

## 7.9 Lazerio spinduliuotės bangos ilgio nustatymas: Jungo dviejų plyšių eksperimentas (nuotolinių studijų versija)

### Darbo tikslas

Susipažinti su lazerio spinduliuotės savybėmis bei difrakcijos ir interferencijos reiškiniais nagrinėjant Jungo dviejų plyšių eksperimentą.

### Darbo užduotys

- Nustatyti lazerio spinduliuotės bangos ilgį.
- Ištirti kaip keičiasi difrakcinis vaizdas dviejų plyšių eksperimento metu keičiant atstumą tarp plyšių.
- Papildomai: pasinaudojant interaktyvios programėlės suteikiamomis galimybėmis apskaičiuoti šviesos greitį vakuume.

### Teorinės temos

- Šviesos difrakcija ir interferencija. Jungo dviejų plyšių eksperimentas.
- Lazerio sandara ir veikimo principai.
- Savaiminis ir priverstinis spinduliavimas. Užpildos apgraža.
- Lazerio spinduliuotės savybės.
- Lazerių taikymas medicinoje.

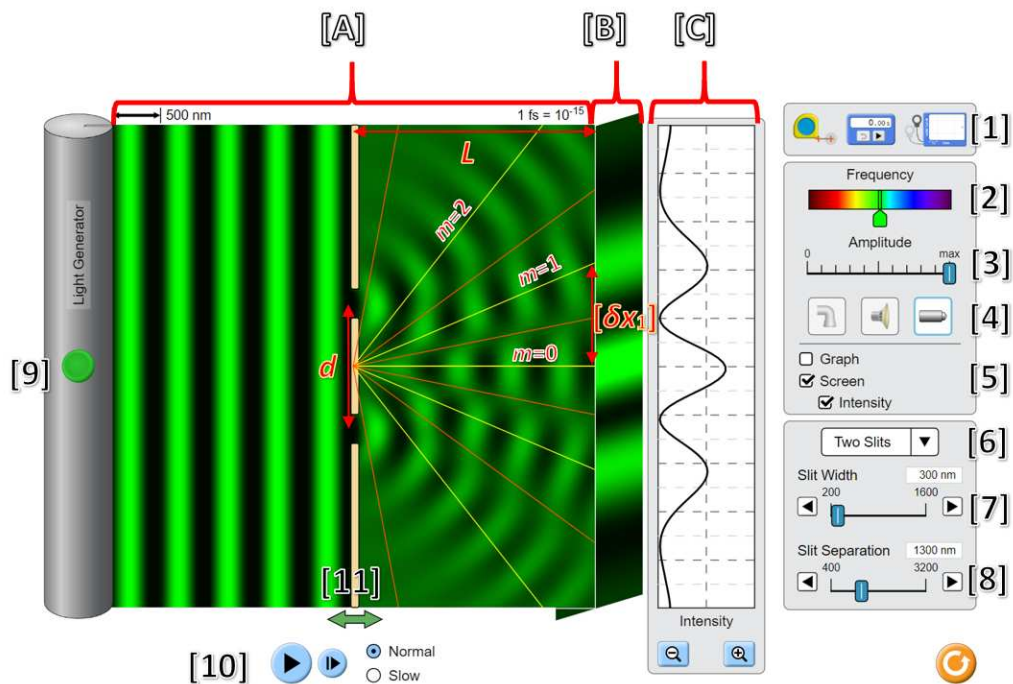
### Darbo priemonės

Kompiuteris su internetu.

### Darbo metodika

Laboratorinio darbo užduotys atliekamos interaktyvia mokomąja programėle (1 pav.), pasiekiamą paspaudus štai būtent čia ir atsivėrusiame lange pasirinkus „Slits“ ikoną. Tik įėjus į puslapį matomas vaizdas truputį skirsis nuo pateiktojo paveiksle; kad pasiruoštumėte laboratoriniam darbui visų pirma lauke [4] pasirinkite trečiąją piktogramą („Light Generator“) – taip nurodote, kad darbui bus naudojamas šviesos bangų generatorius (nuolatinės veikos lazeris). Tuomet [5] lauke pažymėkite varneles prie „Screen“ ir „Intensity“ – atsiras virtualus ekranas [B], kuriame simuliacijos metu bus pateikiamas laike suvidurkintas interferencinis vaizdas bei intensyvumo skirstiniui atvaizduoti skirta vieta [C]. Lauke [6] pasirinkite „Two slits“ – bangų kliūtį (geltona vertikali linija bangų sklidimo lauke [A]) pasikeis į užsklandą su dviem plyšiais.

Paspaudę žalią mygtuką lauke [9] bangų sklidimo lauke [A] pamatysite sklindančios plokščios šviesos bangos frontą ir kaip jis pasikeičia perėjęs per pasirinktą kliūtį (užsklandą su dviem plyšiais). Turėkite omenyje, kad simuliacijoje bangų sklidimas yra sulėtintas apie  $3,5 \times 10^{14}$  karto. Bangos amplitudė užkoduota spalvine informacija – ryškiausi pasirinktą bangos ilgį atitinkančios spalvos regionai reprezentuoja bangos amplitudės maksimumus, o juoda – minimumus. Dešinėje pusėje nuo užsklandos iš vieno taško sklindančios geltonos ir raudonos linijos



1 pav.: Programėlės vaizdas su pažymėtais valdymo laukais. [A] – bangų sklidimo laukas; [B] – ekranas, ant kurio susidaro interferencinis vaizdas; [C] – intensyvumo skirstinys ant ekrano; [1] – papildomų matavimo prietaisų pasirinkimo laukas (aktualūs pirmasis – liniuotė ir antrasis – laikmatis); [2] – bangos dažnio pasirinkimas; [3] – bangos amplitudės pasirinkimas; [4] – šaltinio pasirinkimas (aktualus trečiasis pasirinkimas – šviesos bangų generatorius); [5] – bangų atvaizdavimo papildomi pasirinkimai; [6] – bangų kliūtis keitimas; [7] – plyšių matmenų keitimo laukas; [8] – atstumo tarp plyšių keitimo laukas; [9] – bangų generatoriaus įjungimas; [10] – simuliacijos valdymas; [11] – kliūtis padėties valdymas.  $d$  žymi atstumą tarp plyšių,  $m = 0, 1, 2$  – interferencijos maksimumo eilė, o  $\delta x_1$  – atstumą ekrane tarp nulinės ir pirmos eilės maksimumų.

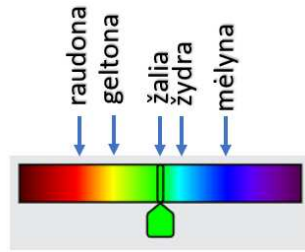
vaizduoja teorines per plyšius praėjusių dviejų bangų interferencijos maksimumų ir minimumų padėtis, atitinkamai (1 pav. pateiktos ir maksimumų eilės  $m$ ). Vykstančią simuliaciją bet kada galite sustabdyti paspaudę pauzės mygtuką lauke [10].

Šiame modelyje tariama, kad eksperimentas vyksta vakuume, o pakeitus bangos amplitudę ji akimirksniu pasikeičia visai plokščiai bangai kairėje pusėje nuo užsklandos, tačiau norint pamatyti amplitudės pokyčius interferenciniame vaizde reikia palaukti, kol banga nusklis į dešinę nuo užsklandos (ir tada dar duoti laiko suvidurkinimui). Be to, tam tikri pokyčiai (pvz., užsklandos pajudėjimas, bangos dažnio pakeitimas) akimirksniu pilnai arba dalinai išvalo bangų sklidimo lauką [A], tad norėdami pamatyti susidariusių interferencinį vaizdą leiskite dėl įvairių pakeitimų sutrikdytam vaizdui nusistovėti.

## Darbo eiga

### 1. Lazerio bangos ilgio nustatymas

- lauke [2] slankikliu pasirinkite tiriamą spalvą ir padarykite slankiklio pozicijos „printscreen“ (spalvas nurodys darbų vadovas, neskiriantiems spalvų – 2 pav. pateiktos grubios spalvų padėties);
- lauke [7] nustatykite  $a = 300$  nm plyšio plotį, o lauke [8]  $d = 1300$  nm atstumą tarp plyšių;



2 pav.: Lazerio spinduliuotės spalvų padėties grubi skalė

- c) išmatuokite atstumą  $L$  tarp bangų kliūtis ir ekrano (palikite šį atstumą tokį, koks buvo įjungus programą): lauke [1] pasirinkite pirmąją piktogramą (ruletę) ir nutempkite ją ant bangų sklaidimo lauko [A]; sulygiuokite ruletės kraštą (kairįjį raudoną pliusiuką) su kliūtimi (jos centru X ašyje), o ruletės galą (dešinįjį raudoną pliusiuką) nutempkite iki ekrano ([A] ir [B] laukų sankirtos);
- d) jeigu dar to nepadaryte – paspauskite [9] mygtuką – [A] lauke pamatysite sklindančias bangas;
- e) virtualia rulete išmatuokite atstumą  $\delta x_1$  tarp centrinio (nulinės eilės) ir pirmos eilės maksimumų (paprastumo ir tikslumo dėlei – matuokite tarp teorines padėtis žyminčių geltonųjų linijų ties ekrano pradžia, kaip pavaizduota 1 pav.);
- f) pasinaudodami  $\delta x_1$  ir  $L$  vertėmis apskaičiuokite kampą  $\theta$  tarp centrinio ir pirmos eilės interferencijos maksimumų bei iš formulės  $d \sin \theta = m\lambda$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$  išsireikškite lazerio bangos ilgį  $\lambda$ ;
- g) pakartokite žingsnius e) ir f) pastatę užsklandą  $L = 3000$  nm ir  $L = 3500$  nm atstumais nuo ekrano bei apskaičiuokite visais trimis matavimais gautų bangos ilgių vidutinę vertę  $\lambda_{vid}$ ;
- h) bangų kliūtį nuslinkite maksimaliai į dešinę pusę ir paspauskite pauzės mygtuką lauke [10]; su rulete išmatuokite atstumą tarp maksimalaus skaičiaus bangos amplitudės maksimumų, telpančių kairėje pusėje nuo užsklandos, ir apskaičiuokite 'teorinį' lazerio bangos ilgį  $\lambda_t$ ;
- i) užpildykite lentelę:

1 lentelė: Matavimų rezultatai lazerio bangos ilgio nustatymui

$d$ , nm	$L$ , nm	$\delta x_1$ , nm	$\theta$ , rad	$\sin \theta$	$\lambda$ , nm	$\lambda_{vid}$ , nm	$\lambda_t$ , nm

- j) pakartokite a)–i) punktus visoms jums nurodytoms spalvoms;
- k) palyginkite h) dalyje apskaičiuotus bangos ilgius su g) dalyje suskaičiuotais bangos ilgių vidurkiais.

## 2. Difrakcinio vaizdo kitimas keičiant atstumą tarp plyšių

- lauke [2] slankikliu pasirinkite tiriamą spalvą (nurodys darbų vadovas) ir padarykite slankiklio pozicijos „printscreen“;
- lauke [7] nustatykite  $a = 300$  nm plyšio plotį;
- nustatykite atstumą  $L$  tarp bangų kliūties ir ekrano tokį, koks buvo tik įjungus programą (nuslinkite atgal pagal užsirašytus duomenis arba iš naujo užkraukite simuliaciją);
- keisdami atstumą tarp plyšių  $d$  jums nurodytose ribose (kas 200 nm) išmatuokite, kaip pasikeičia atstumas tarp nulinės **ir visų kitų tuo metu stebimų eilių** ( $m = 1, 2, 3$ ) **maksimumų** bei apskaičiuokite lazerio bangos ilgį  $\lambda$  (bei vidutinę jo vertę  $\lambda_{vid}$  iš visų matavimų);
- užpildykite lentelę:

2 lentelė: Difrakcinio vaizdo kitimo matavimų rezultatai keičiant atstumą tarp plyšių

$L$ , nm	$d$ , nm	$\delta x_m$ , nm	$\theta$ , rad	$m$	$\sin \theta$	$\lambda$ , nm	$\lambda_{vid}$ , nm

- nubrėškite grafiką  $\delta x_1 = f(d)$  ( $\delta x_1$  – atstumas tarp nulinės ir pirmos eilės maksimumų).

## 3. Šviesos greičio vakuume nustatymas

- visų pirma panaikinkite bangų sklidimą trikdančią užsklandą – lauke [6] pasirinkite „No Barrier“;
- pasirinkite mažiausią bangos dažnį iš skalės [2];
- jeigu simuliacija dar nesustabdyta<sup>1</sup> – paspauskite pauzės mygtuką lauke [10], kad nebevyktų bangų judėjimas; jeigu ekranas nėra juodas, išvalykite jį išjungdami šaltinį (mygtukas [9] – bet po to būtinai vėl įjunkite!);
- lauke [1] pasirinkite laikmačio piktogramą ir nusitempkite ją ant bangų sklidimo lauko [A]; paspauskite paleidimo mygtuką ant laikmačio (kol simuliacija sustabdyta, laikas ekrane nesikeis);
- paleiskite simuliaciją – paspauskite paleidimo mygtuką lauke [10]; iš šaltinio pradės skliti šviesos bangos, o sklidimo laiką skaičiuos laikmatis; kai pirmasis bangos frontas priartės prie ekrano dešiniojo krašto sustabdykite simuliaciją – bangos frontas ir laikmatis sustos;
- virtualia rulete išmatuokite atstumą, kurį nusklido banga ( $L$ ), užsirašykite laikmačio duomenis ( $t$ ) bei iš šių duomenų apskaičiuokite bangos sklidimo greitį  $c$ ;
- eksperimentą pakartokite tris kartus (bangų sklidimo lauką [A] išvalysite išjungdami ir vėl įjungdami šviesos bangų generatorių, laikmatį – ant jo esančiu kairiuoju „grįžimo“ mygtuku, bet nepamirškite jį vėl paleisti dešiniuoju „paleidimo“ mygtuku) ir apskaičiuokite vidutinį bangos greitį  $c_{vid}$ ;

<sup>1</sup>Jei ekrane matote „paleidimo“ ► mygtuką – simuliacija sustabdyta, jei pauzės ■■ – simuliacija veikia.

- h) žingsnius b) – g) pakartokite žaliai spalvai (vidurinei skalės [2] vertei) ir violetinei spalvai (didžiausiai skalės [2] vertei) – nepamirškite įsitikinti, kad šviesos generatorius yra įjungtas, o laikmatis nunulintas ir įjungtas kiekvieną kartą prieš paleidžiant simuliaciją!;
- i) duomenis pateikite lentelėje (ir panaudokite formuluodami darbo išvadas):

3 lentelė: Matavimų rezultatai šviesos greičio vakuume nustatymui

Spalva	$L$ , nm	$t$ , fs	$c$ , m/s	$c_{vid}$ , m/s

### Literatūra:

1. J. Butrimaitė, A. Dementjev, R. Gadonas, J. Jasevičiūtė, V. Karenauskaitė, V. Sirutkaitis, V. Smilgevičius, *Fizika biomedicinos ir fizinių mokslų studentams, 2 dalis* (Vilniaus universiteto leidykla, Vilnius, 2004).
2. PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, <https://phet.colorado.edu>.