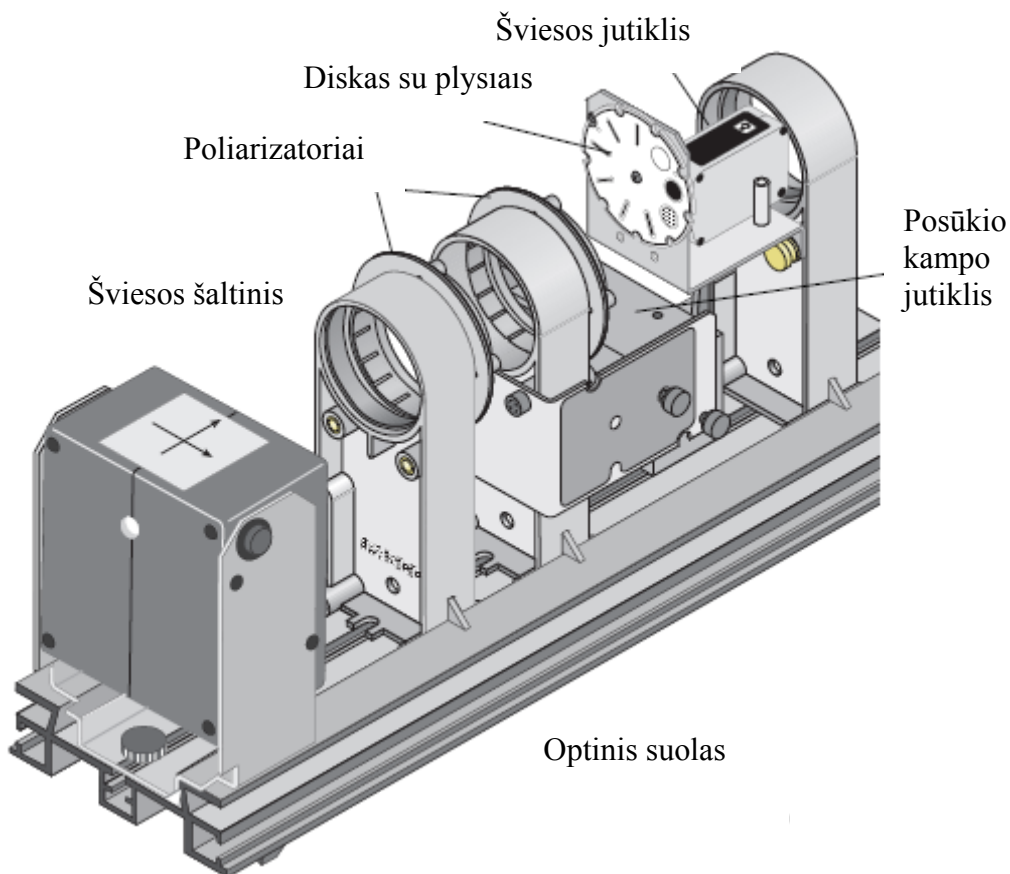
čia  $E_0$  - praėjusios pro pirmąjį poliarizatorių tiesiai poliarizuotos šviesos bangos elektrinio lauko stiprio amplitudė. Tada praėjusios pro abu poliarizatorius šviesos intensyvumui turime:

$$I(\phi) = I_0 \cos^2 \phi, \quad (16)$$

čia  $I_0$  - praėjusios pro pirmąjį poliarizatorių tiesiai poliarizuotos šviesos intensyvumas. Išraiška (16) vadinama *Maliu dėsniu*.

### DARBO PRIEMONĖS:

1. Optinis suolas
2. Šviesos šaltinis
3. Du poliarizatoriai laikikliuose
4. Diskas su plyšiais ir diafragma
5. Posūkio kampo jutiklis
6. Šviesos jutiklis.
7. *Science Workshop*<sup>®</sup> 750 sąsaja
8. Kompiuteris su įdiegta programa *Data Studio*



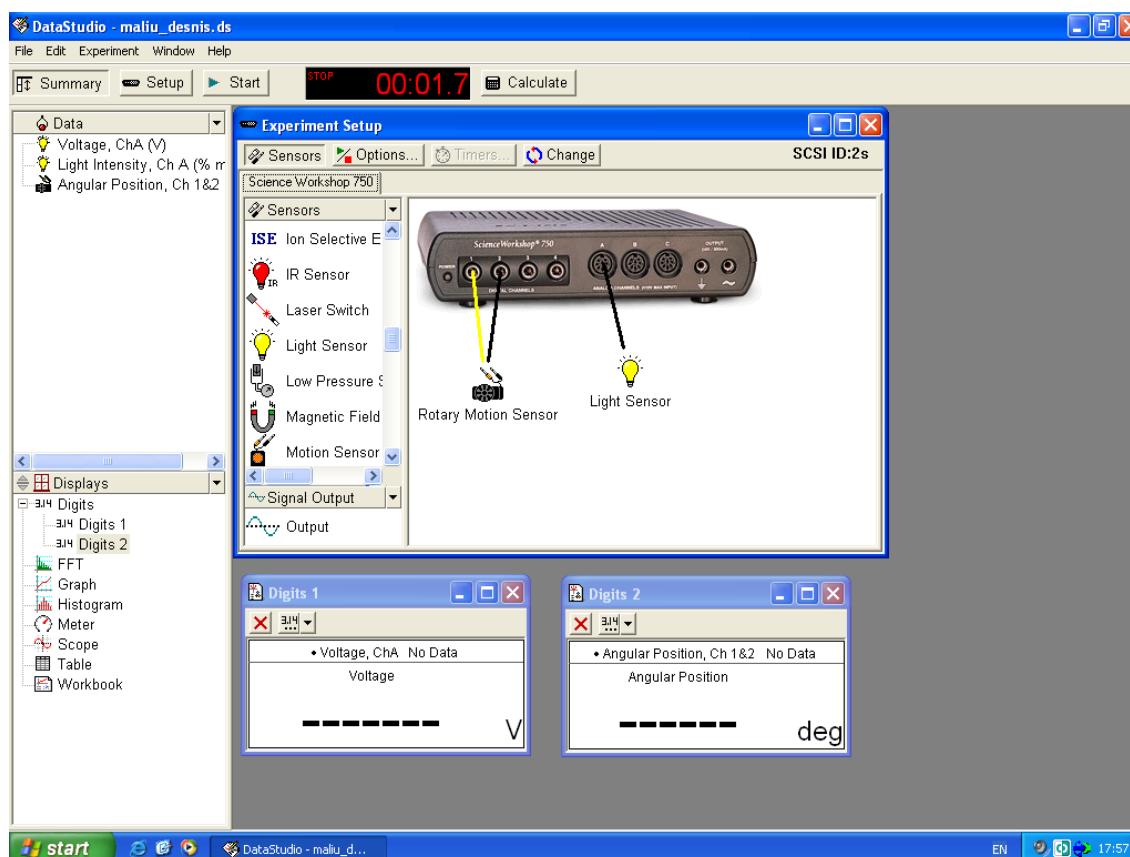
Pav.6

### DARBO EIGA:

#### Kompiuterio ir sąsajos įtaiso parengimas.

1. Įjunkite *Science Workshop*<sup>®</sup> 750 sąsajos įtaisą ir kompiuterį (susipažinkite su *Science Workshop*<sup>®</sup> 750 sąsajos aprašu).

2. Prijunkite posūkio kampo jutiklį (*Rotary Motion Sensor*) prie skaitmeninių kanalų 1 ir 2 (*Digital Channels*), pav.7.
3. Prijunkite šviesos jutiklį (*Light sensor*) prie analoginio kanalo A (*Analog Channel A*).
4. Kompiuterio darbastalyje paleiskite programą *Data Studio*.
5. Atsidariusiame lange *Welcom to DataStudio*, spragtelėkite pele ties paveikslėliu su užrašu *Open Activity*, nueikite į katalogą „C:/Data Studio/optika\_310“ ir atsidarykite dokumentą: „**maliu\_desnis.ds**“
6. Atsidariusiame eksperimento *Experiment Setup* struktūros lange (Pav.7) turi būti pavaizduoti prie sąsajos prijungti posūkio kampo ir šviesos jutikliai, lange Digits1 bus rodoma šviesos jutiklio įtampa, proporcinga krentančiam į jutiklį šviesos intensyvumui, lange Digits2 bus rodomas sujungto su posūkio kampo jutikliu poliarizatoriaus pasukimo kampas laipsniais.

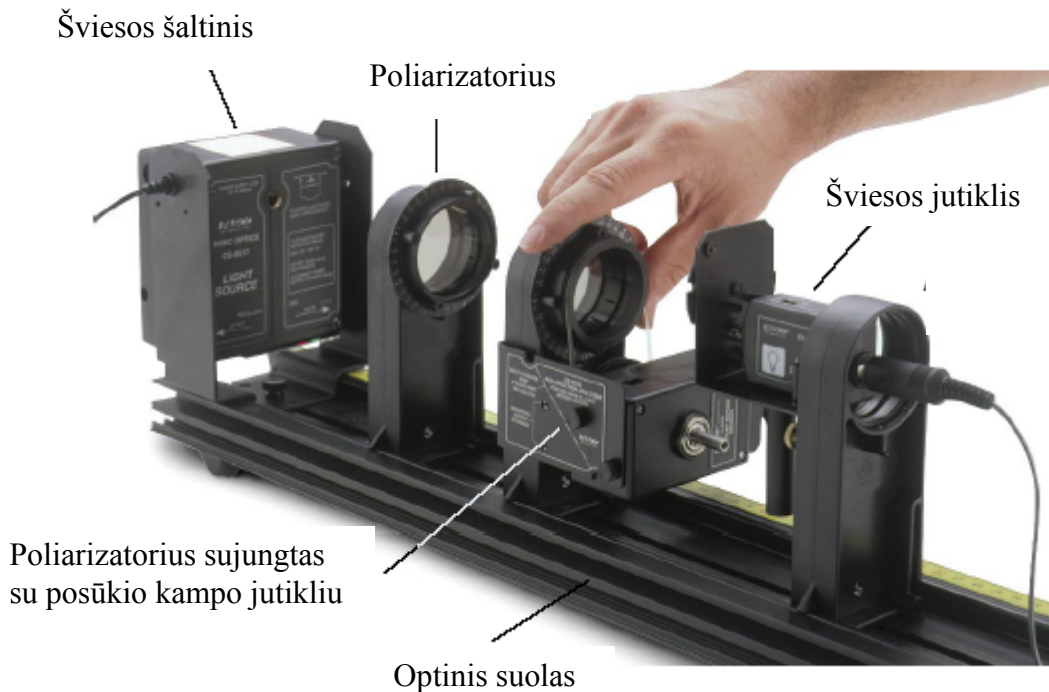


Pav.7

### Praėjusios pro poliarizatorius šviesos intensyvumo matavimas.

1. Prijunkite žemos įtampos (12V) šaltinio laidą prie šviesos šaltinio lizdo jo šone ties tvirtinimu (pav.8) ir įjunkite žemos įtampos šaltinį į rozetę, šviesos šaltinio lempa turi pradėti šviesti.
2. Paėmę poliarizatorių už kraštų, kaip parodyta pav.8, pasukite abu poliarizatorius taip, kad posūkio kampo skalės nulinė padala sutaptų su rodykle (strypeliu) ant poliarizatoriaus laikiklio, skalės disko apačioje.
3. Pasukite diską su plyšiais taip, kad prieš šviesos jutiklio įėjimą būtų plyšys Nr4.
4. Programos *Data Studio* įrankių juostoje paspauskite mygtuką *Start*, lange Digits1 turi atsirasti skaičiai, rodantys šviesos jutiklio įtampą, proporcingą į jutiklį krentančiam šviesos intensyvumui, o lange Digits2 turi būti skaičiai, rodantys nulinį posūkio kampą.
5. Pasukite truputį į abi puses nesujungtą su posūkio jutikliu poliarizatorių ir suraskite tokią padėtį, kad šviesos jutiklio rodoma įtampos vertė būtų didžiausia, šią įtampos vertę užrašykite į lentelę ties nuline kampo tarp poliarizatoriaus ašį verte.

- Pasukite poliarizatorių, sujungtą su posūkio kampo jutikliu, kad jutiklis rodytų 5deg posūkio kampą, šviesos jutiklio rodomą įtampą užrašykite į lentelę ties 5deg posūkio kampą.
- Taip didinkite posūkio kampą po 5 laipsnius, užrašydami šviesos jutiklio rodomą įtampą į lentelę, kol poliarizatorius padarys pilną apsisukimą, t.y. posūkio kampo jutiklis rodys 360deg.
- Baigę matavimus, paspauskite įrankių juostos mygtuką Stop, išjunkite šviesos šaltinį iš rozetės, pasukite diską su plyšiais taip, kad jutiklio įėjimas būtų uždarytas (skritulys).



Pav.8

### Rezultatų apdorojimas ir analizė

- Suraskite šviesos jutiklio parodytą minimalią  $U_{\min}$  įtampos vertę ir apskaičiuokite skirtumus tarp kiekvienos išmatuotos įtampos vertės ir minimalios įtampos vertės  $\Delta U_j = U_j - U_{\min}$ , skirtumus užrašykite į lentelę.
- Suraskite maksimalią skirtumų vertę  $\Delta U_{\max}$  ir apskaičiuokite santykį kiekvieno skirtumo su maksimalia skirtumo verte  $y_j = \Delta U_j / \Delta U_{\max}$ , rezultatus  $y_j$  užrašykite į lentelę.
- Iš Malio dėsnio apskaičiuokite teorines  $y_j$  vertes  $y_j^T = \cos^2(\phi_j)$ , rezultatus  $y_j^T$  užrašykite į lentelę.
- Nubraižykite viename grafike priklausomybes  $y(\phi_j)$  ir  $y^T(\phi_j)$ .
- Nubraižykite viename grafike priklausomybes  $y(\cos^2 \phi_j)$  ir  $y^T(\cos^2 \phi_j)$ .

1 Lentelė

Nr	$\phi$ , deg.	$U$ , V	$\Delta U$ , V	$y$	$y^T$
1	0				
2	5				
3	10				
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
73	360				



## **KONTROLINIAI KLAUSIMAI:**

1. Kokia šviesa vadinama nepoliarizuota?
2. Kokia šviesa vadinama tiesiai poliarizuota, poliarizuota apskritimu ir elipse?
3. Kokia plokštuma vadinama poliarizacijos plokštuma?
4. Pagal kokį dėsnį kinta praėjusios pro du poliarizatorius šviesos intensyvumas, kintant kampui tarp poliarizatorių ašių?
5. Ar galima turint du poliarizatorius atskirti nepoliarizuotą šviesą nuo poliarizuotos apskritimu?

## **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