

VILNIAUS UNIVERSITETAS
Fizikos fakultetas
Mokomoji atomo ir branduolio fizikos laboratorija

Laboratorinis darbas Nr. 1

**FOTOEFEKTO TYRIMAS
IR PLANKO KONSTANTOS MATAVIMAS**

Eksperimentinė dalis

Parengė A. Poškus

2025-03-29

Čia yra tik smulkus matavimo tvarkos aprašas. Ruošiantis darbui, reikia naudoti kitą aprašą, kuriame išdėstyta ne tik darbo metodika, bet ir teorija. Eksperimentinės dalies aprašas visą laiką turi būti prie matavimo įrangos; jo negalima išsinešti iš laboratorijos.

1. Darbo priemonės

Šiam darbui naudojamas Vokietijos kompanijos „Phywe Systeme“ mokomosios įrangos komplektas. 1 pav. parodytas matavimo įrangos bendras vaizdas.



1 pav. Matavimo įrangos bendras vaizdas

Darbo įrangą sudaro:

- 1) Optinis stendas (dvi 60 cm ilgio sekcijos, sujungtos šarnyru);
- 2) Vakuuminis fotoelementas (katodo medžiaga – PbS, katodo plotas $3,3 \text{ cm}^2$, spektro diapazonas 300 – 650 nm). Vakuuminio fotoelemento korpusas parodytas 2 pav.



2 pav. Vakuuminio fotoelemento korpusas

- 3) Aukšto slėgio gyvsidabrio lempa (80 W). Gyvsidabrio lempa parodyta 3 pav.



3 pav. Gyvsidabrio lempa ir ekranas su plyšiu

- 4) Lempos maitinimo blokas (žr. 4 pav.).



4 pav. Lempos maitinimo blokas

- 5) Difrakcinė gardelė (režių tankis – 600 režių/mm). Difrakcinės gardelės laikiklis parodytas 5 pav.



5 pav. Difrakcinės gardelės laikiklis (difrakcinė gardelė yra kitoje jo pusėje, kurią uždengia vamzdis)

- 6) Apskritas ekranas su reguliuojamo pločio stačiakampiu plyšiu (žr. 6 pav.).



6 pav. Ekranas su plyšiu (viršuje matomas plyšio pločio reguliavimo varžtas)

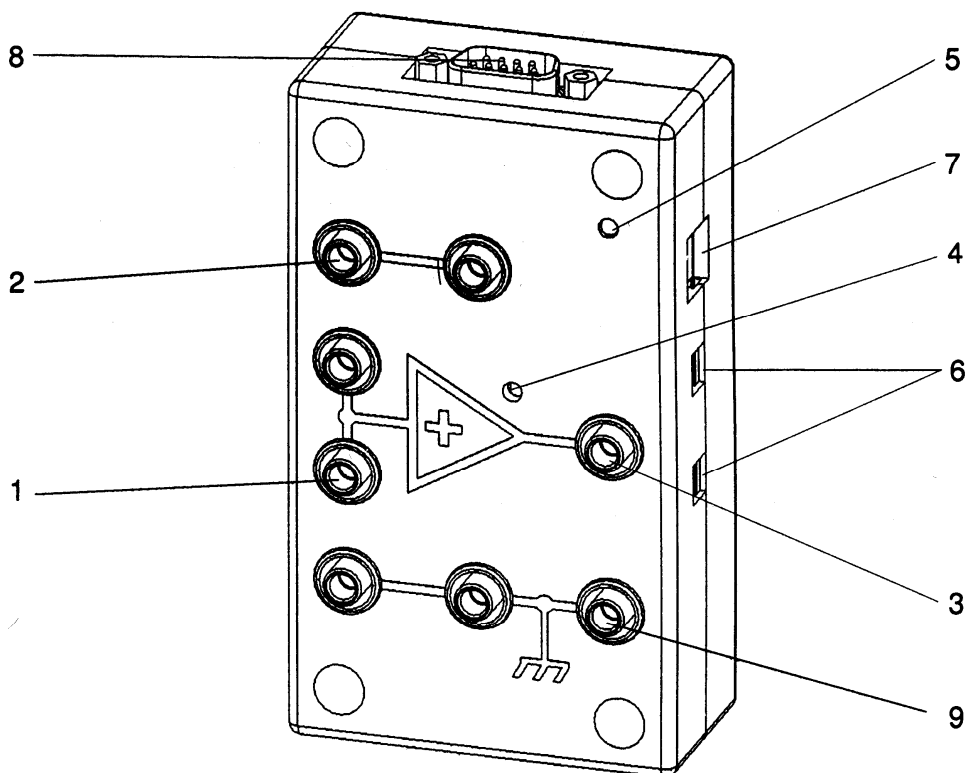
- 7) Lęšis (lęšio židinio nuotolis – 100 mm, lęšio skersmuo – 40 mm). Lęšis pritvirtintas ant vamzdžio, kuris yra tarp ekrano su plyšiu ir difrakcinės gardelės (žr. 7 pav.).



7 pav. Lęšis

- 8) Du spalvų filtrai (vienas jų slopina bangos ilgus, kurie mažesni už 580 nm, o kitas – bangos ilgus, kurie mažesni už 525 nm);
- 9) Elektrometrinis stiprintuvas (įėjimo varža $> 10^{13} \Omega$). Jis pavaizduotas 8 pav. Toliau yra paaiškinti elektrometrinio stiprintuvo išvadai, kurie reikalingi šiam darbui (numeriai atitinka 8 pav.):
1. Stiprintuvo įėjimo išvadas. Šis išvadas turi būti sujungtas su vakuuminio fotoelemento katodu.
 3. Stiprintuvo išėjimo išvadas. Prie šio išvado turi būti prijungtas multimetrom išvadas „V“.
 7. Maitinimo įtampos šaltinio prijungimo lizdas.
 9. Atskaitos potencialo (įžeminimo) išvadas. Šis išvadas turi būti sujungtas su vakuuminio fotoelemento anodu ir su multimetrom išvadu „COM“.
- Fotoelemento išelektrinimo metu šis išvadas trumpam sujungiamas su stiprintuvo įėjimo išvadu „1“ (t. y. stiprintuvo įėjimas užtrumpinamas).
- 10) skaitmeninis multimetras;

Be to, naudojami du aliuminio vamzdžiai, kurie sumažina aplinkos apšvietimo įtaką (tie vamzdžiai neįeina į originalią PHYWE įrangą). Vienas vamzdis yra tarp ekrano su plyšiu ir difrakcinės gardelės (jis toliau bus vadinamas „difrakcinės gardelės vamzdžiu“), o kitas – tarp difrakcinės gardelės ir fotoelemento (jis toliau bus vadinamas „fotoelemento vamzdžiu“). Kiekvienas iš tų vamzdžių sudarytas iš dviejų sekcijų, kurios užmautos viena ant kitos. Tas dvi sekcijas galima slankioti vieną kitos atžvilgiu (toku būdu keičiamas vamzdžio ilgis).



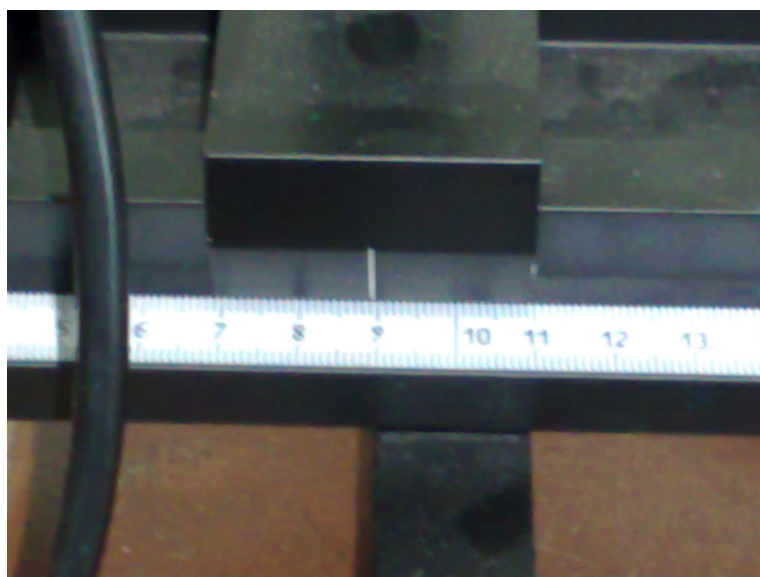
8 pav. Elektrometrinis stiprintuvas

2. Matavimo tvarka

1. Gyvsidabrio lempa ir fotoelementas turi būti priešinguose optinio stendo galuose. Iš pradžių stendas turi būti tiesus, t. y. sklaidos kampas $\varphi = 0^\circ$. Kampas φ gali būti nustatytas maždaug 1° tikslumu pagal skalę, kuri yra prie šarnyro, jungiančio dvi optinio stendo sekcijas (ant to šarnyro yra difrakcinė gardelė). Įjungiamas lempos maitinimo blokas (elektros tinklo jungiklis yra ant jo užpakalinės sienelės).

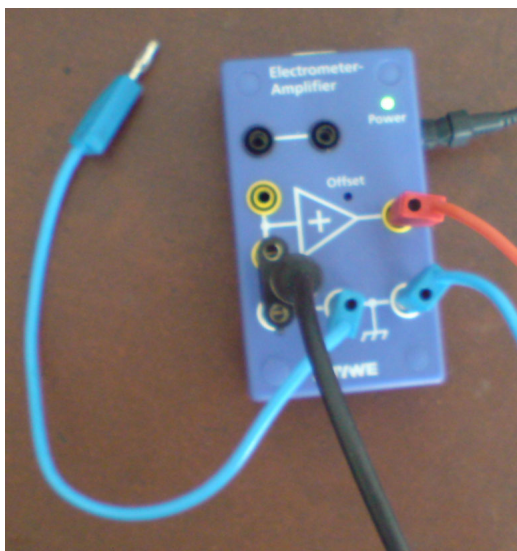
Dėmesio! Gyvsidabrio lempa, kuri naudojama šiame laboratoriniame darbe, įkaista iki labai aukštos temperatūros. Todėl negalima liesti įjungtos lempos ir negalima ant jos dėti juodo audinio.

2. Difrakcinė gardelė turi būti laikiklyje ties šarnyru, kuris jungia dvi optinio stendo sekcijas, ekranas su plyšiu turi būti maždaug ties 9 cm padala (žr. 9 pav.), o vamzdžio sekcijos, ant kurios pritvirtintas lęšis, laikiklis turi būti maždaug ties 28 cm padala.

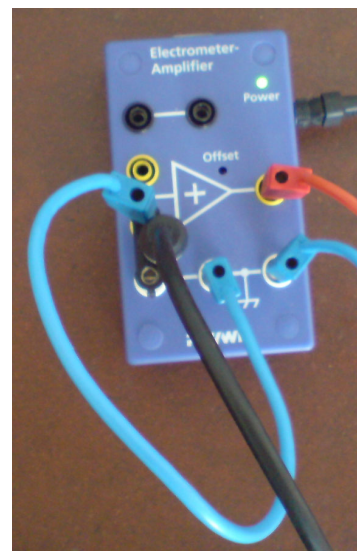


9 pav. Ekranas su plyšiu laikiklio padėtis

3. Fotoelementas sujungiamas su stiprintuvo įėjimu, o prie stiprintuvo išėjimo prijungiamas multimetras, kaip paaiškinta skyriuje „Darbo priemonės“ (9 punkte). Kadangi fotoelemento išėjimo lizdas yra BNC tipo, o stiprintuvo išvadai atitinka 4 mm kištukus, tai, jungiant fotoelementą prie stiprintuvo, reikia naudoti adapterį „BNC lizdas – du 4 mm kištukai“ (to adapterio kištukas, kuris atitinka įžeminimo išvadą, yra pažymėtas iškilimu).



(a)



(b)

10 pav. Elektrometrinio stiprintuvo ir prie jo prijungtų laidų bendras vaizdas:
(a) matuojant fotoelemento įtampą; (b) išelektrinant fotoelementą

4. Elektrometrinio stiprintuvo maitinimo įtampos adapteris įjungiamas į elektros tinklą.

5. Įjungiamas multimetras. Nustatoma nuolatinės įtampos matavimo veika (iki 2 V).

6. Slankiojant lęšį, plyšio atvaizdas sufokusuojamas į fotoelemento įėjimo diafragmą. Plyšio plotis (žr. 6 pav.) turi būti toks, kad jo atvaizdas išsitektų tarp dviejų vertikalių brūkšnelių, kurie nubrėžti ant popieriaus juostelės, kuri priklijuota virš fotoelemento įėjimo diafragmos (ta popieriaus juostelė parodyta 11 pav.). Kadangi fotoelemento vamzdis ir prie jo pritvirtintas filtrų laikiklis užstoja šviesą, tai, kad būtų galima matyti plyšio atvaizdą, reikia laikinai nuleisti vamzdžio sekciją, ant kurios tvirtinamas filtrų laikiklis (vamzdžio kairiajame gale). Fotoelemento vamzdis su nuleista kairiąja sekcija parodytas 12 pav. **Vamzdžio dešinėsios dalies, kuri remiasi į fotoelementą, judinti nereikia.** Siekiant, kad plyšio atvaizdas būtų tarp minėtų brūkšnelių, gali tekti nežymiai pasukti matavimo stendo dalį, kurioje pritvirtintas fotoelementas. Atitinkamas kampų skalės rodmuo – tai kampo φ matavimo paklaida (nes tikrasis kampas šioje padėtyje yra lygus 0°).



(a)



(b)

11 pav. Vakuuminio fotoelemento korpusas ir fotoelemento įėjimo diafragmos sklendė. Virš įėjimo diafragmos matoma balto popieriaus juostelė, ant kurios nubrėžtos dvi linijos. Plyšio atvaizdo kraštai turi apytiksliai atitikti tas dvi linijas. (a) diafragmos sklendė uždaryta; (b) sklendė atidaryta



12 pav. Fotoelemento vamzdis su nuleista kairiąja sekcija

7. Sukant optinio stendo sekciją, vienas iš penkių spalvotų plyšio atvaizdų sutapatinamas su įėjimo diafragma. Plyšio atvaizdas turi būti tarp dviejų vertikalių brūkšnelių, kurie yra ant minėtos popieriaus juostelės (žr. 13 pav.). Priklausomai nuo aplinkos apšvietimo intensyvumo, kad matytusi plyšio atvaizdas, gali tekti užtamsinti fotoelemento aplinką naudojant juodo audinio gabalą. Siekiant pagreitinti atskirų spektro linijų radimą ir identifikavimą, patartina visų pirma pažiūrėti į visą spektrą naudojant popieriaus lapą (žr. 14a pav.). Žalsva juosta, kuri matoma 14a pav. kairiojoje pusėje, atitinka visų penkių linijų sumą, t. y. nulinį kampą. Spektro linijos, atitinkančios kitas penkias juostas, yra nurodytos 14a pav. Juostų išsidėstymas yra simetriškas nulinio kampo atžvilgiu (t. y. žalsvosios juostos atžvilgiu), todėl optinio stendo sekciją galima sukti į bet kurią pusę. Teisingai nustačius fotoelemento padėtį, atliekami šie veiksmai:

(a) Fotoelemento vamzdžio kairioji sekcija uždedama atgal. Pagal plyšio atvaizdus ties vamzdžio įėjimo anga (žr. 14b pav.) patikrinama, ar pasirinktoji linija pataiko į vamzdžio įėjimo angos centrą. Toje vietoje spalvotos juostos gali iš dalies persikloti viena su kita (pvz., dėl žalios ir oranžinės juostų persiklojimo atsiranda papildoma geltona juosta, kuri yra matoma 14b pav.). Jeigu yra akivaizdu, kad pasirinktoji juosta nėra ties vamzdžio įėjimo angos centru, tada reikia pataisyti vamzdžio padėtį, papildomai priveržiant arba atlaisvinant kairiosios vamzdžio sekcijos stovo apatinę varžtą (kuriuo kairiosios vamzdžio sekcijos stovas tvirtinamas prie optinio stendo). Siekiant išvengti didelių matavimo paklaidų, reikia įsitikinti, kad sistemos geometrija yra teisinga, t. y. kad visi optiniai komponentai (lempa, ekranas su plyčiu, lęšis, difrakcinė gardelė ir fotoelementas) yra vienodame aukštyje, o fotoelemento vamzdis yra lygiagretus optiniam stendui. Šio patikrinimo metu galima pasinaudoti įbrėžimais, kurie yra ant stovų strypų (žr. 15 pav.): kiekvienas toks įbrėžimas turi būti ties stovo laikiklio viršutiniu kraštu (kaip 15 pav.). Teisingai atliekant darbą, vienintelis laikiklis, kurio strypo varžtą (t. y. viršutinį varžtą) reikia periodiškai atlaisvinti, yra fotoelemento vamzdžio kairiosios sekcijos laikiklis. Visų kitų laikiklių strypų varžtai turi būti priveržti viso darbo metu.

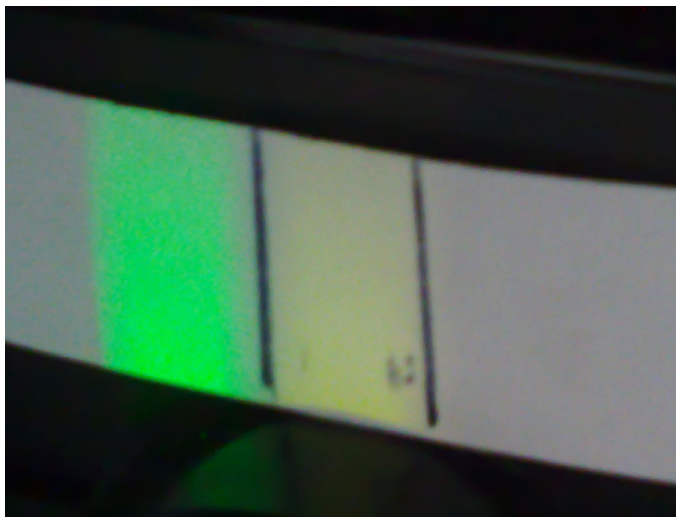
(b) Stiprintuvo įėjimas užtrumpinamas (žr. 10b pav.).

(c) Fotoelemento įėjimo diafragma atidengiama naudojant slankiąją sklendę, kuri yra ant diafragmos (žr. 11b pav.).

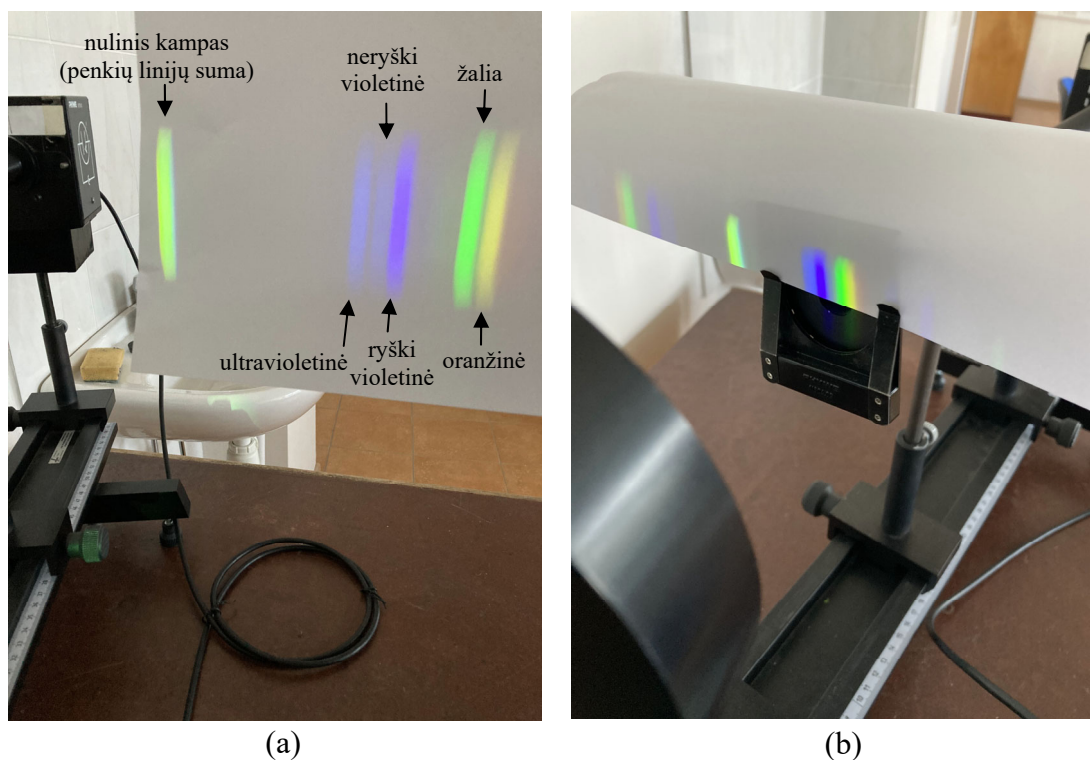
(d) Fotoelementas uždengiamas mažu nepraleidžiančio šviesą audinio gabalu, kaip parodyta 16a pav. (to reikia, kad į fotoelemento vidų pro plyšius nepatektų aplinkos šviesa).

(e) Tarpas tarp difrakcinės gardelės ir fotoelemento vamzdžio uždengiamas kitu juodo audinio gabalu (žr. 16b pav.).

(f) Pašalinamas stiprintuvo įėjimo užtrumpinimas (žr. 10a pav.). Užtrumpinant stiprintuvo įėjimą, laidą reikia jungti prie adapterio „BNC lizdas – du 4 mm kištukai“ (kaip parodyta 10b pav.), o ne prie laisvo geltono išvado, kuris yra ant stiprintuvo.



13 pav. Plyšio, pro kurį į lęšį krinta šviesa, sufokusuotas vaizdas ant popieriaus juostelės, kuri priklijuota virš fotoelemento įėjimo diafragmos, kai fotoelementas apšviestas oranžine šviesa (kairėje matomas žalios linijos atvaizdas).



14 pav. Spektro linijų atvaizdas ant popieriaus lapo: (a) ties fotoelementu, (b) ties fotoelemento vamzdžio įėjimo anga

8. Palaukiama, kol nusistovės multimetrom parodymai (tai trunka 1 – 2 min). Įtampas U_0 ir kampo φ vertės surašomos į lentelę. **Pastabos:** **I.** Stiprintuvo išėjimo įtampa reaguoja į įvairius mažus elektros krūvius aplinkoje. Todėl yra neišvengiami multimetrom parodymų svyravimai. Siekiant sumažinti šiuos nepageidaujamus efektus, matavimų metu reikia vengti judėjimo stiprintuvo aplinkoje. **II.** Kampo matavimo paklaidą galima nustatyti pagal kampų skalės rodmenį, kai tikroji to kampo reikšmė lygi 0° , t. y. atliekant 6 punktą. Paskui tą kampo pataisą reikia atimti iš kitų rodmenų. Šitaip apskaičiuotieji kampai yra tikslesni negu tiesiogiai nuskaitytieji pagal skalę.

Dėmesio! Gyvsidabrio lempa, kuri naudojama šiame laboratoriniame darbe, įkaista iki labai aukštos temperatūros. Todėl negalima liesti įjungtos lempos ir negalima ant jos dėti juodo audinio.

Juodo audinio gabalas nuimamas nuo fotoelemento ir uždaroma fotoelemento sklendė (žr. 11a pav.). Fotoelemento vamzdžio kairioji sekcija nuleidžiama ir pakartojami 7 – 8 punktai. Taip reikia ištirti visas penkias gyvsidabrio spektro linijas: ultravioletinę ($\lambda = 365$ nm), neryškią violetinę ($\lambda = 405$ nm), ryškią violetinę ($\lambda = 436$ nm), žalią ($\lambda = 546$ nm) ir oranžinę ($\lambda = 578$ nm). Kad aplinkos apšvietimas bei violetinių ir ultravioletinės linijų aukštesniųjų eilių difrakciniai maksimumai mažiau iškraipytų matavimo



15 pav. Optinių sistemos komponentų (lempos, ekrano su plyšiu, lęšio, difrakcinės gardelės ir fotoelemento) padėtis turi būti tokia, kad įbrėžimas, kuris yra ant atitinkamo strypo, būtų ties laikiklio viršutiniu kraštu.



(a)



(b)

16 pav. Matavimo metu patartina uždengti tamsaus audinio gabalu (a) fotoelementą ir (b) tarpą tarp difrakcinės gardelės ir fotoelemento vamzdžio



17 pav. Filtrų laikiklis su žalios šviesos filtru



18 pav. Nuimtas nuo vamzdžio filtrų laikiklis

duomenis, esant žaliai ir oranžinei šviesai, naudojami spalvų filtrai (esant žaliai šviesai, naudojamas 525 nm filtras, o esant oranžinei šviesai – 580 nm filtras). Filtrai turi būti įdėti į specialų laikiklį, kuris užmautas ant fotoelemento vamzdžio (žr. 17 pav.). Tiriant kitas tris linijas, filtrų nereikia.

Pastaba: Filtrų laikiklis, kuris uždėtas ant vamzdžio (17 pav.) gali dėl vietos stokos trukdyti nuleisti tą vamzdį (kaip parodyta 12 pav.) arba grąžinti jį į darbinę padėtį (1 pav.). Todėl prieš nuleidžiant vamzdį patartina nuimti filtrų laikiklį, o grąžinus vamzdį į darbinę padėtį vėl uždėti filtrų laikiklį ant vamzdžio (jeigu bus naudojamas filtras). Nuimtas nuo vamzdžio filtrų laikiklis pavaizduotas 18 pav.

9. Visi matavimai atliekami dar keturis kartus. Taigi, kiekvieną liniją turi atitikti penkios įtampos vertės.

10. Matavimo įranga išjungžiama. Po lentele su matavimo duomenimis pasirašo darbo vadovas arba laborantas.