LIETUVOS FIZIKŲ DRAUGIJA
ŠIAULIŲ UNIVERSITETO
JAUNŲJŲ FIZIKŲ MOKYKLA „FOTONAS“

ŠVIESOS SKLIDIMAS. FOTOMETRIJA. LĘŠIAI IR OPTINIAI PRIETAISAI

II KURSO III TURO UŽDUOTYS IR METODINIAI NURODYMAI

LIETUVOS FIZIKŲ DRAUGIJA
ŠIAULIŲ UNIVERSITETO
JAUNŲJŲ FIZIKŲ MOKYKLA „FOTONAS“

Jūratė Blažienė

ŠVIESOS SKLIDIMAS. FOTOMETRIJA. LĘŠIAI IR OPTINIAI PRIETAISAI

II KURSO III TURO UŽDUOTYS IR METODINIAI NURODYMAI

Metodinė priemonė
2013–2014 mokslo metai

Šiauliai 2014

III TURAS

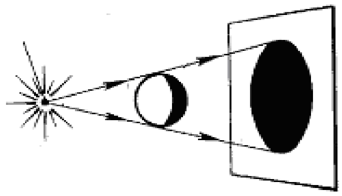
ŠVIESOS SKLIDIMAS. FOTOMETRIJA. LĘŠIAI IR OPTINIAI PRIETAISAI

Metodiniai nurodymai

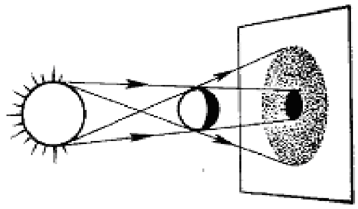
Šviesos sklidimo kryptį nurodo ***spinduliai*** – linijos, kuriomis sklinda šviesa.

Optikos skyrius, kuriame, remiantis šviesos spindulio sąvoka, nagrinėjami šviesos energijos sklidimo skaidriose aplinkose dėsniai, vadinamas ***geometrine optika***.

Vienalytėje aplinkoje šviesa sklinda tiesiai. Tiesiaeigiu šviesos sklidimu aiškinamas šešėlių susidarymas (1, 2 pav.).



1 pav.



2 pav.

Elektromagnetines bangas, kurių ilgis vakuume yra nuo 0,4 μm iki 0,76 μm (1 μm = $1\cdot10^{-6}$ m), žmogaus akies tinklainė suvokia kaip šviesą. Todėl tos bangos vadinamos ***regimąja spinduliuote,*** arba trumpiau – ***šviesa.*** Vienalytėse terpėse šviesa sklinda tiesiai ir tolygiai.

Šviesos energiją tiriantis optikos skyrius vadinamas ***fotometrija.***

Fotometrijoje pagrindiniai dydžiai yra šviesos srautas, šaltinio šviesos stipris ir paviršiaus apšvieta.

Sklindančios šviesos pernešamai energijai apibūdinti vartojama ***šviesos srauto*** sąvoka. Šviesos srautas Φ nusako, kokį energijos kiekį šviesa atneša į kūno paviršiaus plotą per vieną sekundę.

Šviesos srauto matavimo vienetas vadinamas liumenu $[\Phi] = 1\ \ell\text{m}$.

Šviesos stipris I yra fizikinis dydis, apibūdinantis šaltinio spinduliavimo intensyvumą. Šviesos stiprio matavimo vienetas vadinamas kandela $[I] = 1$ cd.

Paviršiaus ***apšvieta E*** vadinamas vienetiniam paviršiaus plotui tenkantis šviesos srautas:

$$E = \frac{\Phi}{S};$$

čia Φ – šviesos srautas, S – paviršiaus plotas. Apšvietos matavimo vienetas vadinamas liuksu $[E] = 1\,\ell\text{x} = 1\,\frac{\ell\text{m}}{\text{m}^2}$.

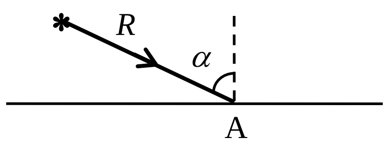
Šviesai krintant statmenai paviršiui, jo apšvieta yra tiesiog proporcinga šviesos stipriui I ir atvirkščiai proporcinga atstumo nuo šaltinio iki apšviečiamo taško kvadratui:

$$E = \frac{I}{R^2}.$$

Jeigu šviesa krinta kampu $\alpha \neq 0^\circ$, tai paviršiaus apšvieta išreiškiama formule:

$$E = \frac{I}{R^2}\cos\alpha;$$

čia kampas α, vadinamas ***kritimo kampu***, yra tarp spindulio ir statmens paviršiui, iškelto taške A (3 pav.).

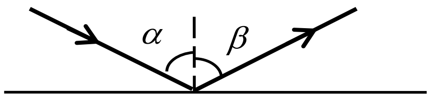


3 pav.

Šviesai atsispindint nuo lygių paviršių (veidrodinis atspindys) galioja ***atspindžio dėsnis:***

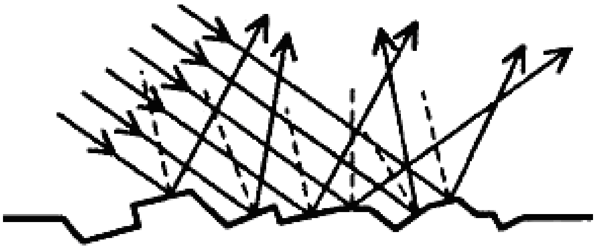
Krintantysis ir atsispindėjęs spindulys bei statmuo veidrodiniam paviršiui, iškeltas spindulio kritimo taške, yra vienoje plokštumoje.

Atspindžio kampas lygus spindulio kritimo kampui: $\alpha = \beta$ (4 pav.).



4 pav.

Nuo nelygių paviršių šviesa, kritusi lygiagrečių spindulių pluoštu, atsispindi visomis kryptimis – vyksta ***sklaidusis atspindys*** (5 pav.).



5 pav.

Tam tikro dažnio šviesos banga sklinda įvairiomis terpėmis greičiu, kurį nulemia tos terpės savybės.

Absoliutinis ***lūžio rodiklis n*** išreiškiamas šviesos greičio c vakuume ir šviesos greičio v terpėje santykiu:

$$n = \frac{c}{v}.$$

Jis parodo, kiek kartų šviesos greitis c vakuume yra didesnis už šviesos greitį v atitinkamoje terpėje.

Kadangi v priklauso nuo spinduliuotės dažnio, tai, jam kintant, kinta ir lūžio rodiklis.

Kai šviesa pereina dviejų skaidrių terpių ribą, pasikeičia spindulio kryptis – vyksta **šviesos *lūžimas.*** Šviesos lūžimo dėsnis formuluojamas taip:

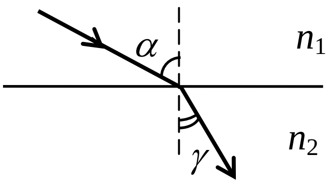
Krintantysis spindulys, lūžęs spindulys ir per kritimo tašką nubrėžtas statmuo terpes skiriančiam paviršiui yra vienoje plokštumoje.

Kritimo kampo sinuso ir lūžio kampo sinuso santykis toms dviem terpėms yra pastovus dydis:

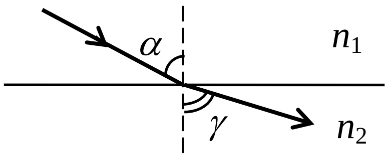
$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2};$$

čia n_{21} – santykinis lūžio rodiklis (arba antrosios terpės lūžio rodiklis pirmosios terpės atžvilgiu), n_2, n_1 – antrosios ir pirmosios terpės absoliutinis lūžio rodiklis, v_1 ir v_2 – šviesos greitis pirmojoje ir antrojoje terpėje.

Šviesai pereinant iš terpės, kurios lūžio rodiklis mažesnis, į terpę su didesniu lūžio rodikliu, lūžio kampas yra mažesnis už kritimo kampą, t. y. jeigu $n_2 > n_1$, tai $\gamma < \alpha$. Šiuo atveju lūžęs spindulys priartėja prie statmens terpes skiriančiam paviršiui (6 pav.).



6 pav.



7 pav.

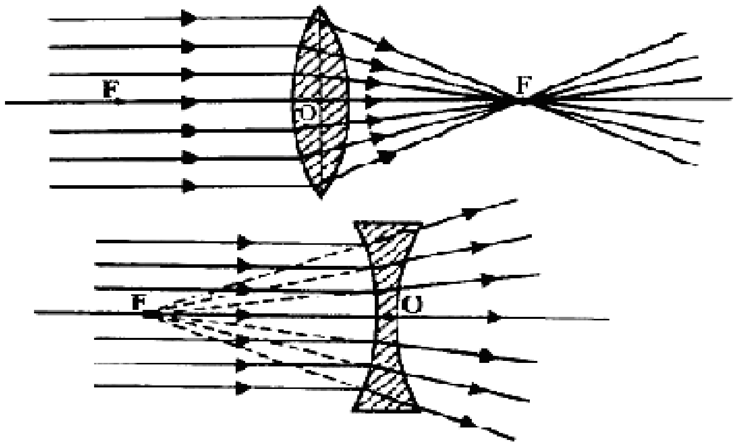
Ir atvirkščiai: šviesai pereinant iš terpės, kurios lūžio rodiklis yra didesnis, į terpę su mažesniu lūžio rodikliu, lūžio kampas yra didesnis už kritimo kampą, t. y. jeigu $n_1 > n_2$, tai $\gamma > \alpha$. Lūžęs spindulys nutolsta nuo statmens terpes skiriančiam paviršiui (7 pav.).

Šiuo atveju yra tam tikras ribinis kritimo kampas α_0, atitinkantis lūžio kampą $\gamma = 90°$.

Kritęs didesniu už ribinį kampu, spindulys nelūš, jis tik atsispindės visiškuoju atspindžiu. Kampas α_0 vadinamas ***ribiniu visiškojo atspindžio kampu.*** Jis priklauso nuo santykinio lūžio rodiklio. Jeigu antroji aplinka yra oras, tai ribinis visiškojo atspindžio kampas randamas iš formulės:

$$\sin\alpha_0 = \frac{1}{n_1}.$$

Skaidrus kūnas, apribotas dviejų sferinių paviršių, vadinamas ***lęšiu***. Lęšiai yra glaudžiamieji ir sklaidomieji (8 pav.).



8 pav.

Spinduliai, lygiagretūs su pagrindine optine ašimi, perėję glaudžiamąjį lęšį, susikerta taške, vadinamame ***pagrindiniu židiniu.*** Spinduliai, lygiagretūs su pagrindine optine ašimi, perėję sklaidomąjį lęšį, sklinda prasiskleidžiančių spindulių pluoštu, o šių spindulių tęsiniai susikerta židinyje, esančiame prieš lęšį. Atstumas nuo lęšio optinio centro iki židinio vadinamas ***židinio nuotoliu.***

Lęšio laužiamoji geba D yra dydis, atvirkščias lęšio pagrindinio židinio nuotoliui F:

$$D = \frac{1}{F}.$$

Laužiamosios gebos vienetas – ***dioptrija (*****D*****)***: $[D] = 1\,\mathrm{D} = \frac{1}{\mathrm{m}} = 1\,\mathrm{m}^{-1}$.

Glaudžiamųjų lęšių laužiamoji geba yra teigiama, sklaidomųjų – neigiama.

Jei optinę sistemą sudaro keli lęšiai, tai sistemos laužiamoji geba lygi lęšių laužiamųjų gebų sumai:

$$D = D_1 + D_2 + ...$$

Plonojo lęšio formulė užrašoma taip:

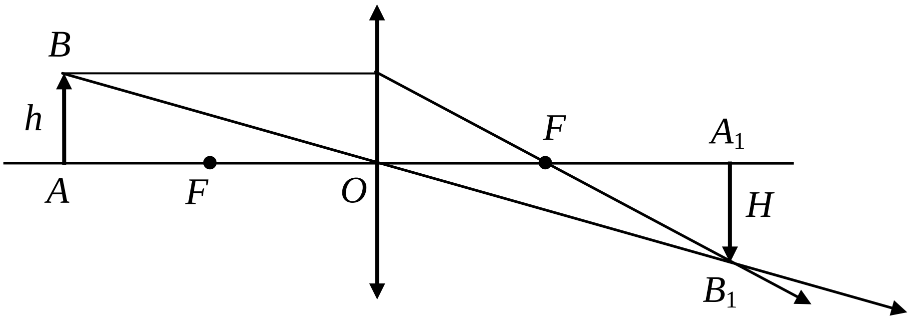
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D;$$

čia d – atstumas nuo daikto iki lęšio, f – atstumas nuo lęšio iki atvaizdo, F – židinio nuotolis, D – lęšio laužiamoji geba. Kai atvaizdas tikras, f yra teigiamas ($f > 0$), kai menamas, f rašomas su minuso ženklu ($f < 0$). Sklaidomojo lęšio židinio nuotolis yra neigiamas ($F < 0$), o glaudžiamojo – teigiamas ($F > 0$).

Lęšio tiesiniu didinimu Γ vadinamas atvaizdo ir daikto linijinių matmenų santykis (3.9 pav.):

$$\Gamma = \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{H}{h} \qquad \text{arba} \qquad \Gamma = \frac{|f|}{|d|};$$

čia $A_1B_1 = H$ – atvaizdo aukštis, $AB = h$ – daikto aukštis, f – atstumas nuo atvaizdo iki lęšio, d – atstumas nuo daikto iki lęšio.



9 pav.

- Kuo ***didesnis*** atstumas nuo lęšio iki atvaizdo lyginant su atstumu nuo lęšio iki daikto, tuo didesnis lęšio didinimas.
- Jei optinę sistemą sudaro ***keli lęšiai,*** tai sistemos tiesinis didinimas:

$$\Gamma = \Gamma_1 \cdot \Gamma_2 \cdot \Gamma_3 \cdot ...$$

čia Γ_1 – pirmojo lęšio didinimas, Γ_2 – antrojo lęšio didinimas, Γ_3 – trečiojo lęšio didinimas ir t. t.

Baltos šviesos skaidymasis į spektrą vadinamas ***dispersija.***

Šviesos dispersija – tai aplinkos lūžio rodiklio priklausomybė nuo šviesos bangos ilgio.

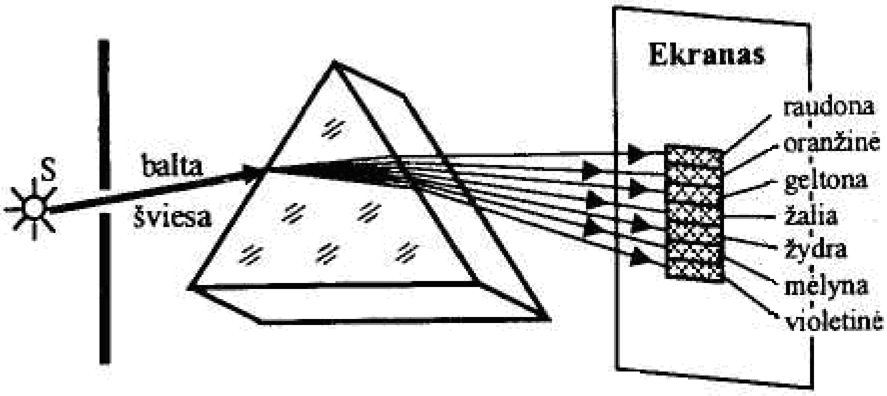
Skirtingų bangos ilgių šviesa tam tikroje aplinkoje sklinda skirtingais greičiais ir skirtingai lūžta.

Balta šviesa yra sudėtinė, todėl pereidama stiklinės prizmės ribą išsiskaido į septynias vaivorykštės spalvas: raudoną, oranžinę, geltoną, žalią, žydrą, mėlyną ir violetinę (10 pav.).

Raudonos spalvos šviesos spindulio bangos ilgis yra didžiausias ($\lambda \approx 700$ nm) ir ji, perėjusi stiklinę prizmę, mažiausiai lūžta.

Violetinės spalvos šviesos spindulio bangos ilgis yra mažiausias ($\lambda \approx 400$ nm) ir ji, perėjusi stiklinę prizmę, labiausiai lūžta.

Surinkus spalvotus spektro spindulius į vieną, vėl gaunama balta šviesa. ***Skirtingų spalvų*** šviesos spindulių ***bangos ilgiai*** (dažniai) yra nevienodi.



10 pav.

Monochromatine vadiname tokią šviesą, kuri turi tik vieną dažnį (vieną bangos ilgį). Monochromatinė šviesa pereidama stiklinę prizmę keičia sklidimo greitį, bangos ilgį, tačiau dažnis lieka tas pats. Nuo virpesių dažnio priklauso šviesos spindulio spalva.

Spalva – regėjimo pojūtis, kurį akyje sukelia tam tikro dažnio elektromagnetinė banga:

- neskaidrūs kūnai yra tokios spalvos, kokios spalvos spindulius jie atspindi;
- skaidrūs kūnai yra tokios spalvos, kokios spalvos spindulius jie praleidžia.

Spalvų filtravimas ir maišymas. Jei baltąja šviesa apšviečiamas spalvotas filtras, pro jį prasiskverbia tik filtro spalvos (to paties bangos ilgio intervalo) šviesa, o kitų spalvų šviesa sugeriama. Tai filtravimas, arba spalvų skaidymas. Jei tokiu būdu išskirta dviejų skirtingų spalvų šviesa nukreipiama į baltą paviršių, akimi matoma trečia spalva (dviejų spalvų mišinys). Tai suminis spalvų maišymas (spalvų sudėtis).

Bangos sklidimo greitis apskaičiuojamas:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

bei

$$v = \lambda \cdot f;$$

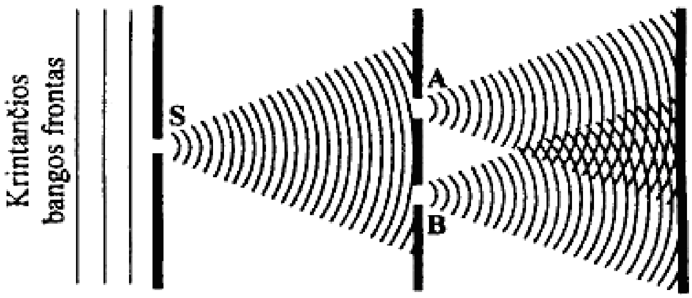
čia v – greitis, f – dažnis, T – periodas.

Vakuume bet kokio bangos ilgio šviesa sklinda tuo pačiu greičiu:

$$v = 299792458 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

Tam tikroje terpėje (vandenyje, stikle ir t. t.) šviesos greitis mažėja priklausomai nuo sklindančios bangos ilgio.

Bangų interferencija – tai koherentinių bangų šaltinių sukeltų bangų sudėtis (11 pav.). ***Koherentiniais*** laikomi šaltiniai, skleidžiantys vienodo dažnio bangas, kurių fazių skirtumas laikui bėgant nekinta. Šviesos interferencijos rezultatas yra didesnis ar mažesnis šviesos stipris taške, kuriame viena banga užkloja kitą. Pastatę ekraną ten, kur koherentinės bangos užkloja viena kitą, gausime šviesių (interferencijos maksimumų) ir tamsių (interferencijos minimumų) ruožų seką.



11 pav.

Interferencijos ***maksimumai*** susidaro tose erdvės vietose, kur bangų eigos skirtumas lygus lyginiam pusbangių skaičiui:

$$\Delta d = 2k\frac{\lambda}{2};$$

čia $k = 0, 1, 2, 3, ...$ – sveikasis skaičius, λ – šviesos bangos ilgis.

Interferencijos ***minimumai*** yra tose erdvės vietose, kur bangų eigos skirtumas lygus nelyginiam pusbangių skaičiui:

$$\Delta d = (2k+1)\frac{\lambda}{2}.$$

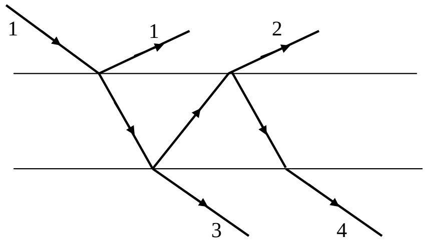
Monochromatinio šaltinio spinduliams pereinant daugelio plyšių sistemą, vadinamą difrakcine gardele, gaunamas ***difrakcinis vaizdas,*** kurį sudaro interferenciniai maksimumai tamsiame fone. Kai šviesa krinta statmenai į difrakcinę gardelę, maksimumų padėtį nusako lygtis:

$$d \cdot \sin\varphi = k \cdot \lambda;$$

čia d – gardelės konstanta, k – maksimumo eilės numeris, λ – šviesos bangos ilgis.

Difrakcine gardele galima labai tiksliai išmatuoti bangos ilgį. Jeigu gardelės konstanta yra žinoma, tai bangos ilgį rasime, išmatavę kampą φ atitinkamo maksimumo kryptimi.

Šviesos interferencija paaiškinamas balta šviesa apšviestų vabzdžių sparnų, muilo burbulų, riebalų ar tepalų plėvelių vandens paviršiuje nuspalvinimas vaivorykštės spalvomis, nors šiaip jie bespalviai. Mat dalis šviesos bangos atsispindi nuo plėvelės, dalis, perėjusi ją, atsispindi nuo kito jo paviršiaus, o likusioji šviesos dalis visiškai pereina plėvelę (12 pav.). Nuo plėvelės atsispindėjusios bangos 1 ir 2 bei plėvelę perėjusios bangos 3 ir 4 yra koherentinės ir tarpusavyje interferuoja.

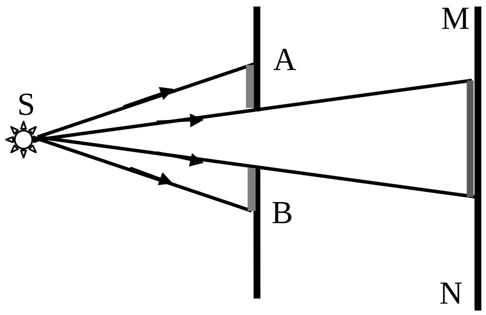


12 pav.

Interferencijos rezultatas priklauso nuo plėvelės storio ir spindulių kritimo kampo. Todėl skirtingų ilgių bangų interferencijos sąlygos tenkinamos skirtingose vietose, ir plėvelė atrodo spalvota.

ŠVIESOS DIFRAKCIJA

Šviesos užlinkimas už kliūties vadinamas difrakcija. Jei iš šaltinio S sklindantį šviesos pluoštelį praleisime pro skylutę *AB*, tai ekrane gausime šviesią dėmę (13 pav.). Tos dėmės skersmuo parodo, kokio pločio šviesos pluoštas krinta į ekraną *MN*. Sumažinus skylę *AB*, sumažėja ir dėmė, atseit siaurėja šviesos spindulių pluoštas. Tačiau pradedant nuo tam tikro skylės dydžio, skylei mažėjant dėmelė jau nemažėja, o atvirkščiai – ima didėti. Be to, ji pasidaro neryški ir netolygiai apšviesta. Dėmelėje atsiranda eilė pakaitomis einančių šviesių ir tamsių žiedų, ir jie užima daug didesnę sritį, negu turėtų užimti braižant geometriškai pagal šviesos tiesiaeigio plitimo faktą.



13 pav.

Difrakcijos reiškiniai taikomi difrakcinėje gardelėje. Aukštos kokybės difrakcinėje gardelėje kiekviename milimetre įrėžiama po tūkstantį ir daugiau rėžių. Vieno skaidraus plyšio ir rėžio bendras plotis vadinamas difrakcinės gardelės konstanta.

Pereidama pro gardelės plyšius šviesa difraguoja ir už kiekvieno plyšio plinta visomis kryptimis. Taigi kiekvienas plyšys tampa koherentinių bangų šaltiniu, ir ekrane matomas stabilus tų bangų interferencinis vaizdas. Apšvietę gardelę lygiagrečiais monochromatiniais spinduliais, ekrane matome ryškias siauras tos spalvos linijas (14 pav.).

Raudona	Violetinė	Balta	Violetinė	Raudona

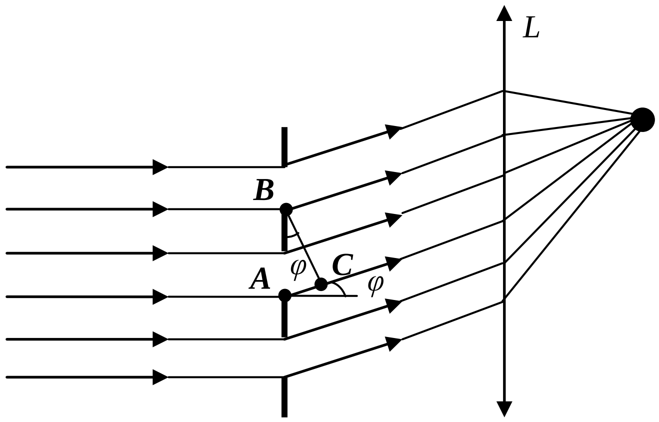
k = 1 k = 0 k = 1

14 pav.

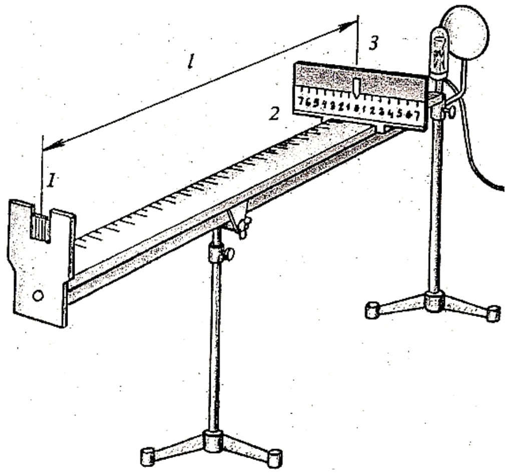
Spektro centre $k = 0$ matysime tos spalvos maksimumą, nes į centrinį maksimumą atėjusių bangų eigos skirtumas bus lygus 0. Šalia susidarys $k = 1$ pirmasis tos spalvos maksimumas. Jame atėjusių bangų eigos skirtumas bus viena banga, toliau susidarys $k = 2$ antrasis maksimumas, jame atėjusių bangų eigos skirtumas bus dvi bangos... Apšvietę gardelę balta šviesa centrinėje dalyje matysime baltą juostą, nes apšviestumo maksimumo sąlyga išlieka visų ilgių bangoms. Šalia susidarys $k = 1$ pirmasis maksimumas, tačiau jame matysime visas vaivorykštės spalvas. Pirmame maksimume visų spalvų bangų eigos skirtumas bus viena banga, bet kadangi įvairių bangų ilgiai yra skirtingi, tai šios bangos interferuos skirtingose vietose. Violetinės spalvos bangos ilgis yra mažiausias, todėl ją matysime mažiausiai nutolusią nuo centrinio maksimumo. Difrakcine gardele gautas spektras apšvietus balta šviesa.

Išnagrinėkime 15 pavyzdį, kada nuo plyšių sklindančios bangos stiprina viena kitą. Nagrinėsime kampu φ sklindančias bangas. Nuo gretutinių plyšių kraštų sklindančių spindulių eigos skirtumas lygus atkarpos *AC* ilgiui. Jeigu šioje atkarpoje tilptų sveikasis bangų ilgių skaičius, tai sudedamos visų plyšių bangos stiprintų viena kitą. Rasime trikampio *ABC* statinį *AC*. Maksimumus stebėsime kryptimis, kurias nusako kampo φ vertės, tenkinančios sąlygą:

$$d \sin\varphi = k\lambda .$$



15 pav.



16 pav.

Įstatykime gardelę (16 pav.) 1 į rėmelį ir žiūrėkime pro ją į skalės 2 apšviestą plyšį 3. Abipus šviesaus ruožo matysime išsidėsčiusius difrakcinius spektrus. Jeigu išmatuosime atstumą ℓ nuo difrakcinės gardelės iki skalės ir tiriamųjų spindulių nuokrypą *h* nuo centrinio balto ruožo, laikydami, kad

$$\sin\varphi \approx \operatorname{tg}\varphi,$$

$$tg\varphi = \frac{h}{\ell},$$

galėsime užrašyti

$$k\lambda = d\,\frac{h}{\ell},$$

Su difrakcine gardele galime tiksliai išmatuoti bangos ilgį.

ŠVIESOS DALELĖS, FOTONAI

Šviesa sklinda kaip bangos, o spinduliuojama ir sugeriama apibrėžtais energijos kiekiais – kvantais. Vadinasi, banga turi dalelės savybių. Toji dalelė pavadinta fotonu. Vieno kvanto energija apskaičiuojama pagal formulę:

$$E = h\,f\;;$$

čia *E* – kvanto energija, f – bangos dažnis. Planko konstanta (h = 6,626·10^{-34} Js).

Žinant, kad

$$v = \frac{c}{\lambda};$$

(čia *c* – šviesos greitis, λ – bangos ilgis), kvanto energija gali būti išreikšta:

$$E = h\frac{c}{\lambda}.$$

Ultravioletinių spindulių dažnis yra didesnis negu raudonųjų spindulių. Vadinasi, ultravioletinių spindulių kvanto energija yra didžiausia. Todėl nesunkiai galime paaiškinti, kodėl dažai blunka veikiami ultravioletinių spindulių, bet nekinta veikiami regimosios šviesos, o ryškinant fotonuotraukas laboratorijos būna apšviestos raudona šviesa.

Fotonas turi masę. Fotono masė apskaičiuojama pagal reliatyvumo teorijos energijos formulę:

$$m = \frac{E}{c^2};$$

čia *m* – fotono masė, *E* – fotono energija, *c* – šviesos greitis.

Kartu fotonas turi vieną savybę – jis neegzistuoja rimties būsenoje, atsiradęs iš karto juda šviesos greičiu.

Fotoelektriniu efektu (fotoefektu) vadinamas šviesos dalelių (fotonų) energijos perdavimas medžiagos elektronams, kurie dėl to arba išlekia iš jos (išorinis fotoefektas), arba joje tampa laisvi (vidinis fotoefektas). Energijos tvermės dėsnis fotoefektui išreiškiamas Einšteino lygtimi:

$$h\,f = A + \frac{m\,v^2}{2};$$

čia hf – kvanto energija, A – elektrono išlaisvinimo iš metalo darbas, $mv^2/2$ – elektrono kinetinė energija.

Kiekvienoje medžiagoje fotoefektas vyksta tik tada, kai krintančios šviesos dažnis yra didesnis už tam tikrą (mažiausią) vertę, o fotono energija lygi išlaisvinimo darbui. Todėl fotoefektas vyksta, jeigu ir elektronui nebus suteikta kinetinė energija. Fotoefekto raudonąją ribą atitinkantis šviesos virpesių dažnis randamas pagal lygtį:

$$hf_{\min} = A \quad \text{arba}$$

$$h\frac{c}{\lambda_{\max}} = A,$$

kai $f < f_{\min}$ (arba $\lambda > \lambda_{\max}$), fotoefektas nevyksta. Fotonų energija dažnai išreiškiama elektronvoltais 1 eV = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J.

.

Uždavinių sprendimo pavyzdžiai

1 pavyzdys

Perdegusią 100 cd šviesos stiprio lempą pakeitė į 25 cd lempą. Kaip pasikeis paviršiaus apšvieta, jei atstumas iki paviršiaus bus sumažintas 2 kartus?

$\frac{E_1}{E_2}$	$I_1 = 100$ cd $I_2 = 25$ cd $R_1 = 2R_2$

Paviršiaus apšvieta apskaičiuojama pagal formulę

$$E = \frac{I}{R^2}.$$

Tai abiem atvejais:

$$E_1 = \frac{I_1}{R_1^2}$$

ir

$$E_2 = \frac{I_2}{R_2^2}.$$

Palyginame apšvietas:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_1}{R_1^2} \cdot \frac{R_2^2}{I_2} = \frac{I_1 \cdot R_2^2}{4R_2^2 \cdot I_2} = \frac{I_1}{4 \cdot I_2} = \frac{100cd}{4 \cdot 25cd} = 1.$$

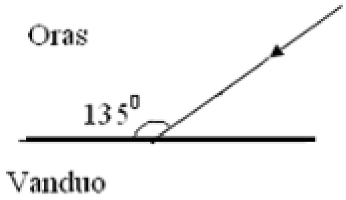
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_1}{4 \cdot I_2},$$

$$\frac{E_1}{E_2} = 1.$$

Atsakymas: $\frac{E_1}{E_2} = 1.$ Apšvieta nepakis.

2 pavyzdys

Į vandens paviršių šviesos spindulys krinta tam tikru kampu (17 pav.). Nubraižykite tolesnę šviesos spindulio eigą. Apskaičiuokite kritimo bei lūžio kampus.



17 pav.

α	$n_o = 1$
γ	$n_v = 1{,}33$

Iš brėžinio (17 pav.) matyti, kad:

$$\alpha = 135^0 - 90^0 = 45^0.$$

$$\alpha = 45^0.$$

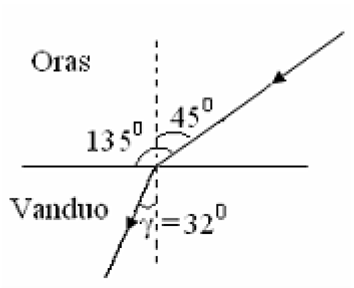
Pagal šviesos spindulių lūžimo dėsnį (18 pav.):

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{n_v}{n_o} = n_v.$$

Iš čia:

$$\sin\gamma = \frac{\sin\alpha}{n_v}.$$

$$\gamma = 32^0.$$



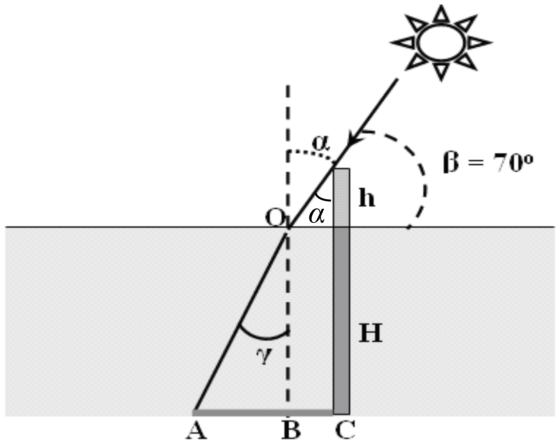
18 pav.

Atsakymas: $\alpha = 45^0$ ir $\gamma = 32^0$.

3 pavyzdys

Į 2 metrų gylio ežero dugną įkaltas stulpas, kurio 0,5 m kyšo iš vandens (19 pav.). Apskaičiuokite, kokio ilgio yra stulpo šešėlis ežero dugne, jei Saulės spinduliai su vandens paviršiumi sudaro 70° kampą.

AC	$H = 2$ m
	$h = 0{,}5$ m
	$\beta = 70°$
	$n = 1{,}33$



19 pav.

Saulės spindulys, pasiekęs vandens paviršių, lūžta. Taikome šviesos lūžio dėsnį:

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\gamma},$$

čia

$$\alpha = 90^\circ - \beta,$$

$$\alpha = 20^\circ.$$

Iš čia

$$\sin\gamma = \frac{\sin\alpha}{n} = \frac{\sin 20°}{1{,}33} = 0{,}2571;$$

$$\gamma = \arcsin(0{,}2571) \approx 15°;$$

$$\gamma \approx 15°.$$

Iš brėžinio (19 pav.) matome, kad stulpo šešėlio ilgis yra AC. Jis lygus:

$$AC = AB + BC,$$

čia

$$AB = H \cdot tg\gamma,$$

o

$$BC = h \cdot tg\alpha.$$

Tuomet:

$$AC = H \cdot tg\gamma + h \cdot tg\alpha$$

Apskaičiuojame:

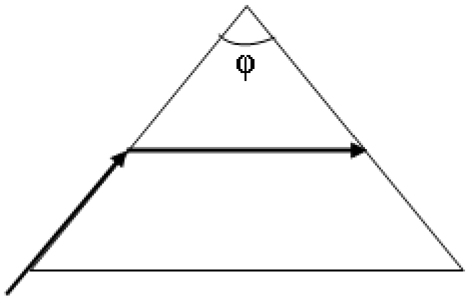
$$AC \approx 0{,}71 \text{ m.}$$

Atsakymas: $AC \approx 0{,}71$ m.

4 pavyzdys

Šviesos spindulys krinta išilgai lygiašonės stiklinės trikampės prizmės briaunos (20 pav.). Apskaičiuokite prizmės laužiamąjį kampą φ ir nubrėžkite tolimesnę spindulio eigą.

φ	$n_{st} = 1{,}59$ $n_{oro} = 1$



20 pav.

a) Lūžio kampas γ apskaičiuojamas pritaikant lūžio dėsnio formulę:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{n_2}{n_1},$$

kur pirmoji aplinka yra oras, o antroji aplinka stiklas:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{n_{st}}{n_{oro}}.$$

Išreiškiamas lūžio kampas γ:

$$\sin\gamma = \frac{\sin\alpha \cdot n_{oro}}{n_{st}} = \frac{\sin 90^o \cdot 1}{1{,}59} = 0{,}6289.$$

$$\gamma = 39^o.$$

Iš brėžinio matyti (21 pav.), jog

$$\beta = 90^o - \gamma$$

Iš trikampio ΔABC matome, jog

$$180^o = \beta + 90^o + \frac{\varphi}{2}.$$

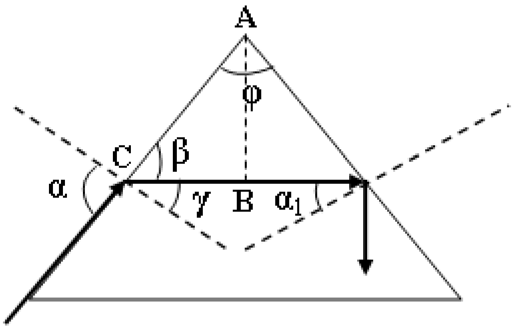
Iš čia gauname

$$\varphi = 2\beta,$$

tai prizmės laužiamasis kampas bus lygus

$$\varphi = 2 \cdot 39^o = 78^o$$

$$\varphi = 78^o.$$



21 pav.

b) Norint nustatyti tolimesnę spindulio eigą, reikia pritaikyti lūžio dėsnį ir apskaičiuoti išeinančio iš prizmės spindulio lūžio kampą γ_1.

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\gamma_1} = \frac{n_2}{n_1},$$

kur pirmoji aplinka yra stiklas, o antroji aplinka oras:

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\gamma_1} = \frac{n_{oro}}{n_{st}}.$$

Išreiškiame lūžio kampą γ_1.

$$\sin\gamma_1 = \frac{\sin\alpha \cdot n_{st}}{n_{oro}} = \frac{\sin 39^o \cdot 1{,}59}{1} = 1{,}00011$$

$$\sin\gamma_1 = 1{,}00011.$$

Atsakymas mums parodo, jog įvyks visiškais atspindys ir spindulys atsispindės nuo antrosios prizmės briaunos (21 pav.)

Atsakymas: a) $\varphi = 78^o$

b) Spindulys atsispindės nuo antrosios prizmės briaunos.

5 pavyzdys

Glaudžiamuoju lęšiu gautas tikras du kartus padidintas daikto atvaizdas, kai jo atstumas iki lęšio *f* = 30 cm. Apskaičiuokite lęšio židinio nuotolį bei atstumą nuo lęšio iki daikto.

F	$\Gamma = 2$
d	$f = 30$ cm

Lęšio didinimas lygus:

$$\Gamma = \frac{|f|}{|d|}. \quad (1)$$

Iš plono lęšio formulės išsireiškiame židinio nuotolį F:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (2)$$

Iš (1) formulės išsireiškiame

$$d = \frac{f}{\Gamma}. \quad (3)$$

Į (2) formulę įrašome (3) formulę:

$$\frac{1}{F} = \frac{\Gamma}{f} + \frac{1}{f}.$$

$$\frac{1}{F} = \frac{\Gamma + 1}{f}.$$

$$F = \frac{f}{\Gamma + 1}.$$

$F = 10$ cm.

Iš (3) apskaičiuojamas daikto nuotolis iki lęšio:

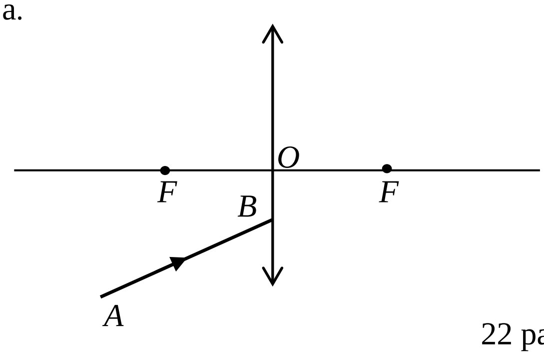
$d = 15$ cm.

Atsakymas: $F = 10$ cm, $d = 15$ cm.

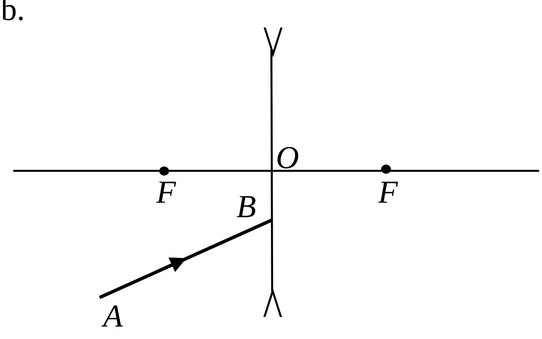
6 pavyzdys

Brėždami raskite pro glaudžiamąjį (22 pav. a.) ir sklaidomąjį (22 pav. b.) lęšį praėjusio spindulio AB kelią.

a.



b.

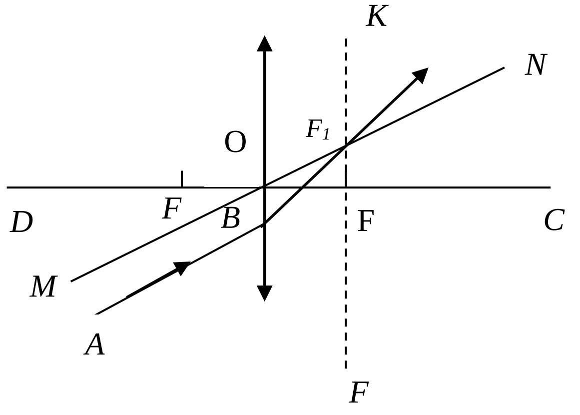


22 pav.

Sprendimas:

a. Brėžimo eiga (23 pav.):

1. Nubrėžiame šalutinę optinę ašį *MN*, kuri yra lygiagreti spinduliui *AB*.
2. Statmenai į pagrindinę optinę ašį *DC* nubrėžiame židinio plokštumą per *F*.
3. Pro lęšį praėjęs spindulys eis per šalutinį židinį F_1.

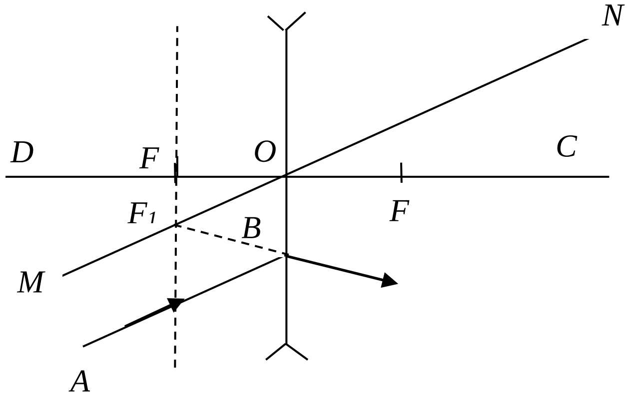


23 pav.

b. Brėžimo eiga (24 pav.):

1) Nubrėžiame šalutinę optinę ašį *MN,* kuri yra lygiagreti spinduliui *AB*.
2) Statmenai į pagrindinę optinę ašį *DC* nubrėžiame židinio plokštumą per židinį *F* (kairėje).

Pro lęšį praėjęs spindulys išsisklaidys taip, kad jo pratęsimai eitų per židinį F_1.



24 pav.

7 pavyzdys

Fotoaparatu, kurio židinio nuotolis 5 cm, iš 10 m nuotolio 0,001 s ekspozicija nufotografuotas judantis čiuožėjas. Vaizdas nuotraukoje pasislinkęs 0,0075 mm. Koks buvo čiuožėjo greitis?

v	$F = 5$ cm $= 0{,}05$ m $d = 10$ m $t_{eksp} = 0{,}001$ s $s_1 = 0{,}075$ mm $= 75 \cdot 10^{-6}$ m

Fotoaparato didinimas:

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{s_1}{s}. \qquad (1)$$

Per ekspozicijos laiką t_e čiuožėjas nučiuoš atstumą

$$s = v \cdot t_e. \qquad (2)$$

Į (1) formulę įrašome (2):

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{s_1}{v \cdot t_e};$$

$$\frac{f}{d} = \frac{s_1}{v \cdot t_e};$$

$$v = \frac{s_1 \cdot d}{f \cdot t_e}. \qquad (3)$$

Iš plono lęšio formulės išsireiškiame atvaizdo nuotolį fotoaparate:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f};$$

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{F}-\frac{1}{d};$$
$$\frac{1}{f}=\frac{d-F}{F\cdot d};$$
$$f=\frac{F\cdot d}{d-F}. \qquad (4)$$

Į (3) formulę įrašome (4):

$$v=\frac{s_1\cdot d}{\frac{F\cdot d}{d-F}\cdot t_e}=\frac{d\cdot s_1(d-F)}{F\cdot d\cdot t_e}=\frac{s_1(d-F)}{F\cdot t_e};$$
$$v=\frac{s_1(d-F)}{F\cdot t_e}.$$

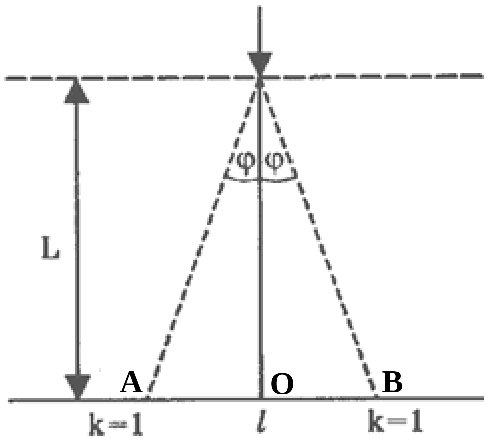
Apskaičiuojame:

$$v\approx 15\frac{m}{s}.$$

Atsakymas: $v\approx 15\frac{m}{s}$.

8 pavyzdys

Vienspalvė šviesa, kurios bangos ilgis λ = 0,75 μm, krinta statmenai į difrakcinę gardelę (25 pav.). Apskaičiuokite difrakcinės gardelės konstantą, jei pirmos eilės maksimumai ekrane susidaro 30,3 cm atstumu vienas nuo kito. Raskite gardelės rėžių skaičių viename milimetre. Ekranas yra 1 m atstumu nuo gardelės.



25 pav.

d N	L = 1 m λ = 0,75 μm =.0,75·10^{-6} m k = 1 ℓ = 30,3 cm = 30,3·10^{-2} m $\ell_1 = 1\,\text{mm} = 0{,}001\,\text{m}$

Užrašome difrakcinės gardelės maksimumo susidarymo sąlygą:

$$d\cdot\sin\varphi=k\cdot\lambda, \qquad (1)$$

kai k = 1. Čia φ – spindulių difrakcijos kampas, d – difrakcinės gardelės konstanta, λ – bangos ilgis.

Atstumas AB lygus ℓ, o atstumas AO lygus $\ell_1=\frac{\ell}{2}$.

Kadangi $\ell_1=\frac{\ell}{2}$ daug mažesnis už atstumą L, tai $sin\varphi\approx tg\varphi$, tai

$$tg\varphi=\frac{\ell_1}{L}=\frac{\ell}{2L} \qquad (2)$$

Į (1)formulę įstatome (2) formulę:

$$d\cdot\frac{\ell}{2L}=k\cdot\lambda,$$

iš čia

$$d = \frac{2Lk\lambda}{\ell}.$$

Apskaičiuojame:

$$d = \frac{2kL\lambda}{\ell};$$

$$d = 4{,}95 \cdot 10^{-6} \text{ m}.$$

Difrakcinės gardelės konstanta lygi:

$$d = 4{,}95 \cdot 10^{-6} \text{ m}.$$

Apskaičiuojame rėžių skaičių viename milimetre:

$$N = \frac{\ell_2}{d};$$

$$N = 202.$$

Atsakymas: $d = 4{,}95 \cdot 10^{-6}$ m, $N = 202$.

9 pavyzdys

Spindulių fotono energija lygi 6,63·10^{-19} J. Apskaičiuokite šių spindulių bangos ilgį.

λ	$E = 6{,}63 \cdot 10^{-19}$ J $c = 3 \cdot 10^{8}$ m/s $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Js

Fotono energija

$$E = h\nu$$

Šviesos dažnį ir bangos ilgį sieja formulė

$$\nu = \frac{c}{\lambda}.$$

Taigi

$$E = h\frac{c}{\lambda}.$$

Iš šios formulės:

$$\lambda = \frac{hc}{E},$$

$$\lambda = 300 \text{ nm}.$$

Atsakymas: $\lambda = 300$ nm.

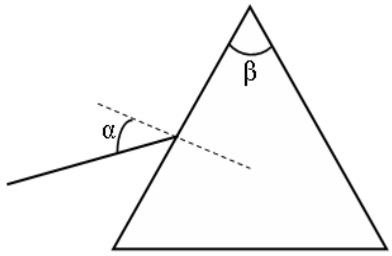
II turo
III TURO UŽDAVINIAI

1. Lempa yra 2 metrų aukštyje virš stalo. Kaip pakis stalo paviršiaus apšvieta, jei lempą pakelsime dar 1 metrą į viršų?

2. Saulės spinduliai krinta į Žemės paviršių ir su horizontu sudaro 60^0 kampą. Kaip reikia pastatyti plokščią veidrodį, kad atsispindėję spinduliai būtų horizontalūs?

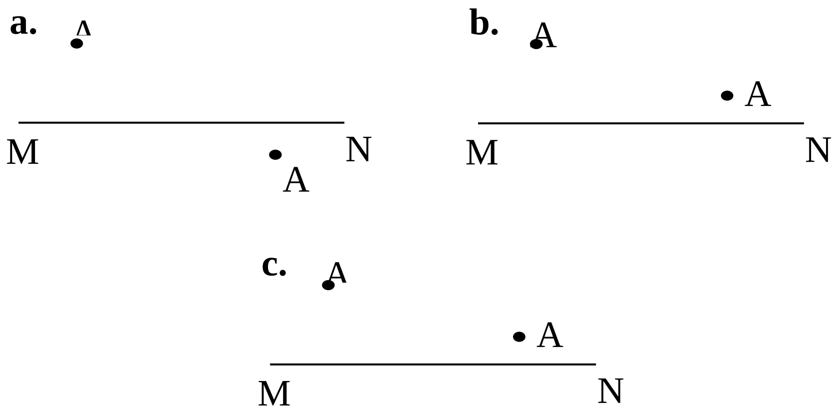
3. Į 2 m gylio tvenkinio dugną įkalta 1,2 m aukščio kartis. Kokio ilgio šešėlį ji meta tvenkinio dugne? Saulės spinduliai su horizontu sudaro 40° kampą.

4. Į stiklinę prizmę, kurios laužiamasis kampas 45^o, šviesa krinta 30^o kampu (26 pav.). Kokiu kampu lūžęs spindulys išeina iš prizmės?



26 pav

5. 27 paveikslo a, b ir c dalyse pavaizduotas šviečiantis taškas A ir jo atvaizdas A_1. MN tai pagrindinė optinė ašis. Raskite: a) kur stovi lęšis; b) lęšio rūšį; c) lęšio židinius.



27 pav.

6. Atstumas tarp daikto ir lęšio 2 m. Daikto atvaizdas susidaro 0,8 m atstumu nuo lęšio. Nustatykite, kur susidarys jo atvaizdas, jei šį daiktą pastumsime 20 cm link ekrano?

7. Atstumas nuo daikto iki lęšio ir atstumas nuo lęšio iki vaizdo yra lygūs, jų skaitinės vertės po 0,5 m. Kiek kartų padidėtų vaizdo aukštis, jei daiktas būtų pastumtas 20 cm atstumu link lęšio?

8. 1 cm aukščio daiktas pastatytas prieš glaudžiamąjį lęšį ir ekrane gautas 6 cm aukščio vaizdas. Daiktas buvo pastumtas 6 cm link lęšio. Tada gavosi menamas vaizdas, kurio aukštis 3 cm. Raskite lęšio židinio nuotolį.

9. Plonas lęšis ekrane sudaro 6 kartus padidintą daikto atvaizdą. Nekeičiant lęšio padėties, o ekraną atstūmus 4,5 cm atstumu išilgai lęšio optinės ašies, ekrane susidaro to paties daikto 3 kartus padidintas atvaizdas. Koks lęšio židinio nuotolis?

10. Švytintis daiktas yra L = 420 cm atstumu nuo ekrano. Kur reikia pastatyti glaudžiamąjį lęšį, kad atvaizdo aukštis ekrane būtų 20 kartų didesnis už daikto aukštį? Apskaičiuokite lęšio laužiamąją gebą.

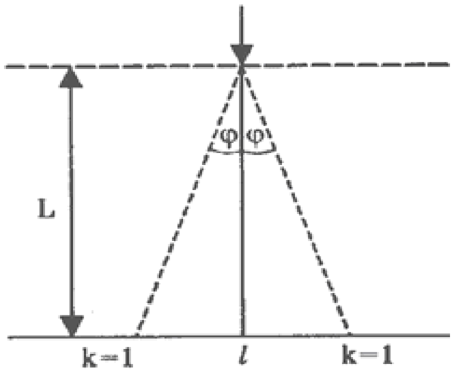
11. Fotoaparato objektyvo židinio nuotolis yra 10 cm. Valtyje esantis žmogus fotografavo žuvį, gulinčią ant ežero dugno tiesiai po juo, esančią 3 m gylyje. Objektyvo atstumas iki vandens paviršiaus 50 cm. Kiek kartų žuvies atvaizdo dydis juostelėje bus mažesnis už pačią žuvį?

12. Ekrane glaudžiamuoju lęšiu gaunamas ryškus žvakės atvaizdas. Atstumas nuo žvakės iki ekrano 2 metrai. Apskaičiuokite lęšio židinio nuotolį, jei žvakės atvaizdas tris kartus didesnis už pačią žvakę.

13. Kaip žmogaus organizmas reaguoja į rentgeno spindulius ir kokiais fizikiniais principais pagrįsta rentgenoskopija, taikoma medicinoje ir technikoje.

14. Difrakcinė gardelė turi 120 rėžių 1mm atstume. Raskite monochromatinės šviesos, krintančios į difrakcinę gardelę, bangos ilgį. Kampas tarp dviejų pirmos eilės maksimumų lygus 8^o. (28 pav.).

15. Raudonos šviesos bangos ilgiui išmatuoti panaudojama difrakcinė gardelė. Pro raudoną šviesos filtrą praleista šviesa buvo statmenai nukreipta į difrakcinę gardelę. Apskaičiuokite raudonos šviesos bangos ilgį, jei ekrane, nutolusiame 1 m nuo gardelės, matosi pirmosios eilės maksimumai 15,2 cm atstumu vienas nuo kito.



28 pav.

16. Viename taške susideda dvi koherentinės bangos, nuėjusios kelius, kurių skirtumas yra 1,2 μm. Sustiprės ar susilpnės tame taške šviesa, kurios bangos ilgis 480 nm, 600 nm?

17. Iš metalo elektronai gali išlėkti tiktai įgiję tiek energijos, kad galėtų atlikti išlaisvinimo darbą. Apskaičiuokite: a) kokio mažiausio dažnio fotonas gali išmušti elektronus iš nikelio; b) koks jų bangos ilgis.

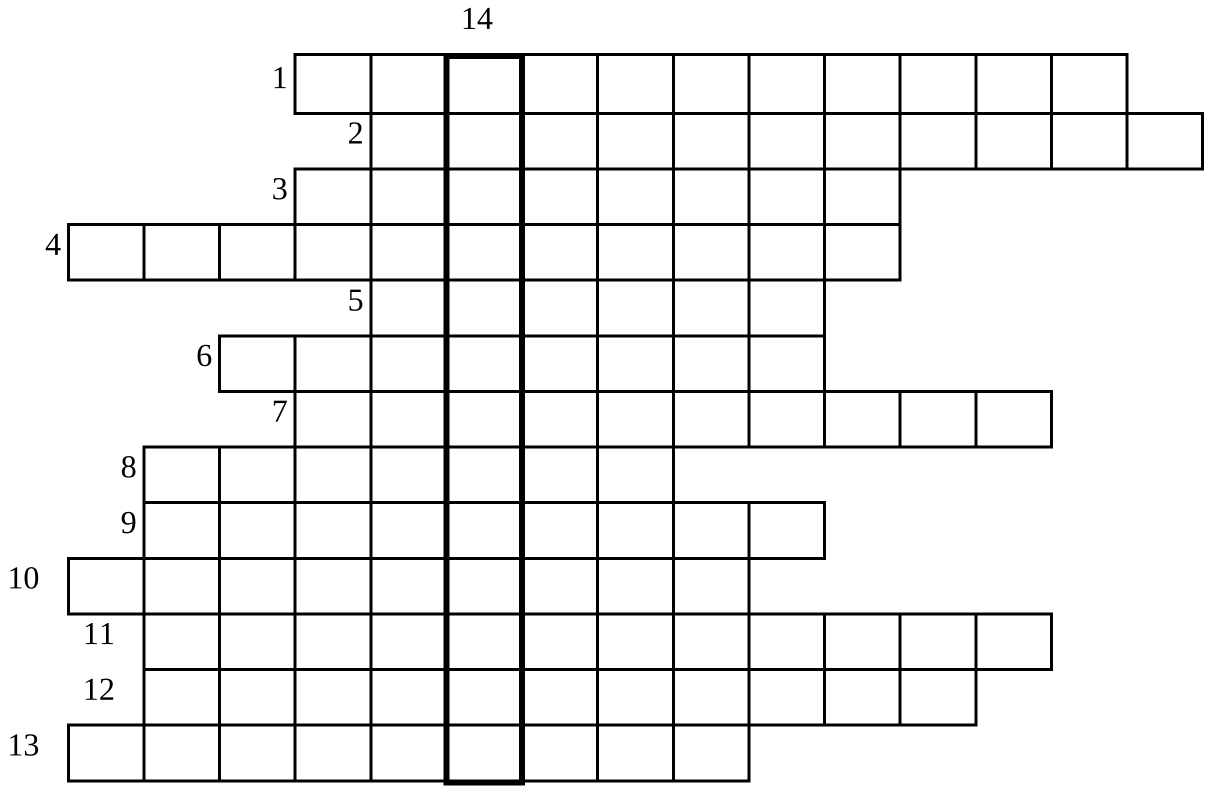
18. Į paviršių krinta 350 nm bangos ilgio spinduliai ir kas sekundę jam perduoda 1,5 μJ energijos. Kiek fotonų kas sekundę krinta į paviršių?

19. ***Eksperimentinė užduotis.*** Jums bus reikalingos priemonės: stiklinis indas su vandeniu, stiklinis vamzdelis.
Darbo eiga. Stiklinį indą su vandeniu pastatykite taip, jog galėtumėte stebėti bandymą iš viršaus. Viršutinį stiklinio vamzdelio galą užspauskite pirštu ir stačiai įleiskite į vandenį. Stebėkite vamzdelio vaizdą iš viršaus ir aprašykite, ką matote. Atitraukite pirštą nuo vamzdelio galo. Kaip pakito vamzdelio išvaizda ir kodėl? Kokiu šviesos reiškiniu tai galite paaiškinti?

20. Kryžiažodis.

1. Optikos skyrius, kurio pavadinimas susideda iš dviejų graikiškų žodžių. Jų reikšmė lietuvių kalboje yra: šviesa ir matuoju.
2. Koks senovės mokslininkas teigė, kad pagrindinė yra saulės (balta) šviesa, o visos kitos gaunamos pridėjus į ją tamsos (juodos spalvos)?
3. Kuris žinomas fizikas, atlikdamas bandymą langinėmis užtemdytame kambaryje, ištyrė baltos šviesos sudėtį?
4. Apšvietos matavimo prietaisas.
5. Sena fizikos mokslo šaka, tirianti šviesos reiškinius.
6. Prancūzų filosofas, fizikas ir matematikas, teoriškai išvedęs lūžio dėsnį.
7. Prietaisas, naudojamas jūros paviršiui iš vandens gelmių stebėti.

8. Vis dėlto pats seniausias veidrodis yra ramus .... paviršius.
9. Pirmasis pasaulyje fizikas, gavęs Nobelio premiją už labai trumpų elektromagnetinių bangų atradimą ir praktinį pritaikymą.
10. Baltos šviesos .... į spektrą vadinamas dispersija.
11. Labai plonų stiklo gijų kabelis.
12. Koks senovės graikų dramaturgas, senosios komedijos kūrėjas, siūlė skolininkui vaško lentelėje užrašytą skolos dokumentą išlydyti padegamuoju stiklu?
13. Teleskopo praktinio panaudojimo pradininkas.
14. Regėjimo yda, kai akies optinės sistemos pagrindinis židinys yra prieš tinklainę.



III turo užduočių sprendimus atsiųskite iki <u>2014-04-20.</u>

Lietuvos fizikų draugija
Šiaulių universiteto
Jaunųjų fizikų mokykla „FOTONAS“

Jūratė Blažienė
II kurso III turo metodiniai nurodymai ir užduotys
2013–2014 mokslo metai

Rinko ir maketavo Irma Bolskytė