G. Toýlyýew, G. Orazow, A. Muhammetnyýazowa

FIZIKADAN MESELELER

OPTIKA

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw gollanmasy

Türkmenistanyň Bilim ministrligi
tarapyndan hödürlenildi

Aşgabat
“Ylym“ neşirýaty
2011

UOK 53+535:378
T 70

Toýlyýew G. we başg.

T 70 **Fizikadan meseleler. Optika.** Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw gollanmasy. – A.: “Ylym” neşirýaty, 2011. – 152 sah.

TDKP №264 KBK 22.3+22.343 ýa 73

TÜRKMENISTANYŇ PREZIDENTI
GURBANGULY BERDIMUHAMEDOW

TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET TUGRASY

TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET BAÝDAGY

TÜRKMENISTANYŇ
DÖWLET SENASY

Janym gurban saňa, erkana ýurdum,
Mert pederleň ruhy bardyr köňülde.
Bitarap, garaşsyz topragyň nurdur,
Baýdagyň belentdir dünýäň öňünde.

Gaýtalama:
Halkyň guran Baky beýik binasy,
Berkarar döwletim, jigerim-janym.
Başlaryň täji sen, diller senasy,
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

Gardaşdyr tireler, amandyr iller,
Owal-ahyr birdir biziň ganymyz.
Harasatlar almaz, syndyrmaz siller,
Nesiller döş gerip gorar şanymyz.

Gaýtalama:
Halkyň guran Baky beýik binasy,
Berkarar döwletim, jigerim-janym.
Başlaryň täji sen, diller senasy,
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

SÖZBAŞY

Täze Galkynyşlar we beýik özgertmeler zamanamyzda Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedow ylym-bilim ulgamyny kämilleşdirmek babatda jogapkärli wezipeleri kesgitledi. Döwlet ähmiýetli bu möhüm wezipeleri amal etmegiň çäklerinde Magtymguly adyndaky Türkmen döwlet uniwersitetiniň fizika fakultetiniň mugallymlary-alymlary okuw prosesiniň okuw we usuly taýdan üpjünçiligini kämilleşdirmek üçin uly işler alyp barýarlar. Bu işleriň bir ugry hökmünde “Fizikadan meseleler. Mehanika”, “Fizikadan meseleler. Molekulýar fizika we termodinamika” we “Fizikadan meseleler. Elektrik we magnit hadysalary” ady bilen okuw-usuly gollanmalary çapdan çykdy. Bu toplumyň üçünji kitaby. Eliňizdäki gollanma şol toplumyň dördünji kitabydyr. Ol “Fizikadan meseleler. Optika” ady bilen taýýarlanyp, umumy fizikanyň optika bölümine degişlidir. Onda geometrik optikanyň, fotometriýanyň kanunlaryna, ýagtylygyň interferensiýasyna, difraksiýasyna, dispersiýasyna, siňdirilmesine, polýarlaşmasyna, ýylylyk şöhlelenmesine, ýagtylygyň korpuskulýar-tolkun häsiýetlerine degişli meseleleriň üstünde jikme-jik durlup geçilýär.

Bu gollanmada-da edil deslapky üç kitabyň ýörelgesine eýerilip, usuly görkezmeler, meseleler, ugrukdyrmalar, jogaplar we çözüwler diýen bölümçelerden ybaratdyr.

Bu gollanma, esasan, fizikadan dürli derejelerde geçirilýän bäsleşiklere gatnaşýanlar, olary türgenleşdirýänlere niýetlenendir. Şol bir wagtyň özünde fizika dersi boýunça amaly okuwlary alyp barýan mugallymlar üçinem oňat gollanma bolup biler.

I bap

GEOMETRIK OPTIKANYŇ KANUNLARY

1.1. Usuly görkezmeler

Optika degişli meseleler çözülende dogry ýerine ýetirilen çyzgylaryň ähmiýeti uludyr.

1. Iki gurşawyň tekiz araçäginde ýagtylygyň döwülmegine degişli meseleler çözülende, gurşawlaryň optiki dykyzlyklaryny göz öňünde tutup, dogry çyzgy etmeli; soňra geometrik we trigonometrik baglanyşyklary peýdalanyp, ýagtylygyň döwülme kanunyny ulanyp, gyzyklandyrýan ululygy tapmaly.

2. Sferik aýnada ýa-da linzada şekil bilen baglanyşykly meseleler çözülende, ilki bilen şekili gurmaklykdan başlamaly. Predmetiň şekili gurlanda, bu predmetiň birnäçe nokadynyň şekili, soňra bütin predmetiň şekili gurulýar. Nokadyň şekili nokatdan çykýan üç (ýa-da iki) “ajaýyp” şöhläniň üsti bilen gurulýar.

3. Şekil alnandan soňra aýnanyň ýa-da linzanyň formulasynyň esasynda ýazylan deňleme gözlenilýän ululyga görä çözülýär.

4. Birnäçe linzalardan ýa-da linzalar bilen aýnalardan düzülen optiki ulgamlardaky şekile degişli meseleler işlenende ilki bilen ulgamyň fokus aralygyny tapmaly. Ulgamyň optiki güýji we ony düzýän linzalaryň we aýnalaryň optiki güýçleriniň jemi bilen özara baglanyşykdan peýdalanmaly. Fokus aralyk kesgitlenenden soň hasaplama linzanyň ýa-da aýnanyň formulasy boýunça geçirilýär.

5. Biri-birinden käbir aralykda ýerleşen linzalardan ýa-da aýnalardan düzülen optiki ulgamdaky şekile degişli meseleler çözülende, ilki bilen birinji linzanyň berýän şekili gurulýar. Bu şekil ikinji linza üçin predmet bolýar we ş.m. Her bir şekiliň hasaby üçin linzanyň (aýnanyň) formulasy ulanylýar.

Sferik aýnanyň optiki güýji:

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{R}, \qquad (1)$$

bu ýerde a we b – predmetiň we şekiliň aýna çenli aralygy, R – aýnanyň egrilik radiusy, F – aýnanyň fokus aralygy.

Ýagtylygyň döwülme kanuny:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c / \upsilon_2}{c / \upsilon_1} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2}, \qquad (2)$$

bu ýerde i – ýagtylygyň düşme burçy, r – ýagtylygyň döwülme burçy, n_1 – ýagtylygyň düşýän 1-nji gurşawynyň absolyut döwme görkezijisi, n_2 – ýagtylygyň düşýän 2-nji gurşawynyň absolýut döwme görkezijisi, n_{21} – 2-nji gurşawyň 1-nji gurşawa görä döwme görkezijisi, υ_1 we υ_2 degişlilikde 1-nji we 2-nji gurşawdaky ýagtylygyň tizligi.

Doly serpikmäniň çäk burçy

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}, \qquad (3)$$

bu ýerde α_0 – çäk burçy, n_1, n_2 – gurşawlaryň absolyut döwme görkezijileri.

Birhilli gurşawdaky ýuka linzanyň optiki güýji:

$$D = \frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{b},$$

bu ýerde a, b – degişlilikde linzadan predmete we onuň şekiline çenli bolan aralyklar, R_1, R_2 – linzanyň üstleriniň egrilik radiuslary, n – linzanyň maddasynyň onuň ýerleşen gurşawyna görä döwme görkezijisi.

Linzanyň (sferik aýnanyň) formulasy:

$$\pm\frac{1}{F} = \pm\frac{1}{a} \pm \frac{1}{b},$$

bu ýerde F – linzanyň (aýnanyň) fokus aralygy, a – predmetden linza (aýna) çenli aralyk, b – şekilden linza (aýna) çenli aralyk.

Eger fokus, şekil hakyky bolsalar onda ýokarky formulada degişli agzalar “plýus”, hyýaly bolsalar onda “minus” alamaty bilen alynýarlar.

Jebis galtaşdyrylyp goýlan iki sany linzanyň optiki güýji:

$$D = D_1 + D_2,$$

bu ýerde D_1 we D_2 – linzalaryň optiki güýçleri.

Linzanyň (aýnanyň) çyzykly ulaldyşy:

$$C = \frac{h}{H} = \frac{b}{a},$$

bu ýerde H – predmetiň beýikligi, h – şekiliň beyikligi.

Lupanyň ulaldyşy:

$$K = \frac{L}{F},$$

bu ýerde L – gözüň iň gowy görüş aralygy (25 *sm*).

Mikroskopyň ulaldyşy:

$$K = \alpha l D_1 D_2 = \frac{\alpha l}{F_{ob} \cdot F_{ok}},$$

bu ýerde l – obýektiwiň 1-nji we okulýaryň 2-nji fokuslarynyň aralygy, D_1 we D_2 – olaryň optiki güýçleri, F_{ob}, F_{ok} – olaryň fokus aralyklary.

Teleskopyň ulaldyşy:

$$K = \frac{F_{ob}}{F_{ok}},$$

bu ýerde F_{ob}, F_{ok} – degişlilikde obýektiwiň we okulýaryň fokus aralyklary.

Prizmanyň döwüji burçy bilen iň kiçi gyşarma burçunyň arasyndaky baglanyşyk:

$$\sin\frac{\alpha+\beta}{2} = n\sin\frac{\beta}{2},$$

bu ýerde α – prizmanyň döwüji burçy, β – şöhläniň iň kiçi gyşarma burçy, n – prizmanyň maddasynyň döwme görkezijisi.

1.2. Meseleler

1. Şöhläniň düşme burçunyň haýsy bahasynda, suwuň üstünden serpigen şöhle döwlen şöhlä perpendikulýar bolýar ?

2. Howzuň gyrasynda duran adam onuň düýbündäki daşa syn edýär. Howzuň çuňlugy H. Adam daşy haýsy çuňlukda görer?

3. Galyňlygy 10 *sm* bolan tekiz aýna plastinkasyna 30° burç bilen düşýän şöhläniň plastinadan geçenden soňky keseligine süýşmesi näçe bolar? Plastinanyň salnan gurşawy:

a) kükürtli uglerod; b) suw kükürtli uglerodyň, aýnanyň, suwuň döwme görkezijileri degişlilikde: n_1=1,63, n_2=1,5, n_3=1,33.

4. Tekiz aýna 27° burça öwrülende, serpigen şöhle näçe burça öwrüler?

5. Tekiz parallel plastina 30° burç bilen düşýän şöhle plastinadan çykanda başlangyç ugruna parallel bolup çykýar. Başlangyç şöhle bilen plastinadan çykýan şöhleleriň aralygy 1,94 *sm*. Aýnanyň döwme görkezijisi n = 1,5. Plastinanyň galyňlygy näçe?

6. Tekiz aýnadan serpigen ýagtylyk şöhlesi ondan 8 *m* aralykda ýerleşen tekiz ekrana perpendikulýar düşýär. Eger aýnany düşýän we serpigýän şöhleleriniň ýerleşen tekizligine perpendikulýar we aýnanyň tekizliginde ýatýan okuň töwereginde 20^o burça aýlasak, ekrandaky ýagtylyk menegi nähili aralyga süýşer?

7. Döwme görkezijisi n = 1,55 bolan dury maddadan ýasalan uzyn inçe süýüm "ýagtylyk geçirijisini" ("swetowody") emele getirýär. Geçen şöhläniň gowşamagynyň minimal bolmagy üçin, onuň gapdal gyrasyna düşýän şöhläniň "swetowodyň" oky bilen emele getirýän maksimal burçuny kesgitlemeli.

8. Döwüji burçy 50° bolan üç granly prizmanyň howadaky berýän iň kiçi gyşarma burçy 35°. Prizma suwa salynsa iň kiçi gyşarma burçy näçe bolar?

9. Iki sany monohromatik düzüjisi bolan ýagtylyk şöhlesi döwüji burçy $\alpha = 60^{o}$ bolan üç granly prizmadan geçýär. Prizmadan geçen düzüji şöhleleriň döwülme görkezijileri 1,515 we 1,520 bolsa olaryň arasyndaky burç näçe? Prizma iň kiçi gyşarma burça niýetlenen.

10. Ýagtylygyň dessesi deň ýanly prizmanyň gapdal üsti boýunça ugrugan. Prizmanyň haýsy döwüji burçunda döwülen şöhleler prizmanyň ikinji gapdal üstünden doly yzyna serpiger? Prizmanyň maddasynyň döwme görkezijisi $n = 1{,}6$.

11. Radiusy $R = 60$ *sm* bolan güberçek aýnadan $a = 10$ *sm* uzaklykda ýerleşen jisimiň beýikligi $H = 2$ *sm* bolsa şekiliň beýikligini we ýagdaýyny tapmaly?

12. Ýygnaýjy linzanyň käbir jisimiň ekranda berýän şekiliniň beýikligi h_1. Ekranyň, jisimiň gozganylmaýan ýagdaýynda, linzany ekrana tarap süýşürip, jisimiň ikinji alnan şekiliniň beýikligi h_2 boldy. Jisimiň hakyky beýikligini tapmaly?

13. Egrilik radiusy $R = R_1 = 60$ *sm* bolan güberçek linzanyň güberçek tarapyna kümüş çaýylsa, ol özboluşly oýuk aýna bolar. Bu aýnadan kiçi $a = 25$ *sm* aralykda jisim goýlan. Şekiliň aýna çenli aralygyny we onuň ulaldyşyny tapmaly. Linzanyň maddasynyň döwme görkezijisi $n = 1{,}5$.

14. Egrilik radiusy 50 *sm* bolan oýuk aýna suw guýlan. Emele gelen ulgamyň optiki güýji 5,3 *dptr*. Suwly linzanyň baş fokus aralygyny kesgitlemeli.

15. Jisim bilen iki tarapy güberçek linzanyň haýsy aralygynda, jisim bilen onuň şekiliniň aralygy iň kiçi bolar?

16. Lupanyň kadaly göz üçin ulaldyşy $K = 10$ bolmagy üçin, lupanyň üstiniň egrilik radiusy näçä deň bolmaly? Aýnanyň döwme görkezijisi $n = 1{,}5$.

17. Fokus aralygy $F = 50$ *sm* deň bolan görüş turbasy tükeniksizlige gurlan. Turbanyň okulýary käbir aralyga süýşürilenden soň obýektiwden $a = 50$ *sm* uzaklykdaky jisimler görnüp başlaýar. Okulýar haýsy aralyga süýşen?

18. Mikroskop, fokus aralygy $F_1 = 2$ *mm* bolan obýektiwden we $F_2 = 40$ *mm* fokus aralykly okulýardan ybarat. Obýektiwiň fokusy bilen okulýaryň fokusynyň aralygy $l = 18$ *sm*. Mikroskopyň berýän ulaldyşyny kesgitlemeli.

19. Teleskopik ulgamy emele getirýän iki sany ýuka linzanyň aralygy $d = 12$ *sm*. Ulaldyşy bolsa 5-e deň. Eger linzalar birleşen ýagdaýda bolsa, ulgamyň optiki güýji näçe bolar?

20. Howada ýerleşen güberçek oýuk aýna linza berlen a) eger onuň güberçek üstüniň egrilik radius oýuk üstüniňkiden ΔR=1,5 *sm* uly bolsa, onuň haýsy galyňlygynda ol teleskopik bolar? b) eger linzanyň üstleriniň egrilik radiuslary degişlilikde $R_1 = 10{,}0$ we $R_2 = 7{,}5$ *sm* bolsa, linzanyň haýsy galyňlygynda onuň optiki güýji 1 (bire) deň bolar?

1.3. Ugrukdyrmalar

1. Meseläniň şertine görä, şöhläniň serpikme burçy bilen döwülme burçunyň jeminiň 90° bolýandygyny göz öňünde tutup, şöhläniň döwülme we serpikme kanunlaryny ulanyň.

2. Çyzgyny dogry gurup, trigonometrik formulalary, döwülme kanunyny ulanyň.

3. Iki (*a, b*) ýagdaýlar üçin hem çyzgyny guruň. Şöhläniň döwülme kanunyny trigonometrik formulalar bilen bilelikde ulanyň.

4. Serpikme kanunyny peýdalanyň.

5. Döwülme kanunyny peydalanyp, döwülme burçuny tapyň. Çyzgydan üçburçluklaryň meňzeşligini peýdalanyp, plastinanyň galyňlygyny tapyň.

6. Meseläniň şertine görä, çyzgyny dogry gurup, ekrandaky ýagtylyk meneginiň süýşen aralygynyň formulasyny tapyň. Soňra aýna öwrülende, serpigen şöhläniň öwrülen burçuny tapyp ýerine goýuň.

7. Çäk burçuň kesgitlemesinden peýdalanyp, şöhläniň döwülme kanunyny ulanyň.

8. Çyzgyda monohromatik şöhläniň prizmadan geçişini görkeziň. Geometriýanyň formulalaryny peýdalanyp, şöhläniň prizmanyň gapyrgasyna düşme we döwülme burçlaryny tapyp, döwülme kanunynyň üsti bilen prizmanyň döwülme görkezijisini tapyň. Soňra döwülme kanunyny peýdalanyp, prizmanyň suwda berýän iň kiçi gyşarma burçuny kesgitläň.

9. Ýagtylyk şöhlesiniň düzüjileriniň ikisi üçin hem prizmanyň iň kiçi gyşarma burçlarynyň $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$ tapawudyny tapyň. Onuň üçin prizmanyň döwüji burçy bilen şöhläniň iň kiçi gyşarma burçuny baglanyşdyrýan formulany ulanyň.

10. Meseläniň şertine görä, çyzgyny guruň. Doly yzyna serpikme şertini ulanyp, prizmanyň ikinji gapyrgasyndan çykýan şöhläniň döwülme burçunyň ($r_2 = 90°$) bolýandygyna göz ýetiriň. Soňra döwülme kanunyny, geometriýanyň formulalaryny ulanyp, jogabyny tapyň.

11. Aýnanyň fokus aralygyny tapyň, aýnanyň formulasyny ulanyp, şekiliň aýnadan uzaklygyny tapyň. Ulaldyş koeffisiýentini tapyp, şekiliň beýikligini alarsyňyz.

12. Jisim bilen şekil aralygynyň üýtgemeýändigini göz öňünde tutup, ýagdaýlarynyň ikisi üçin hem jisim bilen şekil aralyklarynyň formulasyny tapyň. Ulaldyş koeffisiýentiniň formulasyny ulanyp bolsa jisimiň hakyky beýikligini taparsyňyz.

13. Optiki ulgamyň optiki güýjüniň üsti bilen ulgamyň fokus aralygyny tapyp, şekil aralygyny tapyň. Ulaldyş koeffisiýentiniň formulasyny peýdalanyň.

14. Optiki ulgamyň optiki güýjüniň formulasyny peýdalanyp, linzanyň fokus aralygyny tapyň.

15. Linzanyň formulasyny ulanyp, $\frac{dL}{da} = 0$ minimum şertini peýdalanyň $L = a + b$.

16. Lupanyň ulaldyş formulasyny peýdalanyp, ýuka linzanyň formulasynyň üsti bilen üstüň egrilik radiusyny tapyp bolar.

17. Jisimleriň şekiliniň ýagdaýyny görüş turbasynyň başlangyç ýagdaýynda we okulýar süýşürilenden soňky ýagdaýynda kesgitläň. Soňra okulýaryň süýşen aralygyny tapyň.

18. Mikroskopyň berýän ulaldyşyny obýektiwiň we okulýaryň ulaldyşlarynyň üsti bilen kesgitläň.

19. Teleskopik ulgamyň ulaldyşynyň formulasyny peýdalanyp, birinji we ikinji linzalaryň fokus aralyklaryny tapyp, iki sany merkezleşen linzalar ulgamynyň optiki güýjüni tapmaly.

20. a) Güberçek-oýuk aýna linzanyň optiki güýjüni üstleriň ΔR egrilik radiuslarynyň tapawudynyň üsti bilen aňladyp, linzany teleskopik bolmagy üçin $f \to \infty$ şerti göz öňünde tutup, linzanyň galyňlygyny tapyň.

b) Optiki ulgamyň (linzanyň) optiki güýjüniň berlen bahasyny ulanyp, onuň galyňlygyny tapyp bolar.

1.4. Jogaplar

1. $i = \text{arctg } n_{21}$. **2.** $h = \dfrac{H}{n_s}$.

3. $S_1 = d\left(\dfrac{n_1 \sin 2i}{2\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}} - \sin i\right) \approx 5{,}2\ sm;$

$S_2 = d \sin i\left(1 - \dfrac{\cos i}{\sqrt{n_2^2 - \sin^2 i}}\right) \approx 0{,}969\ mm$. **4.** $\beta = 2\alpha = 54°$.

5. $h = 0{,}01\ m$. **6.** $d = 6{,}72\ m$. **7.** $i = \arcsin \sqrt{n^2 - 1}$. **8.** $\beta_2 = 11°$.

9. $\Delta\beta \approx 0{,}44°$. **10.** $\alpha = 77{,}4°$. **11.** $b = -7{,}5\ sm$; $h = 1{,}50\ sm$.
12. $H = \sqrt{H_1 \cdot H_2}$. **13.** $b = 100\ sm$; $K = 4$. **14.** $F_2 = 1{,}54\ m$.

15. $a = 2f$. **16.** $R = 0{,}025\ m$. **17.** $\Delta a = \Delta b = \dfrac{F^2}{a_1 - F} = 0{,}005\ m$.

18. $K = 568$. **19.** $D = 60\ dptr$. **20.** a) $d = 0{,}045\ m$; b) $d = 0{,}03\ m$.

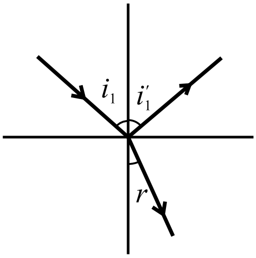
1.5. Çözülişleri

1. Meseläniň şertine görä (*1.1-nji çyzgy*),

$i_1' + r = 90°$, $\dfrac{\sin i_1}{\sin r} = n_{21}$.

Zerkal serpikme kanunyna laýyklykda

$i_1' = i_1$ $\sin r = \sin(90° - i_1') = \sin(90° - i_1) = \cos i_1$



1.1-nji cyzgy

$$\frac{\sin i_1}{\cos i_1} = \mathrm{tg} i_1 = n_{21},\ i_1 = \mathrm{arctg}\ n_{21}.$$

2. *A* nokatda (*1.2-nji a çyzgy*) ýerleşen daşyň şekilini adam haýsy nokatdan görer? Bu soraga jogap bermek üçin *A* nokatdan çykyp, suwuň üstki gatlagyna düşýän *AD* we *AC* şöhlelere seredeliň. *AC* şöhle üste perpendikulýar, *AD* bolsa kiçi burç bilen düşýär. Çyzgydan görnüşi ýaly, *B* nokat *A* nokadyň şekili bolar.

ΔACD-de $AC = \dfrac{CD}{\mathrm{tg} i}$ ýa-da $H = \dfrac{d}{\mathrm{tg} i}$.

ΔBCD-dan $CB = \dfrac{CD}{\mathrm{tg} r} \to h = \dfrac{d}{\mathrm{tg} r}$.

r we *i* burçlar kiçi diýeliň. Onda tg $r \to \sin r$ we tg $i \to \sin i$ bilen çalşyryp bolar.

Ýokarky deňlikleri özara gatnaşdyryp alarys

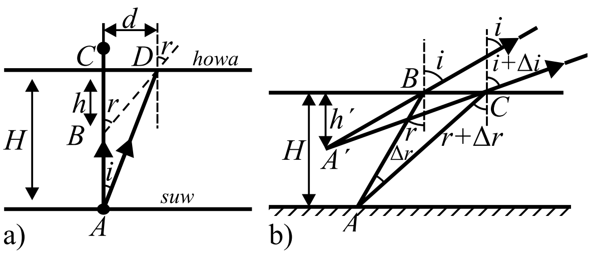
$\dfrac{H}{h} = \dfrac{\mathrm{tg} r}{\mathrm{tg} i} = \dfrac{\sin r}{\sin i} = \dfrac{n_s}{n_h}$, n_h=1, şonuň üçin $h = \dfrac{H}{n_s}$ bolar.

Bu meseläniň umumy çözüwiniň hususy haly.

Umumy çözüwi tapalyň.

1.2-nji b çyzgydan *BC*-ni tapalyň:

$$BC = h'\left[\mathrm{tg}\left(i+\Delta i\right) - \mathrm{tg}\, i\right] = h'\left[\frac{\sin\left(i+\Delta i\right)}{\cos\left(i+\Delta i\right)} - \frac{\sin i}{\cos i}\right].$$



1.2-nji cyzgy

Δi-niň juda kiçidigini we şol sebäpli cos $\Delta i \sim 1$, sin $\Delta i \sim \Delta i$ deňdigini göz öňünde tutup soňky deňligi birneme özgerdip alarys:

$$BC = h' \cdot \frac{\Delta i}{\cos^2 i} \text{ başga tarapdan}$$

$$BC = H\left[\operatorname{tg}\left(r + \Delta r\right) - \operatorname{tg} r\right] = H\frac{\Delta r}{\cos^2 r},$$

onda
$$h' = H \cdot \frac{\Delta r \cdot \cos^2 i}{\Delta i \cdot \cos^2 r} \qquad (1)$$

bolar. Ýagtylygyň döwülme kanuny esasynda

$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin\left(i + \Delta i\right)}{\sin\left(r + \Delta r\right)}$, bu ýerden käbir özgertmelerden soň,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin i + \cos i \cdot \Delta i}{\sin r + \cos r \cdot \Delta r}, \qquad \frac{\sin r + \cos r \cdot \Delta r}{\sin r} = \frac{\sin i + \cos i \cdot \Delta i}{\sin i}$$

ýa-da

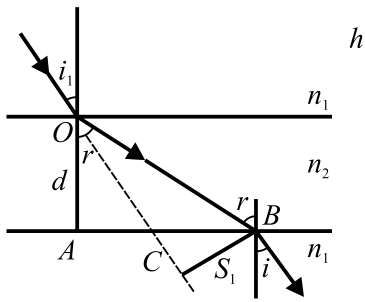
$$1 + \frac{\cos r \cdot \Delta r}{\sin r} = 1 + \frac{\cos i \cdot \Delta i}{\sin i}, \qquad \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\cos i \cdot \Delta i}{\cos r \cdot \Delta r} = n.$$

(1) formulanyň sanawjysyny we maýdalawjysyny $\cos i \cdot \cos r$ ululyga köpeldýäris:

$$h' = H\frac{\cos^2 i \cdot \Delta r \cdot \cos i \cdot \cos r}{\cos^2 r \cdot \Delta i \cdot \cos i \cdot \cos r} = h\frac{\cos^3 i}{\cos^3 r} \cdot \frac{1}{n} = \frac{h}{n} \cdot \frac{\cos^3 i}{\left(1 - \frac{\sin^2 i}{n^2}\right)^{\frac{3}{2}}}.$$

Eger $i = 0°$ bolsa, onda $h' = H/n$ bolar.

3. Ýagtylyk şöhlesiniň gidiş ýoly 1.3-nji a we b çyzgylarda görkezilen kükürtli uglerodyň döwme görkezijisi n_1 aýnanyň döwme görkezijisi n_2-den uly, suwuň n_3 döwme görkezijisi bolsa aýnanyňkydan kiçi. Şonuň üçin birinji ýagdaýda şöhläniň düşme burçy i onuň döwülme burçy r-den kiçi bolar ($i < r$). Ikinji ýagdaýda suwuň döwme görkezijisi $n_3 < n_2$, onda şöhläniň düşme burçy döwülme burçundan uly bolar, ýagny $i > r$. Iki ýagdaýda hem plastinadan çykan şöhle plastina düşen şöhlä parallel bolar.



1.3-nji a çyzgy

Kükürtli wodorodda ýerleşen plastinadan çykan şöhläniň süýşmesini kesgitläliň (*1.3-nji a çyzgy*).

ΔAOB we ΔBOC üçburçluklardan $\dfrac{S_1}{\sin(r-i)} = \dfrac{d}{\cos r}$. Bu ýerden

$$S_1 = \frac{d\sin(r-i)}{\cos r}. \tag{1}$$

Ýagtylygyň döwülme kanuny boýunça

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin r = \frac{n_1 \sin i}{n_2}. \tag{2}$$

Diýmek, $\cos r = \sqrt{1-\sin^2 r} = \dfrac{1}{n_2}\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i}$. (3)

(2) we (3) formulalary (1) formula goýup alarys

$$S_1 = d\frac{\sin r\cos i - \cos r \sin i}{\frac{1}{n_2}\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i}} =$$

$$= d\frac{\frac{n_1}{n_2}\sin i\cos i - \frac{1}{n_2}\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i}\cdot\sin i}{\frac{1}{n_2}\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i}} =$$

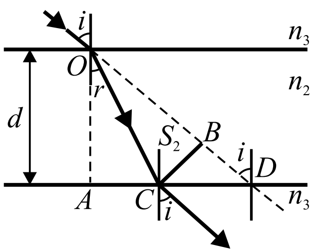
$$= d\frac{\frac{n_1}{n_2}\frac{\sin 2i}{2} - \frac{1}{n_2}\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i}\cdot\sin i}{\frac{1}{n_2}\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i}} = d\left(\frac{n_1 \sin 2i}{2\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i}} - \sin i\right)$$

$$S_1 = d\left(\frac{n_1 \sin 2i}{2\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i}} - \sin i\right) =$$

$$= 10\left(\frac{1,63\cdot\sin 60^\circ}{2\sqrt{1,5^2 - 1,63^2\sin^2 30^\circ}} - \sin 30^\circ\right) \approx 5,2 \text{ } sm.$$

Suwa salnan plastinadan (*1.3-nji b çyzgy*) çykan şöhläniň süýşmesini kesgitläliň:

$$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{n_2}{n_3}=n_{23} \quad \sin r=\frac{n_3 \sin i}{n_2}.$$



1.3-nji b çyzgy

ΔCDB-den $S_2 = CB = CD \sin(90° - i)$

$CD = AD - AC.$

ΔOAD-den $AD = \dfrac{d}{\operatorname{tg}(90-i)}.$

ΔOAC-den $AC = d \operatorname{tg} r.$

$$S_2=\left(\frac{d}{\operatorname{tg}(90-i)}-d\cdot \operatorname{tg} r\right)\sin(90°-i).$$

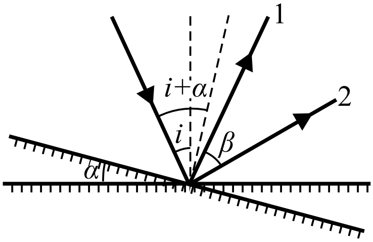
Ýönekeý trigonometrik özgertmeler geçirip alarys:

$$S_2=d\sin i\left(1-\frac{\cos i}{\sqrt{n_2^2-\sin^2 i}}\right)=10\sin 30°\left(1-\frac{\cos 30°}{1{,}5^2-\sin^2 30°}\right)\approx$$

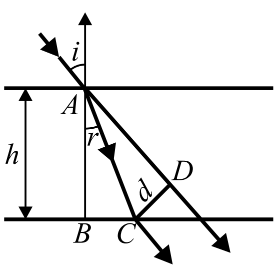
$\approx 0{,}969\,mm.$

4. Aýnanyň başdaky ýagdaýynda (*1.4-nji çyzgy*) (1) şöhläniň düşme burçy i, onda düşýän şöhle bilen serpigen –1 şöhläniň arasyndaky burç $2i$. Aýna öwrülenden soň düşme burçy $i + \alpha$ bolar, düşme burç bilen serpigen –2 şöhläniň arasyndaky burç bolsa $2(i + \alpha)$ bolar. Onda aýna öwrülenden soň serpigen – 2 şöhle $\beta = 2(i + \alpha) - 2i$ burça öwrüler.

$\beta = 2i + 2\alpha - 2i = 2\alpha = 2(27°) = 54°.$



1.4-nji çyzgy



1.5-nji çyzgy

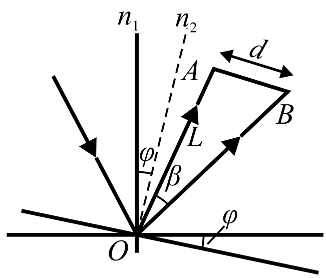
5. Plastina howada ýerleşen bolsa ýagtylygyň döwülme kanuny esasynda $\sin r = \dfrac{\sin i}{n} = 0{,}33$, bu ýerden $r = \arcsin 0{,}33 = 19°30'$ *ABC* we *ADC* üçburçluklardan *1.5-nji çyzgy*

$$\frac{h}{\cos r} = \frac{d}{\sin(i-r)} \text{ ýagny } h = d\frac{\cos r}{\sin(i-r)} = 0{,}01\ m.$$

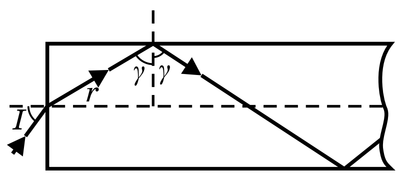
6. Aýna φ burça öwrülse, serpigen şöhle β burça öwrülýär. Şol wagt ekrandaky ýagty menek, goý, d aralyga süýşsün (*1.6-njy çyzgy*). Onda *OAB* gönüburçly Δ-dan $d = L\text{tg}\,\beta$.

$\beta = 2\,\varphi$ (4-nji meseläniň çözüwine seret).

Onda $d = L\ \text{tg}2\varphi$; $d = 8\ \text{tg}\ 40° = 6{,}72\ m$.



1.6-njy çyzgy



1.7-nji çyzgy

7. 17-nji çyzgydan görnüşi ýaly, γ – çäk burçuna deň bolmaly.

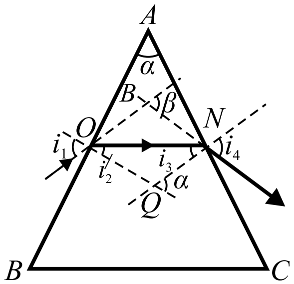
Çäk burçuň sinusy $\sin\gamma = \dfrac{1}{n}$, $\sin r = \cos\gamma$. Ýagtylygyň döwülme kanuny boýunça $\dfrac{\sin i}{\sin r} = n$ ýa-da $\dfrac{\sin i}{\cos\gamma} = n$.

$$\sin i = n\cos\gamma = n\sqrt{1-\sin^2\gamma} = n\sqrt{1-\frac{1}{n^2}} = \sqrt{n^2-1} \text{ ýa-da}$$

$$i = \arcsin\sqrt{n^2-1}.$$

8. 1.8-nji çyzgydan görnüşi ýaly, α – prizmanyň döwüji burçy, β – şöhläniň iň kiçi gyşarma burçy $i_1 = i_4$, $i_2 = i_3$.

Prizmanyň *AB* üstüne düşýän şöhläniň düşme burçy i_1, döwülme burçy i_2. Döwülme kanuny boýunça



1.8-nji çyzgy

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} = n, \qquad (1)$$

bu ýerde $n_2 = n$ aýnanyň döwme görkezijisi, $n_1 = 1$ howanyň döwme görkezijisi.

Bu formuladaky i_1 we i_2 burçlary bilmek üçin çyzgydan α we β burçlary tapalyň.

ΔOQN-iň daşky burçy: $\alpha = i_2 + i_3 = 2i_2$, onda

$$i_2 = \frac{\alpha}{2}. \qquad (2)$$

ΔOBN-iň daşky burçy: $\beta = (i_1 - i_2) + (i_4 - i_3) = 2i_1 - \alpha$, bu ýerden

$$i_1 = \frac{\alpha + \beta}{2} \qquad (3)$$

(2) we (3) formulalary (1)-de goýsak:

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{\sin\frac{\alpha+\beta}{2}}{\frac{\alpha}{2}}. \qquad (4)$$

(4) deňlemeden aýnanyň döwme görkezijisi:

$$n = \frac{\sin\frac{35^\circ + 50^\circ}{2}}{\sin\frac{50^\circ}{2}} = \frac{\sin 42{,}5^\circ}{\sin 25^\circ} = \frac{0{,}6756}{0{,}4384} = 1{,}54.$$

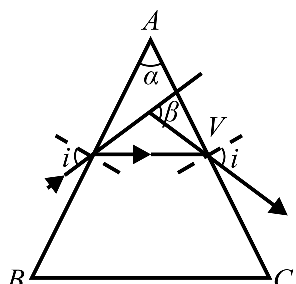
deňlemäni prizma suwa salnan ýagdaýynda ulanalyň (n_s=1,33)

$$\frac{n}{n_s} = \frac{\sin\frac{\beta_2 + \alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}};\ \frac{1{,}54}{1{,}33} = \frac{\sin\frac{\beta_2 + 50^\circ}{2}}{\sin 25^\circ};\ 1{,}1579 \cdot \sin 25^\circ = \sin\frac{\beta_2 + 50^\circ}{2};$$

$$0{,}50762 = \sin\frac{\beta_2 + 50^\circ}{2};\quad 30^\circ 30' = \frac{\beta_2 + 50^\circ}{2};\quad 61^\circ = \beta_2 + 50^\circ,$$

$\beta_2 = 61^\circ - 50^\circ = 11^\circ$, bu ýerden $\beta_2 = 11^\circ$.

9. Prizmadan geçen düzüji şöhleler üçin iň kiçi gyşarma burçlarynyň tapawudy: $\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1$, bu ýerde β_1, β_2 – döwüji görkezijileri



1.9-njy çyzgy

$n_1 = 1{,}515$ we $n_2 = 1{,}520$ bolan şöhleler üçin prizmanyň iň kiçi gyşarma burçlary. β_1 we β_2 burçlary tapmak üçin prizmanyň döwüji burçy α-nyň iň kiçi gyşarma burçy δ bilen baglanyşýan formulany ulanalyň.

Birinji şöhle üçin:

$$n_1 = \frac{\sin\frac{\alpha+\beta_1}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}. \qquad (1)$$

Ikinji şöhle üçin:

$$n_2 = \frac{\sin\frac{\alpha+\beta_2}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}. \qquad (2)$$

(1) formuladan:

$$1{,}515 = \frac{\sin\frac{60^\circ+\beta_1}{2}}{\sin 30^\circ};\ \sin 30^\circ = 0{,}5.$$

$$1{,}515\cdot 0{,}5 = \sin\frac{\sin 60^\circ+\beta_1}{2},\ 0{,}7575 = \sin\frac{\sin 60^\circ+\beta_1}{2}.$$

$$49^\circ 15' = \frac{\sin 60^\circ+\beta_1}{2};\ \beta_1 = 38^\circ 30'.$$

(2) formuladan:

$$1{,}520 = \frac{\sin\frac{60^\circ+\beta_2}{2}}{\sin 30^\circ};1{,}520\cdot 0{,}5 = \sin\frac{60^\circ\cdot\beta_2}{2};$$

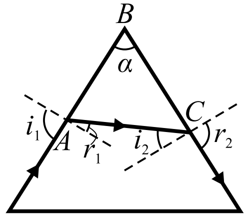
$\beta_2 = 38^\circ 56'$. Onda $\Delta\beta = 38^\circ 56' - 38^\circ 30' = 0^\circ 26' \approx 0{,}44^\circ$.

10. Prizmadan çykýan şöhläniň doly yzyna serpikmesi $r_2 = 90^\circ$-da bolar. Döwülme kanunyna görä:

$\sin r_2 = n\sin i_2$ ýa-da $n\ \sin i_2 = 1$. Bu ýerden $\sin i_2 = \frac{1}{n} = 0{,}625;$
$i_2 = \arcsin 0{,}625 = 38{,}7^\circ$.

ΔABC-ň içki burçlarynyň jemi 180°, ýagny:

$180^\circ = \alpha + (90^\circ - r_1) + (90^\circ - i_2)$. Onda $\alpha = r_1 + i_2$. (1)



1.10-njy çyzgy

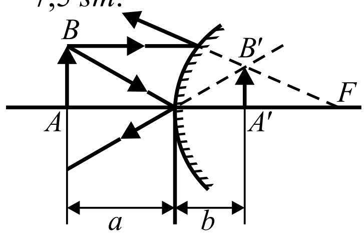
Döwülme kanuny boýunça: $\sin i_1 = n \sin r_1$, bu ýerden $i_1 = 90°$ bolany üçin $1 = n \sin r_1$;

$$r_1 = \arcsin\frac{i_1}{n} = \arcsin\frac{1}{n} = 38,7°.$$

Onda (1) deňlemeden

$\alpha = 38,7° + 38,7° = 2 \cdot 38,7° = 77,4°$.

11. 1.11-njy çyzgyda $AB = H$ – jisim, $A'B' = h$ – şekil. Şekil hyýaly, göni, kiçeldilen. Aýnanyň fokus aralygy $F = \dfrac{R}{2}$. Aýnanyň formulasyny ulanyp: $\dfrac{1}{b} = \dfrac{1}{F} - \dfrac{1}{a}$, bu ýerden $b = -7,5$ *sm*.



1.11-nji çyzgy

Ulaldyş: $k = \dfrac{|b|}{a} = 0,75$. Şekiliň beýikligi:

$h = k \cdot H = 0,75 \cdot 2$ *sm* $= 1,50$ *sm*.

12. Jisim bilen ekranyň aralygyny S bilen belgiläliň. $S = a+b$.

Linzanyň birinji ýagdaýy üçin: $\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{a_1} + \dfrac{1}{b_1}$ ýa-da $a_1 b_1 = F \cdot S$.

$$a_1 + b_1 = S, \tag{1}$$

a, b – degişlilikde linzadan jisime we şekile çenli aralyk. Şeýlelikde linzanyň ikinji ýagdaýy üçin hem: $a_2 b_2 = F \cdot S$,

$$a_2 + b_2 = S. \tag{2}$$

(1) we (2) deňlemelere esaslanyp, a_1 we b_1, şeýle hem a_2 we b_2 aşaky kwadrat deňlemäniň kökleri bolýandygyny subut edip bolar: $f_1^2 - f_1 S + FS = 0$ we $f_2^2 - f_2 S + FS = 0$, ýagny:

$$a_1 = f_1 = \frac{S}{2} + \sqrt{\frac{S^2}{4} - F \cdot S},$$

$$b_1 = f_2 = \frac{S}{2} - \sqrt{\frac{S^2}{4} - F \cdot S},$$

$$a_2 = f_2 = \frac{S}{2} - \sqrt{\frac{S^2}{4} - F \cdot S}, \; b_2 = f_1 = \frac{S}{2} + \sqrt{\frac{S^2}{4} - F \cdot S},$$

$$\frac{1}{F} = \frac{S}{(S-b)b}, \; F \cdot S = S \cdot b - b^2, \qquad b^2 - S \cdot b + F \cdot S = 0.$$

Diýmek: $a_1 = b_2$; $b_1 = a_2$. (3)

Bu netije ýagtylyk şöhleleriniň öwrülme hadysasynyň netijesidir. Eger H – diýip jisimiň hakyky beýikligini bellesek, onda birinji ýagdaýyndaky ulalma:

$$\frac{H_1}{H} = \frac{a_1}{b_1}, \tag{4}$$

ikinji ýagdaýynda: $\frac{H_2}{H} = \frac{a_2}{b_2}$. (5)

(1) deňlemäni göz öňünde tutup, (4) we (5) özara köpeldip alarys: $\frac{H_1 \cdot H_2}{H^2} = 1$, bu ýerden $H = \sqrt{H_1 \cdot H_2}$.

13. Emele gelen özboluşly optiki ulgam linzadan we oýuk aýnadan ybarat. Bu ulgamda üç gezek ýagtylyk akymynyň özgermesi bolup geçer. Jisimden gelýän şöhleler linza, ondan soňra döwlüp aýna düşýärler. Aýnadan serpigen şöhleler ýene-de linzadan döwlüp geçip jisimiň şekilini emele getirýärler. Şonda ulgamyň optiki güýjüni aşakdaky aňlatmadan tapyp bolar.

$$D = D_1 + D_2 + D_1 = 2D_1 + D_2,$$

bu ýerde: D_1 – linzanyň optiki güýji, D_2 – aýnanyň optiki güýji.

Linzanyň tekiz güberçekligini ($R_2 = \infty$) göz öňünde tutsak:

$$D_1 = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{n-1}{R}; \;\; D_2 = \frac{2}{R}.$$

D_1 we D_2-niň bahalaryny ýokarky formulada ýerine goýsak:

$$D = \frac{2(n-1)}{R} + \frac{2}{R} = \frac{2n}{R}.$$

Diýmek, optiki ulgamyň fokus aralygy: $F = \frac{1}{D} = \frac{R}{2n}$.

Linzanyň formulasy boýunça:

$$b = \frac{aF}{a-F} = \frac{aR}{2an-R}; \text{ şekiliň ulaldylyşy } K = \frac{b}{a} = \frac{R}{2an-R};$$

$$b = \frac{25 \cdot 60}{2 \cdot 25 \cdot 1{,}5 - 60}\, sm = 100\, sm; \ K = \frac{60}{2 \cdot 25 \cdot 1{,}5 - 60}\left[\frac{sm}{sm}\right] = 4.$$

14. Oýuk aýnanyň optiki güýji: $D_1 = \frac{1}{F_1}$.

Aýnanyň fokus aralygy: $F_1 = \frac{R}{2}$; onda $D_1 = \frac{2}{R}$.

Ulgamyň optiki güýji aýna bilen suw linzasynyň optiki güýçleriniň jemine deň, ýagny $D = D_1 + 2D_2$.

D_2 – suw linzasynyň optiki güýji. Ýagtylyk şöhleleri suw linzasyndan iki gezek geçýärler, şonuň üçin koeffisiýent (2) girizilýär.

$$D_2 = \frac{D - D_1}{2} = \frac{D - \frac{2}{R}}{2}; \ F_2 = \frac{1}{D_2} = \frac{2}{D - \frac{2}{R}};$$

$$F_2 = \frac{2}{5{,}3 - \frac{2}{0{,}5}}\, m = 1{,}54 m.$$

15. A jisim bilen onuň A' şekiliniň aralygy $L = a+b$. Linzanyň formulasyny ulanyp, a aralygy tapalyň: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ ýa-da $\frac{1}{f} = \frac{a+b}{ab}$;

$b = L - a$, onda $Lf = aL - a^2$, $a^2 = L(a - f)$; $L = \frac{a^2}{a - f}$ minimum şertine

ýetmek üçin $\frac{dL}{da} = 0$ bolmaly, ýagny $\frac{dL}{da} = \frac{2a(a - f) - a^2}{(a - f)^2} = 0$, onda

$2\alpha\ (\alpha - f) - \alpha^2 = 0$,
$2\alpha^2 - 2\alpha f - \alpha^2 = 0$, $\qquad \alpha = 2f$.

16. Kadaly göz üçin iň gowy görüş aralygy $L = 0{,}25\ m$. Lupanyň fokus aralygyny tapmak üçin ýuka linzanyň formulasyny ulanalyň:

$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$; bu ýerden lupanyň iki tarapynyň hem egrilik radiuslarynyň ($R_1 = R_2$) deňligini göz öňünde tutup alarys:

$$F = \frac{R}{2(n-1)}, \tag{1}$$

onda $R = 2F(n-1)$.

Lupanyň ulaldyşy $$K = \frac{L}{F}, \tag{2}$$

bu ýerden $F = \frac{L}{K}$.

(2) aňlatmany (1) aňlatmada ornuna goýup alarys:

$$R = \frac{2L(n-1)}{K} = 0,025\ m.$$

17. Görüş turbasy tükeniksizlikdäki jisimleriň şekilini öz fokal tekizliginde berýär. Obýektiwden a_1 aralykdaky jisimleriň şekili bolsa linzadan $b = \frac{a_1F}{a_1 - F}$ aralykda, ýagny $\Delta b = b - F$ uzaklykda bolar. Obýektiwiň berýän şekilini öňküsi ýaly, okulýaryň fokal tekizliginde ýerleşdirmek üçin, okulýary Δb aralyga süýşürmek zerurdyr, ýagny $\Delta a = \Delta b$.

$$\Delta a = \Delta b = \frac{a_1F}{a_1 - F} - F = \frac{F^2}{a_1 - F};$$ şeýlelikde:

$$\Delta a = \frac{F^2}{a_1 - F} = 0,005\ m.$$

18. Obýektiwiň berýän şekili okulýaryň fokal tekizliginde ýatýar. onda: $\frac{aF_1}{a - F_1} + F_2 = l.$ (1) a – jisimden obýektiwe çenli aralyk. Obýektiwiň berýän çyzykly ulaldyşy: $K_1 = \frac{F_1}{a - F_1}$. Okulýar lupa ýaly işleýär, şonuň üçin onuň ulaldyşy: $K_2 = \frac{L}{F_2}$. $L = 0,25\ m$ – kadaly gözüň iň oňat görüş aralygy.

Mikroskopyň doly ulaldyşy:

$$K = K_1 \cdot K_2 = \frac{F_1L}{F_2(a - F_1)}. \tag{2}$$

a ululygy (1) deňlemeden taparys:

$a = \dfrac{F_1(l - F_2)}{l - (F_2 - F_1)} = 2{,}022 \cdot 10^{-3} m.$ Bu bahany (2) deňlemede goýup alarys:

$$K = \frac{2 \cdot 10^{-3}(18 \cdot 10^{-2} - 4 \cdot 10^{-2})}{18 \cdot 10^{-2}(4 \cdot 10^{-2} + 0{,}2 \cdot 10^{-2})} \frac{m}{m} = 568.$$

19. Optiki güýçleri D_1 we D_2 bolan iki sany merkezleşen linzalar ulgamynyň optiki güýji;

$D = D_1 + D_2 - \delta D_1 D_2$. Bu ýerde δ – ulgamyň optiki interwaly, ýagny birinji linzanyň 2-nji fokusy bilen ikinji linzanyň 1-nji fokusynyň aralygy. Berlen ýagdaýda $\delta = 0$. Onda

$$D = D_1 + D_2 = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2},$$

bu ýerde f_1 we f_2 – degişlilikde birinji we ikinji linzanyň fokus aralygy.

Meseläniň şertine görä:

linzalaryň aralygy: $d = f_1 + f_2$; ulaldyş $K = 5$.

Teleskopik ulgamyň ulaldyşy:

$K = -\dfrac{D_2}{D_1} = -\dfrac{f_1}{f_2} = -5$, bu ýerden $f_1 = 5 f_2$.

Onda $d = 6 f_2$, ýagny $f_2 = \dfrac{d}{6} = 2\ sm.$

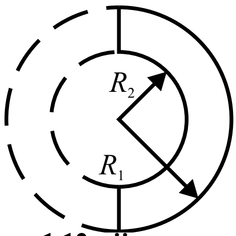
Ýokarky netijeleri ulanyp alarys:

$$D = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{f_1 + f_2}{f_1 \cdot f_2} = \frac{5f_2 + f_2}{5f_2 \cdot f_2} = \frac{6f_2}{5f_2^2} = \frac{6}{5f_2} = \frac{6}{5 \cdot \frac{d}{6}}.$$

$$D = \frac{6}{5 \cdot 0{,}02}\left[\frac{t}{m}\right] = \frac{6}{0{,}10} m^{-1} = 60\ dptr.$$

20. a) $D = D_1 + D_2 - \dfrac{d}{n} D_1 D_2.$

$$D_1 = \frac{1}{f_1} = \frac{n-1}{R_1};\ D_2 = \frac{1}{f_2} = -\frac{n-1}{R_2}.$$



1.12-nji çyzgy

Linza güberçek oýuk bolany üçin $D_2 = -\frac{1}{f_2}$;

$$D = D_1 - D_2 + \frac{d}{n} D_1 D_2.$$

Teleskopik linza üçin $f \to \infty$, onda $D = 0$ bolmaly.

$$0 = D_1 - D_2 + \frac{d}{n} \cdot \frac{(n-1)(n-1)}{R_1 R_1};$$

$$-\frac{d}{n} \cdot \frac{(n-1)(n-1)}{R_1 R_2} = \frac{(R_2 - R_1)(n-1)}{R_1 R_2}; \quad \frac{d}{n}(n-1) = R_1 - R_2$$

$$d = \frac{n(R_1 - R_2)}{n-1} \quad R_1 - R_2 = \Delta R,$$

onda

$$d = \frac{n \cdot \Delta R}{n-1} \quad d = \frac{1,5 \cdot 0,015}{0,5} = 0,045\ m.$$

b) $D = D_1 + D_2 - \frac{d}{n} D_1 D_2.$

$$D_1 = \frac{1}{f} = \frac{n-1}{R_1} = \frac{0,5}{0,1m} = 5\ dptr.$$

$$D_2 = -\frac{1}{f_2} = -\frac{n-1}{R_2} = -\frac{0,5}{0,075} = -6,66\ dptr,\ D = -1\ dptr.$$

Onda

$$-1 = 5 - 6,66 + \frac{d}{1,5} 5 \cdot 6,66.$$

$$-1 = -1,66 + \frac{d}{1,5} \cdot 3,33, \quad d = \frac{0,66 \cdot 1,5}{33,3} = 0,03\ m.$$

II bap

FOTOMETRIÝANYŇ ESASLARY

2.1. Usuly görkezmeler

Üstüň ýagtylandyryşyna degişli meseleler işlenende çyzgyda berlen ýagtylyk çeşmelerine çenli bolan aralygy, çeşmeden çykýan şöhläniň düşme burçuny görkezmek maslahat berilýär. Birnäçe çeşmeleriniň ýagtylandyryşynyň her bir çeşmäniň ýagtylandyryşynyň jemine deňdigini hem hasaba almaly.

Ýagtylyk akymy Φ – ýagtylyk şöhlelenmesiniň kuwwaty. Ol käbir üstden wagt birliginde geçýän şöhle energiýasyna deňdir, ýagny

$$\Phi = \frac{dW}{dt},$$

bu ýerde W – görüş duýgusy bilen baha berilýän şöhle energiýasy, t – şöhlelenme wagty.

Çeşmäniň ýagtylyk güýji I onuň birlik jisim burçunda döredýän ýagtylyk akymy bilen kesgitlenýär.

$$E = \frac{d\Phi}{d\Omega},$$

bu ýerde Ω – jisim burçy.

Nokatlanç izotrop çeşmäniň ýagtylyk güýji I bilen doly ýagtylyk akymy $\Phi_0 = 4\pi I$ formula bilen baglanyşýar.

Üstüň ýagtylandyrylyşy E birlik meýdana düşýän ýagtylyk akymy bilen kesgitlenilýär:

$$E = \frac{d\Phi}{dS},$$

bu ýerde S – ýagtylygyň düşýän üstüniň meýdany.

Ýagtylyk güýji I bolan nokatlanç çeşmäniň özünden r aralykdaky meýdanda döredýän ýagtylandyrylyşy:

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

(bu ýerde α – şöhleleriň düşme burçy) kanuna boýun egýär.

Ýagtylyk goýberýän jisimiň birlik meýdanynyň çykarýan ýagtylyk akymyna san taýdan deň bolan ululyga ýagtylanyjylyk (R) diýilýär.

$$R = \frac{d\Phi}{dS},$$

bu ýerde S – ýagtylygy goýberýän üstüň meýdany.

Eger jisimiň ýagtylanyjylygy üstüň ýagtylandyrylyşy bilen baglanyşdyrylsa, onda:

$R = \rho E$, bu ýerde ρ – serpikme koeffisiýenti.

Şöhle goýberýän çeşmäniň B röwşenligi:

$$B = \frac{dI}{dS\cos\theta},$$

bu ýerde θ – üst elementine geçirilen normal bilen gözegçilik ugrunyň arasyndaky burç.

Lambertiň kanuny boýunça şöhlelenýän jisim üçin röwşenlik ugra bagly bolmaýar, B röwşenlik bilen R ýagtylanyjyygyň arasyndaky baglanyşyk

$$R = \pi B.$$

2.2. Meseleler

1. Ýarym sferanyň ýokarsynda onuň diametrine deň bolan aralykda, ýagtylyk güýji 50 *kd* (kandela) bolan nokatlanç ýagtylyk çeşmesi ýerleşen. Ýarym sferanyň üstüne şöhleleriň 35° burç bilen düşýän nokatlarynyň ýagtylandyrylyşyny kesgitlemeli. Ýarym sferanyň radiusy $R = 1$ *m*.

2. Üçekden asylan çyranyň gorizontal ugurda berýän ýagtylyk güýji $I = 60$ *kd*. Çyradan $r = 2$ *m* aralykda meýdany $S = 0{,}5\ m^2$ bolan surat asylan, onuň garşysynda çyradan $a = 2m$ aralykda bolsa, uly aýna ýerleşen. Surata düşýän ýagtylyk akymyny kesgitlemeli.

3. Gije-gündiz deňleşende Gün Ýeriň demirgazygynda gorizonta $\alpha = 10°$ burç bilen ýerleşen. Wertikal ýerleşen meýdançanyň ýagtylandyrylyşy, gorizontal ýerleşen meýdançanyňkydan näçe esse köp bolar?

4. Meýdany $S = 100\ sm^2$ bolan tekiz gorizontal disk görnüşindäki ýagtylyk çeşmesi, $R = 1\ m$ radiusly tegelek stoluň merkeziniň ýokarsyndan asylan. Ýagtylyk çeşmäniň ýitiligi $L = 1{,}6 \cdot 10^4\ kd/m^2$ we ugra bagly däl. Çeşme stoluň üstünden haýsy beýiklikde ýerleşende, stoluň gyraky nokatlarynyň ýagtylandyrylyşy maksimal bolar? Ýagtylandyrylyş näçe bolar?

5. Meýdany $S = 25\ m^2$ bolan kub görnüşli otagyň merkezinden çyra asylan. Otagyň burçlarynyň ýagtylandyrylyşy maksimal bolmagy üçin, çyrany poldan näçe beýiklikde ýerleşdirmeli?

6. Günüň töwereginde aýlanýan planetanyň üstüne bir periodyň dowamynda düşýän ýagtylyk energiýasyny tapmaly. Günüň ýagtylyk energiýasy P, planetanyň kesiginiň meýdany S. Planeta Günden iň kiçi r_0 aralykda bolanda, onuň tizligi V_0.

7. Lambertiň kanunyna boýun egýän käbir ýagtylanýan üstüň röwşenligi B:

a) üstüň ΔS elementinden konusyň içine düşýän ýagtylyk akymyny (konusyň oky berlen elemente normal, konusyň ýarym açyk burçy φ-deň);

b) çeşmäniň R ýagtylanyjylygyny tapmaly.

8. Deňölçegli ýagtylanýan $r = 6{,}0\ sm$ radiusly sfera görnüşindäki ýagtylyk çeşmesi poldan $h = 3{,}0\ m$ daşlykda ýerleşen. Çeşmäniň röwşenligi $B = 2{,}0 \cdot 10^4\ kd/m^2$ we ugra bagly däl. Çeşmäniň aşagynda poluň ýagtylandyrylyşyny tapmaly?

9. Ýagtylyk güýji $I_0 = 100\ kd$ bolan nokatlanç çeşme, $f = 25{,}0\ sm$ fokus aralykly oýuk aýnanyň depesinden $a = 20{,}0\ sm$ daşlykda ýerleşen. Serpigen ýagtylygyň ýagtylyk güýjüni kesgitlemeli? Aýnanyň serpikme koeffisiýenti $\rho = 0{,}8$.

10. Göräli deşigi $D/f = 1/3{,}5$ (D – linzanyň diametri f – onuň fokus aralygy) bolan ýuka ýygnaýjy linza fotoplastinkada ýeterlik daşdaky jisimiň şekilini berýär. Jisimiň röwşenligi $B = 260\ kd/m^2$. Linzadaky ýagtylygyň ýitgisi $A = 0{,}10$. Şekiliň ýagtylandyrylyşyny tapmaly?

11. Obýektiwiniň diametri $D = 6{,}0\ sm$ bolan görüş turbanyň haýsy ulaldyşynda gözüň torjagazyndaky obýektiň şekiliniň ýagtylandyrylyşy turbanyň ýok wagtyndakydan pes bolmaz? Gözüň görejiniň diametrini $d_0 = 3{,}0\ mm$ diýip hasap etmeli. Turbadaky ýagtylygyň ýitgisini hasaba almaly däl.

12. Garagum bilen örtülen üstüň ýagtylandyrylyşy $E = 150$ *lk*, hemme taraplara bir meňzeş bolan röwşenligi $B = 1$ kd/m^2. Garagumuň serpikme koeffisiýentini kesgitlemeli.

13. Ýagtylyk güýji $I_1 = 40$ *kd* bolan çyra bilen fotosurat çykarylanda, çyra suratdan $r_1 = 1$ *m* aralykda ýerleşdirilende surat çykarmaklyk wagty 2 *sek*. Suratdan 1,5 *m* aralykdaky, ýagtylyk güýji 30 *kd* bolan çyra ulanylsa, surat çykarmaklyk wagty näçe bolar? Iki ýagdaýda hem fotosuratyň umumy alýan ýagtylyk energiýasy deň diýip göz öňünde tutmaly.

14. Ýerden $h_1 = 3{,}0$ *m* beýiklikde ýagtylyk güýji 250 *kd* bolan çyra, $h_2 = 4{,}0$ *m* beýiklikde bolsa, 150 *kd* ýagtylyk güýji bolan çyra asylan. Çyralaryň aralygy $l = 2{,}5$ *m*. Birinji çyranyň aşagyndaky (*2.7-nji çyzgy*) ýeriň ýagtylandyrylyşy ikinji çyranyňkydan näçe esse uly?

15. Çyranyň içindäki diametri $d = 3$ *mm* bolan gyzaran şarjagazyň ýagtylyk güýji $I = 85$ *kd*. Eger onuň sferik kolbasy

a) dury aýnadan;

b) dury däl aýnadan, edilen bolsa, *B* röwşenligini tapmaly. Kolbanyň diametri $D = 6$ *sm*.

16. Meýdany $S = 20{\cdot}30$ sm^2 bolan ak kagyzyň üstüne $\Phi = 120$ *lm*. ýagtylyk akymy perpendikulýar düşýär. Serpikme koeffisiýenti $\rho = 0{,}75$. Ak kagyzyň ýagtylandyrylyşyny *E*, ýagtylanyjylygyny *R* we röwşenligini *B* tapmaly. Nähili ýagtylandyrylyşda kagyzyň röwşenligi $B = 10^4$ kd/m^2 bolar?

17. Linzany yzygider ulanyp, bir jisimiň şekilini iki gezek alyp bolýar, birinde ulaldyş $\eta_1 = 5$, beýlekisinde $\eta_2 = 2$. Şekilleriň ýagtylandyrylyşy nähili üýtgeýär?

18. Ýagtylyk güýji $I_1 = 25$ *kd* we $I_2 = 8$ *kd* bolan iki sany çyranyň aradaşlygy $\ell = 1{,}8$ *m*. Kagyz birinji çyradan haýsy aradaşlykda ýerleşdirilende onuň birinji çyra tarapyndan ýagtylandyrylyşy ikinji çyranyňkydan iki esse uly bolar?

19. Diametri *D*, fokus aralygy *f* bolan linzadan daşda ýerleşen kiçijik jisim bu linzanyň kömegi bilen ekrana proýektirlenýär. Ekrandaky şekiliň ýagtylanydyrylyşynyň jisimiň ýagtylanyjylygyna we linzanyň ýagtylyk güýjüne baglydygyny görkezmeli (linzanyň ýagtylyk güýji diýip linzanyň diametriniň onuň fokus aralygynyň gatnaşygynyň kwadratyna aýdylýar).

20. Kuwwaty $P = 75$ *Wt* bolan çyranyň normal düşýän şöhleleriniň $r = 3$ *m* aralykda döredýän ýagtylandyrylyşy $E = 8$ *lk*. Çyranyň udel kuwwatyny (*Wt*/*kd*) we η ýagtylyk berijiligini (*lm*/*Wt*) tapmaly.

21. Optiki ulgam r radiusly galypa salnan dargadyjy we ýygnaýjy linzalardan ybarat. Dargadyjy linzanyň fokus aralygy f_1, ýygnaýjynyňky $-f_2$. Linzalaryň ℓ aralygy. Ýagtylyk güýji I bolan nokatlanç çeşme birinji linzadan a_1 aralykda baş optiki okuň üstünde ýerleşen. Ikinji linzadan b aralykda ulgamyň okuna perpendikulýar ýerleşen ekrandaky tegmiliň ýagtylandyryşyny tapmaly.

2.3. Ugrukdyrmalar

1. Belli bir aralyk üçin nokatlanç ýagtylyk çeşmesiniň nokady ýagtylandyrylyş formulasyndan peýdalanmaly. Çeşmeden çykan şöhleleriň düşme nokadyna çenli aralygyny çyzgydan tapmaly.

2. Surata düşýän ýagtylyk akymyny kesgitlemek üçin suratyň umumy ýagtylandyrylyşyny suratyň meýdanyna köpeltmeli: ($\Phi = E \cdot S$). Umumy ýagtylandyrylyşy bilmek üçin bolsa, çyranyň suraty we onuň şekiliniň ýagtylandyryşyny bilmeli.

3. Çyzgynyň kömegi bilen wertikal we gorizontal meýdançalaryň ýagtylandyryşlarynyň formulalaryny kesgitlemeli, olary özara gatnaşdyryp, meseläniň jogabyny taparsyňyz.

4. Ýagtylandyrylyşyň umumy formulasyndan peýdalanmaly. Onuň üçin çeşme bilen stoluň gyrasynyň aralygynyň jisim burçunyň formulasyny peýdalanyp, şöhläniň düşme burçuny kesgitlemeli. Ýagtylyk çeşmesiniň ýitiliginiň formulasynyň üsti bilen çeşmäniň ýagtylyk güýjüni kesgitlemeli.

5. Meseläniň şertine görä, gurlan çyzgydan otagyň burçuna düşýän ýagtylyk şöhleleriniň düşme burçunyň üsti bilen çeşmeden otagyň burçuna çenli aralygy tapyp, ýagtylandyrylyşyň formulasyny aňlatmaly. Ýagtylandyrylyşyň maksimumyny tapmak üçin ondan burça görä alnan birinji önümi (*dE*/*dl*) nola deňläp, tgα-ň bahasyny kesgitläp, çyranyň asylmaly beýikligi tapylar.

6. Gerekli ululyk planeta düşýän ýagtylyk akymynyň üsti bilen tapylýar. Onuň üçin periodyň (T), Günüň J ýagtylyk güýjüniň w jisim burçunyň formulalaryny ulanmaly.

7. Ýagtylyk akymy üçin iki formulany deňeşdirip elementiň J ýagtylyk güýjüni tapmaly. Soňra tapylan ýagtylyk güýjüni we jisim burçunyň formulalaryny ulanyp, meseläniň jogaby tapylar.

8. Çeşmäniň röwşenligini ulanyp, onuň ýagtylyk güýjüniň formulasyny kesgitlemeli. Ol formulany ýagtylandyrylyşyň umumy formulasynda goýup, meseläniň jogaby tapylýar.

9. Nokatlanç çeşmäniň we onuň şekiliniň berýän ýagtylandyryşyny özara deňlemeli. Aýnanyň formulasyndan bolsa şekil aralygyny tapmaly.

10. Jisimiň röwşenliginiň formulasyndan jisimiň ýitiligini tapyp, linzadaky ýagtylygyň ýitgisini göz öňünde tutup, ýagtylandyrylyşyň formulasyny ýazyň.

11. Meseläniň şertini göz öňünde tutup, okulýaryň diametriniň görejiň diametrine deň bolmalydygyny subut ediň, görüş turbasynyň formulasyny ulanyň.

12. Röwşenligiň formulasyny ulanyp, serpikme koeffisiýenti tapyň.

13. Surat çykarmanyň iki ýagdaýy üçin hem ekspozisiýa wagtynda kagyzyň alýan ýagtylyk energiýasyny özara deňläň we ikinji ýagdaý üçin gerek wagty tapyň.

14. Ýagtylandyrylyş kanunynyň esasynda her çyranyň aşagyndaky ýeriň ýagtylandyrylyşyny tapyň. Näbelli aralyklary çyzgydan tapyň.

15. Birinji ýagdaýda şöhlelenýän üst diýip şarjagazyň üstüni kabul ediň. Ikinji ýagdaýda ýagtylygyň dargamagyny göz öňünde tutsak, şöhlelenýän üst çyranyň üsti bolar. Ikisi üçin hem röwşenligiň formulalaryndan peýdalanyň.

16. Ýagtylandyrylyşyň kesgitlemesinden, ýagtylandyryjylygyň, röwşenligiň formulalaryndan peýdalanyň.

17. Jisim burçunyň, ulaldyşyň, linzanyň formulalaryny ulanyp, iki ýagdaý üçin hem ýagtylandyrylyşyň kesgitlemesine görä onuň formulasyny ýazyň.

18. Birinji we ikinji çyralar tarapyndan kagyzyň ýagtylandyrylyşyny aňladyň we meseläniň şertini $E_1 = E_2$ ulanyň.

19. Şekiliň meýdanyny S, jisim burçuny, jisimiň (R) ýagtylanyjylygyny, B röwşenligini göz öňünde tutuň we E ýagtylandyrylyşyň formulasyny ýazyň.

20. Çyranyň udel kuwwatynyň $\rho = P/I$ we ýagtylyk berijiliginiň $f = \Phi/P$ formulalaryny ulanyň.

21. Ekrandaky tegmiliň ýagtylandyrylyşyny tapmak üçin çyzgynyň we geometriki özgertmeleriň üsti bilen tegmiliň ölçegini tapyň, jisim burçuny ýygnaýjy linzanyň formulasy boýunça tapyň.

2.4. Jogaplar

1. $E = 15{,}3\ lk$. **2.** $\Phi = 8{,}3\ lm$. **3.** 5,7. **4.** $h = R = 1\ m$; $E = 40\ lk$. **5.** $h = 2{,}5\ m$. **6.** $W = P_0\, S/(2r_0\, V_0)$. **7.** $\Phi = B\Delta S\, \pi \sin^2\theta$.

8. $E = \dfrac{B\pi \cdot r^2}{h^2} = 25.5 lk$. **9.** $I_1 = \dfrac{p_0 I_0 f^2}{(f-a)^2} = 2 \cdot 10^3 kd$.

10. $E = \dfrac{(1-A)\pi D^2 B}{4f^2} = 15 lk$. **11.** $K = 20$. **12.** $\rho = 0{,}98$. **13.** $t_2 = 6\ sek$.

14. $\dfrac{E_A}{E_B} = 1{,}48$. **15.** a) $B_1 = 1{,}2 \cdot 10^7 \dfrac{kd}{m^2}$; b) $B_2 = 3 \cdot 10^4 \dfrac{kd}{m^2}$.

16. $E = 2 \cdot 10^3 lk$; $R = 1{,}5 \cdot 10^3 \dfrac{lm}{m^2}$; $B = 478 \dfrac{kd}{m^2}$; $E_1 = 4{,}2 \cdot 10^4 lk$.

17. $\dfrac{E_1}{E_2} = \dfrac{1}{4}$. **18.** $x_1 = 9\ m$, $x_2 = 1\ m$. **19.** $E = \dfrac{R}{4} \cdot \dfrac{D^2}{f^2}$.

20. $\rho = 1 \dfrac{Wt}{kd}$; $f = 12 \dfrac{lm}{Wt}$.

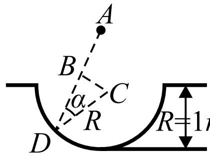
21. $E = \dfrac{IF_1^2[(S-F_2)(a_1F_1 + a_1\ell + F_1\ell) - SF_2(F_1 + a_1)]^2}{F_1^2(d_1F_1 + d_1\ell + F_2\ell)^4}$.

2.5. Çözülişleri

1. Nokatlanç A ýagtylyk çeşmäniň özünden $r = AD$ aralykdaky (*2.1-nji çyzgy*) nokatda döredýän ýagtylandyrylyşy

$$E = \frac{I}{r^2}\cos\alpha,$$

bu ýerde α – şöhleleriň düşme burçy. Meseläniň şertine görä,



2.1–nji çyzgy

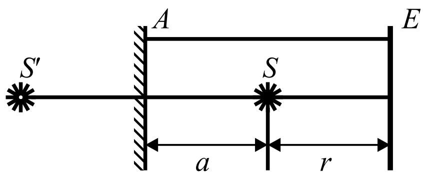
$$AD = 2AB = 2AC\cos\alpha,$$

$AC=R$, onda:

$$E = \frac{I\cos\alpha}{(2R\cos\alpha)^2} = \frac{I}{4R^2\cos\alpha},$$

$$E = \frac{50}{8\cdot\cos 35^\circ} = 15{,}3\,\frac{sem}{m^2} = 15{,}3\,lk.$$

2. Suratyň umumy ýagtylandyrylyşy: $E=E_1+E_2$,
bu ýerde: E_1 – suratyň çyra tarapyndan ýagtylandyrylyşy, E_2 – çyranyň aýnadaky şekiliniň suraty *(2.2-nji çyzgy)* ýagtylandyryşy.



2.2-nji çyzgy

$E_1 = \frac{I}{r^2}\cos\alpha$, bu ýerde cos $\alpha = 1$, onda $E_1 = \frac{I}{r^2}$; $E_2 = \frac{I}{(r+2a)^2}$; netijeleýji ýagtylandyryş:

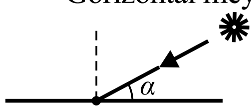
$$E = E_1 + E_2 = I\left(\frac{1}{r^2} + \frac{1}{(r+2a)^2}\right).$$

Surata düşýän ýagtylyk akmy: $\Phi = ES$, onda

$\Phi = I\cdot S\left(\frac{1}{r^2} + \frac{1}{(r+2a)^2}\right)$, san bahalaryny soňky formulada goýup alarys: $\Phi = 8{,}3\ lm$.

3. Wertikal meýdançanyň ýagtylandyrylyşy: $E = \frac{J}{r^2}\cos\alpha$.

Gorizontal meýdançanyň ýagtylandyrylyşy *(2.3-nji çyzgy):*



2.3-nji çyzgy

$$E_2 = \frac{I}{r^2}\cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \frac{I}{r^2}\sin\alpha.$$

Bu ýerden $\frac{E_1}{E_2}\mathrm{ctg}\alpha = 5{,}7.$

4. Stoluň gyrasyndaky nokatlaryň ýagtylandyrylyşyny:

$E = \frac{I\cos\alpha}{r^2}$ (1) formula bilen kesgitlemek üçin: I ýagtylyk çeşmäniň güýjüni, r – ýagtylyk çeşmeden stoluň gyrasyna çenli aralygy (*2.4-nji çyzgy*) bilmeli.

Onuň üçin ω – jisim burçuny tapmaly. Ýagny:

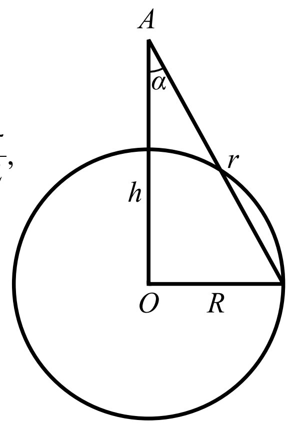
$$\omega = \frac{S}{R^2};\ \omega = \frac{0{,}001m^2}{1} = 0{,}001\,m^2,$$

$\omega = 2\pi\ (1 - \cos\alpha)$, bu ýerde α – konusyň oky bilen onuň emele getirijisiniň arasyndaky burç.

$$\omega = 2\pi - 2\pi\cos\alpha,$$

$$\cos\alpha = 1 - \frac{\omega}{2\pi} = 1 - \frac{0,01}{2\cdot 3,14} \approx 1,\ \alpha = \frac{\pi}{2},$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4} = 45°. \qquad (2)$$



2.4-nji çyzgy

Ýagtylyk çeşmäniň ýitiligi $L = \frac{I}{S\cos\alpha}$, bu ýerden

$$I = LS\cos\alpha. \qquad (3)$$

Çyzgydan: $\frac{R}{h} = \mathrm{tg}\alpha \rightarrow h = \frac{R}{\mathrm{tg}\alpha} = \frac{1}{1} = 1.$

Diýmek, $R = h,\ r = \sqrt{h^2 + R^2}.$ (4)

(2), (3), (4) deňlemeleri (1) formulada ornuna goýup alarys:

$$E = \frac{LS\cos^2\alpha}{2R^2} \quad E = \frac{1,6\cdot 10^4\cdot 10^{-2}\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)}{2\cdot 1}\left[\frac{\frac{kd}{m^2}m^2}{m^2} = \frac{kd}{m^2}\right] = 40\,lk.$$

5. Otagyň burçlarynyň ýagtylandyrylyşy aşaky formula bilen hasaplanýar.

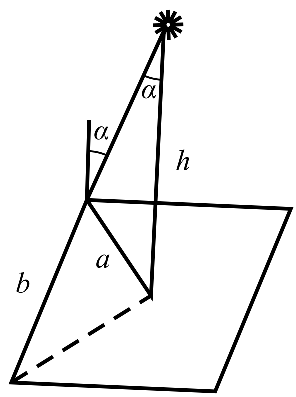
$E = \frac{I}{r^2}\cos\alpha$ (1), bu ýerde $r = AB$ – çeşmeden otagyň burçuna çenli aralyk, α – şöhleleriň düşme burçy, a – otagyň merkezinden burça çenli aralyk (*2.5-nji çyzgy*).

Çyzgydan alarys: $a^2 = \frac{b^2}{2}; a = \frac{b}{\sqrt{2}},$

$a = r\sin\alpha$ ýa-da $a = h\,\mathrm{tg}\alpha$. Onda (1) formula aşaky görnüşi alar

$$E = \frac{I}{a^2}\cos\alpha\sin^2\alpha. \qquad (2)$$

Ýagtylandyrylyşyň maksimumyny tapmak üçin $\frac{dE}{d\alpha}$ önüm alyp nula deňlemeli:



2.5-nji çyzgy

$$\frac{dE}{d\alpha} = \frac{I}{a^2}(2\cos^2\alpha \cdot \sin\alpha - \sin^3\alpha) = 0$$, bu ýerden: $\mathrm{tg}^2\alpha=2$. Onda:

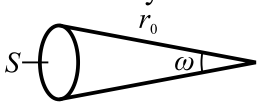
$$h = \frac{a}{\mathrm{tg}\alpha} = \frac{b}{\sqrt{2}\,\mathrm{tg}\alpha} = \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{2}\,\mathrm{tg}\alpha} = \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{2}\cdot\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{25\,m^2}}{2} = 2{,}5\ m.$$

6. Planeta düşýän ýagtylyk energiýasyny ýagtylyk akymyň formulasynyň üsti bilen tapsa bolar.

$\Phi = \frac{W}{t}$, bu ýerde W – şöhle energiýasy, $t = T$, onda

$\Phi = I\omega = I\frac{S}{r_0^2}$; $\frac{S}{r_0^2} = \omega$ – jisim burçy (*2.6-njy çyzgy*).

Planetanyň Günüň töwereginde aýlanma periody:



2.6-njy çyzgy

$$T = \frac{l}{\nu_0} = \frac{2\pi r_0}{\nu_0}.$$

Ýagtylyk güýji: $I = \frac{P}{4\pi}$ ($P = \Phi$),

bu ýerden: $W = \frac{P}{4\pi}\frac{S}{r_0^2}\frac{2\pi r_0}{\nu_0} = \frac{PS}{2r_0\nu_0}$.

Diýmek, planeta düşýän ýagtylyk energiýasy: $W = \frac{PS}{2r_0\nu_0}$.

7. Çeşmäniň doly ýagtylyk akymy: $\Phi_o = 4\pi I$, I – çeşmäniň ýagtylyk güýji. Eger $\Phi_0 = \Phi$.

$\Phi = R\Delta S = \pi B\Delta S$, R – çeşmäniň ýagtylanyjylygy $R = \pi B$.

Ýokarky formulalary göz öňünde tutup: $I = \frac{\pi B\Delta S}{4\pi} = \frac{B\Delta S}{4}$.

$\Phi = Iw= I2\pi(1-\cos\theta) = \mathrm{I}\ 4\pi\sin^2\theta$.

$\Phi = \frac{B\Delta S}{4}4\pi\sin^2\theta = B\Delta S\pi\sin^2\theta.$

8. Ýagtylyk çeşmesiniň aşagyndaky ýagtylandyrylyşy: $E = \frac{I}{h^2}$ (1), bu ýerde $\alpha = 0$, $\cos\alpha = 1$.

Çeşmäniň röwşenligi bolsa: $B = \frac{I}{S} = \frac{I}{\pi r^2}$; S – çeşmäniň üst meýdany. Ýokarky formuladan: $I=B\pi r^2$. Çeşmäniň ýagtylyk güýjüniň formulasyny (1) formulada ornuna goýup alarys:

$$E = \frac{B\pi r^2}{h^2}; \quad E = \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 3,14 \cdot 36 \cdot 10^4}{9} = 25,5\,lk.$$

9. Çeşmäniň we onuň şekiliniň berýän ýagtylandyrylyşy, degişlilikde: $E_1 = p\frac{I_0}{a^2}$; $E_2 = \frac{I_1}{b^2}$; $E = E_1 = E_2$; $p\frac{I_0}{a^2} = \frac{I_1}{b^2}$; bu ýerden: $I_1 = \frac{pb^2I_0}{a^2}$. Aýnanyň formulasyndan:

$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} - \frac{1}{b}$; $a<f$ bolanda şekil hyýaly bolýar we b (–) alamat bilen alynýar.

Bu ýerden $b = \frac{a \cdot f}{f - a}$, onda $I_1 = \frac{pa^2f^2I_0}{(f-a)^2a^2} = \frac{pI_0f^2}{(f-a)^2}$

$I_1 = 2 \cdot 10^3\ kd.$

10. Ýagtylandyrylyşy: $E = \frac{pI}{r^2}\cos\alpha$, $\rho = 1 - A$. Onda

$E = \frac{(1-A)I}{r^2}\cos\alpha$. Şekiliň röwşenliligi $B = \frac{I}{S\cos\alpha}$. Linzadan ýeterlik daşdaky jisimiň şekili linzanyň fokal tekizliginde ýerleşýär, şonuň üçin şekil aralyk fokus aralyga deň bolýar, ýagny $r = f$, $\cos\alpha = 1$, çünki $\alpha = 0$, A – siňdirme koeffisiýenti, α – düşme burçy.

Linzanyň meýdany $s = \pi R^2 = \pi\frac{D^2}{4}$; linzanyň radiusy $R = \frac{D}{2}$.

Ýokarky formulalary göz öňünde tutsak, $E = \frac{(1-A)BS\cos^2\alpha}{f^2} =$

$$= \frac{(1-A)BS}{f^2} = \frac{(1-A)\pi D^2B}{4f^2}; \; E = \frac{(1-0,1)3,14 \cdot 260 \cdot 1}{4 \cdot 3,5^2} = 15\,lk.$$

11. Görüş turbanyň ulaldyşy: $\Gamma = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$ ýa-da $\Gamma = \frac{D}{d}$, bu ýerde:

f_{ob}, f_{ok} – degişlilikde obýektiwiň we okulýaryň fokus aralyklary;
D, d – degişlilikde obýektiwiň we okulýaryň diametrleri.

$E_1 = \frac{\Phi}{S_1}$; $E_2 = \frac{\Phi}{S_2}$, S_1 – okulýaryň meýdany. S_2 – görejiň meýdany

$S_1 = \frac{\pi d^2}{4}$; $S_2 = \frac{\pi d_0^2}{4}$; meseläniň şertine görä, $E_1 = E_2$, onda $\frac{\Phi}{S_1} = \frac{\Phi}{S_2}$.

Bu ýerden S_1=S_2; $\pi d^2 = \pi d_0^2$ ýa-da $d = d_0$. Diýmek $\Gamma = \frac{D}{d} = \frac{D}{d_0}$;
$\Gamma = \frac{6sm}{0,3sm} = 20.$

12. Üstüň serpikme (ρ) we siňdirme (A) koeffisiýentleriniň jemi 1-e deň. Ýagny: $A+\rho = 1$.

Üstüň röwşenligi: $B = A{\cdot}E = \pi B$, bu ýerden $A = \frac{\pi B}{E}$,
onda $\rho = 1 - A = 1 - \frac{\pi B}{E}$,

$$\rho = 1 - \frac{3,14 \cdot 1}{150}\left[\frac{lk}{kd/m^2} = \frac{kd/m^2}{kd/m^2}\right] = 0{,}98.$$

13. Kagyzyň t wagtda alýan ýagtylyk energiýasy, Φ ýagtylyk akymynyň ekspozisiýa wagtyna köpeltmek hasylyna deň

$$W = \Phi t = ESt.$$

Bu formulany ýagdaýlaryň hersi üçin ýazsak, $W_1 = E_1St_1$, $W_2 = E_2St_2$ alarys.

Meseläniň şertine görä $W_1 = W_2$. Ýagny: $E_1St_1 = E_2St_2$,
bu ýerden $t_2 = \frac{E_1t_1}{E_2}$.

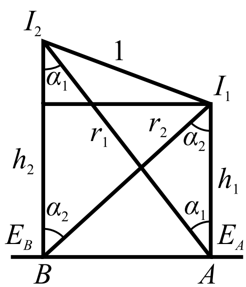
Ýagtylandyrylyş kanuny boýunça:
$E = \frac{I_1}{r_1^2}$ we $E_2 = \frac{I_2}{r_2^2}$. Onda

$$t_2 = \frac{I_1r_2^2t_1}{r_1^2I_2}; \qquad t_2\,\frac{40 \cdot 1.5^2 \cdot 2}{1^2 \cdot 30}\left[\frac{kd \cdot m^2 \cdot sek}{m^2 \cdot kd}\right] = 6\ sek.$$

14. Her bir çyranyň aşagyndaky ýagtylandyrylyş birinji we ikinji çyralaryň döredýän ýagtylandyryşlarynyň jemine deň. Ýagtylandyrylyş kanunlarynyň esasynda:

$$E_A = \frac{I_1}{h_1^2} + \frac{I_2}{r_1^2}\cos\alpha = \frac{I_1}{h_1^2} + \frac{I_1h_2}{r_1^3}; \qquad (1)$$

$$E_B = \frac{I_2}{h_2^2} + \frac{I_1}{r_2^2}\cos\alpha_2 = \frac{I_2}{h_2^2} + \frac{I_1h_1}{r_2^3}. \qquad (2)$$



2.7-nji çyzgy

Näbelli r_1 we r_2 aralyklary çyzgydan (*2.7-nji çyzgy*) Pifagoryň teoremasy boýunça kesgitlemek bolar. Onuň üçin A we B nokatlaryň aralygyny (a) tapmaly, ýagny: $a = \sqrt{l^2 - (h_2 - h_1)^2}$.

$$r_1 = \sqrt{h_2^2 + l^2 - (h_2 - h_1)^2}; \quad r_1 = \sqrt{16m^2 + 6{,}25m^2 - 1m^2} =$$
$$= \sqrt{21{,}25m^2} = 4{,}6\, m.$$
$$r_2 = \sqrt{h_1^2 + l^2 - (h_2 - h_1)^2}; \quad r_2 = \sqrt{9m^2 + 6{,}25m^2 - 1m^2} =$$
$$= \sqrt{14{,}25m^2} = 3{,}8\, m.$$

A we B nokatlaryň ýagtylandyrylyşyny (1) we (2) formulalaryň kömegi bilen tapalyň:

$$E_A = \frac{250}{9} + \frac{150 \cdot 4{,}0}{4{,}6^3}\left[\frac{sem}{m^2} + \frac{sem \cdot m}{m^3}\right] = 34\ lk;$$

$$E_B = \frac{150}{16} + \frac{250 \cdot 3{,}0}{3{,}8^3}\left[\frac{sem}{m^2} + \frac{sem \cdot m}{m^3}\right] = 23\ lk.$$

Ýagtylandyrylyşyň gatnaşygy: $\frac{E_A}{E_B} = \frac{34lk}{23lk} = 1{,}48.$

Diýmek, birinji çyranyň aşagyndaky ýagtylandyrylyş ikinji çyranyň aşagyndaky ýagtylandyrylyşdan 1,48 esse uly eken.

15. Çyranyň röwşenligi $B = \frac{I}{S}$, bu ýerde S – gözegçilik edilýän ugra perpendikulýar tekizlige şöhlelenýän üstüň meýdanynyň proýeksiýasy.

a) şarjagazyň üsti şöhlelenýän üst bolýar, onuň meýdany $S = \pi\frac{d^2}{4}$. Bu ýerden

$$B_1 = \frac{4I}{\pi d^2} = 1{,}2 \cdot 10^7 \frac{kd}{m^2};$$

b) eger çyranyň kolbasy duru däl aýnadan edilen bolsa, ýagtylyk dargaýar we şöhlelenýän üst bolup çyranyň üsti hyzmat edýär; ýagny $S = \frac{\pi D^2}{4}$. Onda:

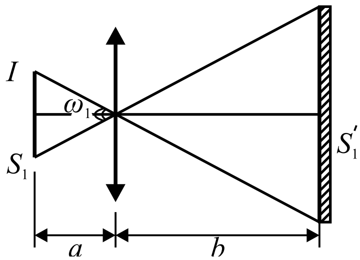
$$B_2 = \frac{4I}{\pi D^2} = 3 \cdot 10^4 \frac{kd}{m^2}.$$

16. Kagyzyň üstüniň ýagtylanydyrylyşy $E = \frac{\Phi}{S}$; kagyzyň ýagtylanyjylygy onuň ýagtylandyrylyşyna bagly; ýagny $R{=}\rho E$, ýagtylandyryjylyk bolsa B röwşenlige bagly: $R = \pi B$; diýmek,

$$E = \frac{120}{0,06}\left[\frac{lm}{m^2}\right] = 2 \cdot 10^3 lk; \quad R = 0,75 \cdot 2 \cdot 10^3 = 1,5 \cdot 10^3 \frac{lm}{m^2};$$

$$B = \frac{R}{\pi} = \frac{0,75 \cdot 2 \cdot 10^3}{3,14} = 478 \frac{kd}{m^2};$$

$$B_1 = \frac{\rho E_1}{\pi}, \text{ bu ýerden } E_1 = \frac{\pi B}{\rho} = \frac{3,14 \cdot 10^3}{0,75} = 4,2 \cdot 10^4 lk.$$



2.8-nji çyzgy

17. Ýagtylygyň akymy $\Phi_1 = I\omega_1$, bu ýerde I – ýagtylyk güýji, ω_1 – jisim burçy, S_1 we S'_1 – jisimiň we şekiliň üstüniň meýdany (*2.8-nji çyzgy*).

$$\omega_1 = \frac{S_1}{a_1^2}; \ \frac{S'_1}{S_1} = \eta_1^2.$$

Linzanyň birinji ýagdaýyndaky şekiliň ýagtylandyrylyşy

$$E_1 = \frac{\Phi_1}{S'_1} = \frac{I\omega_1}{S'_1} = \frac{IS_1}{a_1^2 S'_1} = \frac{I}{a_1^2 \eta_1^2}.$$

Linzanyň formulasyndan $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{f}$; $\eta_1 = \frac{b_1}{a_1}$; $a_1 = \frac{\eta_1 + 1}{\eta_1} \cdot f$

$$E_1 = \frac{I\eta_1}{(\eta_1 + 1)^2 \cdot f^2 \cdot \eta_1} = \frac{I}{(\eta_1 + 1)^2 \cdot f^2}; \ E_2 = \frac{I}{(\eta_2 + 1)^2 \cdot f^2};$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{(\eta_2 + 1)^2}{(\eta_1 + 1)^2}; \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{4}.$$

18. Ýagtylandyrylyş kanuny boýunça $E_1 = \frac{I_1}{x^2}$; $E_2 = \frac{I_2}{(\ell - x)^2}$;

bu ýerde: x – kagyzyň birinji çyradan aradaşlygy; $\ell - x$ kagyz bilen ikinji çyranyň aralygy; E_1 we E_2 – birinji we ikinji çyralaryň berýän ýagtylandyrylyşy.

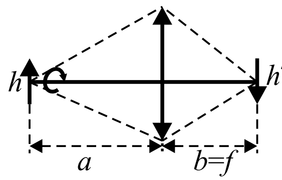
Meseläniň şertine görä $E_1 = 2E_2$, onda: $\frac{I_1}{x^2} = \frac{2I_2}{(\ell - x)^2}$;

$$I_1(\ell - x)^2 = 2I_2 x^2; \quad x^2(I_1 - 2I_2) - 2I_1 x\ell + I_1\ell^2 = 0.$$

Emele gelen kwadrat deňlemäni çözüp alarys: $x_1 = 9\ m$; $x_2 = 1\ m$.

19. Eger jisim linzadan uzakda ýerleşen bolsa, onda onuň şekili linzanyň fokal tekizliginde bolar. Ýagny şekil aralyk b linzanyň fokusyna deň bolar: $b = f$. Linzanyň ulaldylyşy:

$$K = \frac{h'}{h} = \frac{b}{a} = \frac{f}{a}.$$



2.9-njy çyzgy

h, h' – degişlilikde jisimiň we şekiliň çyzykly ölçegleri.

Şekiliň ýagtylandyrylyşy:

$$E = \frac{\Phi}{S'} = \frac{I\Omega}{\pi h'^2/4}; \qquad (1)$$

$S' = \frac{\pi h'^2}{4}$ – şekiliň meýdany. Jisim burçunyň $\Omega = \frac{\pi D^2}{4a^2}$; ($D$ – linzanyň diametri) bolýandygyny göz öňünde tutup, linzanyň berýän ýagtylandyrylyşyny aşakdaky ýaly ýazyp bileris.

$$E = \frac{\Phi}{S'} = \frac{4\pi D^2 I}{4\pi a^2 h'^2} = \frac{D^2 I}{a^2 h'^2} = \frac{D^2 I h'^2}{f^2 h^2 h'^2} = \frac{ID^2}{h^2 f^2}. \qquad (2)$$

$I = BS$, jisimiň röwşenligi $B = \frac{4I}{\pi h^2}$, jisimiň ýagtylanyjylygy bolsa $R = \pi B = \frac{4I}{h^2}$.

Bu ýerden:

$$E = \frac{R}{4} \cdot \frac{D^2}{f^2}, \text{ bu ýerde } \frac{D^2}{f^2} \text{ – linzanyň ýagtylyk güýji.}$$

20. Çyranyň udel kuwwaty: $\rho = \frac{P}{I}$.

Çyranyň I ýagtylyk güýjüni r aralykdaky ýagtylandyrylyşyň kömegi bilen tapsa bolar,
ýagny: $E = \frac{I}{r^2} \rightarrow I = E \cdot r^2$. Onda

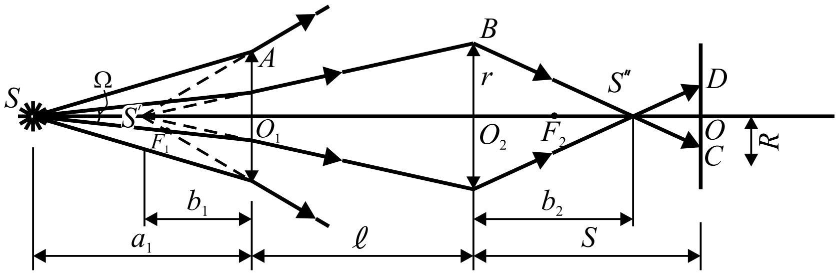
$$\rho = \frac{P}{E \cdot r^2}; \quad \rho = \frac{75}{8,9}\left[\frac{Wt}{lk \cdot m^2}\right] \sim 1\frac{Wt}{kd}.$$

Çyranyň ýagtylyk berijiligi: $\eta = \frac{\Phi}{P}$.

Ýagtylyk akymy: $\Phi = 4\pi I$. Onda $\eta = \frac{4\pi I}{P} = \frac{4\pi E r^2}{P}$

$$\eta = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 8,9}{75}\left[\frac{lk \cdot m^2}{wt}\right] \sim 12\frac{lm}{Wt}.$$

21.



2.10-njy çyzgy

2.10-njy çyzgyda şöhleleriň ýoly görkezilen. Ekrandaky tegmiliň orta ýagtylandyrylyşy:

$$E = \frac{\Phi_2}{\pi R^2}, \tag{1}$$

bu ýerde R – tegmiliň radiusy, Φ_2 – ikinji linza düşýän ýagtylyk akymy.

Çyzgyda görnüşine görä: $\Phi_2 = \Phi'_1$, bu ýerde: Φ'_1, – birinji linzanyň O_1A radiusly merkezi bölegine düşýän ýagtylyk akymy. $\Delta S'O_1A$ we $\Delta S'O_2B$ üçburçluklaryň meňzeşliginden gelip cykýar:

$$O_1A = r\frac{b_1}{b_1 + \ell}. \tag{2}$$

Dargadyjy linzanyň formulasy boýunça b_1 şekil aralygy:

$$b_1 = \frac{a_1F_1}{a_1 + F_1}. \tag{3}$$

Bu deňlemäni (2)-de goýup alarys:

$OA_1 = \dfrac{ra_1F_1}{a_1F_1 + a_1\ell + F_1\ell}$; Φ'_1 ýagtylyk akymy Ω jisim burçunda jemlenýär.

$$\Phi'_1 = \Phi_2 = I\Omega, \tag{4}$$

bu ýerde jisim burçy

$$\Omega \sim \frac{\pi(O_1A)^2}{a_1^2} = \frac{\pi \cdot r^2F_1^2}{(a_1F_1 + a_1\ell + F_1\ell)^2}. \tag{5}$$

$\Delta O_2BS''$ we $\Delta OCS''$ üçburçluklaryň meňzeşliginden tegmiliň ölçegini tapalyň:

$$R = r\frac{b_2}{S - b_2}. \tag{6}$$

Ýygnaýjy linzanyň formulasy boýunça:

$$b_2 = \frac{a_2 F_2}{a_2 - F_2}, \tag{7}$$

bu ýerde $a_2 = S'O_2$, çünki S' ikinji linza üçin çeşme bolup hyzmat edýär. Çyzgydan görnüşine görä:

$$a_2 = b_1 + \ell. \tag{8}$$

(3) deňlemäni (8), (8) deňlemäni (7)-ä, (7) deňlemäni (6) goýup, käbir özgertmelerden soň alarys:

$$R = \frac{rF_2(a_1F_1 + a_1\ell + F_1\ell)}{(S - F_2)(a_1F_1 + a_1\ell + F_1\ell) - SF_2(F_1 + a_1)}. \tag{9}$$

Yzygiderlikde (5)-i (4)-e, (4)-i we (9)-y (1) formula goýup alarys:

$$E = \frac{IF_1^2[(S - F_2)(a_1F_1 + a_1\ell + F_1\ell) - SF_2(F_1 + a_1)]^2}{F_2^2(a_1F_1 + a_1\ell + F_1\ell)^4}.$$

III bap

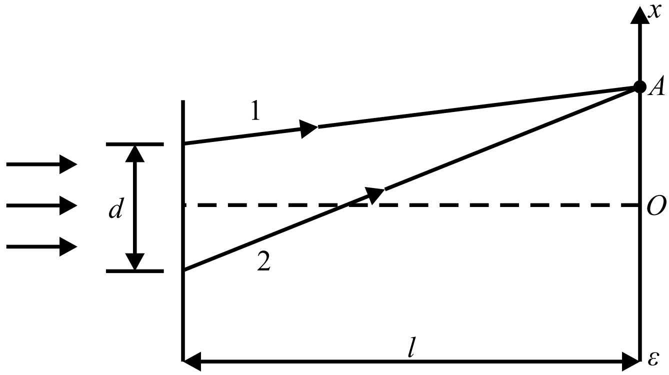
ÝAGTYLYGYŇ INTERFERENSIÝASY

3.1. Usuly görkezmeler

Iki sany insiz yş tarapyndan şöhlelendirilýän şöhleleriň gidiş ýollarynyň tapawudy (*3.1-nji çyzgy*)

$$\Delta = x\frac{d}{l}, \tag{1}$$

bu ýerde d – yşlaryň arasyndaky uzaklyk, l – yşlardan ekrana çenli aralyk.



3.1-nji çyzgy

Interferensiýa zolagynyň ini

$$\Delta x = \frac{\lambda}{\varphi}, \qquad (2)$$

bu ýerde φ – çeşmeleriň arasyndaky burç aralygy.

Optiki taýdan has dykyz gurşawdan serpigende ýagtylyk tolkunynyň $\vec{E}$ wektorynyň fazasy π-e böküşli üýtgeýär.

Döwme görkezijisi n, galyňlygy b bolan ýuka plastinadan ýagtylyk serpigende interferensiýanyň maksimum şert:

$$2b\sqrt{n^2 - \sin^2\theta} + \frac{\lambda}{2} = m\lambda, \qquad (3)$$

bu ýerde θ – düşme burçy, m – bitin san.

Nýutonyň halkalaryny emele getirýän interferensiýa shemasynda iki sany serpigen şöhläniň arasyndaky gidiş ýollarynyň tapawudy

$$\Delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}, \qquad (4)$$

bu ýerde r – halkanyň radiusy, R – linzanyň radiusy.

Haçan-da $\Delta = m\lambda$ bolanda maksimumlar, $\Delta = m\lambda + \frac{\lambda}{2}$ bolanda bolsa minimumlar alynýar (m – bitin san).

Halkalaryň radiuslary

$$r = \sqrt{\lambda R \frac{k}{2}},$$

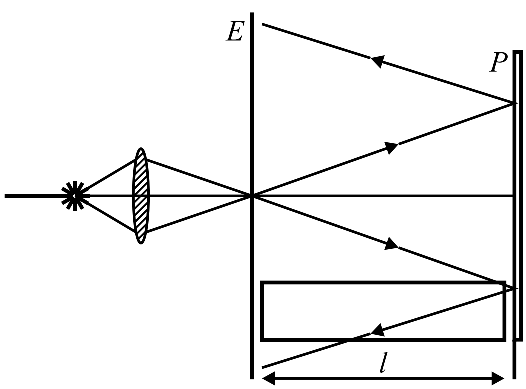
eger-de k = 1, 3, 5.... bolsa ýagty halkalar emele gelýär, k = 2, 4, 6,.... bolanda garaňky halkalar alynýar.

3.2. Meseleler

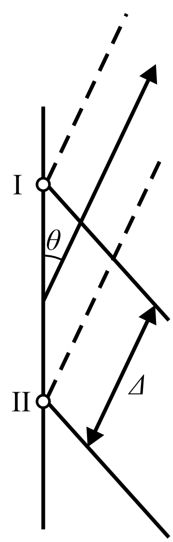
1. Ýaýrama ugurlarynyň arasyndaky burç $\varphi \ll 1$ bolan iki sany kogerent tekiz tolkun ekrana normal diýen ýaly düşýär. Ekrandaky goňşy maksimumlaryň arasyndaky uzaklygyň $\Delta x = \dfrac{\lambda}{\varphi}$ deňdigini subut etmeli, bu ýerde λ – tolkun uzynlygy.

2. Eger-de 3.1-nji çyzgyda görkezilen interferensiýa shemasynda yşlaryň birini galyňlygy h = 10 *mkm* bolan aýna plastinka bilen ýapsak, interferensiýa zolaklary haýsy aralyga we haýsy tarapa süýşerler? d = 2,5 *mm,* l=100 *sm* diýip kabul etmeli.

3. Monohromatik ýagtylyk E ekrandaky (*3.2-nji çyzgy*) yşdan geçýär we tekiz parallel P aýna plastinkadan serpigip, ekranda deň ýapgytly interferensiýa zolaklaryny emele getirýär. Plastinkanyň galyňlygy b, ondan ekrana çenli aralyk l, i-nji we k-njy garaňky halkalaryň radiuslary r_i we r_k. $r_{i,k} \ll l$ bolýandygyny hasaba alyp ýagtylygyň tolkun uzynlygyny tapmaly.



3.2-nji çyzgy



3.3-nji çyzgy

4. Nýutonyň halkalaryny emele getirýän interferensiýa shemasyna tolkun uzynlygy λ = 0,5 *mkm* bolan ýagtylyk düşýär. Serpigen ýagtylykda m-nji we (m+5)-nji garaňky halkalaryň diametrleri deň. Linzanyň sferiki üstüniň R egrilik radiusyny we halkanyň m tertibini kesgitlemeli.

5. Ulgam iki sany nokatlanç kogerent I we II şöhlelendirijilerden ybarat (*3.3-nji çyzgy*). Olar käbir tekizlikde dipol momentleri bu tekizlige perpendikulýar bolar ýaly ýerleşdirilipdir. Şöhlelendirijileriň arasyndaky uzaklyk d, şöhlelenmäniň tolkun uzynlygy λ. II şöhlelendirijiniň yrgyldylary I-ä garanyňda, faza boýunça α ululyga ($\alpha < \pi$) yza galýan bolsa:

a) şöhlelenmäniň intensiwliginiň iň uly baha eýe bolan θ burçlaryny;

b) $\theta - \pi$ ugurda şöhlelenmäniň intensiwliginiň iň uly, garşylykly ugurda bolsa iň kiçi boljak şertlerini tapmaly.

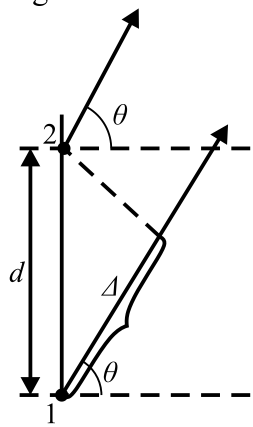
6. Biprizmanyň kömegi bilen alynýan interferensiya zolaklarynyň sanyny tapmaly. Biprizmanyň döwme görkezijisi n, onuň döwüji burçy α, çeşmäňiň tolkun uzynlygy λ. Ýagtylyk çeşmesinden biprizma çenli aralyk a, ondan ekrana çenli aralyk b.

7. Eger-de 3.1-nji çyzgyda görkezilen interferensiýa shemasynda şöhleleriň biriniň ýolunda sabyn plýonkasy (n = 1,33) goýulsa, onda interferensiýa şekili gapma-garşylykly üýtgeýär. Plýonkanyň haýsy iň kiçi d_{min} galyňlygynda şeýle bolar?

8. Ýagtylyk dessesi (λ = 582 *nm*) aýna pahnanyň üstüne perpendikulýar düşýär. Pahna burçy $\gamma = 20''$. Pahnanyň uzynlyk birligine garaňky interferensiýa zolaklarynyň näçe k_0 sany düşýär? Aýnanyň döwme görkezijisi n = 1,5.

9. Sferik üstüniň egriliginiň radiusy R = 12,5 *sm* bolan tekiz-güberçek aýna linza aýna plastinka gysylypdyr. Serpigen ýagtylykda Nýutonyň 10-njy we 15-nji garaňky halkalarynyň diametrleri d_1 = 1,00 *mm* we d_2 = 1,50 *mm*. Ýagtylygyň tolkun uzynlygyny kesgitlemeli.

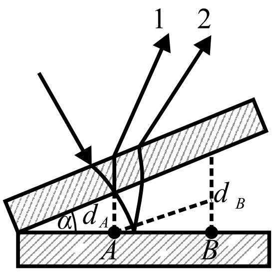
10. Dürli tolkun uzynlyklary öz içine alýan monohromatik däl ýagtylyk Nýutonyň halkalaryny emele getirýän interferensiýa gurluşyna düşýär. Goňşy halkalara ***3.4-nji çyzgy*** degişli zolaklaryň bir-birini ýapmazlygy üçin (halkalaryň aýyl-saýyl bolmagy) spektriň $\Delta\lambda$ ini haýsy şerti kanagatlandyrmaly?



3.4-nji çyzgy

11. Haçan-da monohromatik ýagtylyk sabyn plýonkasynyň üstüne normal düşende, serpigen ýagtylygyň intensiwligi tolkun uzynlygyna bagly bolýar: λ_1 = 63 *nm* bolanda ol maksimuma we λ_1 = 525 *nm* bolanda hem iň golaý minimuma eýe. Plýonkanyň d galyňlygy näçe? Plýonkanyň döwme görkezijisi $n = 1{,}33$.

12. Bir-birinden d aralykda ýerleşen iki sany çeşme uzakda ýerleşen kabul edijä θ burçly ugur boýunça λ tolkun uzynlykly ýagtylygy şöhlelendirýärler (*3.4-nji çyzgy*). Kabul edijiniň ýerleşen ýerinde yrgyldylaryň faza tapawudyny we haýsy ugurlarda intensiwligiň maksimum boljakdygyny kesgitlemeli. Iki ýagdaýa seretmeli: a) çeşmeler bir deň fazada yrgyldaýarlar; b) çeşmeleriň yrgyldylary fazalary boýunça $\delta(\delta\langle\pi)$ tapawutlanýarlar.



3.5–nji çyzgy

13. Howa pahnasyny emele getirýän iki sany tekizparallel plastinka $\lambda = 500$ *nm* tolkun uzynlykly ýagtylyk normal düşýär. Eger-de serpigen tolkunlarda gözegçilik edilýän interferensiýa zolaklarynyň ini $\Delta x = 5\cdot10^{-4}$ *m* bolsa, plastinalaryň arasyndaky α burçy tapmaly (*3.5-nji çyzgy*).

14. Dik ýerleşdirilen sabyn plýonkasy suwuklygyň akmagy zerarly pahna emele getirýär. Simap dugasynyň ($\lambda = 546{,}1$ *nm*) ýagtylygynda interferensiýa gözegçilik edilende bäş sany zolaklaryň arasyndaky uzaklyk $l = 2$ *sm*-e deň bolýar. Ýagtylyk plýonkanyň üstüne perpendikulýar düşýär. Sabyn suwunyň döwme görkezijisi $n = 1{,}33$. Pahnanyň γ burçuny tapmaly.

3.3. Ugrukdyrmalar

1. Bir tolkunyň $\vec{k}_1$ tolkun wektory ekrana perpendikulýar bolan y okuna parallel bolar ýaly koordinatalar ulgamyny saýlap almaly. Onda ikinji tolkunyň $\vec{k}_2$ tolkun wektory $\vec{k}_1$ wektor bilen φ burçy emele getirer. Soňra tolkun meýdanlarynyň deňlemelerini ýazmaly we fazalar tapawudyny x-e baglylykda tapmaly.

2. Ýolunda aýna plastina goýlan şöhläniň optiki ýolunyň uzynlygynyň artmasyny kesgitlemeli we ony $\Delta = x\dfrac{d}{l}$ formula bilen baglanyşdyryp, gözlenilýän x ululygy tapmaly.

3. Ilki garaňky halkalaryň emele gelme şertini ýazmaly. Soňra düşme burçuny halkanyň radiusy bilen baglanyşdyrmaly. Alnan netijeleri ýönekeýleşdirmek üçin

$$\sqrt{1-x} \approx 1-\frac{x}{2}, \quad (x<<1 \text{ bolanda})$$

formuladan peýdalanmak maslahat berilýär.

4. Garaňky zolaklaryň emele gelme şertini m-nji we (m+5)-nji halkalar üçin ýazmaly we alnan aňlatmalardan gözlenilýän ululyklary tapmaly.

5. a) berlen çyzgydan ugur almaly we intensiwligiň maksimum bahasyny tapmaly.

b) $\theta = \pi$ bolanda intensiwligiň maksimum bahasyny ýazyp, şondan ugur almaly.

6. Ilki bilen biprizmanyň kömegi bilen interferensiýa alnyşynyň çyzgysyny ýerine ýetirmeli. Soňra $\Delta x = \frac{a+b}{d}\lambda$ formuladan we ýagtylygyň döwülme kanunyndan peýdalanmaly. Şunlukda, meselede $\sin\alpha \approx \alpha$, $\sin(\alpha+\varphi) \approx \alpha+\varphi$ çalşyp bolýandygyny hasaba almaly hem-de

$$N = \frac{AB}{\Delta x}$$

gatnaşykdan gözlenilýän ululygy tapmaly.

7. Interferensiýa şekiliniň gapma-garşylyk üýtgemesiniň maksimumlaryň ýerine minimumlaryň gelýändigi aňladýandygyny göz öňünde tutup, plýonka bar wagtynda we ol aýrylanda gidiş ýollarynyň tapawudy üçin aňlatma ýazmaly.

8. Garaňky zolaklaryň emele gelmek şertinden $\Delta = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$; ($k = 0, \pm 1, \pm 2, ...$)we ýagtylyk tolkunlarynyň gidiş ýollarynyň tapawudyndan $\Delta = 2h_k n \cos\theta'_2 + \frac{\lambda}{2}$ ugur almaly.

9. Serpigen ýagtylyk üçin optiki ýollaryň tapawudyny m we m+5 nomer üçin ýazmaly.

10. Nýutonyň halkalary üçin soralýan şert

$$r_{k+1}(\lambda) \geq r_k(\lambda + \Delta\lambda)$$

görnüşe eýedir.

11. Ýagtylyk normal düşende interferensiýanyň maksimum we minimum şertini ýazmaly. Alnan deňliklerden k-ny tapyp, soňra alnan netijeler boýunça plýonkanyň d galyňlygyny kesgitlemeli.

12. Yrgyldylaryň faza tapawudynyň gidiş ýollarynyň tapawudy we başlangyç fazalaryň tapawudy bilen kesgitlenýänliginden ugur almaly.

13. Pahna burçuny (α) kiçi hasaplap, k-njy we $(k+1)$-nji goňşy interferensiýa zolaklary üçin maksimum şertini ýazmaly we α burçy $AB = \Delta x$ bilen baglanyşdyrmaly.

14. Birinji we bäşinji zolaklar üçin maksimum şertini ýazmaly we $\Delta_5 - \Delta_1$ optiki ýollaryň tapawudyny degişli zolaklaryň arasyndaky l uzaklyk arkaly aňlatmaly.

3.4. Jogaplar

1. $\frac{2\pi}{k} = \lambda$. **2**. x=2 mm. **3**. $\lambda = \frac{b\left(r_k^2 - r_i^2\right)}{4nl^2\left(k-i\right)}$. **4**. $m = 4$.

5. a) $\cos\theta = \frac{\lambda}{d}\left(n - \frac{\alpha}{2\pi}\right)$; b) $\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{4} + n$.

6. $N = \frac{\varphi ab\alpha^2\left(n-1\right)^2}{\lambda\left(a+b\right)}$. **7**. $d_{\min} = 1{,}21$ mkm.

8. $k_0 \approx 5$ sm^{-1}. **9**. $\lambda = 0{,}5$ mkm. **10.** $\Delta\lambda \le \frac{\lambda}{k}$.

11. $d = 592$ nm. **12.** a) $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d\sin\theta$, $\sin\theta_m = \frac{\lambda}{d} n$.

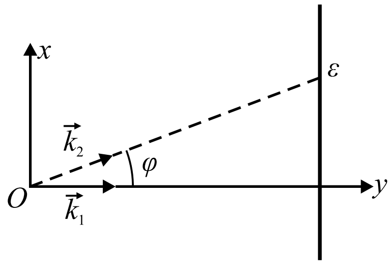
b) $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d\sin\theta + \delta$, $\sin\theta_m = \frac{\lambda}{d}\left(n - \frac{\delta}{2\pi}\right)$, $n = 0, 1, 2, ...$

13. $\alpha = \frac{\lambda}{2\Delta x}$, $\alpha = 5\cdot 10^{-4} rad = 1'40''$. **14.** $\gamma = 11''$.

3.5. Çözülişleri

1. Koordinatalar ulgamyny 3.6-njy çyzgyda görkezilişi ýaly saýlap alalyň.

Indi 1-nji we 2-nji tolkunlaryň elektrik meýdanlary üçin deňlemeleri ýazalyň



3.6-njy çyzgy

$$E_1 = E_0\cos(\omega t - \vec{k}_1\vec{r}) = E_0\cos(\omega t - ky),$$

$$E_2 = E_0\cos(\omega t - \vec{k}_2\vec{r}) = E_0\cos(\omega t - k_{2x}x - k_{2y}y),$$

bu ýerde $k = \dfrac{2\pi}{\lambda}$. Çyzgydan görnüşi ýaly, φ burçy ýeterlik kiçi hasaplap, alarys

$$k_{2x} = k\sin\varphi = k\varphi,\ k_{2y} = k\cos\varphi = k.$$

Bulary hasaba alyp, ýokardaky deňlemeleri özgerdeliň

$$E_2 = E_0\cos(\omega t - k\cdot x\varphi - ky).$$

Tolkunlaryň arasyndaky fazalar tapawudy

$$\Delta\varphi = \alpha_1 - \alpha_2 = (\omega t - ky) - (\omega t - k\varphi x - ky) = k\,\varphi\, x.$$

Soňky aňlatmadan fazalar tapawudynyň x-e baglylygy görünýär. Eger-de ekranda haýsy hem bolsa x_n bahada interferensiýa şekiliniň maksimumyna gözegçilik edilýän bolsa, onda indiki maksimum $x_n = x_{n+1}$ koordinatada bolar. Oňa geçilende fazalar tapawudy

$$(\Delta\varphi_{n+1} - \Delta\varphi_n) = \Delta\varphi_{n_1 n+1} = 2\pi \text{ bolar.}$$

Ýagny $\Delta\varphi_{n_1 n+1} = k\varphi\left(x_{n+1} - x_n\right) = k\varphi\Delta x = 2\pi$,

bu ýerden $\Delta x = \dfrac{2\pi}{k\varphi} = \dfrac{2\pi}{k}\cdot\dfrac{1}{\varphi} = \dfrac{\lambda}{\varphi}$ gelip çykýar, çünki, $\dfrac{2\pi}{k} = \lambda.$

2. Meseläni çözmek üçin 3.1-nji çyzgydan peýdalanalyň. Aýna plastina ýok wagty 1 we 2 tolkunlaryň O nokada çenli gidiş ýollary deňdir we biz interferensiýa şekiliniň merkezi maksimumyny alarys.

Aýna plastina bar wagty 1 şöhläniň optiki ýolunyň uzynlygy $\Delta_1 = nh - h = (n = 1)\, h$ ululyga artar we indi O nokat interferensiýa şekiliniň merkezi bolmaz. Haýsy hem bolsa x koordinataly A nokatda 1we 2 yşlardan çykýan ýagtylygyň gidiş ýollarynyň tapawudy

$$\Delta = x\frac{d}{l}.$$

Merkezi maksimumynyň (we tutuş interferensiýa şekiliniň) x-e süýşmesi $\Delta = \Delta_1$ deňlik bilen kesgitlenýär.

Onda $x\dfrac{d}{l} = \left(n-1\right)h$ bolar.

Ýokardaky deňlikden

$x = \dfrac{d\left(n-1\right)}{l}$. Berlen ululyklaryň san bahalaryny goýup, taparys

$x = 2mm > 0$, munuň özi interferensiýa şekiliniň aýna plastina bilen ýapylan yşa tarap süýşýändigini aňladýar.

3. Aýna plastinadan serpigen şöhleleriň gidiş ýollarynyň tapawudy

$$\Delta = 2b\sqrt{n^2 - \sin^2\theta} + \frac{\lambda}{2},$$

bu ýerde θ – plastina inderilen normal bilen plastina düşýän ýagtylyk şöhlesiniň arasyndaky burç.

Garaňky halkalar

$$2b\sqrt{n^2 - \sin^2\theta} + \frac{\lambda}{2} = m\lambda + \frac{\lambda}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda. \qquad (1)$$

Şertde alynýar; bu ýerde m – bitin san. Meseläniň şertine laýyklykda, i we k tertipli garaňky halkalar üçin

$$\sin\theta_i \approx \theta_i = \frac{r_i}{2l}, \tag{2}$$

$$\sin\theta_k \approx \theta_k = \frac{r_k}{2l}. \tag{3}$$

Indi (2) we (3) deňlikleri (1)-de ornuna goýup alarys

$$2b\sqrt{n_2 - \frac{r_i^2}{4l^2}} = i\lambda,$$

$$2b\sqrt{n_2 - \frac{r_k^2}{4l^2}} = k\lambda.$$

Ýokardaky aňlatmalary ýönekeýleşdirmek üçin

$\sqrt{1-x} \approx 1 - \frac{x}{2}$, ($x \ll 1$ bolanda) formuladan peýdalanalyň.

Netijede, alarys

$$2b\left(1 - \frac{r_i^2}{8n^2l^2}\right) = i\lambda, \tag{4}$$

$$2b\left(1 - \frac{r_k^2}{8n^2l^2}\right) = k\lambda. \tag{5}$$

Bu deňlikleri bir-birinden aýryp taparys:

$$\frac{2bn}{8n^2l^2}\left(r_k^2 - r_i^2\right) = \lambda\left(k-i\right) \text{ ýa-da}$$

$$\lambda = \frac{b\left(r_k^2 - r_i^2\right)}{4nl^2\left(k-i\right)}.$$

4. Howa gatlagyndan serpigen tolkunlaryň arasyndaky gidiş ýollarynyň tapawudy

$$\Delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}.$$

Garaňky halkalara gözegçilik etme şerti

$$\frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = m\lambda + \frac{\lambda}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

görnüşde ýazylýar, bu ýerde m – bitin san. Bu şerti m-nji we (m+5)-nji halkalar üçin ýazalyň:

$$\frac{d_1^2}{4R} + \frac{\lambda}{2} = m\lambda + \frac{\lambda}{2}\ , \qquad \frac{d_1^2}{4R} = m\lambda, \tag{1}$$

$$\frac{d_2^2}{4R} + \frac{\lambda}{2} = (m+5)\lambda + \frac{\lambda}{2}\ , \qquad \frac{d_2^2}{4R} = (m+5)\lambda. \tag{2}$$

Alnan deňlemeleri bir-birinden aýryp, alarys:

$$5\lambda = \frac{d_2^2 - d_1^2}{4R},$$

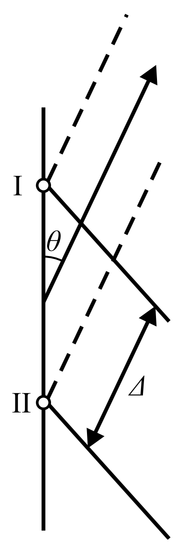
bu ýerden $\lambda = \dfrac{d_2^2 - d_1^2}{20R}$. San bahalary goýup taparys: λ = 0,5 *mkm.*

(1) deňlemeden

$$m = \frac{d_1^2}{4R\lambda} = \frac{d_1^2}{4R\dfrac{d_2^2 - d_1^2}{20R}} = \frac{20R\,d_1^2}{4R\left(d_2^2 - d_1^2\right)} = \frac{5d_1^2}{d_2^2 - d_1^2}$$

gelip çykýar. Hasaplar m = 4 bolýandygyny görkezýär.

5. a) I we II şöhlelendirijileriň yrgyldylarynyň fazalar tapawudyny tapalyň.



Çyzgydan alarys:

$$\cos\theta = \frac{\Delta}{d} \qquad \Rightarrow \qquad \Delta = d\cos\theta.$$

Başlangyç fazalar tapawudy α deň

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi d}{\lambda} + \alpha = \frac{2\pi d\cos\theta}{\lambda} + \alpha.$$

Haçan-da $\Delta\varphi = 2\pi n$ (n – bitin san) bolanda intensiwligiň maksimum bahasy alynýar. Onda alarys:

$$2\pi n = \frac{2\pi d\cos\theta}{\lambda} + \alpha \qquad \Rightarrow \quad (2\pi n - \alpha)\lambda = 2\pi d\cos\theta,$$

$$\cos\theta = \frac{\lambda}{d}\left(n - \frac{\alpha}{2\pi}\right) n = 0,1,2...$$

b) Haçan-da $\theta = 0$ bolanda intensiwligiň maksimum bahasy aşakdaky ýagdaýda alynýar.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi d\cos\theta^{\circ}}{\lambda} + \alpha = 2\pi n + \pi, \tag{1}$$

bu ýerde n – bitin san, haçan-da $\theta = \pi$ bolanda minimum baha alynýar:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi d\cos\pi}{\lambda} + \alpha = -2\pi n. \tag{2}$$

Onda (1) we (2) deňlikleri jemläp alarys:

$$\frac{2\pi d}{\lambda} + \alpha + \left(-\frac{2\pi d}{\lambda} + \alpha\right) = -2\pi n + 2\pi n + \pi;$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \qquad -2\pi \cdot \frac{d}{\lambda} + \frac{\pi}{2} = -\, 2\pi n;$$

$$-\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{4} = -n \qquad \Rightarrow \qquad \frac{d}{\lambda} = \frac{1}{4} + n.$$

6. Biprizmany emele getirýän prizmalaryň döwüji burçlaryny kiçi we ýagtylyk olara kiçi burç bilen düşýär diýip hasaplap, 3.7-nji çyzgydan

$$\mathrm{tg}\varphi \approx \sin\varphi \approx \varphi = \frac{d}{2a} \text{ ýa-da}$$

$$d = 2a\varphi.$$

Ýokardaky şertlerde

$\varphi = \alpha\ (n–1)$ deňdigi bellidir.

Interferensiýa zolaklarynyň sany

$N = \dfrac{|AB|}{\Delta x}$, bu ýerde $|AB|$ – zolaklaryň emele gelýän böleginiň uzynlygy,

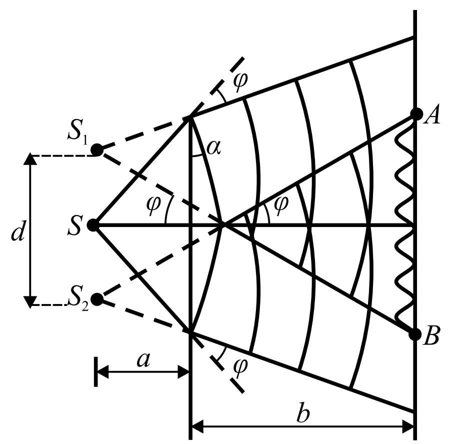
$\Delta x = \dfrac{a+b}{d}\lambda$ – goňşy zolaklaryň arasyndaky uzaklyk.

Çyzgydan görnüşi ýaly

$$\operatorname{tg}\varphi \approx \varphi = \frac{|AB|}{2b},\ |AB| = 2b\varphi = 2b\alpha(n-1).$$

Onda $$N = \frac{|AB|}{\Delta x} = \frac{2b\alpha(n-1)}{\dfrac{a+b}{2a\alpha(n-1)}\lambda} = \frac{\varphi ab\alpha^2(n-1)^2}{\lambda(a+b)},$$

$$N = \frac{\varphi ab\alpha^2(n-1)^2}{\lambda(a+b)}.$$



3.7-nji çyzgy

7. Interferensiýa şekiliniň gapma-garşylyklaýyn üýtgemesi maksimumlaryň minimumlar bilen çalyşmasyny aňladýar. Bu bolsa şöhleleriň gidiş ýollarynyň tapawudynyň

$$\Delta_2 - \Delta_1 = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

bahasynda mümkindir, bu ýerde Δ_1 – plýonka ýok wagty şöhleleriň gidiş ýollarynyň tapawudy, Δ_2 plýonka bar wagty şöhleleriň gidiş ýollarynyň tapawudy; $k = 0, \pm 1, \pm 2, ...$ Plýonkanyň iň kiçi galyňlygyna $k = 0$ degişlidir. Onda

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \frac{\lambda}{2}.$$

3.8-nji çyzgydan

$$\Delta_1 = l_1 - l_2,$$

$$\Delta_2 = \left[\left(l_1 - d_{\min}\right) + n\,d_{\min}\right] - l_2 = \left(l_1 - l_2\right) + d_{\min}\left(n-1\right)$$

gelip çykýar. Diýmek,

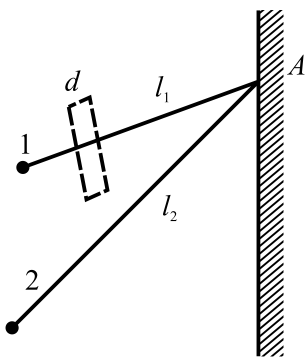
$$\left(l_1 - l_2\right) + d_{\min}\left(n-1\right) - \left(l_1 - l_2\right) = \frac{\lambda}{2} \quad \text{ýa-da}$$

$$d_{\min}\left(n-1\right) = \frac{\lambda}{2}.$$

Bu ýerden

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{2\left(n-1\right)}, \quad d_{\min} = \frac{0,8}{2\left(1,33-1\right)}\,mkm = 1,21\ mkm.$$

8. Pahna burçunyň kiçiligi sebäpli serpigen şöhleler parallel diýen ýaly ýaýrarlar. Garaňky zolaklaryň emele gelmek şerti:



3.8-nji çyzgy

$$\Delta = (2k+1)\,\frac{\lambda}{2}\ (k = 0, \pm 1, \pm 2, ...).$$

Başga bir tarapdan ýagtylyk tolkunlarynyň gidiş ýollarynyň tapawudy

$$\Delta = 2h_k n\cos\theta_2' + \frac{\lambda}{2} = \left(2k+1\right)\frac{\lambda}{2}.$$

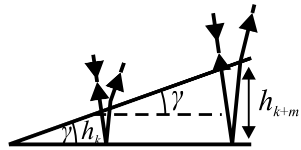
Bu ýerde h_k pahnanyň gara zolak emele gelýän ýerindäki galyňlygy (k-njy tertibe jogap berýän), θ_2' – döwülme burçy. Indi $\cos\theta_2' \approx 1$ hasaba alyp soňky deňligi

$$2\,h_k n = k\lambda$$

görnüşde ýazyp bolar. 3.9-njy çyzgydan görnüşi ýaly,

$$\sin\gamma = \frac{h_{k+m} - h_k}{l},$$

$$h_{k+m} = \frac{(k+m)\lambda}{2n}, \; h_k = \frac{k\lambda}{2n}$$



3.9-njy çyzgy

we $\sin\gamma \approx \gamma$ hasaba alyp taparys:

$$\gamma = \frac{\frac{k+m}{2n}\lambda - \frac{k\lambda}{2n}}{l} = \frac{m\lambda}{2nl},$$

Bu ýerden:

$$\frac{m}{l} = k_0 = \frac{2n\gamma}{\lambda} = \frac{2\cdot 1{,}5\cdot 10^{-4}}{582\cdot 10^{-9}} \approx 5 \; sm^{-1}.$$

9. Serpigen ýagtylyk üçin optiki ýollaryň tapawudy bize bellidir:

$$\Delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}.$$

Bu deňlemäni m we $m + 5$ üçin ýazalyň:

$$\frac{d_1^2}{4R} = m; \qquad \frac{d_2^2}{4R} = (m+5),$$

bulardan alarys:

$$5\lambda = \frac{d_2^2 - d_1^2}{4R},$$

$$\lambda = \frac{d_2^2 - d_1^2}{20R} = \frac{2{,}25 \; mm^2 - 1 \; mm^2}{20\cdot 125 \; mm} = 0{,}5 \; mkm,$$

$$\lambda = 0{,}5 \; mkm.$$

10. Goý, monohromatik däl ýagtylygyň spektrinde $[\lambda, \lambda+\Delta\lambda]$ aralykdaky tolkun uzynlyklar bolsun. Onda her bir k bir interferensiýa çyzygy däl-de, dürli reňkli tutuş zolak degişli. Interferensiýa şekiliniň garyşmazlygy üçin goňşy k-lara degişli zolaklar bir-birini ýapmaly däl. Nýutonyň halkalary üçin bu şert

$$r_{k+1}(\lambda) \geq r_k\,(\lambda+\Delta\lambda)$$

görnüşde ýazylýar.

Ýagty halkalaryň radiusy

$$r_k = \sqrt{R\frac{\lambda}{2}\left(2k+1\right)},$$

bu ýerde $k = 0, 1, 2, ...$ Onda ýokardaky şerti

$\sqrt{R\frac{\lambda}{2}\left[2\left(k+1\right)+1\right]} \geq \sqrt{\frac{R\left(\lambda+\Delta\lambda\right)}{2}\left(2k+1\right)}$ ýa-da şeýle ýazyp bolar:

$$\sqrt{R\frac{\lambda}{2}\left(2k+3\right)} \geq \sqrt{\frac{R\left(\lambda+\Delta\lambda\right)}{2}\left(2k+1\right)}.$$

Deňsizligiň iki tarapyny hem kwadrata götereliň:

$$R\frac{\lambda}{2}\left(2k+3\right) \geq \frac{R\left(\lambda+\Delta\lambda\right)}{2}\left(2k+1\right);$$

$$\lambda\left(2k+3\right) \geq \left(\lambda+\Delta\lambda\right)\left(2k+1\right);$$

$$2k\lambda + 3\lambda \geq 2k\lambda + \lambda + 2k\Delta\lambda + k\lambda;$$

$2\lambda \geq \Delta\lambda\ (2k + 1)$, diýmek,

$$\Delta\lambda \leq \frac{\lambda}{k+\frac{1}{2}}.$$

Eger-de $\Delta\lambda << \lambda$ bolsa, onda k san uludyr we jogaby aşakdaky görnüşde hem ýazyp bolýar

$$\Delta\lambda \leq \frac{\lambda}{k}.$$

11. Ýagtylyk normal düşende

$$k\lambda_1 = \frac{\lambda_1}{2} + 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} \qquad (1)$$

maksimum şertinden

$k\lambda_1 = \frac{\lambda_1}{2} + 2dn$ ýa-da

$$\left(k-\frac{1}{2}\right)\lambda_1 = 2dn \qquad (2)$$

gelip çykýar.

Interferensiýanyň minimum şerti bolsa

$$k\lambda_2 = 2dn \qquad (3)$$

görnüşe eýe bolýar.

Indi $k=\frac{2dn}{\lambda_2}$ bahany (2) deňlemede ornuna goýup alarys:

$$\frac{2dn\lambda_1}{\lambda_2}-\frac{\lambda_1}{2}=2dn, \text{ bu ýerde}$$

$$\frac{2dn(\lambda_1-\lambda_2)}{\lambda_2}=\frac{\lambda_1}{2} \text{ ýa-da}$$

$$d=\frac{\lambda_1\cdot\lambda_2}{4n(\lambda_1-\lambda_2)}=\frac{630\cdot10^{-9}525\cdot10^{-9}}{4\cdot1,33\cdot(630-525)\cdot10^{-9}}=\frac{330750\cdot10^{-9}}{420\cdot1,33}=$$

$$=592\cdot10^{-9}m=592nm.$$

12. a) Çeşmeler tarapyndan θ burç bilen häsiýetlendirilýän (*3.10-njy çyzgy*) ugur boýunça döredilýän yrgyldylaryň arasyndaky faza süýşmesi $\Delta=d\cos\left(\frac{\pi}{2}-\theta\right)=d\sin\theta$ gidiş ýollarynyň tapawudy we başlangyç fazalarynyň tapawudy bilen kesgitlenýär.

$$\Delta\varphi=\varphi_1-\varphi=\frac{2\pi}{\lambda}\Delta=\frac{2\pi}{\lambda}d\sin\theta.$$

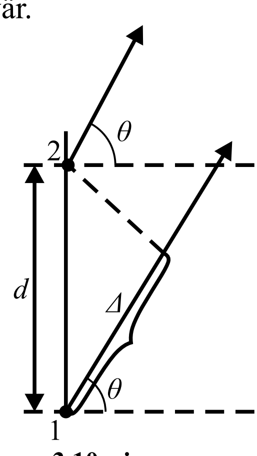
Intensiwligiň maksimumyna

$$\Delta\varphi=\frac{2\pi}{\lambda}d\sin\theta=2\pi n$$

bolanda gözegçilik edilýär, bu ýerde n – bitin sanlar.

Onda $\sin\theta_m=\frac{\lambda}{d}n.$

b) Bu ýagdaýda gözlenilýän ululyklar



3.10-njy çyzgy

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta + \delta = \frac{2\pi}{\lambda} d\sin\theta + \delta,$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d\sin\theta + \delta = 2\pi n,$$

$$d\sin\theta_m = \frac{\lambda}{d}\left(n - \frac{\delta}{2\pi}\right), \quad n = 0,1,2,...$$

13. Berlen meselede howa pahnasynyň iki üstünden serpigýän 1 we 2 şöhleler interferirleýärler. Goý, A nokat k-njy interferensiýa zolagyna, B bolsa (k+1)-nji zolaga degişli bolsun.

Çyzgyda d_A we d_B howa pahnasynyň degişli galyňlyklary.

α burçuň kiçidigini hasaba alyp, ýazaly

$$\alpha = \frac{d_B - d_A}{AB} = \frac{d_B - d_A}{\Delta x}.$$

Indi k-njy we (k+1)-nji zolaklar üçin maksimum şertini ýazalyň

$$2d_A + \frac{\lambda}{2} = k\lambda,$$

$$2d_B + \frac{\lambda}{2} = (k+1)\lambda, \text{ bu ýerden}$$

$$d_B - d_A = \frac{\lambda}{2}.$$

Onda

$$\alpha = \frac{d_B - d_A}{\Delta x} = \frac{\lambda}{2\Delta x}.$$

Hasaplamalar

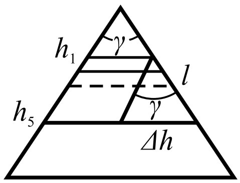
$$\alpha = \frac{5\cdot 10^{-7}}{2\cdot 5\cdot 10^{-4}} = 5\cdot 10^{-4}\,rad = 1'40''$$

bolýandygyny görkezýär.

14. Ýagtylyk plýonka normal düşende serpigen şöhlelerde syn edilýän interferensiýa zolaklary pahnanyň ýokarky üstünde jemlenendir. Goý, h_{11} we h_5 degişli zolaklara jogap berýän plýonkanyň galyňlyklary bolsun. Onda şol zolaklar üçin optiki ýollaryň tapawudy (*3.10-njy çyzgy*):

$$\Delta_1 = 2h_1 n - \frac{\lambda}{2} = k\lambda,$$

$$\Delta_5 = 2h_5 n - \frac{\lambda}{2} = (k+5)\lambda.$$



3.10–njy çyzgy

Onda

$$\Delta_5 - \Delta_1 = 2h_5 n - \frac{\lambda}{2} - \left(2h_1 n - \frac{\lambda}{2}\right) = (k+5)\lambda - k\lambda,$$

$$2n(h_5 - h_1) = 5\lambda, \qquad h_5 - h_1 = \Delta h,$$

$$\Delta h = \frac{5\lambda}{2n} \quad \text{bolar.}$$

Meseläniň şertine görä γ pahna burçy kiçi, onda

$$\Delta h = l\,\mathrm{tg}\gamma,$$

bu ýerde $\mathrm{tg}\gamma = \frac{\Delta h}{l} = \frac{5\lambda}{2nl}$.

Berlen ululyklaryň san bahalaryny goýup, alarys

$$\mathrm{tg}\,\gamma = 5{,}13 \cdot 10^{-5} \text{ ýa-da } \gamma = 11''.$$

IV bap

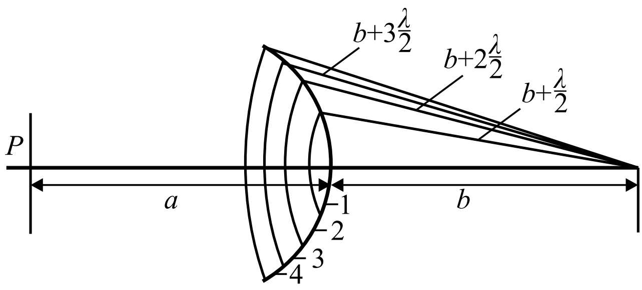
ÝAGTYLYGYŇ DIFRAKSIÝASY

4.1. Usuly görkezmeler

Freneliň m-nji zolagynyň daşky serhediniň radiusy

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b}m\lambda},$$

a we b aralyklar 4.1-nji çyzgyda görkezilen.

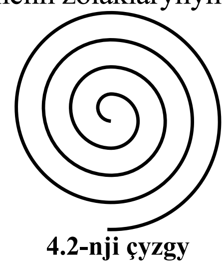


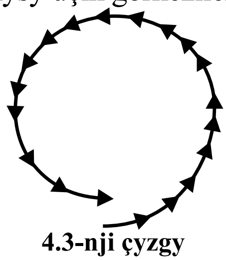
4.1-nji çyzgy

♦ Freneliň zolaklarynyň meýdany

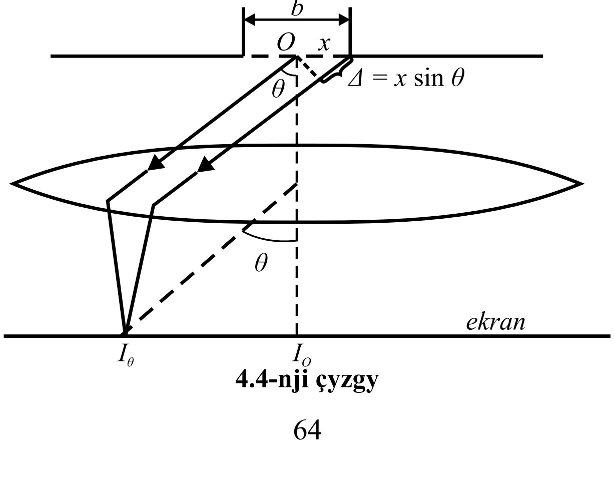
$$\Delta S = \frac{\pi\, ab}{a+b}\lambda.$$

♦ **Wektor diagrammalary.** Eger-de sferik tolkunyň frontuny Freneliň zolaklary bilen deňeşdireniňde dar elementar halka zolaklara bölsek, onda tolkunlaryň täsirini amplitudalaryň wektor diagrammasy görnüşinde aňladyp barýar. 4.2-nji çyzgyda Freneliň ilkinji iki zolagy üçin elementar amplitudalaryň goşulmasynyň netijesi görkezilen, 4.3-nji çyzgyda bolsa, Freneliň zolaklarynyň köp sanysy üçin görkezilen.


4.2-nji çyzgy


4.3-nji çyzgy

♦ Fraungoferiň yşdaky difraksiýasy (*4.4-nji çyzgy*)



4.4-nji çyzgy

♦ Ýagtylyk yşa normal düşende intensiwligiň minimum şerti

$$b\sin\varphi = \pm k\lambda,\ k = 1, 2, 3, ...$$

♦ Difraksiýa gözenegi üçin maksimum şerti

$$b\sin\theta = \pm k\lambda,$$

bu ýerde $k = 1, 2, 3, ...$; d – gözenegiň periody, θ – difraksiýa burçy.

♦ Difraksiýa gözenegi üçin burç dispersiýasy

$$D = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{k}{d\cos\theta}.$$

♦ Difraksiýa gözeneginiň saýgaryjylyk ukyby

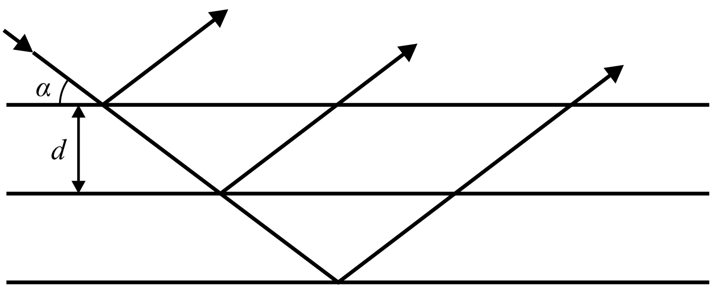
$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = kN,$$

bu ýerde k – difraksiýa şekiliniň tertibi, N – gözenegiň yşlarynyň sany, $\delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$ – tolkun uzynlyklary λ_1 we λ_2 bolan iki sany saýgarylýan ýagtylyk tolkunlarynyň minimal tapawudy.

♦ **Bregg-Wulfuň formulasy**. Rentgen şöhleleri kristalyň tekizliklerinden serpigende difraksiýa maksimumynyň şerti

$$2d\sin\alpha = k\lambda,$$

bu ýerde d – tekizlikara uzaklyk, α – şöhläniň typma burçy, $k = 1, 2, 3, ...$ – difraksiýa maksimumlarynyň tertibi (*4.5-nji çyzgy*).



4.5-nji çyzgy

4.2. Meseleler

1. Tekiz ýagtylyk tolkuny özünden b aralykda yerleşen ekrandaky P nokat üçin Freneliň ilkinji N zolaklaryny açýan tegelek yşly diafragma düşýär. Ýagtylygyň tolkun uzynlygy λ. Eger-de ýagtylygyň intensiwliginiň ekrandaky $I(r)$ paýlanyşy belli bolsa, diafragmanyň öňünde ýagtylygyň I_0 intensiwligini tapmaly, bu ýerde r – P nokada çenli aralyk.

2. Eger-de birinji we ikinji tertipli fraungoferiň maksimumlaryna bolan ugurlaryň arasyndaky burç $\Delta\theta = 15°$ bolsa, $d = 2{,}2$ *mkm* periodly difraksiýa gözenegine normal düşýän monohromatik ýagtylygyň tolkun uzynlygyny kesgitlemeli.

3. Tolkun uzynlygy $\lambda = 640$ *nm* we intensiwligi I_0 bolan tekiz ýagtylyk $r = 1{,}2$ *mm* radiusly togalak yşa normal düşýär. Yşdan $b = 1{,}5$ *m* uzaklaşan ekrandaky difraksiýa şekiliniň merkezinde intensiwligi tapmaly.

4. Zolak plastinadan $a = 1{,}5$ *m* aralykda monohromatik ýagtylygyň nokatlanç çeşmesi ýerleşdirilen. Çeşmäniň şekili plastinadan $b = 1$ *m* aralykda alynýar. Zolak plastinanyň fokus aralygyny tapmaly.

5. Eger-de birinji we ikinji tertipli fraungofer maksimumlaryna bolan ugurlaryň arasyndaky burç $\Delta\theta = 15°$ bolsa, periody $d = 2{,}2$ *mkm* bolan difraksiýa gözenegine normal düşýän monohromatik ýagtylygyň tolkun uzynlygyny kesgitlemeli.

6. Ýagtylyk difraksiýa gözenegine normal düşende onuň saýgaryjylyk ukybynyň maksimal ululygynyň $\frac{l}{\lambda}$ bahadan geçmeýändigini görkezmeli, bu ýerde l – gözenegiň ini, λ – ýagtylygyň tolkun uzynlygy.

7. Periody $d = 2 \cdot 10^{-6}$ *m* bolan difraksiýa gözenegine tolkun uzynlyklary 400 *nm*-den 500 *nm*-e çenli bolan ýagtylygy goýberýän filtrden geçirilen ýagtylyk normal düşýär. Dürli tertipli spektrler bir-biriniň üstüne düşerlermi?

8. Monohromatik ýagtylygyň parallel dessesi dar yşa normal düşýär (*4.4-nji çyzgy*). Difraksiýa şekili linzanyň kömegi bilen ekrana proýektirlenýär. Merkezi ýagty zolagyň iki esse kiçelmegi üçin yşyň inini nähili üýtgetmeli?

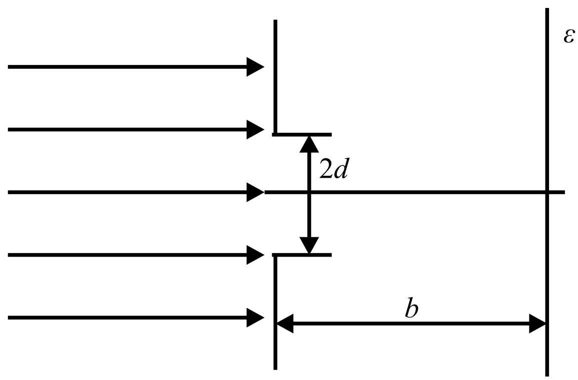
9. Ýagtylyk ini 10 *mm* bolan difraksiýa gözenegine normal düşende, natriniň sary çyzygynyň düzüjileri (589,0 we 589,6 *nm*) spektriň bäşinji tertibinden başlap saýgarylýar, bu gözenegiň periodyny bahalandyrmaly.

10. Difraksiýa gözeneginiň periody 3 *mkm*. Sary ýagtylyk üçin (tolkun uzynlygy 580 *nm*) spektriň iň uly tertibini tapyň.

11. Bir millimetrinde 500 sany ştrihleri bolan difraksiya gözenegine 590 *mkm* tolkun uzynlykly ýagtylyk düşýär. Bu gözenegiň spektrinde haýsy iň uly tolkun uzynlygy gözegçilik edip bolar?

12. Tolkun uzynlygy $5 \cdot 10^{-7}$ *m* bolan kogerent monohromatik parallel ýagtylyk dessesiniň ýolunda radiusy 5 *mm* bolan togalak yşly ekran ýerleşdirilipdir. Ekrandan haýsy iň kiçi aralykda ekranyň merkezinde ýagtylygyň intensiwligi nola golaý bolar?

13. Dury däl $2d$ inli yşa λ tolkun uzynlykly tekiz ýagtylyk düşýär. Yşdan b aralykda ekran ýerleşdirilen (*4.6-njy çyzgy*). Yşyň ekrandaky şekiliniň iň kiçi ölçegine jogap berýän inini bahalandyrmaly.



4.6-njy çyzgy

14. Haýsy λ tolkun uzynlykda spektriň üçünji tertibinde difraksiýa gözeneginiň burç dispersiýasy $\frac{d\varphi}{d\lambda} = 6,3 \cdot 10^5 \ \frac{rad}{m}$ bolar? Gözenegiň hemişeligi $d = 5$ *mkm*.

4.3. Ugrukdyrmalar

1. Energiýanyň saklanma kanunyna görä yşdan geçýän ýagtylygyň energiýasy ekrana düşýän şöhläniň energiýasyna deňdir.

Yşdan 1 *s*-de geçýän ýagtylyk energiýasy üçin

$W_1 = I_0 N \Delta S$ deňlemeden peýdalanmaly.

2. Difraksion gözenegiň baş maksimumlara üçin formulasyndan peýdalanmaly:

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

3. Togalak yşda ýerleşen Freneliň zolaklarynyň sany aşakdaky formuladan tapyp:

$$r_n = \sqrt{n\lambda b} = r$$

ekrandaky difraksiýa şekiliniň merkezinde yrgyldylaryň amplitudasy: $A = A_1 - A_2 + A_3 - ...$ formuladan peýdalanmaly.

4. Plastina özüni ýygnaýjy linza ýaly alyp barýar diýip hasap etmeli.

5. Ýuka plýonkada serpigen tolkunlar üçin maksimum şertinden peýdalanmaly:

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2\theta} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}.$$

6. Difraksion gözenegiň saýgaryjylyk ukybynyň anlatmasyndan

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN$$

we maksimum şertinden $d\sin\varphi = \pm k\lambda$ peýdalanmaly.

7. Spektrleriň bir-birine galtaşmalarynyň λ_1=400 *nm* we λ_2= 500 *nm* tolkun uzynlyklary üçin iki sany goňşy çyzyklarda difraksiýa burçlarynyň deň bolan ýagdaýynda bolýandygyndan ugur almaly: $\varphi_{K+1}^{(\lambda_1)} = \varphi_K^{(\lambda)}$.

8. Yşyň difraksiýa minimumlarynyň şertinden $b\sin\varphi = \pm m\lambda$ (m =1,2,3,...) we $\frac{x}{2} = a \cdot \mathrm{tg}\varphi$ formuladan peýdalanmaly.

9. Difraksiýa gözeneginiň saýgaryjylyk ukybyndan $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN = \frac{kl}{d}$ peýdalanmaly.

10. Difraksiýa gözeneginiň formulasyndan k-ny tapyp, ony iň uly baha derňemeli.

11. Difraksiýa gözenegiň formulasyndan $k = \frac{d\sin\varphi}{\lambda}$ taparys. $d = \frac{1}{N_0}$ – aňlatmany peýdalanmaly.

12. Ekrandaky yşda Freneliň zolaklarynyň iki sanysy ýerleşende onuň aňyrsyndaky nokatda ýagtylygyň intensiwligi nola golaý bolar. Ýagny, yşyň radiusy Freneliň ikinji zolagynyň radiusyna deň bolmaly:

$$r = r_2.$$

13. Difraksiýa gözeneginiň formulasyndan iň kiçi difraksiýa burçuny tapmaly. Soňra ol burçy yşyň şekiliniň $2d$ ölçegi we b aralyk arkaly aňlatmaly.

14. Difraksiýa gözeneginiň burç dispersiýasy üçin $\cos\varphi = \frac{k}{d}\cdot\frac{\delta\lambda}{\delta\varphi}$ aňlatmasyndan we maksimumlar $d\sin\varphi = k\lambda$ şertinden peýdalanmaly.

4.4. Jogaplar

1. $I_0 = \frac{2}{Nb\lambda}\int_0^\infty I(r)rdr.$ **2.** $\lambda = 0{,}54$ *mkm*. **3.** $I = 2I_0$.
4. $f = 0{,}6$. **5.** $h_{\min} \approx 1{,}4\cdot10^{-7}$ *m*. **6.** $\left(\frac{\lambda}{\Delta\lambda}\right)_{\max} = \left(\frac{l\cdot\sin\varphi}{\lambda}\right)_{\max} = \frac{l}{\lambda}.$

7. Bolmaz. **8.** x – i iki esse kiçeltmek üçin b-ni iki esse ulaltmaly.
9. $d = 51$ *mkm*. **10.** $k = 5$. **11.** $\lambda_m = 6{,}67\cdot10^{-7}$ *m*.

12. $b = 25$ *m*. **13.** $\sin\varphi \approx \varphi \approx \frac{\lambda}{2d}$ başga bir tarapdan $2\varphi = \frac{2d}{b}$.

14. $\lambda = 167$ *nm*.

4.5. Çözülişleri

1. Energiýanyň saklanma kanunyna görä yşdan geçýän ýagtylygyň energiýasy ekrana düşýän şöhläniň energiýasyna deňdir:

Yşdan 1 *s*-de geçýän ýagtylyk energiýasy:

$$W_1 = I_0 N\Delta S.$$

Bu ýerde ΔS – Freneliň zolagynyň meýdany

$\Delta S = \dfrac{ab}{a+b}\pi x,$ biziň seredenimizde $a = \infty$, ýagny tekiz tolkun

$$\Delta S = \pi bx.$$

1 s-da ekrana düşýän ýagtylyk energiýasy bolsa, deňdir

$$W_2 = \int_0^\infty 2\pi r dr \cdot I(r).$$

$W_1 = W_2$ deňlige esaslanyp alarys:

$$I_0 N\pi b\lambda = \int_0^\infty I(r) 2\pi r dr.$$

Netijede:

$$I_0 = \frac{2}{Nb\lambda}\int_0^\infty I(r) r dr.$$

2. Difraksiýa gözeneginiň baş maksimumlary aşakdaky formula bilen aňladylýar:

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

Onda

$$d \sin \theta_1 = \lambda, \quad d \sin \theta_2 = 2\lambda,$$

$$\sin\theta_1 = \frac{\lambda}{d}; \qquad \sin\theta_2 = \frac{2\lambda}{d}.$$

Bu deňlikleri goşup we trigonometrik gatnaşygy ulanyp alarys:

$$\sin\theta_2 + \sin\theta_1 = 2\sin\left(\frac{\theta_2+\theta_1}{2}\right)\cos\frac{\Delta\theta}{2} = \frac{3\lambda}{d}$$

we olaryň tapawudy

$$\sin\theta_2 - \sin\theta_1 = 2\cos\left(\frac{\theta_2+\theta_1}{2}\right)\sin\frac{\Delta\theta}{2} = \frac{\lambda}{d}.$$

Onda

$$\sin\left(\frac{\theta_2+\theta_1}{2}\right) = \frac{3\lambda}{2d\cos\frac{\Delta\theta}{2}}.$$

Bu deňlikleriň iki tarapyny hem kwadrata götereliň we bir näçe özgertme geçireliň:

$$1=\frac{9\lambda^2}{4d^2}\frac{1}{\cos^2\frac{\Delta\theta}{2}}+\frac{\lambda^2}{4d^2}\frac{1}{\sin^2\frac{\Delta\theta}{2}};$$

$$4d^2=\lambda^2\left(\frac{9}{\cos^2\frac{\Delta\theta}{2}}+\frac{1}{\sin^2\frac{\Delta\theta}{2}}\right)=$$

$$=\lambda^2\left(\frac{9}{\frac{1+\cos\Delta\theta}{2}}+\frac{1}{\frac{1-\cos\Delta\theta}{2}}\right)=$$

$$=2\lambda^2\left(\frac{9-9\cos\Delta\theta+1+\cos\Delta\theta}{\sin^2\Delta\theta}\right)=2\lambda^2\frac{10-8\cos\Delta\theta}{\sin^2\Delta\theta};$$

$$2d^2=\lambda^2\frac{10-8\cos\Delta\theta}{\sin^2\Delta\theta};$$

$$\lambda^2=\frac{d^2\sin^2\Delta\theta}{5-4\cos\Delta\theta};$$

$$\lambda=\frac{d\sin\Delta\theta}{\sqrt{5-4\cos\Delta\theta}}=0,54\ \ mkm.$$

3. Ilki bilen togalak yşda ýerleşen Freneliň zolaklarynyň sanyny tapmaly

$$r_n=\sqrt{n\lambda b}=r \qquad\Rightarrow\qquad n\lambda b=r^2;$$

$$n=\frac{r^2}{\lambda b}=\frac{1,2^2\cdot 10^{-6}}{0,64\cdot 10^{-6}\cdot 1,5}=1,5.$$

Diýmek, yşda Freneliň 1,5 zolagy ýerleşýär. Ekrandaky difraksiýa şekiliniň merkezinde yrgyldylaryň amplitudasy A:

$$A=A_1-A_2+A_3-...$$

A_i Freneliň i-nji zolagynyň berýän amplitudasy. Yşda birinji zolak doly we ikinji zolagyň ýarysy ýerleşýär.

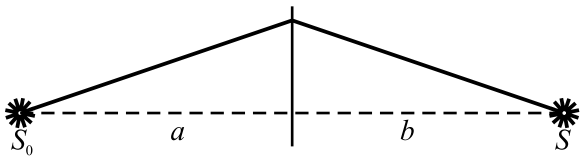
Onda

$$\vec{A}=\vec{A}_1-\frac{\vec{A}_2}{2};$$

$$I = I_1 - \frac{1}{2} I_2 = \frac{1}{2} I_2;$$

$$I_0 = \frac{I_1}{4} \qquad \Rightarrow \qquad I_1 = 4I_0 \qquad \Rightarrow \qquad I = \frac{4I_0}{2} = 2I_0.$$

4. 4.7-nji çyzgyda görkezilen plastina özüni ýygnaýjy linza ýaly alyp barýar.



4.7-nji çyzgy

Linzanyň formulasy:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow$$

$$f = \frac{ab}{a+b}.$$

Bu deňlemä san bahalary goýup zolak plastinasynyň aralygyny taparys:

$$f = \frac{1,5 \cdot 1}{1,5+1} = \frac{1,5}{2,5} = 0,6\,m.$$

5. Ýuka plýonkada serpigen tolkunlar üçin maksimum şerti:

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2\theta} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}.$$

Bu ýerde

$$h = \frac{(2k+1)\frac{\lambda}{2}}{2\sqrt{n^2 - \sin^2\theta}} = \frac{(2k+1)\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2\theta}}.$$

Soňky aňlatma k = 0 bolanda we $\lambda_{\min}$ bahany alanda iň kiçi ululyga eýe bolýar. Meseläniň şertinde λ = 0,60 *mkm* berlen, şonuň üçin

$$h_{min} = \frac{\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2\theta}} = \frac{0,6 \cdot 10^{-6}\ m}{4\sqrt{(1.33)^2 - (0,788)^2}} \approx 1,4 \cdot 10^{-7}\ m.$$

6. Difraksiýa gözeneginiň saýgaryjylyk ukyby:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN, \qquad N = \frac{l}{d},$$

l – gözenegiň ini.

Difraksiýa gözeneginde ýagtylygyň maksimumlarynyň şerti:

$$d\sin\varphi = \pm k\lambda, \qquad \frac{k}{d} = \frac{\sin\varphi}{\lambda},$$

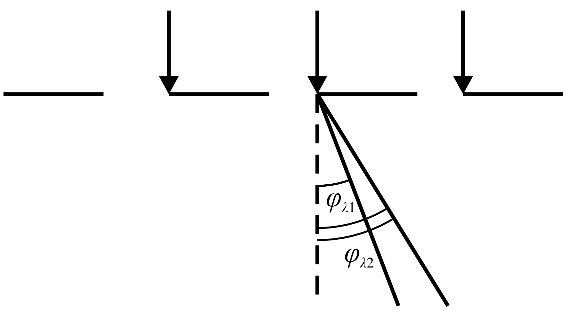
d – gözenegiň periody.

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN = \frac{kl}{d} = \frac{l\cdot\sin\varphi}{\lambda};$$

$$\left(\frac{\lambda}{\Delta\lambda}\right)_{\max} = \left(\frac{l\cdot\sin\varphi}{\lambda}\right)_{\max} = \frac{l}{\lambda}.$$

7. Spektrleriň bir-birine galtaşmalarynyň λ_1=400 *nm* we λ_2 = 500 *nm* tolkun uzynlyklary üçin iki sany goňşy çyzyklarda difraksiýa burçlarynyň deň bolan ýagdaýynda bolýandygyndan ugur almaly: $\varphi_{K+1}^{(\lambda_1)} = \varphi_K^{(\lambda)}$.

4.8-nji çyzgy. Indi difraksiýa maksimumlarynyň şertini ýazalyň



4.8-nji çyzgy

$$k\lambda_2 = d\sin\varphi_k^{(\lambda_2)},$$

$$(k+1)\lambda_1 = d\sin\varphi_{k+1}^{(\lambda_1)}.$$

Onda spektrleriň galtaşma şertini aşakdaky ýaly ýazyp bolar:

$$k\lambda_2 = (k{+}1)\,\lambda_1, \text{ ýa-da } k\lambda_2 = k\lambda_1 + \lambda_1,$$

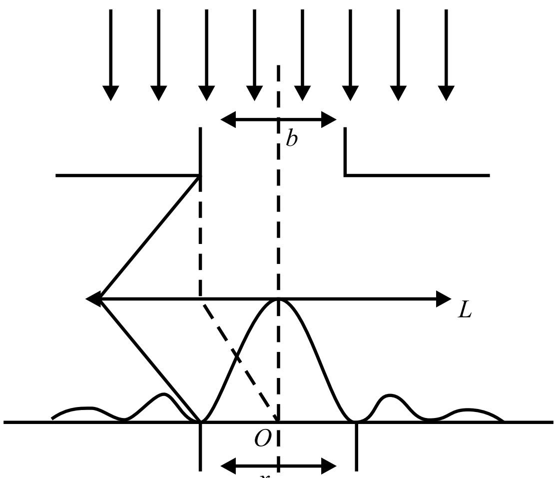
$$k(\lambda_2 - \lambda_1) = \lambda_1, \text{ bu ýerde}$$

$$k = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{400}{500 - 400} = \frac{400}{100} = 4.$$

Diýmek, spektrleriň galtaşmalary 5-nji we ondan ýokary tertiplerde bolýar. Şonuň üçin meseläniň şertinde goýlan soraga jogap bermek üçin, berlen şertlerde gözenegiň kömegi bilen haýsy iň uly tertipli spektriň alynýandygyny anyklamaly. Spektriň iň uly tertip belgisine $\varphi = \frac{\pi}{2}$ $(\sin\varphi = 1)$ jogap berýär. Diýmek,

$$k_{\max} = \frac{\alpha}{\lambda} = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{500 \cdot 10^{-9}} = \frac{20}{5} = 4.$$

Şonuň üçin spektrleriň galtaşmasy bolmaz.



4.9-njy çyzgy

x – merkezi ýagty zolagyň ini, b – yşyň ini

$$\frac{x}{2} = a \cdot \mathrm{tg}\varphi.$$

Yşyň difraksiýa minimumlaryň şerti:

$$b \sin\varphi = \pm m\lambda \ (m = 1,2,3,...)$$

$$b \sin\varphi = \pm \lambda;$$

$$\sin\varphi = \frac{\lambda}{b}, \quad \sin\varphi \approx \mathrm{tg}\varphi$$

$$\frac{\lambda}{b} = \frac{x}{2a} \quad \Rightarrow \quad x = 2a \cdot \frac{\lambda}{b}.$$

$x - i$ iki esse kiçeltmek üçin b-ni iki esse ulaltmaly.

9. Difraksiýa gözeneginiň saýgaryjylyk ukyby

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN = \frac{kl}{d}.$$

Onda, difraksiýa gözeneginiň periody

$d = \dfrac{kl\Delta\lambda}{\lambda}$ bolar.

Şu deňlemä san bahalary goýup taparys ($\Delta\lambda = 0{,}6 \cdot 10^{-9}$ m):

$$d = \frac{5 \cdot 10^{-2}\ m \cdot 0{,}6 \cdot 10^{-9}\ m}{589 \cdot 10^{-9}\ m} = 51\ mkm.$$

10. Difraksiýa gözeneginiň formulasyndan $d\sin\theta = k\lambda$

$k = \dfrac{d\sin\theta}{\lambda}$, $\sin\theta$ funksiýanyň iň uly bahasy 1-e deň. Onda $k = \dfrac{d}{\lambda}$,

$k = \dfrac{3 \cdot 10^{-6}}{5{,}8 \cdot 10^{-7}} = 5{,}2 < 6$. Diýmek, $k = 5$.

11. Difraksiýa gözeneginiň $d\sin\varphi = k\lambda$ formulasyndan taparys.

$$k = \frac{d\sin\varphi}{\lambda}.$$

Ýöne $d = \dfrac{1}{N_0}$ hasaba alyp, ýazarys

$$k = \frac{\sin\varphi}{\lambda N_0}.$$

Indi λ we N_0 ululyklaryň berlen bahalarynda $\sin\varphi_m = 1$ bolanda, $k = k_m$ iň uly baha eýe bolýar.

Onda

$$k_m = \frac{1}{\lambda N_0}, \qquad k_m \approx 3.$$

Bu gözenegiň kömegi bilen gözegçilik edip bolýan iň uly tolkun uzynlyk

$$\lambda_m = \frac{d\sin\varphi_m}{k_m} = \frac{1}{k_m \cdot N_0} = \frac{1}{3\cdot 5\cdot 10^5}\ m = 6,67\cdot 10^{-7}\ m.$$

12. Ýagtylygyň parallel dessesi (tekiz tolkun) üçin $a \to \infty$ onda Freneliň zolaklarynyň radiuslary üçin formulany aşakdaky ýaly özgerdip bolar.

$$r_m = \sqrt{\frac{a\cdot b}{a+b}m\lambda} = \sqrt{\frac{b}{1+\frac{b}{a}}m\lambda} \approx \sqrt{bm\lambda}.$$

Indi $r_2 = \sqrt{2b\lambda}$, bu ýerden $b = \frac{r_2^2}{2\lambda} = \frac{r^2}{2\lambda}$.

Berlenleri ornuna goýup, taparys:

$$b = \frac{\left(5\cdot 10^{-3}\right)}{2\cdot 5\cdot 10^{-7}}\ m = \frac{25\cdot 10^{-6}\ m}{10\cdot 10^{-7}} = 25\ m.$$

13. Yşyň ekrandaky şekiliniň iň kiçi ölçegi difraksiýa burçunyň iň kiçi bahasynda alynýar, onda

$$\sin\varphi = \frac{\lambda}{2d}k = \frac{\lambda}{2d}.$$

Difraksiýa burçunyň kiçidigi üçin

$\sin\varphi \approx \varphi \approx \frac{\lambda}{2d}$ ýazyp bolar.

Başga bir tarapdan $2\varphi = \frac{2d}{b}$-e deňdir.

14. Difraksiýa gözeneginiň burç dispersiýasynyň

$\frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{k}{d\cos\varphi}$ formulasyndan $\cos\varphi = \frac{k}{d}\frac{\delta\lambda}{\delta\varphi}$.

Başga bir tarapdan $\cos\varphi = \sqrt{1-\sin^2\varphi}$.

Onda alarys $\frac{k}{d\left(\frac{\delta\varphi}{\delta\lambda}\right)} = \sqrt{1-\sin^2\varphi}$, bu ýerde $\sin\varphi = \sqrt{1-\left(\frac{k}{d}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\frac{\delta\varphi}{\delta\lambda}}\right)^2}$.

Difraksiýa gözeneginiň maksimumlar şertinden $d\sin\varphi = k\lambda$ taparys:

$$\lambda = \frac{d}{k}\sin\varphi, \text{ ýa-da}$$

$$\lambda = \frac{d}{k}\sqrt{1-\left(\frac{k}{d}\right)^2 \frac{1}{\left(\delta\varphi/\delta\lambda\right)^2}} = \sqrt{\frac{d^2}{k^2} - \frac{1}{\left(\delta\varphi/\delta\lambda\right)^2}}.$$

San bahalary goýup taparys

$$\lambda = \sqrt{\frac{\left(5\cdot 10^{-4}\right)^2}{9} - \frac{1}{\left(6,3\cdot 10^{5}\right)^2}}\, m = 16,7\cdot 10^{-5}\, m = 167\, nm.$$

V bap

ÝAGTYLYGYŇ POLÝARLANMASY

5.1. Usuly görkezmeler

Ýagtylygyň polýarlanmasyna degişli meseleler çözülende: iki dielektrigiň araçäginde ýagtylyk serpigende we döwülende Freneliň formulalaryndan peýdalanmaly:

$$I_\perp^{|} = I_\perp \sin^2(i-r); \qquad (1)$$

$$I'_\parallel = I_\parallel \frac{\mathrm{tg}^2(i-r)}{\mathrm{tg}^2(i+r)}. \tag{2}$$

Bu ýerde $I_\perp$, $I'_\perp$ ýagtylyk wektory düşme tekizligine perpendikulýar ugurda ($\vec{E}$ – ýagtylyk tolkunynyň elektrik meýdanynyň güýjenme wektory) düşýän we serpigen ýagtylygyň intensiwlikleri. $I_\parallel$, $I'_\parallel$ ýagtylyk wektory düşme tekizligine parallel düşýän we serpigen ýagtylygyň intensiwlikleri, i – düşme burçy, r – serpikme burçy.

Ýagtylygyň polýarlanma derejesi.

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \tag{3}$$

formuladan tapylýar. Bu ýerde P – ýagtylygyň polýarlanma derejesi, $I_{\max}$ we $I_{\min}$ degişlilikde şöhlede ýagtylyk yrgyldylarynyň özara perpendikulýar ugurlary üçin ýagtylygyň maksimal we minimal intensiwlikleri.

Doly polýarlanmada düşme burçy (i_B) Brýusteriň kanunyna boýun egýär.

$$\mathrm{tg}\, i_B = n = \frac{n_2}{n_1}, \tag{4}$$

bu ýerde n – sepleşýän iki dielektrigiň otnositel döwme görkezijisi, n_1 we n_2 – dielektrikleriň wakuuma görä döwme görkezijileri.

Analizleýjä I_0 intensiwlikli düşen polýarlanan ýagtylygyň ondan geçenden soň

$$I = I_0 \cos^2\varphi \tag{5}$$

intensiwligi (I) Malýusyň kanunyndan (5) tapylýar. Bu ýerde φ – polýarlaýjynyň we analizleýjiniň baş tekizlikleriniň arasyndaky burç. Eger iki dielektrigiň araçäginde doly serpikme bolsa, onda $I'_\perp = I_\perp$, $I'_\parallel = I_\parallel$ bolýar we serpigen şöhläniň doly intensiwligi $I' = I''_\perp + I'_\parallel$ bolup, düşýän şöhläniň doly $I = I_\perp + I_\parallel$ intensiwligine deň bolýar.

Tebigy ýagtylyk anizotrop maddalara düşende onuň içinde ikä bölünýär. Olaryň ýaýraýyş tizlikleri üýtgeşik bolýar. Olaryň biri Snelliusyň kanunyna boýun bolup, oňa adaty beýlekisi bolsa ol kanunlara boýun bolmaýar, ol adaty däl şöhledir. Olaryň arasyndaky faza süýşmesi

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}\ell(n_{ad} - n_a) \qquad (6)$$

formuladan tapylýar. Bu ýerde δ – faza süýşme burçy, ℓ – anizotrop maddanyň uzynlygy (galyňlygy), n_{ad}, n_a – degişlilikde adaty däl we adaty şöhlelere degişli döwülme görkezijilerdir.

Optiki işjeň maddadan polýarlanan şöhle geçende, onuň polýarlanma tekizligi belli bir burça öwrülýär. Bu burç tebigy optiki işjeň gaty maddalar üçin

$$\varphi_{teb} = \alpha\ell. \qquad (7)$$

Magnit meýdanynyň täsirinde-de emeli optiki işjeň madda alyp bolýar. Bu ýagdaý üçin

$$\varphi_{mag} = V\,\ell\,H, \qquad (8)$$

bu ýerde α – öwrülme hemişeligi (erginler üçin $\alpha = [\alpha]C$, $[\alpha]$ – udel öwrülme hemişeligi, C – optiki işjeň erginiň konsentrasiýasy), ℓ – maddanyň uzynlygy, V – Werde koeffisiýenti, H – magnit meýdanynyň güýjenmesi.

5.2. Meseleler

1. Tebigy ýagtylyk käbir polýarlaýja düşüp, ondan ýagtylyk akymynyň $\eta_1 = 30\%$, iki sany şeýle polýarlaýjydan bolsa $\eta_2 = 13{,}5\%$ geçýär. Bu polýarlaýjylaryň ýagtylygy geçirýän tekizlikleriniň arasyndaky φ burçy tapmaly.

2. 6-y sany polýarlaýjy berlip, olaryň her biriniň ýagtylygy goýberýän tekizligi öňündäkiňkä görä $\varphi = 30°$ burça öwrülen. Tebigy ýagtylygyň dessesi şeýle sistema düşýär. Ýagtylyk akymynyň näçe bölegi ondan geçer.

3. Tebigy ýagtylygyň inçe dessesi optiki izotrop molekulalardan durýan gazdan geçýär. Dessä görä θ burç bilen dargan ýagtylygyň polýarlanma derejesini tapmaly.

4. Bölekleýin polýarlanan ýagtylygyň polýarlanma derejesi $P = 0{,}25$. Bu ýagtylykdaky polýarlanan düzüjiniň tebigy düzüjisine gatnaşygyny kesgitlemeli.

5. Bölekleýin polýarlanan ýagtylygyň öňünde polýarlaýjy goýlan. Polýarlaýjyny maksimal geçirýän ýagdaýyna görä $\varphi = 60°$ burça öwreniňde, düşen şöhläniň intensiwligi $\eta = 3$ esse peseldi. Düşýän şöhläniň polýarlaşma derejesini kesgitlemeli.

6. Tebigy ýagtylyk çüýşäniň üstüne Brýusteriň burçy bilen düşýär. Freneliň formulasyndan peýdalanyp:

a) serpikme koeffisiýentini;

b) döwlen ýagtylygyň polýarlanma derejesini kesgitlemeli.

7. Ýagtylyk tolkuny dury madda bilen örtülen çüýşäniň üstüne normal düşýär. Ikilenji serpikmeleri hasaba alman, şeýle gatlagyň üstlerinden serpigen ýagtylyk tolkunlarynyň amplitudalarynyň $n' = \sqrt{n}$ (bu ýerde n' we n – gatlagyň we çüýşäniň döwme görkezijileri) şertde özara deň bolýandygyny subut etmeli.

8. Freneliň formulalaryny peýdalanyp:

a) tebigy ýagtylyk çüýşäniň üstüne normal düşende serpikme koeffisiýentini,

b) tebigy ýagtylygyň paraksial şöhleleri $N = 5$ sany optiki merkezleşdirilen çüýşe linzalardan geçende, serpikme sebäpli ýagtylyk akymynyň otnositel ýitgisini tapmaly.

9. Bölekleýin polýarlanan ýagtylygyň öňünde polýarlaýjy goýuldy. Polýarlaýjyny öwrenlerinde ýagtylygyň iň kiçi intensiwliginiň I_0-a deňdigi anyklandy. Eger polýarlaýjynyň öňünde uzynlygy $\ell = \dfrac{\lambda}{4}$ optiki oky polýarlaýjynyň geçiriji tekizligine 45° burç bilen ugrukdyrylan plastina goýlanda polýarlaýjydan geçen ýagtylygyň intensiwligi ηI_0 ($\eta = 2$) bolýan bolsa, düşýän ýagtylygyň polýarlanma derejesini hasaplamaly.

10. Kwarsdan galyňlygy 0,6 *mm*-e golaý bolan kristalyň optiki okuna parallel edip plastinka kesip almaly. Şonda ondan $\lambda = 0{,}589$ *mm* tolkun uzynlykly sary reňkli şöhle geçip, töwerekleýin polýarlanýar. Eger kwarsyň sary şöhle üçin adaty we adaty däl şöhlelere degişli döwme görkezijisi $n_a = 1{,}544$ we $n_{ad} = 1{,}533$ bolsa, plastinkanyň takyk galyňlygy näçe bolar?

11. Eger izotrop dielektrige elektrik wektory: a) düşme tekizligine perpendikulýar; b) düşme tekizliginde ýatýan tekiz polýarlanýan şöhle düşse, serpigen şöhläniň intensiwligi nähili bolar?

12. Suwdan doldurylan çüýşe gabyň düýbünden serpigen şöhle doly polýarlanmagy üçin ýagtylyk dessesi howadan suwuň üstüne nähili burç bilen düşmeli?

13. Iki üstüň ýagtylanyş derejesini deňeşdirmek üçin olaryň birine gös-göni, beýlekisine bolsa iki sany nikolyň prizmasyndan seredilýär. Eger üstleriň ýagtylandyrylyşy deň görünse, nikollaryň arasyndaky burç 70° bolsa, olaryň ýagtylanyşlarynyň gatnaşygy nähili? Her bir nikol üstünden geçýän energiýanyň 10%-ni siňdirýär.

14. Obýektiw iki sany linzadan durýar. Olaryň biri döwme görkezijisi $n_1 = 1{,}52$ bolan çüýşeden, beýlekisi bolsa döwme görkezijisi $n_2 = 1{,}6$ bolan çüýşeden ýasalan. Eger linzalary $n_3 = 1{,}6$ döwme görkezijili kanada balzamy bilen biri-birine ýelmeseň, serpikme sebäpli obýektiwde ýagtylygyň ýitgisi näçe esse kiçeler? Ýelmenen obýektiwde ýagtylygyň ýitgisini tapmaly. Ýagtylygyň linzalaryň üstüne düşme burçlary juda kiçi diýip kabul etmeli.

15. Optiki okuna perpendikulýar kesilen, galyňlygy $h = 1$ *mm* bolan kwars plastinasyny iki sany özara parallel nikolyň aralygynda goýlanda polýarlanma tekizligi $\alpha = 20°$ öwrülýär. Ýagtylygyň şol bir tolkun uzynlykly tolkuny ikinji nikoldan geçmez ýaly kwars plastinasynyň galyňlygy näçe bolmaly?

16. Görüş meýdançasy maksimal ýagtylanmagy üçin özara perpendikulýar nikollaryň arasynda kwarsyň nähili galyňlykly plastinasyny goýmaly? Şeýle plastinada optiki ok nähili geçmeli? Tejribe $\lambda = 500$ *nm* tolkun uzynlykly monohromatik ýagtylyk bilen geçirilýär. Şu tolkun üçin kwarsyň udel öwürmesi 1 *mm*-de 29,7°.

17. Sary reňkli ýagtylyk içi erginli turbadan geçende, polýarlanma tekizliginiň öwrülme burçy 20° boldy. Süýji ergininiň konsentrasiýasy nämä deň? Turbanyň uzynlygy 15 *sm*. Süýji ergininiň udel öwürmesi 1 g/sm^3 konsentrasiýada 66 *grad*/*dm*.

18. Iki sany polýaroidiň aralygynda ýerleşen solenoidiň magnit meýdanynyň boýuna käbir madda goýuldy. Maddaly turbajygyň uzynlygy $\ell = 30$ *sm*. Güýjenmesi $H = 56{,}5 \cdot 10^3$ bolan magnit meýdanynyň garşylykly ugurlary üçin polýarlanma tekizligiň öwrülme burçlary $\varphi_1 = +5°10'$ we $\varphi_2 = -3°20'$. Turbajykdaky madda üçin Werde koeffisiýentini kesgitlemeli. Polýaroidleriň arasyndaky haýsy burçda ýagtylyk diňe bir tarapa geçip biler (ulgam optiki wentil bolup hyzmat eder). Şonda magnit meýdanynyň güýjenmesiniň iň kiçi bahasy näçä deň?

19. Töwerekleýin polýarlanan ýagtylyk bilen şöhlelendirilende jisime aýlanma moment berilýändigini (Sadowskiniň effekti) tejribe görkezýär. Bu hadysa berlen ýagtylygyň impuls momenti bolup, onuň akymynyň dykyzlygy wakuumda $M = I/\omega$ (bu ýerde: I – ýagtylygyň intensiwligi, ω – yrgyldynyň aýlaw ýygylygy) bolýanlygy bilen düşündirilýär. Goý, tolkun uzynlygy $\lambda = 0{,}70$ *mkm* bolan töwerekleýin polýarlanan ýagtylyk öz okunyň töwereginde aýlanyp bilýän, massasy $m = 10$ *mg*-a deň birhilli gara diske normal düşsün. Eger $I = 10$ *Wt/sm*^{2} bolsa näçe wagtdan soň diskiň burç tizligi $\omega_0 = 1$ *rad/s* bolar?

20. Ýagtylyk aralygynda optiki okuna perpendikulýar kesilen kwars plastinasy ýerleşen iki sany özara perpendikulýar polýarlaýjydan duran ulgamdan geçýär. Tolkun uzynlygy λ_1=436 *nm* ýagtylyk doly λ_2=497 *nm* tolkun uzynlygynyň bolsa ýarysy geçer ýaly, plastinanyň minimal galyňlygyny kesgitlemeli. Şu tolkun uzynlyklar üçin kwarsyň öwürme hemişeligi degişlilikde 41,5 we 31,1 *grad/mm.*

5.3. Ugrukdyrmalar

1. Malýusyň kanunyndan ($I = I_0 \cos^2 \varphi$) peýdalanmaly.

2. Bu ýerde 1-njiden tebigy ýagtylygyň 50%-niň geçýändigini göz öňünde tutup, Malýusyň kanunyny ulanmaly.

3. $P = \dfrac{I_{\parallel} - I_{\perp}}{I_o}$ formulany we Releýiň kanunyny ulanyň.

4. $I_{\max} - I_{\min} = I_{pol}$ we $I_{\max} + I_{\min} = I_{teb} + I_{pol}$ bolýandygyny peýdalanyň.

5. Polýarlaýjynyň maksimal ýagtylyk goýberýän ýagdaýynda ondan geçýän ýagtylygyň intensiwligini (I_1) we polýarlaýjyny φ gradusa öwreniňde ondan geçjek ýagtylygyň intensiwligini (I_2) tapyp, $I_1 = \eta I_2$ aňlatmadan we $P = \dfrac{I_p}{(I_{teb} + I_p)}$ formuladan peýdalanyp gözlenýän ululugy tapyp bolar.

6. Brýusteriň kanunyndan we Freneliň formulalaryndan peýdalanyň.

7. Freneliň formulasyny ýagtylygyň ýuka gatlagyň howa we çüýşe bilen galtaşýan üstlerinden serpikmesi üçin ýazyp, meseläniň şertine görä, $E^s_{\perp ü} = E^s_{\perp ç}$ deňlikden gözlenýän ululyk tapylýar.

8. Freneliň formulasyndan we Brýusteriň kanunyndan peýdalanyň.

9. Bölekleýin polýarlanan ýagtylygyň intensiwligi tebigy we çyzykly polýarlanan ýagtylygyň intensiwlikleriniň jemine deňdir. Ony $\frac{\lambda}{4}$ galyňlykly plastinadan geçende, özara perpendikulýar tekizliklerde polýarlanan ýagtylyk bilen çalşyryp bolar. Şulary we Malýusyň kanunyny göz öňünde tutup, meseläni çözüp bolýar.

10. Ikileýin şöhle döwülmede adaty we adaty däl şöhleleriň faza tapawudyny $\left(\frac{\pi}{2} + 2k\pi\right)$ $(k = 0, 1, 2, 3...)$ deňläp meseläni çözüp bolar.

11. Iki dielektrigiň araçäginden serpigen şöhläniň düşme tekizligine perpendikulýar tekizlikde polýarlanýandygyny ulanmaly.

12. Düşme burçy Brýusteriň burçuna deň bolanda serpigen şöhle düşme tekizligine perpendikulýar tekizlikde doly polýarlanandygyny, ýagtylygyň döwülme kanunyny we Brýusteriň kanunyny ulanyň.

13. Kanada balzamynyň aýratynlyklaryny, adaty hem adaty däl şöhleleriň häsiýetlerini we Malýusyň kanunyny ulanyň.

14. Ýagtylyk normal düşende serpikme koeffisiýentiniň formulasyny $P = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$ ulanyň.

15. Bionyň kanunyny peýdalanyň.

16. Bionyň kanunyny ulanyň.

17. Erginler üçin Bionyň kanunyny ulanyp, gözleýän ululygyňyzy taparsyňyz.

18. Magnit meýdanynyň täsirinde polýarlanma tekizliginiň aýlanmasy üçin Faradeýiň kanunyndan peýdalanyň. Werde koeffisiýentini aýlanma burçunyň orta bahasy üçin tapyň.

19. Düşýän ýagtylyk tölwerekleýin polýarlanandygy üçin ýagtylyk wektory ($\vec{E}$) töwerek boýunça aýlanýar. Ol hem bir elektrona impulsyň momentini berer, ony tapyň we elektronyň doly energiýasynyň üsti bilen aňladyň. Elektron bu energiýany düşvýän ýagtylykdan alýar. Soňra gaty jisimiň aýlanma hereketi üçin $\frac{dL}{dt} = M$ kanuny ulanyň.

20. $d_1 = \frac{k\pi}{\alpha_1}$; $k = 3$-de $d_1 = 8{,}7$ mm; λ_1 üçun minimum, λ_2 üçin ýarym $d_2 = \frac{(2k+1)\pi}{2\alpha_2}$; $k = 1$-de $d_2 = 8{,}7$ mm; intensiwlikli şerti ulanyň.

5.4. Jogaplar

1. $\varphi \approx 30°$. **2**. 0,12 (12%). **3**. $P = \dfrac{\sin^2\theta}{\left(1+\cos^2\theta\right)}$.

4. $p = \dfrac{P}{1-P} \approx 0,3$. **5**. $P = \dfrac{\eta - 1}{1 - \eta\cos 2\varphi}$.

6. a) $P = \dfrac{\left(n^2-1\right)^2}{\left[2\left(n^2+1\right)^2\right]}$; b) $P = \dfrac{\left[\left(n^2+1\right)^2 - 4n^2\right]}{\left[\left(n^2+1\right)^2 + 4n^2\right]}$.

8. a) $\rho = \left[\dfrac{(n-1)}{(n+1)}\right]^2 = 0,04$; b) $\dfrac{\Delta I}{I_0} = 1 - (1-\rho)^{2N} \approx 0,34$.

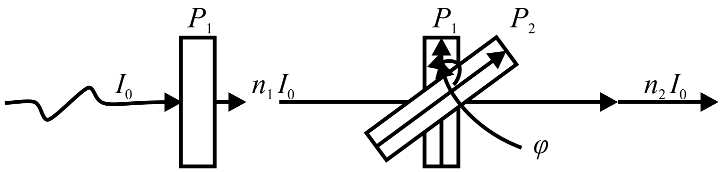
9. $P = \dfrac{(\eta-1)}{\eta} = 0,5$. **10**. $\ell = \dfrac{\left(k+\dfrac{1}{4}\right)\lambda}{\left(n_{ad} - n_a\right)}$. **12**. $\beta = 84°$.

13. 21 – esse kiçi bolar. **14**. 9,4%. **15**. $d = \dfrac{\pi d_1}{2\alpha} = 4,5\ mm$.

16. $d = 3,03\ mm$. **17**. $C = 0,2\ g/sm^3$. **18**. $V = 3,24 \cdot 10^{-4}\ A^{-1}$; $H_{ik} = 2,78 \cdot 10^7\ A/m$. **19**. $t = \dfrac{mc\omega_0}{P \cdot \lambda} \approx 12\ sagat$. **20**. $d_{ik} = 8,7\ mm$.

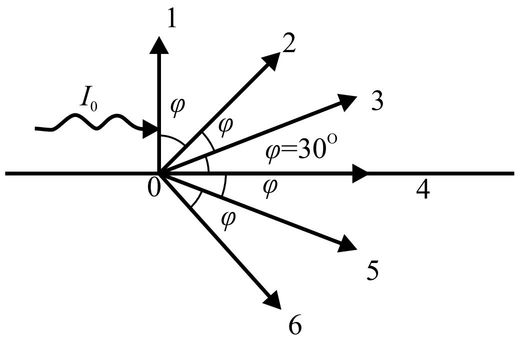
5.5. Çözülişleri

1. Meseläniň şertine görä, birinji polýarlaýja I_0 intensiwlikli ýagtylyk düşende, ondan $\frac{1}{2} \cdot \eta_1 I_0$ intensiwlikli ýagtylyk geçýär. Şeýle polýarlaýjylaryň iki sanysyndan bolsa $\eta_2 \cdot I_0$ geçýär. Diýmek, ikinjä düşýän ýagtylygyň intensiwligi $\eta_1 I_0$ bolup, ondan geçeni $\eta_2 I_0$ bolar. Malýusyň kanuny boýunça $\frac{1}{2} \cdot \eta_2 \cdot I_0 = \eta_1^2 I_0 \cdot \cos^2\varphi$; bu ýerde φ-iki polýarlaýjynyň geçirýän tekizlikleriniň arasyndaky burç (*5.1-nji çyzgy*).



5.1-nji çyzgy

Onda $\cos^2\varphi = \dfrac{\eta_2}{2\eta_1^2}$; $\cos\varphi = \dfrac{\sqrt{\eta_2}}{\sqrt{2}\cdot\eta_1}$;



5.2-nji çyzgy

$\cos\varphi = \dfrac{\sqrt{0,135}}{1,41\cdot 0,3} \approx 0,868$, $\varphi \approx 30°$.

2. Malýusyň kanunyna laýyklykda, 2-nji polýarlaýjydan geçen ýagtylygyň intensiwligi $I_2 = I_{01}\cos^2\varphi$, $I_{01} = 0,5I_0$; I_{01} –1-njiden geçeni, I_0 – 1-njä düşeni. 3-njiden geçen ýagtylygyň intensiwligi.

Şulara meňzeşlikde:

$I_3 = I_2\cos^2\varphi = 0,5I_0\cdot\cos^4\varphi$.
$I_4 = I_3\cos^2\varphi = 0,5I_0\cdot\cos^6\varphi$.
$I_5 = I_4\cos^2\varphi = 0,5I_0\cdot\cos^8\varphi$.
$I_6 = I_5\cos^2\varphi = 0,5I_0\cdot\cos^{10}\varphi$.

Bu ýerde $\dfrac{I_6}{I_0} = 0,5\cos^{10}\varphi = 0,5\cdot(\cos30°)^{10} = 0,5\cdot(0,866)^{10} \approx 0,12$ (12%). Diýmek, berlen polýarlaýjylar ulgamyndan onuň üstüne düşýän ýagtylygyň 0,12 bölegi (12%-i) geçýär ekeni.

3. Bölekleýin polýarlanan ýagtylygyň özara perpendikulýar tekizliklerdäki intensiwlikleriniň tapawudynyň dargan ýagtylygyň doly intensiwligine gatnaşygy $P = \frac{I_{\parallel} - I_{\perp}}{I_{ö}}$ – polýarlanma derejesidir.

Releýiň kanunyna laýyklykda

$$I_{\parallel} = I_0;\ I_{\perp} = I_0 \cos^2\theta;\ I_o = I_0\left(1+\cos^2\theta\right);$$

Onda $P = \frac{I_0 - I_0\cos^2\theta}{I_0\left(1+\cos^2\theta\right)} = \frac{1-\cos^2\theta}{1+\cos^2\theta} = \frac{\sin^2\theta}{1+\cos^2\theta}.$

4. Belli bolşy ýaly, ýagtylygyň polýarlanma derejesi:

$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$. Emma $I_{\max} - I_{\min}$ polýarlanan ýagtylygyň intensiwligidir.

$I_{\max} - I_{\min} = I_{pol}$; $I_{\max} + I_{\min} = I_{tebigy} + I_{pol}$, onda

$$P = \frac{I_{pol}}{I_{teb} + I_{pol}} = \frac{I_{pol}}{I_{teb}\left(1+\frac{I_{pol}}{I_{teb}}\right)}.$$

Bu ýerde

$$\frac{I_{pol}}{I_{teb}} = \frac{P}{1-P} = \frac{0,25}{1-0,25} = \frac{0,25}{0,75} \approx 0,3.$$

5. Polýarlaýjynyň maksimal ýagtylyk goýberýän ýagdaýynda ondan geçen ýagtylygyň intensiwligi:

$I_1 - I_p + 0,5 \cdot I_t$; ($I_p$, I_t degişlilikde polýarlanan we tebigy ýagtylyklaryň intensiwlikleri). Polýarlaýjyny φ gradusa öwreniňde geçen ýagtylygyň intensiwligi:

$I_2 = I_p \cos 2\varphi + 0,5 I_t$ şerte görä,

$I_p + 0,5I_t = \eta\ (I_p \cos^2\varphi + 0,5 \cdot I_t)$. Soňky deňlemeden

$$I_p = I_t \frac{0,5(\eta - 1)}{1 - \eta\cos^2\varphi}.$$

Polýarlanma derejesi

$$P=\frac{I_p}{I_t+I_p}=\frac{I_t\cdot 0,5(\eta-1)}{\left(1-\eta\cos^2\varphi\right)\cdot\left[I_t+I_t\,\dfrac{0,5(\eta-1)}{\left(1-\eta\cos^2\varphi\right)}\right]}=$$

$$=\frac{0,5(\eta-1)}{1-\eta\cos^2\varphi}\cdot\frac{1-\eta\cos^2\varphi}{1-\eta\cos^2\varphi+0,5(\eta-1)}=\frac{\eta-1}{1-\eta\left(2\cos^2\varphi-1\right)}.$$

Emma 2 $\cos^2\varphi$ – ($\cos^2\varphi$ + $\sin^2\varphi$) – $\cos^2\varphi$ – $\sin^2\varphi$ – $\cos 2\varphi$ bolany üçin $P=\dfrac{\eta-1}{1-\eta\cos 2\varphi}$ bolar.

6. a) Tebigy ýagtylyk Brýusteriň burçy bilen düşeni üçin tg $\alpha_B = n$ deňleme kanagatlandyrylýar. Serpigen şöhle düşme tekizligine perpendikulýar tekizlikde doly polýarlanan bolýar we onda $E_{\parallel}=0$, $I_{\parallel}=0$. Kesgitlemä görä

$$P=\frac{I_{\perp}^{s}}{I_{du\c{s}}}.$$

Freneliň formulasyna laýyklykda

$I_{\perp}^{s}=I_{\perp}^{du\c{s}}\cdot\dfrac{\sin^2(\alpha_B-\sigma)}{\sin^2(\alpha_B+\sigma)}$. Belli bolşy ýaly, $\alpha_B+\sigma=90°$ we $\sin^2(\alpha_B+\sigma)=1$

onda $I_{\perp}^{du\c{s}}=\dfrac{1}{2}I^{du\c{s}}$ deňligi hasaba alyp, ýazyp bolar:

$\dfrac{I_{\perp}^{s}}{I_{\perp}^{du\c{s}}}=P=\dfrac{1}{2}\sin^2(\alpha_B-\sigma)$. Emma $\sigma=90-\alpha_B$ onda

$$P=\frac{1}{2}\sin^2(2\alpha_B-90)=\frac{1}{2}\cos^2 2\alpha_B=\frac{1}{2}\left(\cos^2\alpha_B-\sin^2\alpha_B\right)^2=$$

$$=\frac{1}{2}\left[\frac{1}{1+\mathrm{tg}^2\alpha_B}-\frac{\mathrm{tg}^2\alpha_B}{1+\mathrm{tg}^2\alpha_B}\right]^2=\frac{1}{2}\left[\frac{1}{1+n^2}-\frac{n^2}{1+n^2}\right]^2=\frac{\left(n^2-1\right)^2}{2\left(n^2+1\right)^2}$$ bolar.

b) Döwlen şöhläniň polýarlanma derejesi.

$P=\dfrac{I_{\parallel}^{d}-I_{\perp}^{d}}{I_{\parallel}^{d}+I_{\perp}^{d}}$ formuladan tapylýar. Freneliň formulasyndan

$$I_{\perp}^{d} = I_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot 4\sin^2(90-\alpha_B)\cdot\cos^2\alpha_B = 2I_0\cos^4\alpha_B =$$

$$= 2I_0\left(\cos^2\alpha_B\right)^2 = \frac{2I_0}{\left(n^2+1\right)^2};$$

$$I_{\parallel}^{d} = \frac{\dfrac{2I_0}{\left(n^2+1\right)^2}}{\cos^2(2\alpha_B-90)} = \frac{2I_0}{\left(n^2+1\right)^2\cdot\sin^2 2\alpha_B} =$$

$$= \frac{2I_0}{\left(n^2+1\right)^2\cdot 4\sin^2\alpha_B\cdot\cos^2\alpha_B} = \frac{2I_0}{4\left(n^2+1\right)^2}\cdot\frac{1}{\dfrac{1}{n^2+1}\cdot\dfrac{n^2}{n^2+1}} = \frac{2I_0}{4n^2},$$

onda

$$P = \frac{\dfrac{2I_0}{4n^2} - \dfrac{2I_0}{\left(n^2+1\right)^2}}{\dfrac{2I_0}{4n^2} + \dfrac{2I_0}{\left(n^2+1\right)^2}} \quad \text{ýa-da} \quad P = \frac{\left(n^2+1\right)^2 - 4n^2}{\left(n^2+1\right)^2 + 4n^2}.$$

7. Ýuka gatlaga normala ýakyn düşýän şöhle onuň ýokarky üstünden serpigende serpigen şöhlede $E_{\perp}^{s}$ Freneliň formulasyna laýyklykda $E_{\perp \text{ü}}^{s} = E_{\perp}^{\text{düş}} \cdot \dfrac{\sin(\alpha-\sigma)}{\sin(\alpha+\sigma)}$, emma kiçi burçda sin $\alpha \approx \alpha$. Şonuň üçin

$$E_{\perp \text{ü}}^{s} = E_{\perp}^{\text{düş}} \cdot \frac{\alpha-\sigma}{\alpha+\sigma} = E_{\perp}^{d\text{üş}} \cdot \frac{\sigma\left(\dfrac{\alpha}{\sigma}-1\right)}{\sigma\left(\dfrac{\alpha}{\sigma}+1\right)} = E_{\perp}^{d\text{üş}} \cdot \frac{n'-1}{n'+1}.$$

Gatlagyň çüýşe bilen galtaşýan üstünden serpigen şöhle üçin

$$E_{\perp \text{ç}}^{s} = E_{\perp}^{d\text{üş}} \cdot \frac{\dfrac{n}{n'}-1}{\dfrac{n}{n'}+1} = E_{\perp}^{d\text{üş}} \cdot \frac{n-n'}{n+n'} \quad \text{alarys.}$$

Şerte görä, $E^s_{\perp \ddot{u}} = E^s_{\perp ç}$; $\dfrac{n'-1}{n'+1} = \dfrac{n-n'}{n+n'}$, bu ýerde $n' = \sqrt{n}$ alarys.

8. a) Freneliň formulasyndan

$I^s_{\perp} = I^{düş}_{\perp} \cdot \dfrac{\sin^2(\alpha-\sigma)}{\sin^2(\alpha+\sigma)}$; ondan başga-da $P = \dfrac{\left(I^s_{\perp} + I^s_{\parallel}\right)}{I^{düş}_{\perp} + I^{düş}_{\parallel}}$; tebigy ýagtylykda $I^{düş}_{\perp} = I^{düş}_{\parallel}$ we $P = \dfrac{I^s_{\perp}}{I^{düş}_{\perp}} = \dfrac{I^s_{\parallel}}{I^{düş}_{\parallel}}$ ($\sin\alpha \approx \alpha$, $\sin\sigma \approx \sigma$), ($\cos\alpha = \cos\sigma \approx 1$), ($\alpha$, σ – juda kiçi).

$$I^s_{\perp} = I^{düş}_{\perp}\left[\frac{\sin\alpha\cdot\cos\sigma - \cos\alpha\cdot\sin\sigma}{\sin\alpha\cdot\cos\sigma + \cos\alpha\cdot\sin\sigma}\right]^2;$$

$$\rho = \frac{I^s_{\perp}}{I^{düş}_{\perp}} = \left[\frac{\alpha-\sigma}{\alpha+\sigma}\right]^2 = \left[\frac{\sigma\left(\dfrac{\alpha}{\sigma}-1\right)}{\sigma\left(\dfrac{\alpha}{\sigma}+1\right)}\right]^2 = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2;$$

Çüýşe üçin $n \approx 1{,}5$, onda $\rho = \left(\dfrac{0{,}5}{2{,}5}\right)^2 = 0{,}04.$

b) Bäş sany linzada 10-sany üst bar. Birinji üste I_0 intensiwlikli ýagtylyk düşüp $I_1 = \rho I_0$ serpigýär. Ikinji üste $I_0 - \rho I_0 = I_0\,(1-\rho)$ intensiwlikli ýagtylyk düşýär, onda $\rho I_0\,(1-\rho)$-sy serpigýär. Onda $I_0\,(1-\rho) - \rho I_0\,(1-\rho) = I_0\,(1-\rho)\cdot(1-\rho) = I_0\,(1-\rho)^2$ geçip, üçünji üste düşer we ş.m. N sany linzanyň $2N$ üsti bar. Şonuň üçin linzalar toplumyndan geçen şöhleleriň intensiwlikleriniň jemi $I_0\,(1-\rho)^{2N}$ bolar.

Ýiten ýagtylyk akymy

$\Delta I = I_0 - I_0\,(1-\rho)^{2N}$ ýa-da

$\dfrac{\Delta I}{I_0} = 1-(1-\rho)^{2N} = 1-(1-0{,}04)^{10} = 1-(0{,}96)^{10} =$
$= 1 - 0{,}66 \approx 0{,}34.$

9. Bölekleýin polýarlanan ýagtylygyň intensiwligini tebigy we çyzykly polýarlanan ýagtylygyň intensiwlikleriniň jemi görnüşde alyp bolar:

$$I = I_t + I_p$$

Şeýle ýagtylyk polýarlaýja düşse, ondan ýagtylygyň $\frac{I_t}{2} + I_p \cos^2 \varphi$ geçer.

Polýarlaýjyny aýlap, $I_p = 0$ alynýar, onda $\frac{I_t}{2} = I_0 = I$ iň kiçi; $I_t = 2I_0$.

Polýarlaýjynyň öňünde $\frac{\lambda}{4}$ galyňlykly plastina goýlanda çyzykly polýarlanan ýagtylyk elliptiki polýarlanan ýagtylyga öwrülýär. Eger $\varphi = 45°$ bolsa, onda töwerekleýin polýarlanan ýagtylyk alnar. Ony bolsa özara perpendikulýar ugurda polýarlanan iki ýagtylyga dargadyp bolýar. Meseläniň şertine görä, bu ýagdaýda sistemadan geçen ýagtylygyň intensiwligi $\frac{I_t}{2} + I_p \cos^2 \varphi = \eta I_0$ bolmaly.

Onda $\varphi = 45°$ bolany üçin, $\cos^2 45 = \frac{1}{2}$ we $\frac{I_t}{2} + \frac{I_p}{2} = \eta I_0$ we $I_t + I_p = 2\eta I_0$

$I_p = 2\eta I_0 - I_t = 2I_0\eta - 2I_0 = 2I_0 (\eta - 1)$.

Kesgitlemä görä,

$$P = \frac{I_p}{I_t + I_p} = \frac{2I_0(\eta - 1)}{2\eta I_0} = \frac{\eta - 1}{\eta} = 0,5.$$

$$P = 50\%.$$

10. Plastinadan geçen adaty we adaty däl şöhleleriň faza tapawudy

$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \ell(n_{ad} - n_a)$ iki sany özara perpendikulýar yrgyldylar goşulanlarynda töwerekleýin polýarlanan ýagtylyk alynýar. Emma şol netijäni

$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} + 2k\pi, (k = 0,1,2,3,...)$ diýibem alyp bolýar. Onda

$$\frac{2\pi}{\lambda}\ell(n_{ad} - n_a) = \frac{\pi}{2} + 2k\pi.$$

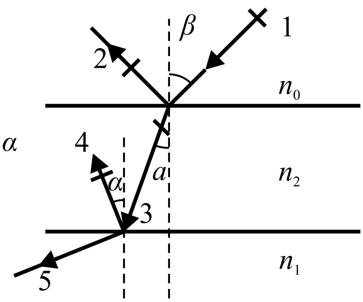
Bu ýerden

$\ell = \frac{(k + 1/4)\lambda}{n_{ad} - n_a}$ alarys.

Hasaplama geçirilende $k = 8{,}9$ alynýar. $k \approx 9$ hasaplap, $\ell = 0{,}605$ *mm* jogap alarys.

11. Eger tekiz polýarlanan şöhle düşme tekizligine perpendikulýar tekizlikde polýarlanan bolsa, onda serpigen şöhläniň intensiwligi iň uly bolar, sebäbi serpigen şöhle şol tekizlikde yrgyldaýan elektrik wektoryndan durýar. Düşýän şöhle düşme tekizliginde polýarlanan bolsa, onda serpigen şöhläniň intensiwligi iň kiçi bolar.

12. Howa-suw serhedine tebigy ýagtylyk (1) β burç bilen düşsün. Ol serpiger (2) we döwlüp suwa geçer (3) (*5.3-nji çyzgy*).



5.3-nji çyzgy

2 we 3 şöhle bölekleýin polýarlanyp, 2-nji şöhlede elektrik (ýagtylyk) wektory esasan düşme tekizligine perpendikulýar tekizlikde, 3-nji şöhlede bolsa bu wektor düşme tekizliginde ýatýar. Onda Snelliusyň kanunyna laýyklykda

$\sin\beta = n_2 \sin\alpha$ bolar.

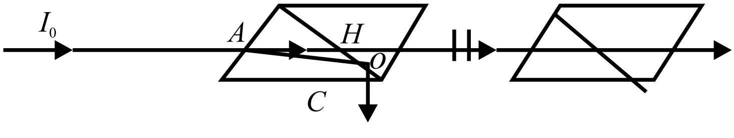
Suw-aýna araçagine bölekleýin polýarlanan şöhle (3) α burç bilen düşýär we onuň bir bölegi (4) serpigip, beýleki bölegi (5) döwülýär. 4-nji şöhle doly polýarlanan bolmaly. Şonda 4-nji we 5-nji şöhleleriň arasyndaky burç $\frac{\pi}{2}$-e deň bolar (α – doly polýarlanma üçin düşme burçy). Brýusteriň kanunyna görä

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1{,}5}{1{,}33} = 1{,}125 \text{ we } \alpha \approx 48^\circ 24'.$$

Onda

$\sin\beta = 1{,}33 \cdot \sin 48^\circ 24' = 0{,}994$ we $\beta \approx 84^\circ$.

13. Intensiwligi I_0 bolan tebigy ýagtylyk Nikolyň prizmasyndan geçende iki şöhlä bölünýär (*5.4-nji çyzgy*).



5.4-nji çyzgy

AH ugur adaty däl şöhle (intensiwligi $\frac{I_0}{2}$), AO ugurda bolsa adaty şöhle, onuň hem intensiwligi $\frac{I_0}{2}$-ä deň. Kanada balzamy bilen ýelmenen ýerde adaty şöhle doly yzyna serpigýär, adaty däl şöhle bolsa geçip gidýär. Birinji prizmadan diňe çyzgynyň tekizliginde ýatan yrgyldylar geçýär, olaryň energiýasynyň 0,1 bölegi siňdirilýär. Malýusyň kanuny boýunça birinji prizmadan $I_1 = 0{,}5 \cdot 0{,}9 \cdot I_0$ intensiwlikli ýagtylyk geçer.

Ikinji prizmadan bolsa $I_2 = 0{,}9 \cdot I_1 \cos^2 \alpha = 0{,}5 \cdot 0{,}81 \cdot I_0 \cos^2 \alpha$ intensiwlikli ýagtylyk geçer. Iki prizmadan geçensoň ýagtylygyň intensiwligi $21 = \frac{I_0}{I_2}$ esse peselýär. Diýmek, iki Nikolyň prizmasynyň üsti bilen garalýan meýdançanyň ýagtylygy 21 esse kiçi bolar.

14. Belli bolşy ýaly (*8-nji meseläniň çözüwüne seret*), ýagtylyk iki gurşawyň araçagine normal düşende serpikme koeffisiýenti

$$\rho = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}.$$

Düşme burçy kiçi bolany üçin birinji üstden serpigen ýagtylygyň energiýasy (intensiwligi)

$$I_1 = \rho_1 \cdot I_0 = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} \cdot I_0 = \frac{(0,52)^2}{(1,52)^2} = 0,043 I_0.$$

Bu ýerde I_0 – obýektiwe düşýän şöhläniň intensiwligi. Onda birinji üstden geçen şöhläniň intensiwligi $I_2 = 0{,}957 I_0$ bolar. Bu şöhle iki gurşawyň ikinji araçagine düşer. Bu üstden serpigen şöhläniň intensiwligi

$$I_3 = 0,957 I_0 \rho_2 = 0,957 I_0 \cdot \frac{\left(\frac{n_3}{n_1} - 1\right)^2}{\left(\frac{n_3}{n_1} + 1\right)^2} \approx 0,$$

ýagny çüýşe-kanada balzamyny araçaginde serpikme ýok diýen ýalydyr. Diýmek, kanada balzamy bilen ýelmeme serpikdiriji üstleri iki esse azaldyp, energiýa ýitgisini-de iki esse kemeldýär.

I_2 intensiwlikli ýagtylyk çüýşe-howa araçagine düşüp serpigýär, onda serpilen şöhläniň intensiwligi

$$I_4 = I_2 \frac{(n_2 - 1)^2}{(n_2 + 1)^2} = 0,053 I_2 \text{ bolar.}$$

Obýektiwden geçen ýagtylygyň intensiwligi

$I_5 = 0,947 I_2 = 0,947 \cdot 0,957 \cdot I_0 = 0,906\, I_0$.

Diýmek, ähli obýektiwde energiýanyň ýitgisi $0,094 I_0$ ýa-da 9,4%-e deň bolar.

15. Iki nikol özara parallel bolanlary üçin, birinjiden geçen ýagtylyk ikinjidenem geçer. Ikinjiden geçmez ýaly kwars plastinkasynyň galyňlygyny ol üste düşen polýarlanan ýagtylygyň polýarlanma tekizligini $\varphi = \dfrac{\pi}{2}$ burça aýlamaly. Onda Bionuň kanunyna laýyklykda

$\varphi = \varphi_0 d$, bu ýerde $\varphi_0 = \dfrac{\alpha}{d_1}$ – udel aýlanma burçy.

Netijede

$$d = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{\pi d_1}{2\alpha} = \frac{180° \cdot 1mm}{2 \cdot 20°} = \frac{18}{4} mm = 4,5\ mm.$$

16. Berlen tolkun uzynlygy üçin kwarsyň udel aýlanma burçy, meseläniň şertine görä, 29,7 *grad/mm*. Onda plastinka 90° burça polýarlanma tekizligini aýlamaly we

$$90^{grad} = \varphi = 29,7 \frac{grad}{mm} \cdot d \rightarrow \alpha = \frac{90}{29,7} mm \approx 3,03\ mm.$$

17. Bionuň kanuny erginler üçin şeýle ýazylýar:

$\varphi = \varphi_0 \cdot C \cdot d$, bu ýerde φ – polýarlanma tekizliginiň aýlanma burçy.

Süýjüli ergin üçin, meseläniň şertine görä, $\varphi_0 = 66,5 \dfrac{grad}{dm \cdot g / sm^3}$;

C – erginde süýjiniň konsentrasiýasy, d – turbanyň uzynlygy. Onda

$$C = \frac{\varphi}{\varphi_0 \cdot d} = \frac{20 grad \cdot dm \cdot \frac{g}{sm^3}}{66,5 grad \cdot 1,5 dm} = \frac{4}{66,5 \cdot 0,3} \frac{g}{sm^3} \approx 0,2 g / sm^3.$$

18. Polýarlanma tekizliginiň berlen madda üçin ortaça öwrülme burçy $\varphi - (\varphi_1 + \varphi_2)/2$ bolar. Onda Faradeýiň kanuny boýunça $\varphi = V\ell H$, bu ýerde V – Werde koeffisiýenti onda

$$V = \frac{\varphi}{\ell H} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2\ell H} = 3,24 \cdot 10^{-4} A^{-1}.$$

Sistema optiki wentel ýaly ýagtylygy bir tarapa geçirmegi üçin polýaroidleriň arasyndaky burç $\alpha = \frac{\pi}{4}$ bolmaly. Kristal bolsa H_{ik} magnit meýdanynda polýarlanma tekizligini $\alpha = \frac{\pi}{4}$ öwürmeli. Muňa degişli magnit meýdanynyň iň kiçi güýjenmesi

$$H_{ik} = \frac{\pi}{4V\ell} = 2,78 \cdot 10^{7} \frac{A}{m} \text{ bolar.}$$

19. Diskdäki her bir elektron töwerekleýin polýarlanan ýagtylygyň $\vec{E}$ wektorynyň täsirinde $L = m\upsilon r$ (bu ýerde m – elektronyň massasy, υ – onuň tizligi, r – elektron orbitasynyň radiusy) impulsyň momentine eýe bolar. Elektronyň kinetiki energiýasy $W_k = \frac{m\upsilon^2}{2}$-ä deň.

Onda $L = 2\frac{m\upsilon^2}{2\upsilon} \cdot r = \frac{2W_k}{2\pi\nu}$ bolar (bu ýerde ν – elektronyň aýlaw ýygylygy).

Periodik aýlanma hereketinde $W_k = W_p$, W_p – potensial energiýa. Onda elektronyň doly energiýasy $W = W_k + W_p = 2W_k$ bolar.

Şeýlelikde

$L = \frac{W}{2\pi\nu}$ alarys. Elektronyň doly W energiýasy onuň ýagtylykdan alan energiýasyna deňdir. Eger jisimiň 1 sm^2 üstüne 1s-de P ýagtylyk akymynyň dykyzlygy düşýän bolsa, onda jisimiň her 1 sm^2-y

$$L_1 = \frac{P}{2\pi\nu} = \frac{C \cdot W_v}{2\pi\nu} = \frac{W_v}{2\pi}\lambda \text{ impulsyň momentini alar.}$$

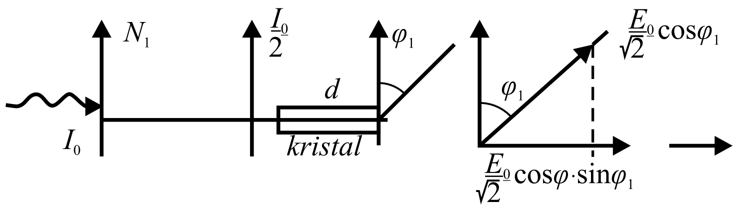
Onda πR^2 meýdanly disk $L_d = \frac{W_v \cdot \lambda}{2\pi} \cdot \pi R^2$ impulsyň momentini alar.

$W_v = \frac{P}{C}$ – energiýanyň göwrümleýin dykyzlydygyny hasaba alyp

$$\pi R^2 \cdot \frac{P\lambda}{C2\pi} = \frac{dL_d}{dt} = M = I \cdot \varepsilon = \frac{mR^2}{2} \cdot \omega_0 \text{ formuladan}$$

$t=\dfrac{mC\omega_0}{P\cdot\lambda}$ deňligi alarys. $t=\dfrac{9{,}1\cdot10^{-31}\cdot3\cdot10^{8}\cdot1}{10^{5}\cdot0{,}7\cdot10^{-6}}\left[s\right]\approx12\ sagat.$

20. Kristal baş optiki oka perpendikulýar kesileni üçin oňa normal düşen şöhle onuň içinde iki şöhlä bölünýär. Kristal oňa düşen şöhläniň diňe polýarlanma tekizligini öwürýär (*5.5-nji çyzgy*).



5.5-nji çyzgy

$$E_{geç}=\frac{E_0}{\sqrt{2}}\cdot\cos\varphi\cdot\sin\varphi; \qquad I_{geç}=\frac{I_0}{2}\cdot\cos^2\varphi\cdot\sin^2\varphi;$$

λ_1 üçin $\varphi_1=\alpha_1 d$

λ_2 üçin $\varphi_2=\alpha_2 d$

$I_{geç}=\dfrac{I_0}{2}\cdot\cos^2\varphi_1\cdot\sin^2\varphi_1$. Şerte görä, $I_{2\,geç}=0$ bolmaly.

Onda $\cos\varphi_1\cdot\sin\varphi_1=0$ ýa-da $\sin2\varphi_1=0$. Bu ýerden $2\varphi_1=K\cdot2\pi$ we $2a_1d=K2\pi\rightarrow d_1=K\pi/\alpha$.

$d_{10}=0,\ K=0;\ d_{11}=4{,}3\ mm,\ K=1;\ d_{12}=8{,}7\ mm,\ K=3....$

$I_{2geç}=\dfrac{I_0}{2}\cdot\cos^2\varphi_2\cdot\sin^2\varphi_2$. Şerte görä $I_{2geç}=\dfrac{I_0}{2}$,

onda $\cos\varphi_2\cdot\sin\varphi_2=1$. Bu ýerde $\cos\varphi_2=\pm1$ we $\sin\varphi_2=\pm1$ çözüw alarys.

$\sin\varphi_2=\pm1$-den $\varphi_2=\left(2K+1\right)\dfrac{\pi}{2}=\alpha_2 d_2.$

$d_2=\dfrac{(2K+1)\cdot\pi}{2\alpha_2}$ bolar. Onda $d_{20}=2{,}89\ mm,\ K=0;\ d_{21}=8{,}7\ mm,\ K=1.$

Hasaplamalardan görnüşi ýaly $d_{12}=d_{21}=8{,}7\ mm$ bolanda, λ_1 tolkun uzynlykly ýagtylyk sistemadan geçmeýär, λ_2 tolkun uzynlykly ýagtylygyň bolsa ýarysy geçýär. Diýmek, meseläniň şertini kanagatlandyrýan kristalyň iň kiçi uzynlygy $d_{ik}=8{,}7\ mm$ bolmaly.

VI bap

ÝAGTYLYGYŇ DISPERSIÝASY WE SIŇDIRILMESI

6.1. Usuly görkezmeler

Şu bölümde ulanyljak esasy formulalar.

1. Izotrop sredada ýagtylygyň tizligi

$$\upsilon = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \quad \text{ýa-da} \quad \upsilon = \frac{c}{n}, \quad n = \sqrt{\varepsilon\mu}.$$

Bu ýerde $c = 3 \cdot 10^8$ m/s – wakuumda ýagtylygyň tizligi; ε – sredanyň otnositel elektrik syzyjylygy; μ – sredanyň otnositel magnit syzyjylygy; n – maddanyň döwme görkezijisi.

2. Tolkunyň faza tizligi

$$\upsilon = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu = \frac{\lambda \cdot \omega}{2\pi}.$$

Bu ýerde T, λ, ν we ω tolkunyň degişlilikde periody, tolkun uzynlygy, çyzykly we aýlaw ýygylyklary.

3. Tolkunyň toparlaýyn tizligi (energiýanyň ýaýraýyş tizligi)

$$U = \upsilon - \lambda \frac{\partial \upsilon}{\partial \lambda} \quad \text{(Releýiň formulasy).}$$

Kadaly dispersiýada $U < \upsilon$ anomal (kadaly däl) dispersiýada $U > \upsilon$ we mydama $U < c$.

4. Normal dispersiýada maddanyň döwme görkezijisiniň tolkun uzynlygyna baglylygy üçin Koşiniň formulasy

$$n = A + \frac{B}{\lambda_0^2} + \frac{c}{\lambda_0^4} + \ldots.$$

Bu ýerde A, B, C – her bir madda üçin tejribeden tapylýan hemişelik ululyklardyr, λ_0 – wakuumda tolkun uzynlygy. Amaly meseleler çözülende köplenç Köşiniň formulasynyň iki agzasy alnyp, formula $\left[n \approx A + \frac{B}{\lambda_0^2}\right]$ görnüşde ulanylýar.

5. Kadaly dispersiýa üçin Lorentsiň elektron nazaryýeti maddanyň döwme görkezijisiniň ýagtylyk wektory $\vec{E}$-niň ýygylygyna baglylygyny berýär, ýagny

$$n^2 = 1 + \frac{n_0 \cdot e^2}{\varepsilon_0 \cdot m} \cdot \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2},$$

bu ýerde $\varepsilon_0 \approx 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ F/m– wakuumyň elektrik hemişeligi, n_0 – maddada elektronlaryň konsentrasiýasy, m we e – degişlilikde elektronyň massasy we zarýady, ω_0 – sredanyň maddasynda elektronyň hususy yrgyldysynyň ýygylygy, ω – ýagtylyk tolkunynda $\vec{E}$-niň yrgyldy ýygylygy. $\omega \neq \omega_0$ şertde kadaly dispersiýa bolýar.

6. Ýagtylygyň sredada siňdirilmesi Bugeriň kanuny bilen hasaplanylýar:

$$I_x = I_0 \cdot e^{-Kx},$$

bu ýerde I_0 – siňdirýän sreda düşýän ýagtylygyň intensiwligi; I_x – siňdirýän sredada x ýoly geçen ýagtylygyň intensiwligi; K – siňdirme koeffisiýenti.

6.2. Meseleler

1. ω ýygylykly elektromagnit tolkuny seýreklenen plazmada ýaýraýar. Plazmada erkin elektronlaryň konsentrasiýasy n_0. Tolkunyň plazmadaky ionlar bilen özara täsirini hasaba alman:

a) plazmanyň dielektrik syzyjylygynyň ýygylyga baglylygyny;

b) plazmada tolkunyň faza tizliginiň λ tolkun uzynlygyna baglylygyny tapmaly.

2. Ýygylygy ν = 100 MGs bolan radiotolkunlary üçin döwme görkezijisi n = 0,90 bolan ionosferada erkin elektronlaryň konsentrasiýasyny tapmaly.

3. Ýeterlik berk rentgen şöhleleri üçin maddanyň elektronlaryny erkin hasaplap, wakuumda tolkun uzynlygy λ = 50 *pm* bolan rentgen şöhleleri üçin grafitiň döwme görkezijisiniň birden (1-den) näçe tapawutlanjakdygyny kesgitlemeli.

4. Elektromagnit şöhlelenmesiniň meýdanynda ýerleşen elektrona (Kx) kwazimaýyşgak we (γx) "sürtülme" güýçleri täsir edýärler. Meýdanyň elektrik düzüjisi $E = E_0 \cdot \cos\omega \cdot t$ kanun boýunça wagta görä üýtgeýär. Meýdanyň magnit düzüjisini hasaba alman:

a) elektronyň hereket deňlemesini;

b) elektronyň siňdirýän ortaça kuwwatyny; bu kuwwatyň iň uly boljak ýygylygyny we iň uly orta kuwwat üçin aňlatmany tapmaly.

5. Toparlaýyn tizligiň kesgitlemesinden ugur alyp, bu tizlik üçin Releýiň formulasyny getirip çykarmaly.

6. Dispersiýanyň a) $\upsilon = \frac{a}{\sqrt{\lambda}}$; b) $\upsilon = b \cdot k$; ç) $\upsilon = \frac{c}{\omega^2}$, (bu ýerde a, b, c – käbir hemişelikler; λ, k, ω – degişlilikde tolkun uzynlygy, tolkun sany $\left(k = \frac{2\pi}{\lambda}\right)$ we aýlaw ýygylygy) kanunlary üçin toparlaýyn we faza tizlikleriniň arabaglanyşygyny tapmaly.

7. Howanyň döwme görkezijisi kadaly şertlerde natriniň (Na) sary çyzygy üçin ($\lambda = 5893 \cdot 10^{-10}\,m$) n_1 = 1,0002918-e deň. 30°C temperaturada we $3 \cdot 10^6$ *Pa* basyşda howanyň döwme görkezijisini kesgitlemeli.

8. Dury maddanyň döwme görkezijisi tolkun uzynlyklarynyň uly bolmadyk aralygynda, siňdirme tolkun uzynlygyndan daşda tolkun uzynlyk bilen $n = A + \frac{B}{\lambda^2}$ gatnaşykdadyr. a) maddanyň dispersiýasyny, b) faza tizligini, ç) toparlaýyn tizligi tapmaly.

9. Polýaroidiň plastinkasynyň galyňlygy 0,05 *mm*. Polýaroide tolkun uzynlygy λ=500 *nm* bolan monohromatik ýagtylyk düşýär. Ondan çykan ýagtylygyň intensiwligi düşýän ýagtylygyň intensiwliginiň 40%-ni düzýär. Polýaroidiň siňdirme koeffisiýenti näçä deň?

10. Nokatlanç monohromatik ýagtylyk çeşmesiniň goýberýän ýagtylyk akymy F. Çeşmeden ℓ uzaklykda siňdirme koeffisiýenti K_1-den K_2-ä çenli çyzykly üýtgeýän d galyňlykly tekizparallel granly plastinka ýerleşýär. Plastinkanyň üstlerinden serpikmäni hasaba alman, ondan çykan ýagtylygyň intensiwligini tapmaly.

11. Ýagtylyk güýji I *kd* (kandela) bolan monohromatik ýagtylyk çeşmesi siňdirme koeffisiýenti çeşmeden uzaklyga görä $K_\ell = K_0 \cdot e^{-\alpha\ell}$ (bu ýerde K_0 – gös-göni çeşmäniň ýanynda siňdirme koeffisiýenti, α – hemişelik köpeldiji, ℓ – çeşmeden uzaklyk) kanun boýunça üýtgeýän sredada ýerleşýär. Çeşmeden R aralykda ýagtylygyň intensiwligini kesgitlemeli.

12. Berlen tolkun uzynlyk üçin gowşamanyň massa görkezijisi $\frac{M}{\rho} = 3,6\, sm^2/g$ bolsa, tolkun uzynlygy 20 *pm* bolan rentgen şöhlesiniň inçe dessesi galyňlygy $d = 1$ *mm* gurşun plastinkasyny geçende onuň intensiwligi näçe esse gowşar?

13. I_0 intensiwlikli tebigy ýagtylyk özara perpendikulýar ýerleşen iki sany polýarlaýjydan düzülen ulgama düşýär. Polýarlaýjylaryň arasynda boýuna H güýjenmeli magnit meýdany täsir edýän içi optiki işjeň däl erginli turbajyk ýerleşýär. Turbajygyň uzynlygy ℓ, çyzykly siňdirme koeffisiýenti K we Werde hemişeligi V. Serpikmeleri hasaba alman, bu ulgamdan geçen ýagtylygyň intensiwligini tapmaly.

14. I_0 intensiwlikli tekiz monohromatik ýagtylyk tolkuny her bir üstüniň serpikme koeffisiýenti ρ, galyňlygy d bolan plastinka normal düşýär. Eger:

a) plastinka ideal dury (siňdirme ýok);

b) çyzykly siňdirme koeffisiýenti K bolan şertlerde geçen ýagtylygyň intensiwligini tapmaly.

15. Käbir maddadan galyňlyklary $d_1 = 3,8$ *mm* we $d_2 = 9$ *mm* bolan iki sany plastinka ýasadylar. Bu plastinkalary nobatyna monohromatik ýagtylyk dessesinde ýerleşdirip birinji plastinkanyň ýagtylyk akymynyň $\tau_1 = 0,84$, ikinjiniň bolsa $\tau_2 = 0,7$ bölegini geçirýändiklerine göz ýetirildi. Ýagtylyk plastinkalara normal düşýär, ikinji serpikmeleri hasaba alman, maddanyň çyzykly siňdirme koeffisiýent tapmaly.

16. Monohromatik ýagtylyk dessesi her biriniň galyňlygy $\ell = 0,5$ *sm* bolan $N = 5$ sany tekizparallel çüýşe plastinkalaryň kütünden geçýär. Her bir üstde serpikme koeffisiýenti $\rho = 0,05$. Bu kütden geçen ýagtylyk akymynyň oňa düşýän ýagtylyk akymyna bolan gatnaşygy $\tau = 0,55$. Ikilenji serpikmeleri hasaba alman, bu çüýşäniň siňdirme koeffisiýenti tapmaly.

17. Monohromatik ýagtylyk dessesi tekizparallel plastinkanyň üstüne normal düşýär. Plastinkanyň maddasynyň siňdirme koeffisiýenti plastinkanyň üstüne normal boýuna K_1-den K_2-ä çenli çyzykly üýtgeýär. Plastinanyň galyňlygy ℓ, her bir üstden serpikme koeffisiýenti ρ. Ikilenji serpikmeleri hasaba alman, plastinanyň ýagtylygy geçiriş koeffisiýentini tapmaly.

18. I_0 intensiwlikli ýagtylyk dessesi galyňlygy ℓ bolan tekizparallel dury plastinka normal düşýär. Desse deň spektral dykyzlykly λ_1-den λ_2-ä çenli aralykdaky ähli tolkun uzynlyklary üçin siňdirme koeffisiýenti λ-a görä K_1-den K_2-ä çenli çyzykly üýtgeýän bolsa we plastinanyň her bir üstüniň serpikme koeffisiýenti ρ bolsa, ikinji serpikmeleri hasaba alman, plastinkadan geçen ýagtylyk dessesiniň intensiwligini hasaplamaly.

19. Ýagtylyk süzgüji galyňlygy ℓ, siňdirme koeffisiýenti λ-a görä $K(\lambda) = \alpha\left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2$ sm^{-1} kanun boýunça üýtgeýär, bu ýerde α we λ_0 – käbir hemişelikler, kanun boýunça üýtgeýän plastinkadyr. Eger plastinkanyň geçiriş zolagynyň gyralarynda ýagtylygyň intensiwliginiň peselmesi λ_0 sebäpli peselmesinden η esse uly bolsa, plastinkanyň geçiriş zolagynyň $\Delta\lambda$ inini tapmaly. Plastinkanyň üstlerinden serpikme koeffisiýenti tolkun uzynlygyna bagly däl diýip hasap etmeli.

20. F ýagtylyk akymyny goýberýän nokatlanç ýagtylyk çeşmesi içki radiusy a, daşkysy b bolan maddanyň sferik gatlagynyň merkezinde ýerleşýär. Maddanyň siňdirmesiniň çyzykly koeffisiýenti K, üstleriniň serpikme koeffisiýenti ρ bolsa, ikilenji serpikmeleri hasaba alman, bu maddadan çykan ýagtylygyň intensiwligini tapmaly.

6.3. Ugrukdyrmalar

1. Normal dispersiýa üçin Lorentsiň formulasyndan peýdalanyň we faza tizliginiň $\upsilon_f = \frac{c}{n}$-digini nazarda tutuň.

2. Lorentsiň formulasyndan peýdalanyň.

3. Lorentsiň formulasyndan peýdalanyň we $\sqrt{1-\alpha} \approx 1-\frac{\alpha}{2}$ (α<<1) ýakynlaşan formulany göz öňünde tutuň.

4. Mejbury yrgyldynyň differensial deňlemesini ulanyp, onuň çözüwini ýatlaň.

5. Tolkunyň deňlemesini ýazyň. Onuň fazasynyň formulasyny ýazyp, tolkun uzynlygyna görä önüm alyp, nola deňläň $\left(\frac{d\varphi}{d\lambda}=0\right)$. Ol ýerden Releýiň formulasy gelip çykar.

6. Releýiň formulasyndan $\left(U=\upsilon-\lambda\frac{d\upsilon}{d\lambda}\right)$ her ýagdaý üçin $\frac{d\upsilon}{d\lambda}$ önümi tapyp, degişli toparlaýyn tizligi alarsyňyz.

7. Lorentsiň formulasyndan peýdalanyň. Şonda $\frac{n_{0_1}}{n_{0_2}}=\frac{\rho_1}{\rho_2}$ gatnaşygy göz öňünde tutup, Mendeleýewiň-Klapeýronyň deňlemesinden ony tapyň we Lorentsiň formulasynda ornuna goýuň.

8. $D=\frac{dn}{d\lambda}$, $\upsilon=\frac{c}{n}$ we $U=\upsilon-\lambda\frac{d\upsilon}{d\lambda}$ formulalary peýdalanyň.

9. Bugeriň formulasyndan peýdalanmaly we $I_a = I_{ad} = 0{,}5I_0$-dygyny ulanyň (I_a, I_{ad}, I_0 degişlilikde adaty, adaty däl we tebigy ýagtylyklaryň intensiwlikleridir).

10. Intensiwlikleriň kesgitlemesinden plastinanyň baş ujunda onuň bahasyny tapyň, soňra siňdirme koeffisiýentiniň plastinanyň boýuna üýtgeýiş funksiýasyny anyklaň. Ondan soň Bugeriň formulasyny ulanyň.

11. Nokatlanç çeşmäniň ondan R uzaklykdaky ýagtylandyryşyny (intensiwligini) tapyň. Soňra $K(\ell)$ – funksiýany hasaba alyp, Bugeriň formulasyny ulanyň.

12. Elektromagnit tolkunlarynyň inçe dessesiniň intensiwliginiň gowşama kanunyndan ($I = I_0\, e^{-\mu d}$) peýdalanyň.

13. Polýaroidiň birinjisinden geçen ýagtylygyň intensiwliginiň tebigy ýagtylygyň intensiwliginiň ýarysyna deňdigini nazarda tutup, plastinkadan geçen ýagtylygyň intensiwligini tapyň. Soňra Faradeýiň kanunyndan magnit meýdanynda polýarlanma tekizliginiň öwrülme burçuny tapyp, Malýusyň kanunyndan peýdalanyp, gözleýän ululygyňyzy taparsyňyz.

14. Ýagtylygyň köpsanly serpikmelerini hasaba alyp, geçýän şöhleleriň intensiwligini jemleseňiz tükeniksiz kiçelýän geometrik progressiýa alnar. Şeýle progressiýanyň jeminiň formulasyndan peýdalanyň. Intensiwligiň sepikme we siňdirme sebäpli gowşaýandygyny nazarda tutup meseläni çözersiňiz.

15. Iki ýagdaý üçin Bugeriň formulasyny ýazyň. Olary biri-birine gatnaşdyryp logarifmläň. Alnan aňlatmadan gözlenýän ululyk tapylar.

16. Bugeriň formulasyny yzygider her plastinka üçin ulanylyp alnan ýagtylyklar üçin aňlatmalary derňäp, gerekli kanunalaýyklygy tapyp bolar.

17. Siňdirme koeffisiýentiniň üýtgeýiş kanunynyň aňlatmasyny düzüp, Bugeriň formulasyny ulanyň.

18. Siňdirme koeffisiýentiniň üýtgeýiş formulasyny düzüň, soňra Bugeriň formulasyndan peýdalanyp geçen ýagtylygyň intensiwligini tapyň. $I_g=I_g(\lambda)$ aňlatmanyň λ_1-den λ_2 aralykda orta bahasyny tapyň. Onuň üçin $\overline{I}_g = \dfrac{1}{\lambda_2-\lambda_1}\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_g(\lambda)\,d\lambda$ integraly tapyň.

19. $\lambda=\lambda_0$-da, $\lambda=\lambda_1$-de we $\lambda=\lambda_2$-de geçen ýagtylygyň intensiwliklerini tapyň. $\dfrac{I_0}{I_{g_1}} = \dfrac{I_0}{I_{g_2}} = \eta I_{g_0}$ aňlatmadan peýdalanyň. Alnan aňlatmalardan gözlenýän ululyk tapylar.

20. $I_0 = \dfrac{F}{4\pi a^2}$ formulany göz öňünde tutup, Bugeriň formulasyny peýdalanyň.

6.4. Jogaplar

1. a) $\varepsilon = n^2 = 1-\dfrac{n_0\cdot e^2}{\varepsilon_0 m\omega^2}$; b) $\upsilon_f = \dfrac{c}{\sqrt{1-\dfrac{n_0 e^2\lambda^2}{4\pi^2C^2\varepsilon_0 m}}}$.

2. $n_0 = \dfrac{\left(1-n^2\right)\cdot 4\pi^2\cdot\nu^2\cdot\varepsilon_0\cdot m}{c^2}$. **3.** $n-1 \approx \dfrac{n_0 e^2\lambda^2}{8\pi^2\varepsilon_0 mc^2}$.

4. $x = a\cos\left(\omega t+\varphi\right)$; $\mathrm{tg}\varphi = \dfrac{2\beta\omega}{\omega^2-\omega_0^2}$; $a = \dfrac{eE_0/m}{\sqrt{\left(\omega_0^2-\omega^2\right)^2+4\beta^2\omega^2}}$.

5. $U = \upsilon - \lambda\dfrac{d\upsilon}{d\lambda}$. **6.** a) $\dfrac{3\upsilon}{2}$; b) 2υ; ç) $\dfrac{\upsilon}{3}$.

7. $n_2 = \sqrt{\dfrac{\left(n_1^2-1\right)\cdot P_2\cdot T_1}{P_1\cdot T_2}+1} = 1{,}00793$. **8.** a) $D = -\dfrac{2B}{\lambda^3} < 0$;

b) $\upsilon_f = \dfrac{C\cdot\lambda^2}{A\cdot\lambda^2+B}$; ç) $U = \dfrac{C\cdot\lambda^2\left(A\cdot\lambda^2-B\right)}{\left(A\cdot\lambda^2+B\right)^2}$.

9. $K = \dfrac{1}{d}\ln\left(1{,}25\right) = 2\cdot10^4\cdot\ln\left(1{,}25\right)$. **10.** $I_g = \dfrac{F}{4\pi\ell^2}\cdot e^{-\frac{K_1+K_2}{2}\cdot d}$.

11. $I_g = \dfrac{I}{R^2}\cdot e^{-R\left(K_0-\frac{\alpha R}{2}\right)}$. **12.** $e^{\mu d} = 0{,}6\cdot10^2$ esse gowşar.

13. $I = \dfrac{I_0}{2}\cdot e^{-K\ell}\cdot\sin^2\left(\nu\cdot H\cdot\ell\right)$. **14.** a) $I_g = I_0\dfrac{\left(1+\rho\right)^2}{\left(1-\rho^2\right)}$;

b) $I_g = I_0\dfrac{\left(1-\rho\right)^2\cdot e^{-Kd}}{\left(1-e^{-2Kd}\cdot\rho^2\right)}$. **15.** $K = \dfrac{\ln\cdot\dfrac{\tau_1}{\tau_2}}{d_2-d_1}$.

16. $K = \dfrac{1}{N\cdot\ell}\cdot\ln\dfrac{\left(1-\rho\right)^{2N}}{\tau} = 0{,}034 sm^{-1}$.

17. $\tau = \left(1-\rho\right)^2\cdot e^{-\frac{K_1+K_2}{2}\cdot\ell}$. **18.** $I_g = \dfrac{I_0\left(1-\rho\right)^2}{\left(K_2-K_1\right)\cdot\ell}\cdot\left(e^{-K_1\ell}-e^{-K_2\ell}\right)$.

19. $\Delta\lambda = \lambda_2-\lambda_1 = 2\lambda_0\cdot\sqrt{\dfrac{\ln\eta}{\alpha\cdot\ell}}$. **20.** $I_g = \dfrac{F}{4\pi a^2}\cdot\left(1-\rho\right)^2\cdot e^{-K(b-a)}$.

6.5. Çözülişleri

1. a) Seýreklenen plazmada elektronlaryň hususy ýygylygyny göz öňünde tutmasak, Lorentsiň formulasyndan $\varepsilon \approx n^2 = 1 + \dfrac{n_0 e^2}{\varepsilon_0 \cdot m\omega^2}$ aňlatmany alarys.

b) Tolkunyň faza tizligi $\upsilon_f = \dfrac{c}{n}$, onda $\upsilon_f = \dfrac{c}{\sqrt{1 + \dfrac{n_0 e^2 \cdot \lambda^2}{4\pi^2 c^2 \varepsilon_0 m}}}$.

2. 1-nji meseläniň a) bendindäki aňlatmadan

$n_0 = \dfrac{\left(1 - n^2\right) 4\pi^2 \nu^2 \varepsilon_0 m}{c^2}$ çözüwi alarys.

3. Lorentsiň formulasyndan $n = \sqrt{1 + \dfrac{n_0 e^2}{\varepsilon_0 m\omega^2}} = \sqrt{1 + \dfrac{n_0 e^2 \cdot \lambda^2}{\varepsilon_0 m \cdot 4\pi^2 c^2}}$.

Emma $\left(\dfrac{n_0 e^2 \lambda^2}{4m\varepsilon_0 \pi c^2}\right) << 1$ bolany üçin $n \approx 1 + \dfrac{1}{2} \cdot \dfrac{n_0 e^2 \lambda^2}{\varepsilon_0 m \cdot 4\pi^2 c^2}$ diýip bolar. Bu ýerde $n + 1 \approx -\dfrac{n_0 e^2 \lambda^2}{8\pi^2 \varepsilon_0 m c^2}$ alarys. Hasaplamalar $n - 1 \approx 5{,}4 \cdot 10^{-7}$ bahany berýär. (Alnan formulada uglerodda elektronlaryň n_0 konsentrasiýasy üçin $n_0 \approx \dfrac{\rho}{A} \cdot N_A$ aňlatmadan peýdalanyldy; ρ – uglerodyň dykyzlygy, A – onuň atom massasy, N_A – Awogadro sany).

4. Elektronyň hereket deňlemesi differensial görnüşde şeýle ýazylar: $m\dfrac{d^2 x}{dt^2} = -Kx - \gamma \dfrac{dx}{dt} + eE_0 \cos\omega t$ ýa-da

$\dfrac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \dfrac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \varepsilon_0 \cos\omega t$ bolar; bu ýerde $2\beta = \dfrac{\gamma}{m}$, $\omega_0^2 = \dfrac{K}{m}$, $\varepsilon_0 = \dfrac{E_0}{m}$ alnan ikinji derejeli, adaty, çyzykly, hemişelik koeffisiýentli we birhillidäl differensial deňlemäniň çözüwi aşakdaky ýalydyr:

$x = a\cos(\omega t + \varphi)$, bu ýerde $a = \dfrac{\left(eE_0 / m\right)}{\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + 4\beta^2\omega^2}}$ we $\mathrm{tg}\varphi = \dfrac{2\beta\omega}{\omega^2 - \omega_0^2}$.

5. Tolkunlar toplumynda energiýa merkezinde yrgyldynyň fazasy tolkun uzynlygyna bagly däldir. Ýagny $\dfrac{d\varphi}{d\lambda} = 0$. Tolkunyň fazasy $\varphi = \omega\left(t - \dfrac{x}{\upsilon}\right)$ görnüşdedir. $\varphi = 2\pi\left(\dfrac{\upsilon}{\lambda}\cdot t - \dfrac{x}{\upsilon}\right)$ aňlatmadan λ görä önüm alalyň we ony nola deňläliň:

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = 2\pi\left[t\cdot\frac{d\left(\frac{\upsilon}{\lambda}\right)}{d\lambda} + x\cdot\frac{1}{\lambda^2}\right] = 0.$$

Bu ýerden $E = -\lambda^2\cdot\dfrac{d\left(\frac{\upsilon}{\lambda}\right)}{d\lambda}\cdot t.$

Emma $x = U\cdot t$, U – toparlaýyn tizlik.

Onda $U = -\lambda^2\cdot\dfrac{d\left(\frac{\upsilon}{\lambda}\right)}{d\lambda} = -\lambda^2\left(\dfrac{d\upsilon}{d\lambda}\cdot\dfrac{\lambda}{\lambda^2} - \dfrac{d\lambda}{d\lambda}\cdot\dfrac{\upsilon}{\lambda^2}\right) = \upsilon - \lambda\dfrac{d\upsilon}{d\lambda}.$

Diýmek, $U = \upsilon - \lambda\dfrac{d\upsilon}{d\lambda}$. Bu Releýiň formulasydyr.

6. a) Releýiň formulasyndan

$$U = \upsilon - \lambda a\cdot\left(a\cdot\lambda^{-\frac{1}{2}}\right)^1 = \upsilon + \lambda\cdot a\frac{1}{2}\cdot\lambda^{-\frac{3}{2}} = \upsilon + \lambda\cdot a\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{\lambda\sqrt{\lambda}} =$$

$$= \upsilon + \frac{\upsilon}{2} = \frac{3\upsilon}{2}.$$

b) $U = \upsilon - \lambda\left(b\cdot\dfrac{2\pi}{\lambda}\right)^1 = \upsilon + \lambda\cdot b\cdot 2\pi\dfrac{1}{\lambda^2} = \upsilon + Kb = \upsilon + \upsilon = 2\upsilon.$

ç) $\upsilon = \frac{C}{\omega^2}$, $\omega^2 = \frac{4\pi^2 \cdot \upsilon^2}{\lambda^2}$, $\upsilon = \frac{C \cdot \lambda^2}{4\pi^2 \cdot \upsilon^2}$, $\upsilon^3 = \frac{C \cdot \lambda^2}{4\pi^2}$,

$$\upsilon = \sqrt[3]{\frac{c}{4\pi^2}} \cdot \lambda^{\frac{2}{3}}. \quad \frac{d\upsilon}{d\lambda} = \frac{2}{3} \cdot \lambda^{-\frac{1}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{c^2}{4\pi^2}}.$$

$$U = \upsilon - \lambda \frac{d\upsilon}{d\lambda} = \upsilon - \lambda \cdot \frac{2}{3} \cdot \lambda^{-\frac{1}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{c^2}{4\pi^2}} = \upsilon - \frac{2}{3} \cdot \lambda^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{c^2}{4\pi^2}} = \upsilon - \frac{2\upsilon}{3} = \frac{\upsilon}{3}.$$

7. Azodyň, kislorodyň we natriniň siňdirme oblastlary gabat gelmeýänligi üçin $n^2 = 1 + \frac{n_0 \cdot e^2}{m\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2}$ formuladan peýdalanyň. Elektronlaryň konsentrasiýasyny molekulalaryň konsentrasiýasyna göni proporsional hasaplap $\frac{n_{0_1}}{n_{0_2}} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$ deňligi ýazyp bolar. Elektronlaryň atomlardaky aýlaw ýygylygy (ω_0) temperatura bagly däl ($\omega_0 = const$). $\frac{\rho_1}{\rho_2}$ gatnaşygy Klapeýronyň-Mendeleýewiň deňlemesinden taparys, ýagny $P_1 = \frac{\rho_1}{M} RT_1$ we $P_2 = \frac{\rho_2}{M} RT_2$. Bu ýerden $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1}$.

Gazyň iki ýagdaýy üçin $n_1^2 = 1 + \frac{n_{0_1} e^2}{m\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{\omega_0^2}$ we $n_2^2 = 1 + \frac{n_{0_2} e^2}{m\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{\omega_0^2}$.

Bu ýerde $\frac{n_1^2 - 1}{n_2^2 - 1} = \frac{n_{0_1}}{n_{0_2}} = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1}$. Muny n_2-ä görä çözüp alarys.

$$n_2 = \sqrt{\frac{(n_1^2 - 1) \cdot P_2 T_1}{P_1 T_2} + 1} = 1,00793.$$

8. a) $D = \frac{dn}{d\lambda}$ maddanyň dispersiýasy (D) onuň döwme görkezijisiniň tolkun uzynlygyna (λ) baglylygyny görkezýär.

Onda $D = \frac{d}{d\lambda}\left(A + \frac{B}{\lambda^2} \right) = -\frac{2B}{\lambda^3} < 0$, diýmek, dispersiýa kadaly.

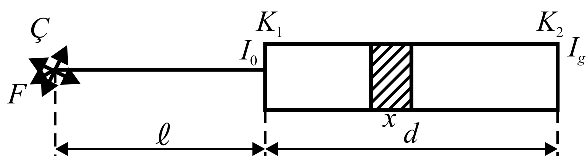
b) maddada ýagtylygyň faza tizligi $\upsilon_f = \frac{C}{n}$. Onda $\upsilon_f = \frac{C}{A + \frac{B}{\lambda^2}} = \frac{C \cdot \lambda^2}{A \cdot \lambda^2 + B}$.

ç) toparlaýyn tizlik Releýiň formulasyna laýyklykda $U = \upsilon - \lambda \frac{d\upsilon_f}{d\lambda}$. $\frac{d\upsilon_f}{d\lambda} = \frac{2\lambda \cdot C \cdot B}{\left(A \cdot \lambda^2 + B\right)^2}$ we $U = \frac{c\lambda^2\left(A \cdot \lambda^2 - B\right)}{\left(A \cdot \lambda^2 + B\right)^2}$.

9. Polýaroide düşen tebigy ýagtylyk adaty we adaty däl şöhlelere bölünýär, olaryň intensiwlikleri özara deň: $I_a = I_{ad}$ we düşýän şöhläniň intensiwliginiň ýarysyna deňdir ($I_a = I_{ad} = 0{,}5\ I_0$). Diýmek, plastinkanyň başynda $I_1 = 0{,}5\ I_0$. Soňra ýagtylyk plastinkanyň boýuna siňdirilip, intensiwligi Bugeriň kanuny boýunça kemelýär, ýagny $I_2 = I_1\ e^{-Kd}$. Meseläniň şertine görä, $I_2 = 0{,}4\ I_1$. Şonuň üçin $\frac{0,4 I_0}{0,5 I_0} = e^{-Kd}$ we $0{,}8 = e^{-Kd}$ ýa-da $\frac{4}{5} = e^{-Kd}$. Bu ýerden $\ln\frac{5}{4} = Kd$ we

$$K = \frac{1}{d}\ln\left(1,25\right) = \frac{1}{0,05 \cdot 10^{-3}}\ln\left(1,25\right) = 2 \cdot 10^4 \ln\left(1,25\right).$$

10. Çeşmeden ℓ uzaklykda plastinanyň baş ujy ýerleşýär (*6.1-nji çyzgy*).



6.1-nji çyzgy

Şol ýerde ýagtylygyň intensiwligi $I_0 = \frac{F}{4\pi\ell^2}$ bolar. Plastinkanyň siňdirme koeffisiýentiniň üýtgeýiş kanuny, şerte görä, $K_x = K_1 + \frac{K_2 - K_1}{d} \cdot x$ bolar. Onda $dI = -K_x \cdot I \cdot dx$ ýa-da $\frac{dI}{I} = -K_x \cdot dx$

$\frac{dI}{I} = -\left(K_1 + \frac{K_2 - K_1}{d} \cdot x\right)dx.$ Bu differensial deňlemäni integrirläliň

$\ln I = -\left(K_1 x + \frac{K_2 - K_1}{d} \cdot \frac{x^2}{2}\right) + \ln C$ $x = 0$ bolanda $I = I_0 = \frac{F}{4\pi \ell^2}$,
$x = d$-de $I = I_g$.

Onda

$$\ln \frac{I_g}{I_0} = -\left(K_1 d + \frac{K_2 - K_1}{d} \cdot \frac{d^2}{2}\right) = -\frac{K_1 + K_2}{2} \cdot d.$$

Bu ýerden

$$I_g = \frac{F}{4\pi \ell^2} \cdot e^{-\frac{K_1 + K_2}{2} \cdot d}$$ alarys.

11. Eger gurşaw ýagtylygy siňdirmeýän bolsa, onda intensiwlik çeşmeden R uzaklykda $I_0 = \frac{I}{R^2}$ (I – ýagtylyk güýji) bolardy. Emma gurşaw ýagtylygy siňdireni üçin onuň intensiwligi üýtgeýär. Çeşmeden ℓ uzaklykda $d\ell$ galyňlykly gurşawda intensiwligiň peselmesi $-dI_g = K \cdot d\ell \cdot I_g$ bolar ýa-da $\frac{dI_g}{I_g} = -(K_0 - \alpha\ell)d\ell$. Integrirläp alarys

$\ln I_g = -\left(K_0 \ell - \frac{\alpha \ell^2}{2}\right) + \ln C;$ $\ell = R$-de $I_g = I_0$ bolany üçin $\frac{I_g}{I_0} = e^{-\left(K_0 \cdot R - \frac{\alpha R^2}{2}\right)}$

ýa-da $I_g = \frac{I}{R^2} \cdot e^{-R\left(K_0 - \frac{\alpha R}{2}\right)}$ bolar. (Şu meselede I ýagtylyk güýjüdir, I_g, I_0 bolsa düşýän we geçen şöhleleriň intensiwlikleridir).

12. Elektromagnit şöhleleriniň inçe dessesiniň intensiwligi niň $I = I_0 e^{-\mu d}$ gowşama kanunyny peýdalanyp taparys: $\frac{I_0}{I} = e^{\mu d} = e^{3,6 \cdot 11,3 \cdot 0,1} = 0,6 \cdot 10^2$, ýagny intensiwlik 60 esse gowşar.

13. I_0 intensiwlikli tebigy ýagtylyk polýarlandyryja düşende, ondan geçen polýarlanan ýagtylygyň intensiwligi $I_g = \frac{1}{2} I_0$ bolar. Bu ýagtylyk işjeň däl maddadan geçenden soň, onuň intensiwligi $I_g = \frac{1}{2} I_0 \cdot e^{-K\ell}$ bolar. Magnit meýdany onuň polýarlanma tekizligini $\varphi = V \cdot H \cdot \ell$ burça öwrer. Indi polýarlanma tekizligi bilen analizleýjiniň (ikinji polýarlaýjynyň) geçiriji tekizlikleriniň arasyndaky burç $(90 - \varphi)$ bolar. Malýusyň kanuny boýunça ondan geçen ýagtylygyň intensiwligi $I = \frac{1}{2} I_0 \cdot e^{-K\ell} \cdot \cos^2(90 - \varphi) = \frac{I_0}{2} \cdot e^{-K\ell} \cdot \sin^2 \varphi$ bolar, ýagny

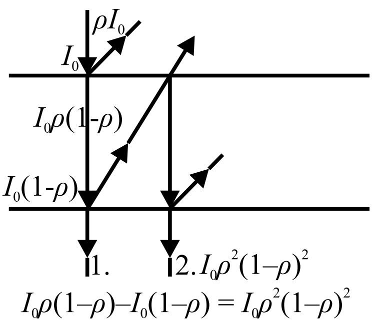
$$I = \frac{1}{2} I_0 \cdot e^{-K\ell} \cdot \sin^2 (V \cdot H \cdot \ell).$$

14. a) Bu ýerde (*6.2-nji çyzgy*):

$I_g = I_0(1-\rho)^2 + I_0\rho^2(1-\rho^2) + I_0\rho^4(1-\rho^2) + ... = I_0(1-\rho)^2 \cdot (1 + \rho^2 + \rho^4 + ...)$,

$1 + \rho^2 + \rho^4 + ...$ – gitdigiçe kiçelýän tükeniksiz geometrik progressiýadyr. Onuň jemi $\frac{1}{1-\rho^2}$ bolýar.

Onda $I_g = I_0 \frac{(1+\rho)^2}{1-\rho^2}$ bolar.



6.2-nji çyzgy

b) bu ýagdaýda geçýän şöhläniň intensiwligi diňe serpikme sebäpli däl-de, eýsem siňdirme sebäpli-de kiçelýär. Indi birinji üstden geçen $I_0(1-\rho)$ ikinji üste ýetýänçä $I_0(1-\rho) \cdot e^{-Kd}$ bolar we geometrik progressiýa

$$I_g = I_0 (1-\rho)^2 \cdot e^{-Kd} \cdot \left(1 + e^{-2Kd} \cdot \rho^2 + e^{-4Kd} \cdot \rho^4 + \ldots\right) = I_0 \frac{(1-\rho)^2 e^{-Kd}}{1 - e^{-2Kd} \cdot \rho^2}$$

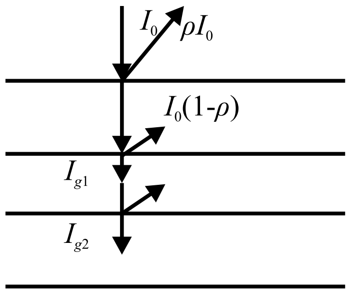
görnüşde bolar.

15. Belli bolşy ýaly, $I_{g_1} = I_0 e^{-Kd_1}$ we $\tau_1 = \frac{I_{g_1}}{I_0} e^{-Kd_1}$, $\tau_2 = \frac{I_{g_2}}{I_0} e^{-Kd_2}$.

Onda $\frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{e^{-Kd_2}}{e^{-Kd_1}} = e^{K(d_1 - d_2)}$ bolar.

Bu ýerden $\ln\frac{\tau_2}{\tau_1} = K\left(d_1 - d_2\right)$ we $K = \frac{\ln\frac{\tau_1}{\tau_2}}{d_2 - d_1}$.

16. Birinji plastinkadan geçen şöhläniň intensiwligi (*6.3-nji çyzgy*).



6.3-nji çyzgy

$I_{g_1} = I_0 \cdot e^{-K\ell}(1-\rho)^2$ bolýar. Ikinjiden geçeni $I_{g_2} = I_0 \cdot e^{-2K\ell}(1-\rho)^4$ we ş.m. N-nji plastinadan geçeni $I_{g_N} = I_0 \cdot e^{-NK\ell}(1-\rho)^{2N}$.

Bu ýerden $\tau = \frac{I_{g_N}}{I_0} = e^{-NK\ell} \cdot \left(1-\rho\right)^{2N}$.

Onda $e^{NK\ell} = \frac{\left(1-\rho\right)^{2N}}{\tau}$.

Soňky deňligi logarifmläp alarys:

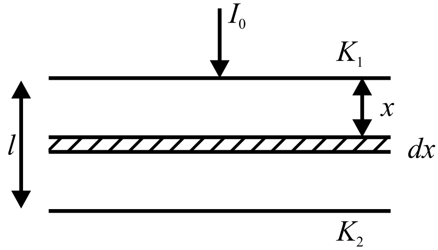
$$N\ell K = \ln\left[\frac{\left(1-\rho\right)^{2N}}{\tau}\right] \text{ we } K = \frac{1}{N\ell}\cdot\ln\left[\frac{\left(1-\rho\right)^{2N}}{\tau}\right] = 0,034\ sm^{-1}.$$

17. Siňdirme koeffisiýenti çyzykly artýar diýsek, onda ol $K = K_1 + \frac{K_2 - K_1}{\ell}\cdot E$ kanun boýunça üýtgär. Onda siňdirme sebäpli intensiwligiň üýtgemesi (peselmesi) (*6.4-nji çyzgy*)

$-dI = KIdx$;

$$dI = -\left(K_1 + \frac{K_2 - K_1}{\ell}\cdot E\right)IdE \text{ we } \frac{dI}{I} = K_1 dE - \frac{K_2 - K_1}{\ell}\cdot EdE.$$

Integrirläp alarys



6.4-nji çyzgy

$$\ln I = -K_1\ell - \frac{K_2 - K_1}{\ell}\cdot\frac{\ell^2}{2} + \ln C;$$

$\ell = 0$-da $I = I_0(1-\rho)$ we

$$I = I_0\left(1-\rho\right)_{exp}\left(-\frac{K_1 + K_2}{2}\cdot\ell\right).$$

Şeýle intensiwlikli ýagtylyk ikinji

üste barar. Onda ρI-si serpiger we $I_g = I_0 \left(1-\rho\right)^2 e^{-\frac{K_1+K_2}{2}\ell}$. Bu ýerden $\tau = \dfrac{I_g}{I_0} = \left(1-\rho\right)^2 e^{-\frac{K_1+K_2}{2}\ell}$ deňligi alarys.

18. Plastinanyň siňdirme koeffisiýenti λ görä çyzykly üýtgeýänligi üçin onuň üýtgeme kanunyny aşakdaky ýaly ýazyp bolar: $K = K_1 + \dfrac{K_2 - K_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot \left(\lambda - \lambda_1\right)$ (dogrudan-da, $\lambda = \lambda_1$ bolanda K=K_1 we λ=λ_2 bolanda $K = \lambda_2$ bolar). Öňki meseledäki ýaly pikir ýöredip, plastinadan geçen ýagtylyk dessesiniň intensiwligi üçin $I_g = I_0(1-\rho)^2 \cdot e^{-K\ell}$ aňlatmany alyp boljakdygyny görkzmek kyn däl. I_g-niň λ_1-den λ_2 arasyndaky tolkun uzynlyklary üçin ortaça bahasy $\overline{I}_g = \dfrac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \int\limits_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_g d\lambda$ integral deňlemeden tapylar:

$$\overline{I}_g = \frac{I_0\left(1-\rho\right)^2}{\lambda_2-\lambda_1} \int\limits_{\lambda_1}^{\lambda_2} e^{-K\ell} d\lambda = \frac{I_0\left(1-\rho\right)^2}{\lambda_2-\lambda_1} \int\limits_{\lambda_1}^{\lambda_2} e^{-\left[K_1 + \frac{K_2-K_1}{\lambda_2-\lambda_1}\cdot(\lambda-\lambda_1)\right]\ell} d\lambda =$$

$$= \frac{I_0\left(1-\rho\right)^2}{\lambda_2-\lambda_1} \int\limits_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\lambda_2-\lambda_1}{\left(K_2-K_1\right)\cdot\ell} \left[-d\left\{e^{-\left[K_1 + \frac{K_2-K_1}{\lambda_2-\lambda_1}\cdot(\lambda-\lambda_1)\right]\ell}\right\}\right] =$$

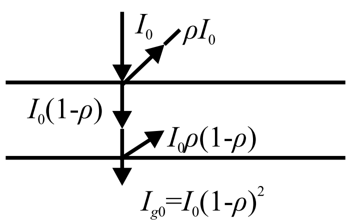
$$\frac{I_0(1-\rho)^2}{(K_2-K_1)\cdot\ell} \cdot [e^{-K_1\ell} - e^{-K_2\ell}].$$

19. $\lambda = \lambda_0$ bolanda $K = 0$ bolýar we bu şöhle siňdirilmeýär. Ol plastinadan geçende diňe serpikme sebäpli gowşaýar. Bu tolkun uzynlygy üçin (*6.5-nji çyzgy*) onuň peselmesi

$$I_{g_0} = I_0\left(1-\rho\right)^2 \quad \text{ýa-da} \quad \frac{I_0}{I_{g_0}} = \frac{1}{\left(1-\rho\right)^2}$$

bolar. Goý, zolagyň bir gyrasyna λ_1, beýleki gyrasyna λ_2 tolkun uzynlygy degişli bolsun ($\lambda_2 > \lambda_1$ diýeliň). Onda bu tolkun uzynlykly geçen ýagtylygyň intensiwligi

$I_{g_1} = I_0(1-\rho)^2 \cdot e^{-K_1\ell}$, $I_{g_2} = I_0(1-\rho)^2 \cdot e^{-K_2\ell}$ bolar.



6.5-nji çyzgy

Olaryň peselmesi $\frac{I_0}{I_{g_1}} = \frac{e^{K_1\ell}}{(1-\rho)^2}$ we $\frac{I_0}{I_{g_2}} = \frac{e^{K_2\ell}}{(1-\rho)^2}$.

Şerte görä $\frac{I_0}{I_{g_1}} = \frac{I_0}{I_{g_2}} = \eta I_{g_0}$. Onda $e^{-K_1\ell} = \eta$ we $e^{-K_2\ell} = \eta$ aňlatmalary alarys.

Bu ýerden $K_1\ell = \ln\eta$ we $\alpha\left(1-\frac{\lambda_1}{\lambda_0}\right)\ell = \pm\sqrt{\ln\eta}$,

$K_2\ell = \ln\eta$ we $\alpha\left(1-\frac{\lambda_2}{\lambda_0}\right)\ell = \pm\sqrt{\ln\eta}$.

$\lambda_2 > \lambda_1$ bolany üçin $\frac{\lambda_1}{\lambda_0} = 1-\sqrt{\frac{\ln\eta}{\alpha\ell}}$, $\frac{\lambda_2}{\lambda_0} = 1+\sqrt{\frac{\ln\eta}{\alpha\ell}}$ bolar.

Soňky iki aňlatmadan $\frac{\lambda_2}{\lambda_0} - \frac{\lambda_1}{\lambda_0} = 1+\sqrt{\frac{\ln\eta}{\alpha\ell}} - 1 + \sqrt{\frac{\ln\eta}{\alpha\ell}} = 2\sqrt{\frac{\ln\eta}{\alpha\ell}}$ alarys. Bu ýerden $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = 2\lambda_0 \cdot \sqrt{\frac{\ln\eta}{\alpha\ell}}$ gelip çykar.

20. Ýagtylygyň intensiwligi meýdan birliginden wagt birliginde geçýän energiýadyr. Şu meselede sferik gatlagyň merkezinde ýerleşen nokatlanç çeşmäniň içki «a» radiusly sferik üstde intensiwligi $I_0 = \frac{F}{4\pi a^2}$; içki üstden serpigen ýagtylygyň intensiwligi $I_s = \rho I_0$. Gatlaga giren ýagtylygyň intensiwligi $I_0 - \rho I_0 = I_0\,(1-\rho)$ bolar. Onda dr gatlakda intensiwligiň peselmesi $-dI = KIdr$ bolar. Bu ýerden $\ln\frac{I}{I_0} = -K(b-a)$ we $I = I_0 \cdot e^{-K(b-a)}(1-\rho)$; «$b$» radiusly daşky sferanyň üstünde serpigen ýagtylygyň intensiwligi $\rho I = \rho(1-\rho)I_0 \cdot e^{-K(b-a)}$ bolar. Onda geçeni $I_g = I - \rho I = I_0 \cdot e^{-K(b-a)}(1-\rho)^2$ bolar.

Diýmek, $I_g = \frac{F}{4\pi a^2}(1-\rho)^2 \cdot e^{-K(b-a)}$ alarys.

VII bap

KWANT OPTIKASYNYŇ ESASLARY

7.1. Usuly görkezmeler

♦ Fotonyň energiýasy

$$\varepsilon = h\nu,$$

bu ýerde h – Plankyň hemişeligi, ν – ýygylyk.

♦ Daşky fotoeffekt üçin Eýnşteýniň deňlemesi

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = h\nu - A,$$

bu ýerde m – çykan fotoelektronyň massasy, υ – çykan fotoelektronyň tizligi, A – elektronyň metaldan çykyş işi.

♦ Serpikme koeffisiýenti r bolan üste normal düşende ýagtylygyň basyşy

$$p = \frac{I}{c}(1+r),$$

bu ýerde I – ýagtylygyň intensiwligi, c – ýagtylygyň tizligi.

♦ Komptonyň effektinde gozganmaýan erkin elektronda pytranda fotonyň tolkun uzynlygynyň üýtgemesi

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_c(1 - \cos\theta),$$

bu ýerde λ_1 we λ_2 – düşýän we pytraýan tolkunlaryň tolkun uzynlygy, θ – fotonyň pytrama burçy, $\lambda_c = \dfrac{h}{mc} = \dfrac{hc}{\varepsilon_0}$ – elektronyň kompton tolkun uzynlygy.

7.2. Meseleler

1. Otrisatel zarýadlanan sink plastinkasy 300 *nm* tolkun uzynlykly monohromatik ýagtylyk bilen şöhlelendirilýär. Sink üçin “gyzyl araçäk” λ_g = 332 *nm*. Sink plastinkasy haýsy iň uly potensiala eýe bolar?

2. Erkin elektronyň fotony ýuwdup bilmejekdigini subut etmeli.

3. Wodorodyň dynçlykdaky atomy Laýmanyň baş seriýasyna ($n = 1$) jogap berýän ýagtylyk kwantyny şöhlelendiripdir. Atom “gaýtargysy” zerarly fotonyň ýygylygynyň otnositel üýtgemesini kesgitlemeli.

4. Rentgen turbajygynyň metaldan ýasalan antikatody çalt elektronlar bilen urlanda rentgen şöhlelenmesi döreýär. Elektronlaryň tizliginiň $1{,}5 \cdot 10^5$ *km/s* bahasynda rentgen şöhlelenmesiniň spektriniň gysga tolkunly araçägini kesgitlemeli.

5. Ýygylygy $7{,}5 \cdot 10^{18}$ *Gs* bolan foton erkin elektronda 90° burça pytraýar. Çaknyşmadan soň fotonyň ýygylygyny, elektronyň impulsyny we energiýasyny kesgitlemeli.

6. Göni kompton effektinde foton özüniň energiýasynyň bir bölegini dynçlykdaky elektrona berýär. Ters kompton effektinde bolsa foton hereket edýän elektronyň energiýasynyň bir bölegini alýar. Ters kompton effektinde “optiki fotonyň” ($\lambda = 0{,}63$ *mkm*) 500 *MeW* kinetik energiýaly elektron bilen maňlaý çaknyşmasynda goýberilýän fotonyň energiýasyny bahalandyrmaly. Foton elektronyň traýektoriýasynyň boýuna hereket edýär.

7. Ýagtylyk serpikme koeffisiýenti R bolan üste düşýär. Eger-de şöhlelenmäniň intensiwligi I, düşme burçy α bolsa, onda ýagtylygyň tekizligi edýän p basyşyny kesgitlemeli.

8. Tolkun uzynlygy $\lambda = 232$ *nm* bolan ýagtylyk kwanty platinadan ýasalan elektrotdan fotoelektrony urup çykarýar. Eger-de fotoelektron düşýän kwantyň garşysyna uçup çykýan bolsa, elektroda berlen impuls nämä deň?

9. Bir tarapy ýylpyldawuk ($R = 1$), beýleki tarapy bolsa garalanan (R=0) tekiz metal plastinka wakuumda asylypdyr. Ony normal düşýän uly intensiwlikli ýagtylyk bilen şöhlelendirýärler. Şunlukda onuň her tarapyna täsir edýän güýçleriň gatnaşygy nähili bolar?

10. Eger-de Komptonyň effektinde foton (λ = 100 *pm*) θ = 180° burça pytraýan bolsa, onda elektronyň energiýasyny kesgitlemeli.

11. Iki sany zarýadlanan metal plastinka bir-birinden 1 *sm* aralykda wakuumda parallel ýerleşdirilen. Olaryň arasyndaky napryýaženiýe 10 *W*. Otrisatel zarýadlanan plastinka tolkun uzynlygy $1{,}3 \cdot 10^{-7}$ *m* bolan inçe ýagtylyk dessesi bilen ýagtylandyrylýar. Položitel zarýadlanan plastinkanyň üstünde fotoelektronlaryň düşýän ýaýlasyny çäklendirýän töweregiň radiusyny kesgitlemeli. Plastinka üçin fotoeffektiň gyzyl araçägi $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ *m*.

12. Radiusy 10 *sm* bolan metal şar tolkun uzynlygy $2 \cdot 10^{-7}$ *m* bolan ýagtylyk bilen şöhlelendirilýär. Eger-de şaryň üstünden elektronlaryň çykyş işi $7{,}2 \cdot 10^{-19}$ *J* bolsa, onda onuň durnugyşan zarýadyny kesgitlemeli.

7.3. Ugrukdyrmalar

1. Eýnşteýniň formulasyndan we fototoguň kesilme şertinden peýdalanmaly

2. Elektron – foton ýapyk ulgamy üçin impulsyň we energiýanyň saklanma kanunlaryndan peýdalanmaly:

$$\frac{h\nu}{c} = m\upsilon \quad \begin{cases} E_\gamma + E_0 = E \\ P_\gamma = P_0 \end{cases}.$$

3. Fotonyň şöhlelenme hadysasy üçin energiýanyň we impulsyň saklanma kanunlaryny peýdalanmaly:

$$h\nu_0 = E_{21} = h\nu + \frac{M\upsilon^2}{2},$$

$$\frac{h\nu}{c} = M\upsilon.$$

$\upsilon \ll c$, ýagny relýatiwistik däl ýagdaý üçin

$$\upsilon = 2c\frac{\Delta\nu}{\nu}$$ aňlatmany ulanmaly.

4. Elektronyň kinetik energiýasyny fotonyň energiýasyna deňlemeli:

$$E_k = h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0},\ \text{bu ýerden}$$

$$\lambda_0 = \frac{hc}{E_k}. \tag{1}$$

Elektronyň υ tizligi ýagtylygyň tizligine golaýdyr, onda onuň kinetik energiýasy üçin relýatiwistik formuladan peýdalanmaly

$$E_k = \left(m - m_0\right)c^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}} - m_0 c^2.$$

5. Ilki bilen $\Delta\lambda = \frac{h}{mc}\left(1 - cos\,\varphi\right)$ fotonyň tolkun uzynlygyny tapyp,

Fotonyň ýygylygy ν_1 üçin $\Delta\lambda = \frac{c}{\nu_1} - \frac{c}{\nu}$ formuladan pedalanmaly.

6. Impulsyň we energiýanyň saklanma kanunlaryndan peýdalanmaly.

$$P - \frac{h\nu}{c} = P_1 + \frac{h\nu_1}{c};$$

$$h\nu + E = h\nu_1 + E_1.$$

7. Basyşyň kesgitlemesinden, Nýutonyň ikinji kanunyndan we impulsyň saklanma kanunyndan ugur almaly.

8. Elektroda berlen impulsyň formulasyny hem-de Eýnşteýniň deňlemesini ulanmaly.

9. Ýagtylyk plastinkanyň ýylpyldawuk tarapyna düşende oňa täsir edýän güýjüň we plastinkanyň garalanan tarapyna täsir edýän güýjüň formulalaryny ýazmaly hem-de Lambertiň kanunyny ulanmaly.

10. Düşýän we serpigen fotonlaryň energiýalarynyň tapawudyny tapyp peýdalanmaly.

11. Ýagtylyk dessesiniň düşýän plastinkasynda *Oxy* koordinatalar ulgamyny saýlap almaly we Eýnşteýniň deňlemesinden peýdalanmaly.

12. Şardaky zarýadyň durnugyşan şertinden $\frac{m\upsilon_{\max}^2}{2} = \frac{eq}{4\pi\varepsilon_0 R}$ we Eýnşteýniň deňlemesinden ugur almaly.

7.4. Jogaplar

1. U_m = 0,4 *W.* **3.** $\dfrac{\Delta\nu}{\nu} \approx 5,4\cdot 10^{-9}$. **4.** $\lambda_0 \approx 1,56\cdot 10^{-11}$ *m.*

5. $\nu_1 = 4,7\cdot 10^{18}$ *Gs*; $P = 2\cdot 10^{-23}\, kg\dfrac{m}{s}$; $E_k = 0,22\cdot 10^{-15}$ *J.*

6. $h\nu_1 \approx 1,3\cdot 10^{-12}$ *J* ≈ 8 *MeW.* **7.** $p = \dfrac{I}{c}(1+R)\cos^2\alpha$.

8. $P = 1,33\cdot 10^{-25}\, kg\dfrac{m}{s}$. **9.** F_2=1,2.

10. $W = 9,2\cdot 10^{-17}$ *J* = 575 *eW.* **11.** $R \approx 1,6\cdot 10^{-2}$ *m.*
12. $q \approx 1,9\cdot 10^{-11}$ *Kl.*

7.5. Çözülişleri

1. Eýnşteýniň formulasyna görä

$$\frac{m\upsilon_m^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - A.$$

Sink plastinkasynyň iň uly potensialy

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = q_e U$$

aňlatmadan tapylýar (fototoguň kesilme şerti).

$$U_m = \frac{hc/\lambda - A}{q_e} = \frac{hc}{q_e}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_g}\right),$$

$$U_m = \frac{6,62\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^8}{1,6\cdot 10^{-19}}\left(\frac{1}{3\cdot 10^{-7}} - \frac{1}{3,32\cdot 10^{-7}}\right)W = 0,4W.$$

2. Dynçlykda duran erkin elektron fotony ýuwudupdyr diýeliň. Energiýanyň saklanma kanunyna görä

$$h\nu = \frac{m\upsilon^2}{2},$$

bu ýerde v – elektromagnit tolkunynyň ýygylygy, m – elektronyň massasy, υ – onuň tizligi.

Elektron – foton ulgamy ýapykdyr we ulgam üçin impulsyň saklanma kanuny

$\frac{h\nu}{c} = m\upsilon$ görnüşe eýedir.

Onda

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2h\nu}{m}} \text{ we } \upsilon = \sqrt{\frac{h\nu}{mc}}.$$

Biz tizlik üçin iki sany dürli aňlatma aldyk, diýmek, erkin elektron fotony ýuwudup bilmeýär.

Biz relýatiwistik däl ýagdaýa seretdik ($\upsilon \ll c$).

Indi $\upsilon \to c$ ýagdaýa seredeliň.

Foton we elektron üçin energiýanyň we impulsyň saklanma kanunlaryny ulanalyň:

$$\begin{cases} E_\gamma + E_0 = E, \\ P_\gamma = P. \end{cases}$$

Indi $P_\gamma = \frac{E_\lambda}{c}$ bolýandygyny hasaba alalyň:

$$E = \sqrt{E_0^2 + P^2c^2} = \sqrt{E_0^2 + E_\gamma^2}.$$

Onda

$$E = E_\gamma + E_0 = \sqrt{E_0^2 + E_\gamma^2}, \quad 2E_0E_\gamma = 0,$$

bu bolsa mümkin däldir.

3. Fotonyň şöhlelenme hadysasy üçin energiýanyň we impulsyň saklanma kanunlaryny ýazalyň:

$$h\nu_0 = E_{21} = h\nu + \frac{M\upsilon^2}{2}, \tag{1}$$

$$\frac{h\nu}{c} = M\upsilon. \tag{2}$$

Biz (υ<<c), ýagny relýatiwistik däl ýagdaýa seredýäris.

(1) we (2) deňlemelerden

$$\upsilon = \frac{h\nu}{Mc}, \qquad h(\nu_0 - \nu) = \frac{h\nu}{2c}\upsilon, \qquad \frac{\nu_0 - \nu}{\nu} = \frac{\upsilon}{2c}, \tag{3}$$

$\upsilon = 2c\dfrac{\Delta\nu}{\nu}$ gelip çykýar.

Başdaky iki aňlatmadan

$$h(\nu_0 - \nu) = \frac{h^2\nu^2}{2Mc^2}, \qquad \frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{h\nu}{2Mc^2} \tag{4}$$

deňlikler hem gelip çykýar.

Wodorodyň atomy üçin doly energiýany ýazalyň:

$$E = \frac{m\upsilon^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}. \tag{5}$$

Nýutonyň ikinji kanunyndan

$$\frac{m\upsilon^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \tag{6}$$

ýazyp bileris. Indi (5) we (6) aňlatmalardan alarys:

$$E = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r}. \tag{7}$$

Orbitalaryň

$$m\upsilon r = n\hbar$$

kwantlanma şertinden we (7) aňlatmadan orbitalaryň radiuslaryny we doly energiýany taparys:

$$r_n = 4\pi\varepsilon_0 \frac{h^2 n^2}{me^2}, \quad E_n = \frac{me^4}{(4\pi\varepsilon_0)^2 \cdot 2\hbar^2 n^2} = -\frac{A}{n^2},$$

bu ýerde

$$A = \frac{me^4}{(4\pi\varepsilon_0)^2 \cdot 2\hbar^2}, \qquad A \approx 2{,}17 \cdot 10^{-18}\ J.$$

Boruň postulatyna görä

$$h\nu_0 = E_2 - E_1 = -A\left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right) = A\left(1 - \frac{1}{4}\right) = \frac{3}{4}A. \qquad (8)$$

Soňky we (4) aňlatmalary özgerdip, alarys:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{h\nu_0}{2Mc^2} = \frac{E_{21}}{2Mc^2} = \frac{3A}{8Mc^2},$$

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{3}{8}\cdot\frac{2{,}17\cdot 10^{-18}}{1840\cdot 9{,}1\cdot 10^{-31}\cdot 9\cdot 10^{16}} \approx 5{,}4\cdot 10^{-9}.$$

Indi $\upsilon = 2c\dfrac{\Delta\nu}{\nu}$ aňlatma soňky tapylan bahany goýup taparys:

$$\upsilon = 2\cdot 3\cdot 10^{8}\cdot 5{,}4\cdot 10^{-9}\ \frac{m}{s} = 3{,}24\ \frac{m}{s},$$ ýagny hakykatdan-da

$(\upsilon << c)$.

4. Meselede soralýan araçäk elektronyň kinetik energiýasynyň fotonyň energiýasyna deňlik şerti bilen kesgitlenýär:

$$E_k = h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0},$$

bu ýerden

$$\lambda_0 = \frac{hc}{E_k}. \qquad (1)$$

Elektronyň υ tizligi ýagtylygyň tizligine golaýdyr, onda onuň kinetik energiýasy

$$E_k = \left(m - m_0\right)c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon^2}{c^2}}} - m_0c^2.$$

Onda

$$\lambda_0 = \frac{hc}{E_k} = \frac{hc}{m_0c^2\left[\frac{1}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}-1\right]} = \frac{h\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}{m_0c\left(1-\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}\right)}.$$

Meseläniň şertine görä

$\upsilon = \frac{c}{2}$, onda

$$\lambda_0 = \frac{h}{m_0c\left(\frac{2}{\sqrt{3}}-1\right)} = \frac{6,62\cdot10^{-34}}{9,1\cdot10^{-31}\cdot3\cdot10^{8}\cdot0,155}\ m \approx 1,56\cdot10^{-11}\ m.$$

5. Fotonyň tolkun uzynlygy

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1-\cos\varphi) = \frac{h}{mc} = 0,24\cdot10^{-11}m$$

ululyga artar.

Fotonyň ýygylygy kiçeler we ν_1 bolar:

$$\Delta\lambda = \frac{c}{\nu_1} - \frac{c}{\nu}; \quad \nu_1 = \frac{c}{c+\nu\Delta\lambda}\nu = 4,7\cdot10^{18}\,Gs.$$

Impulsyň saklanma kanunyndan peýdalanyp, elektronyň $\vec{P} = m\vec{\upsilon}$ impulsyny tapalyň:

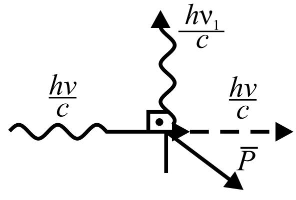
$$\frac{\overrightarrow{h\nu}}{c} = \frac{\overrightarrow{h\nu_1}}{c} + m\vec{\upsilon}.$$

7.1-nji çyzgydan görnüşi ýaly

$$P^2 = \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu_1}{c}\right)^2,$$

$$P = \frac{h}{c}\sqrt{\nu^2+\nu_1^2} = 2\cdot10^{-23}kg\cdot\frac{m}{s},$$

$$E_k = \frac{p^2}{2m} = 0,22\cdot10^{-15}J.$$



7.1-nji çyzgy

6. Impulsyň we energiýanyň saklanma kanunlaryny ýazalyň

$$P - \frac{h\nu}{c} = P_1 + \frac{h\nu_1}{c}; \tag{1}$$

$$h\nu + E = h\nu_1 + E_1. \tag{2}$$

Indi

$$E^2 = P^2c^2 + m_0^2c^4; \tag{3}$$

$$E_k = E - m_0c^2 \tag{4}$$

bolýandygyny hasaba alalyň.

(1) we (2) aňlatmalardan

$$E\sqrt{1 - \frac{m_0^2c^4}{E^2}} - h\nu = E_1\sqrt{1 - \frac{m_0^2c^4}{E_1^2}} + h\nu_1 \tag{5}$$

gelip çykýar.

$m_0c^2 = 0{,}51\ MeW << E_{k_0} = 500\ MeW$, onda

$$E - \frac{m_0^2c^4}{2E} - h\nu = E_1 - \frac{m_0^2c^4}{2E_1} + h\nu_1. \tag{6}$$

(6) we (2) aňlatmalardan

$$2h\nu + \frac{m_0^2c^4}{2E} = \frac{m_0^2c^4}{2E_1} \Rightarrow E_1 = E\frac{1}{1 + \frac{4Eh\nu}{m_0^2c^4}}. \tag{7}$$

$h\nu << E$ şertlerde (7) we (2) deňliklerden

$$h\nu_1 \approx h\nu \frac{4E^2}{m_0^2c^4\left(1 + \frac{4Eh\nu}{m_0^2c^4}\right)} \approx h\nu\frac{4E^2}{m_0^2c^4} \approx \frac{hc}{\lambda}\cdot\frac{4E_k^2}{m_0^2c^4}$$

alynýar. San bahalaryny goýup taparys.

$$h\nu_1 \approx 1{,}3\cdot 10^{-12}\ J \approx 8\ MeW.$$

7. Basyşyň kesgitlemesinden ugur alyp we aýna üçin Nýutonyň ikinji kanunyny ulanyp, ýazarys.

$$p = \frac{F_n}{S} = \frac{F_n \cdot t}{S \cdot t} = \frac{(\Delta P_n)}{St},$$

bu ýerde $(\Delta P)_n$ – fotonlar tarapyndan t wagtyň dowamynda normal ugurda aýna berlen (ΔP) impulsyň proýeksiýasy; S – ýagtylandyrylýan üstüň meýdany. S we $(\Delta P)_n$ ululyklar α düşme burçuna baglydyr. Bu baglylygy tapalyň. 7.2-nji çyzgydan görnüşi ýaly

$S = \dfrac{S_0}{\cos\alpha}$, bu ýerde S_0 – dessäniň kese-kesiginiň meýdany.

7.2-nji b çyzgyda aýna düşýän we ondan serpigen fotonlaryň netijeleýji $\vec{P}$ we $\vec{P}'$ impulslary şekillendirilendir. Impulsyň saklanma kanunyna görä

$$\Delta\vec{P} = \vec{P}' - \vec{P}$$

Normalyň $(\vec{n})$ ugruna bolan proýeksiýalara geçip, alarys:

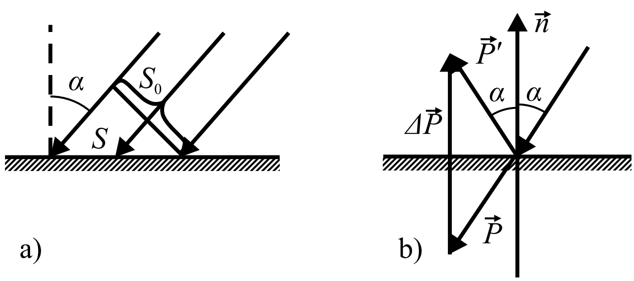
$$(\Delta P)_n = P_n' - P_n = P'\cos\alpha + P\cos\alpha = (P' + P)\cos\alpha.$$

Onda

$$p = \frac{(P' + P)\cos^2\alpha}{S_0 t}.$$

Haçan-da $\alpha = 0$, $p = p_0$, $p_0 = \dfrac{P' + P}{S_0 t}$. Başga bir tarapdan

$p_0 = \dfrac{I}{c}(1 + R)$, diýmek, $p = \dfrac{I}{c}(1 + R)\cos^2\alpha$.



7.2-nji çyzgy

8. Elektroda berlen impuls

$$P = P_f + P_{fe},$$

bu ýerde P_f – fotonyň impulsy: $P_f = \frac{h}{\lambda}$; P_{fe} – fotoelektronyň impulsy: $P_{fe}=m\upsilon$. Fotoelektronyň tizligini Eýnşteýniň deňlemesinden tapyp bolýar:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}; \quad \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - a$$

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2hc - 2\lambda A}{\lambda m}}, \text{ onda}$$

$$P = \frac{h}{\lambda} + \sqrt{\frac{2hc - 2\lambda A}{\lambda m}} = 1,33 \cdot 10^{-25} kg.\frac{m}{s}.$$

9. Ýagtylyk plastinanyň ýylpyldawuk tarapyna düşende oňa

$$F_1 = \frac{IS}{c}(1+R) = \frac{2IS}{c}$$

güýç täsir edýär, bu ýerde S – onuň üsti. Plastinkanyň garalanan tarapyna bolsa

$$F_2 = \frac{IS}{c}$$

güýç täsir eder.

Şol bir wagtyň özünde plastinkanyň özi hem, alan energiýasyny giňişlige şöhlelendirýär. Lambertiň kanunyna görä, ähli ugurlarda şöhlelendirilýän jemleýji kuwwat $IS = \pi I'S$, bu ýerde I' – plastinka normal ugurda şöhlelendirilýän ýagtylygyň intensiwligi dürli ugurlarda şöhlelendirme zerarly plastina täsir edýän gaýtargy güýçlerini jemläp, umumy gaýtargy güýjüni taparys:

$$F'' = \frac{2IS}{3c}.$$

Netijeleýji güýç

$$F_2 = F' + F'' = \frac{IS}{c}\left(1 + \frac{2}{3}\right), \text{ onda } \frac{F_1}{F_2} = \frac{2IS/c}{IS/c\left(1+\frac{2}{3}\right)} = \frac{6}{5} = 1,2.$$

10. Elektronyň energiýasy düşýän we serpigen fotonlaryň energiýalarynyň tapawudyna deň:

$$W = E - E' = h\nu' = h\frac{c}{\lambda} - h\frac{c}{\lambda'} = \frac{hc\Delta\lambda}{\lambda\lambda'},$$

bu ýerde $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ – fotonyň tolkun uzynlygynyň üýtgemesi, ol $\Delta\lambda = \frac{2h}{m_0}\sin^2\frac{\theta}{2}$.

Indi $\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$ bolýandygyny hasaba alyp, taparys

$$W = \frac{2h^2\sin^2\frac{\theta}{2}}{m\lambda\left(\lambda + \frac{2h}{mc}\sin^2\frac{\theta}{2}\right)}.$$

Hasaplamalar

$$W = 9{,}2\cdot 10^{-17}\ \text{J} = 575\ eW$$

bolýandygyny görkezýär.

11. Ýagtylyk dessesiniň düşýän plastinkasynda Oxy koordinatalar ulgamyny saýlap alalyň we y okuny plastinkanyň tekizliginde, x okuny bolsa oňa perpendikulýar ugrukdyralyň. Onda gözlenilýän radius fotoelektronyň položitel plastinkadaky y koordinatasynyň maksimal bahasyna deňdir:

$R = y_{\max} = \upsilon_{y\max}t$, $\upsilon_{\max} = \upsilon_{y\max}$,

bu ýerde $\upsilon_{\max}$ – fotoelektronyň başlangyç tizliginiň maksimal bahasy. Ony Eýnşteýniň deňlemesinden taparys

$$A + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2} = h\nu,$$

$$\upsilon_{max} = \sqrt{\frac{2(h\nu - A)}{m}} = \sqrt{\frac{2\left(h\frac{c}{\lambda} - A\right)}{m}}.$$

Çykyş işi

$$A = h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0}; \qquad \upsilon_{max} = \sqrt{\frac{2\left(h\frac{c}{\lambda} - h\frac{c}{\lambda_0}\right)}{m}} = \sqrt{\frac{2hc(\lambda_0 - \lambda)}{m\lambda_0\lambda}}.$$

Fotoelektronlaryň plastinalaryň arasyndaky maksimal hereket wagty

$$d = \frac{at_m^2}{2}, \quad t_m = \sqrt{\frac{2d}{a}} = \sqrt{\frac{2dm}{Ee}} = \sqrt{\frac{2d^2m}{Ue}}$$

tapylýar. Onda gözlenilýän radius

$$R = \upsilon_m \cdot t_m = \sqrt{\frac{2hc(\lambda_0 - \lambda)2d^2 m}{m\lambda_0 \lambda Ue}} = 2d\sqrt{\frac{hc(\lambda_0 - \lambda)}{\lambda_0 \lambda Ue}}.$$

San bahalary goýup taparys

$$R = 2 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8} \cdot 2 \cdot 10^{-7}}{3,3 \cdot 10^{-7} \cdot 1,3 \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}}\ m \approx 1,6 \cdot 10^{-2}\ m.$$

12. Şardaky zarýadyň durnugyşan şerti

$$\frac{m\upsilon_{\max}^2}{2} = \frac{eq}{4\pi\varepsilon_0 R}$$

deňlik bilen aňladylýar. Bu ýagdaýda fotoeffekt zerarly şaryň üstüni taşlap gidýän iň çalt elektronlar elektrostatik meýdanyň täsiri astynda oňa dolanyp gelýärler.

Eýnşteýniň $\frac{m\upsilon_{\max}^2}{2} = h\nu - A$ deňlemesinden peýdalanyp alarys:

$$h\nu - A = \frac{eq}{4\pi\varepsilon_0 R}, \quad q = \frac{4\pi\varepsilon_0 R(h\nu - A)}{e} = \frac{4\pi\varepsilon_0 \left(h\frac{c}{\lambda} - A\right)R}{e}.$$

San bahalary goýup, taparys:

$$q = \frac{\left(6,6 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^{8}}{2 \cdot 10^{-7}} - 7,2 \cdot 10^{-19}\right) \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1}{1,6 \cdot 10^{-19}}\ Kl \approx$$

$$\approx 1,9 \cdot 10^{-11}\ Kl.$$

VIII
bap

ÝYLYLYK ŞÖHLELENMESI

8.1. Usuly görkezmeler

Bu tema degişli meseleler çözülende ulanylýan esasy düşünjeler we formulalar aşakda getirilendir. Olardan:

Jisimiň energetiki ýagtylanyşy (R_e) ýagtylanýan üstüň meýdan birliginiň goýberýän şöhleleriniň akymydyr (F_e), ýagny

$$R_e = \frac{F_e}{S} = \frac{1}{S} \cdot \frac{dW_e}{dt}, \tag{1}$$

bu ýerde dW_e – S meýdanly üstüň dt wagtda şöhlelendirýän energiýasydyr.

Energetiki ýagtylanyşyň spektral dykyzlygy ($r_{\nu,T}$) – jisimiň şöhlelenme spektrinde energiýanyň ýygylyklar boýunça paýlanmasyny häsiýetlendirýär. Ol

$$r_{\nu,T} = \frac{dR_e}{d\nu}; \quad R_e = \int_0^\infty r_{\nu,T} \cdot d\nu \quad (2)$$ formuladan tapylýar.

Bu ýerde dR_e – ν-dan $\nu + d\nu$ aralykdaky ýygylyklara düşýän ýagtylanyşdyr.

– Islendik jisimiň we absolýut gara jisimiň energetiki ýagtylanyşlarynyň spektral dykyzlyklary arasyndaky baglanyşyk (Kirhgofuň kanuny) şeýle ýazylýar:

$$r'_{\nu,T} = a_{\nu,T} \cdot r_{\nu,T}, \tag{3}$$

bu ýerde $a_{\nu,T}$ – berlen jisimiň monohromatik siňdirme koeffisiýenti. Ol jisimiň üstüne düşýän ν ýygylykly şöhlelenmäniň näçe böleginiň jisim tarapyndan siňdirilýändigini görkezýär we mydama dogry drobdur.

– Stefan-Bolsmanyň kanuny: Absolýut gara jisimiň energetiki ýagtylanyşy absolýut temperaturanyň dördünji derejesine göni proporsionaldyr, ýagny

$$R_e = \sigma \cdot T^4, \tag{4}$$

bu ýerde $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \dfrac{Wt}{m^2 \cdot K^4}$ Stefan-Bolsmanyň hemişeligidir.

– Winiň formulasy we süýşme kanuny:

$$U_\omega = \omega^2 F\left(\frac{\omega}{T}\right), \; T \cdot \lambda_m = b_1, \tag{5}$$

bu ýerde U_ω – ýylylyk şöhlelenmesiniň energiýasynyň göwrümleýin dykyzlygy, $b_1 = 290 \cdot 10^{-3}$ $m \cdot K$ – Winiň hemişeligi. Absolýut gara jisimiň ýylylyk şöhlelenmesinde energetiki ýagtylanyşyň spektral dykyzlygynyň iň uly bahasyna degişli tolkun uzynlygy (λ_m) absolýut temperatura ters proporsionaldyr.

– Absolýut gara jisimiň maksimal energetiki ýagtylanyşy üçin Winiň kanuny:

$$r_{\lambda,\, T\, maxs} = b_2\, T^5, \; b_2 = 1{,}3 \cdot 10^{-5}\; Wt \cdot m^{-3} \cdot K^{-5}. \tag{6}$$

– Absolýut gara jisimiň energetiki ýagtylanyşynyň spektral dykyzlygy üçin Releý-Jinsiň

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot k \cdot T \tag{7}$$

we Plankyň

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \tag{8}$$

formulalary.

Bu ýerde $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ – Plankyň hemişeligi, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s – ýagtylygyň wakuumdaky tizligi, $k = 1{,}3807 \cdot 10^{-23}$ J/K – Bolsmanyň hemişeligi.

(4)–(8) formulalar diňe absolýut gara jisimler üçin dogrudyr. Adaty (çal) jisimler üçin (4)-iň ýerine

$$R_e = a_T \cdot R_e = a_T \cdot \sigma \cdot T^4 \tag{9}$$

formula ulanylýar.

Bu ýerde a_T – jisimiň şöhlelenme koeffisiýenti bolup, berlen jisimiň energetiki ýagtylanyşynyň (R_e^1) şol bir temperaturada absolýut gara jisimiň energetiki ýagtylanyşynyň (R_e) näçe bölegini düzýändigini görkezýär.

8.2. Meseleler

1. Elektrik peji $P = 500$ *Wt* kuwwatly bolup, onuň içki üstüniň temperaturasy $t = 700°C$. Bu üstde diametri $D = 5{,}0$ *sm* deşijek bar. Pejiň kabul edýän kuwwatynyň näçe bölegi onuň diwarlaryndan dargadylýar?

2. Wolfram simi wakuumda $I_1 = 1{,}00$ *A* tok güýji bilen $T = 1000$ *K* çenli gyzdyrylýar. Haýsy tok güýjünde ol $T_2 = 3000$ *K* çenli gyzar? Bu temperaturalara degişli wolframyň şöhlelenme koeffisiýentleri we udel garşylyklary degişlilikde $\alpha_{T_1} = 0{,}115$; $\alpha_{T_2} = 0{,}334$; $\rho_1 = 25{,}7 \cdot 10^{-8}$ $Om \cdot m$; $\rho_2 = 96{,}2 \cdot 10^{-8}$ $Om \cdot m$.

3. Günüň spektrinde energetiki ýagtylanyşyň spektral dykyzlygynyň maksimumy $\lambda_m = 0{,}47$ *mkm* tolkun uzynlygyna gabat gelýär. Gün edil absolýut gara jisimiň şöhlelenişi ýaly şöhlelenýär diýip, gün radiasiýasynyň atmosferanyň çäginden uzakda. Ýere ýakyn ýerde intensiwligini (şöhlelenme akymynyň dykyzlygyny) tapmaly?

4. (2)-nji we $r_{\lambda,T} = \frac{dR_e}{d\lambda}$ formuladan peýdalanyp, $r_{\nu,T}$ we $r_{\lambda,T}$ ululyklaryň arasyndaky gatnaşygy tapmaly, $r_{\lambda,T}$ üçin Plankyň formulasyny ýazyň.

5. Plankyň formulasyny ulanyp, $\Delta\lambda = 10$ $A°$ tolkun uzynlyklaryň aralygyna degişli absolýut gara jisimiň energrtiki ýagtylanyşyny kesgitlemeli. Bu aralyk $T = 3000$ *K* temperaturada energetiki ýagtylanyşyň spektral dykyzlygynyň maksimumyna gabat gelýär diýip kabul etmeli.

6. Ýagtylandyryjy çyrada şöhlelenme energiýasynyň maksimumyna degişli tolkun uzynlygyny tapmaly. Çyranyň siminiň uzynlygy $\ell = 15$ *sm,* diametrli $d = 0{,}03$ *mm*. Çyranyň harçlaýan kuwwaty $P = 10$ *Wt*. Simiň şöhlelenme koeffisiýenti $\alpha_T = 0{,}3$. Harçlanýan energiýanyň 20% ýitýär diýip kabul etmeli.

7. Diametri D, ýylylyk sygymy C bolan metaldan şaryň başlangyç temperaturasy T_0. Şar şöhle goýberme sebäpli sowaýar. Onuň şöhlelenme koeffisiýenti α_T bolsa, şaryň temperaturasy näçe wagtdan soň T_1 bolar?

8. Şöhlelenme maksimumyna degişli tolkun uzynlygyndan 1% tapawutlanýan tolkun uzynlyklarynyň aralygynda $T = 2000$ *K* temperaturaly gyzan wolfram siminiň şöhlelenme kuwwatyny kesgitlemeli. Simiň üstüniň meýdany $S = 1{,}5 \cdot 10^{-5}$ m^2.

9. Iki sany absolýut gara jisimiň spektrlerinde energetiki ýagtylanyşynyň spektral dykyzlyklarynyň maksimumlaryna degişli tolkun uzynlyklar ($\lambda_{m_1}, \lambda_{m_2}$) $\Delta\lambda = \lambda_{m_2} - \lambda_{m_1} = 0{,}50$ *mkm* tapawutlanýarlar. Eger birinjiniň temperaturasy $T_1 = 2{,}50 \cdot 10^3 K$ bolsa, ikinjiniň T_2 temperaturasyny tapmaly.

10. Diametri $d_1 = 0{,}10$ *mm* bolan wolfram simi diametri näbelli bolan wolfram simi bilen yzygider birikdirilen. Simler wakuumda tok bilen gyzdyrylýar. Olaryň durnuklaşan temperaturalary $T_1 = 2{,}00 \cdot 10^3 K$ we $T_2 = 3{,}00 \cdot 10^3$ K. Ikinji simiň diametrini tapmaly. Berlen temperaturalara degişli wolframyň şöhlelenme koeffisiýenti we udel garşylygy degişlilikde $\alpha_{T_1} = 0{,}260$, $\alpha_{T_2} = 0{,}334$, $\rho_1 = 5{,}91 \cdot 10^{-3}$ $Om \cdot m$, $\rho_2 = 9{,}62 \cdot 10^{-7}$ $Om \cdot m$.

11. Temperaturasynyň üýtgemegi sebäpli energetiki ýagtylanyşyň spektral dykyzlygynyň maksimumy $\lambda_1 = 2{,}5$ *mkm*-deň $\lambda_2 = 0{,}125$ *mkm*-e çenli süýşdi. Jisim absolýut gara. Jisimiň a) temperaturasy, b) energetiki ýagtylanyşyň spektral dykyzlygy näçe esse üýtgedi?

12. Kub şekilli gara ýuka diwarly metaldan gaba $t_1 = 50°C$ temperaturada 1 *kg* massaly suw guýuldy. Suw gaby dolduryar. Eger gap diwarlarynyň temperaturasy absolýut nola ýakyn bolan köwekde ýerleşdirilen bolsa, gabyň temperaturasynyň $t_2 = 10°C$-ä çenli sowamagy üçin gerek bolan wagty hasaplamaly.

13. Absolýut gara jisimiň energetiki ýagtylanyşy $R_e = 3{,}0$ Wt/sm^2. Bu jisimiň energetiki ýagtylanyşynyň spektral dykyzlygynyň maksimumyna degişli tolkun uzynlygyny tapmaly.

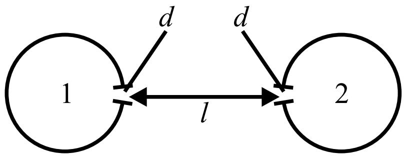
14. Günüň şöhlesi spektral düzümi boýunça absolýut gara jisimiňkä golaý. Onuň energetiki ýagtylanyşynyň spektral dykyzlygynyň maksimumyna degişli tolkun uzynlygy $\lambda_m = 0{,}48$ *mkm*. Şöhlelenme sebäpli günüň her sekuntda ýitirýän massasyny tapmaly. Günüň massasynyň 1% azalmagy üçin gerek bolan wagty bahalandyryň.

15. Diametri $d = 1{,}2$ *sm* bolan mis şarjagazy içinde wakuum alnan we diwarlarynyň temperaturasy absolýut nola ýakyn bolan gapda ýerleşdirilen. Şarjagazyň başlangyç temperaturasy $T_0 = 300$ K. Şarjagazyň üsti absolýut gara diýip näçe wagtdan soň onuň temperaturasynyň $\eta = 2{,}0$ esse peseljekdigini hasaplamaly.

16. Günüň üstüniň temperaturasy $T_0 = 5500$ K. Günüň we Ýeriň siňdiriji ukyplary 1-e deň we Ýer ýylylyk deňagramlylykda diýip, Ýeriň üstüniň temperaturasyny bahalandyrmaly.

17. Diametrleri d = 1,0 *sm* deşikli iki sany boşluk (köwek) berlen. Olaryň daşky üstleri absolýut ak. Deşikleriň aradaşlygy ℓ =10 *sm* (*8.1-nji çyzgy*). Birinji boşlukda T_1 = 1700 *K* temperatura saklanýar. Ikinji boşlukda durnuklaşan temperaturany tapmaly.

Görkezme: Absolýut gara jisimiň şöhlelenmesi kosinus kanunyna boýun egýär.



8.1-nji çyzgy

18. Iki sany absolýut gara şarjagazlar biri-birinden 2ℓ = 8 *sm* aralykda durlar. Olaryň ortasynda bir şarjagazyň şöhlelenmesini beýlekiniň üstüne ýygnaýan diametri D = 6 *sm* bolan linza ýerleşdirilen. Şarjagazlaryň biriniň temperaturasy T_1=2000 *K*. Linzada ýitgileri we ýylylyk şöhlelenme fonuny göz öňünde tutman, ikinji şarjagazyň temperaturasyny kesgitlemeli.

19. Kosmiki rentgen şöhleleriniň spektri absolýut gara jisimiň şöhlelenme spektrine gabat gelýär. Şöhlelenmäniň maksimumy $\lambda_m = A°$ tolkun uzynlygynda gözegçilik edilýär. Spektr boýunça akymyň jemi dykyzlygy j = 10^{-11} *Wt/m*^{2}. Ýerden rentgen şöhleleriniň çeşmesine çenli aralyk $L = 1{,}3{\cdot}10^4$ ýagtylyk ýylyna deň (1 ýagtylyk ýyly ýagtylygyň 1(bir) ýylda geçen ýoluna deňdir). Çeşmäniň diametrini bahalandyrmaly.

20. Ýylylyk şöhlelenmesi sebäpli ýitgileri azaltmak maksady bilen gyzgyn (T_g) we sowuk (T_s) tekiz diwarlaryň arasyndaky wakuum giňişlige üç sany ýylylyk ekranlary goýulýar. Iki diwarlarda edil ekranlar ýaly uzyn we absolýut gara diýip, stasionar ýagdaý üçin diwarlaryň şöhlelenme sebäpli ýylylyk çalşygynyň peselmesini tapmaly. Ekranlaryň durnuklaşan temperaturalaryny hasaplamaly.

8.3. Ugrukdyrmalar

1. Ýylylyk deňagramlaşygynda pejiň harçlaýan ähli kuwwaty diwarlar we deşik tarapyndan daşaryk şöhlelendirilýär. Bu ýylylyk balansyndan gözlenýän ululygy tapyp bolýar.

2. Simiň elektrik energiýasynyň çeşmesinden kabul edýän kuwwatyny onuň şöhlelendirýän kuwwatyna deňläp, alnan deňlemäni T_1 we T_2 temperaturalar üçin ýazyň. Olary özara deňeşdirip tok güýjüni tapyp bilersiňiz.

3. Stefan-Bolsmanyň we Winiň kanunlaryndan peýdalanyň. Gün üstüniň ýagtylyk akymy radiusy Günden Ýere çenli aralyga deň bolan sferadan geçer. Bu tassyklamalar meseläni çözmäge mümkinçilik berýär.

4. $\nu = c/\lambda$ formulany λ görä differensirläp, $r_{\nu,T} \cdot d\nu = -r_{\nu,T}\, d\nu$ deňligi nazarda tutup, $r_{\nu,T}$ üçin Plankyň formulasyny alyp bolýar.

5. $\Delta R_e = r_{\lambda,m} \cdot \Delta\lambda$ formulany ulanyň. $r_{\lambda,m}$-i tapmak üçin Plankyň formulasyny we Winiň birinji kanunyny ulanyň.

6. Ýylylyk balansyndan T-ni tapyň, soňra Winiň 1-nji kanunyndan λ_m-i tapyp bolar.

7. Şöhlelenme sebäpli şar sowaýar, onuň içki energiýasynyň azalmasy bir tarapdan ($-CdT$) beýleki tarapdan bolsa ($Re\ SdT$)-e deňdir. Alnan differensial deňlemäni çözüp, gözlenilýän ululygy tapyp bolýar.

8. Çal jisimiň (wolfram siminiň) şöhlelenme kuwwatyny tapyň. Plankyň formulasyny ulanyň.

9. $\lambda_{m_1} = b_1/T_1$ we $\lambda_{m_2} = \lambda_{m_1} + \Delta\lambda$ peýdalanyň. $\lambda_{m_2} \cdot T_2 = b_1$ formuladan peýdalanyp, T_2-ni tapyp bolýar.

10. Toguň bölüp çykarýan kuwwaty şöhlelenme arkaly ýitýär. Ýylylyk balansynyň deňlemesini ýazyň. Ony iki sim üçin ýazyp alnan ulgamdan d_2-ni taparsyňyz.

11. Stefan-Bolsmanyň we Winiň kanunlaryndan peýdalanyň.

12. Kubdaky suwuň sowama prosesiniň ýylylyk balansyny ýazyň. Alnan differensial deňlemäni t-e (wagta) we T-e (temperatura) görä integrirläň.

13. Stefan-Bolsmanyň we Winiň kanunlaryny ulanyň. Alnan ulgamy bilelikde çözüp, gözleýän ululygyňyzy taparsyňyz.

14. Winiň kanunyny ulanyp, Günüň üstüniň temperaturasyny tapyň. Günüň üstünden wagt birliginde şöhlelenýän energiýany hasaplap, $E = mc^2$ formuladan m-i tapyp bolar.

15. Ýylylyk deňagramlylygynda Ýer üstüniň alýan we şöhlelendirýän energiýalaryny özara deňläp gözlenýän ululygy taparsyňyz.

16. Ýylylyk deňagramlylygynda 1-nji deşikden 2-nji deşige girýän energiýa ondan çykýanyna deň bolar. Alnan deňlikden gerekli ululygy tapyp bolar.

17. D – diametrli linzanyň 1-nji şarjagazdan görünýän jisim burçuny tapyň. Soňra linzanyň üstüne düşen ähli energiýa 2-nji şarjagaza geçirilýändigini ýatda saklap, ony 2-nji şarjagazyň ýitirýän energiýasyna deňläp, gözlenýän ululygy taparsyňyz.

18. Winiň kanunyny ulanyp, çeşmäniň temperaturasyny tapyň. Soňra ýylylyk akymynyň dykyzlygyndan çeşmäniň diametrini tapyp bolýar.

19. Bu meselede gyzgyn diwardan 1-nji ekrana, 1-nji ekrandan 2-nji ekrana we aňryk geçirilýän ýylylyk akymynyň dykyzlygy birmeňzeşdir. Özara jübüt plastinkalar üçin $Q_{ij} = \sigma\left(T_i^4 - T_j^4\right)$ formulany ýazyp, olary goşuň; bu jemi $Q = \sigma\left(T_g^{\,4} - T_S^{\,4}\right)$-e deňläp, goýlan soraga jogap alarsyňyz.

8.4. Jogaplar

1. $\alpha = 1 - \dfrac{\pi D^2}{4} \cdot \dfrac{\sigma T^4}{P} = 0{,}8.$ **2.** $I_2 = I_1 \left(\dfrac{T_2}{T_1}\right)^2 \cdot \sqrt{\dfrac{a_{T_1} \cdot \rho_1}{a_{T_2} \cdot \rho_2}} = 7{,}9A.$

3. $I = \sigma \left(\dfrac{b_1}{\lambda_m}\right)^4 \cdot \left(\dfrac{r_G}{r}\right)^2 = 1{,}8\dfrac{kWt}{m^2}.$ **4.** $r_{\lambda,T} = \dfrac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \dfrac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}.$

5. $\Delta R_e = b_2 \cdot T^5 \cdot \Delta\lambda = 3{,}2\,\dfrac{kWt}{m^2}.$ **6.** $\lambda_m = b_1 \cdot \sqrt[4]{\dfrac{a_T \cdot \sigma\pi \ell d}{0{,}8P}} = 1{,}2 \cdot 10^{-6} m.$

7. $t = \dfrac{4C\left(\dfrac{1}{T^3} - \dfrac{1}{T_o^{\,3}}\right)}{3\pi \cdot a_T \cdot \sigma \cdot D^2}.$

8. $P_{\Delta\lambda} = \dfrac{1}{25} \cdot \dfrac{2\pi^2 c^2 \cdot \hbar}{b_1^4} \cdot \dfrac{T^4}{e^{\frac{2\pi\hbar c}{b_1 k}} - 1} = 4{,}35 \cdot 10^{-2} Wt.$

9. $T_2 = \dfrac{b_1 \cdot T_1}{b_1 + \Delta\lambda \cdot T_1} = 1{,}75 \cdot 10^3 K.$

10. $d_2 = d_1 \sqrt[3]{\dfrac{a_{T_1} \cdot T_1^4 \cdot \rho_2}{a_{T_2} \cdot T_2^4 \cdot \rho_1}} = 0{,}06\,mm.$ **11.** $\dfrac{R_{e1}}{R_{e2}} = \left(\dfrac{T_2}{T_1}\right)^4 = 16 \cdot 10^4.$

12. $t = \dfrac{c \cdot m\left(\dfrac{1}{T_2^3} - \dfrac{1}{T_1^3}\right)}{18\sigma\sqrt[3]{\left(\dfrac{m}{\rho}\right)^2}} = 6,2 \cdot 10^4\ s.$ **13**. $\lambda_m = \dfrac{b_1}{\sqrt[4]{\dfrac{R_e}{\sigma}}} \approx 3,4\ mkm.$

14. $\dfrac{m}{t} = \dfrac{\sigma\left(\dfrac{b_1}{\lambda_m}\right)^4 \cdot 4\pi R_G^2}{C^2} = 5 \cdot 10^9\, kg/s; \quad t = \dfrac{m_G}{10^2 \cdot \Delta m} \approx 10^{11}$ ýyl.

16. $T_1 = T_0\sqrt{\dfrac{R_0}{2\ell}} = 266K.$ **17**. $T_2 = T_1\sqrt{\dfrac{d}{2\ell}} = 400\ K.$

18. $T_2 = T_1\sqrt[4]{\dfrac{1}{2}\left(1 - \dfrac{\ell}{\sqrt{\ell^2 + \dfrac{D^2}{4}}}\right)} \approx 1125\ K.$

19. $D = \dfrac{2 \cdot L \cdot \lambda_m^2}{b_1^2} \cdot \sqrt{\dfrac{d}{\sigma}} = 15,5\ km.$ **20.** $Q = \dfrac{Q_{gS}}{4}$ (dört esse kiçelýär).

8.5. Çözülişleri

1. Deňagramlaşan ýylylyk ýagdaýda pejiň ähli harçlaýan kuwwaty diwarlar we deşik tarapyndan daşaryk şöhlelendirilýär.

Onda $P = F_e' + F_e''$,

bu ýerde F_e', F_e'' – diwarlar we deşikden çykýan şöhlelenme akymlary. Biz $\alpha = F_e'/P$ gatnaşygy tapmaly.

$$\alpha = \frac{P - F_e''}{P} = 1 - \frac{F_e''}{P}.$$

Pejiň deşiginden şöhlelenmäni absolýut gara jisimiň şöhlelenmesi ýaly edip kabul edip taparys: $F_e'' = R_e \cdot S = \sigma T^4 \dfrac{\pi D^2}{4}$, onda

$$\alpha = 1 - \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{\sigma T^4}{P} \text{ alarys.}$$

Hasaplamalar

$$\alpha = 1 - \frac{3{,}14 \cdot (0{,}05)^2}{4} \cdot \frac{5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (973)^4}{500} = 0{,}8 \text{ sany berýär.}$$

Diýmek, pejiň diwarlaryndan şöhlelenme sebäpli pejiň kabul edýän kuwwatynyň 80% ýitýär eken.

2. Deňagramlaşan ýylylyk ýagdaýda $P = F_e$, bu ýerde P – wolfram siminiň elektrik energiýasynyň çeşmesinden kabul edýän kuwwaty, F_2 – simiň goýberýän energiýasynyň akymy

$$P = I^2 R = I^2 \rho \frac{\ell}{s}.$$

Wolfram absolýut gara jisim bolmany üçin, onuň şöhlelenme akymy üçin

$F_e = a_T \cdot \sigma T^4 \cdot S$ aňlatmany ýazyp bolar.

Onda

$$I^2 \rho \frac{\ell}{s} = a_T \sigma T^4 \cdot S \text{ ýa-da } I^2 \rho \ell = a_T \sigma T^4 S^2 \text{ bolar.}$$

Soňky aňlatmany T_1 we T_2 temperaturaly sim üçin iki gezek ýazyp alarys:

$$I_1^2 \rho_1 \ell = a_{T_1} \sigma T_1^4 \cdot S^2.$$

$$I_2^2 \rho_2 \ell = a_{T_2} \cdot \sigma T_2^4 S^2.$$

Bulary özara bölsek $\frac{I_1^2 \rho_1}{I_2^2 \rho_2} = \frac{a_{T_1} \cdot T_1^4}{a_{T_2} \cdot T_2^4}$ bolar. Bu ýerden

$$I_2 = I_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{a_{T_1} \cdot \rho_1}{a_{T_2} \cdot \rho_2}} = 7{,}9 \ A \text{ alnar.}$$

3. Kesgitlemä görä şöhlelenme akymynyň dykyzlygy (şöhlelenmäniň intensiwligi).

$I = \frac{W_e}{S \cdot t} = \frac{F_e}{S}$, bu ýerde W_e – şöhlelenme energiýasy, $F_e = \frac{W_e}{t} S$ meýdanly üst boýunça şöhlelenme akymy. Görnüşi ýaly, I we R_e

(energetiki ýagtylanyş) şol birliklerde aňladylýar. Günüň Ýeriň golaýyndaky şöhleleriniň intensiwligi Gün üstüniň energetiki ýagtylanyşyna proporsionaldyr. Belli bolşy ýaly, Gün üstüniň goýberýän ýagtylyk akymynyň ählisi radiusy Günden Ýere çenli aralyga deň bolan sferiki üstden geçer. Onda

$F_e = R_e \cdot 4\pi r_G^2 = I \cdot 4\pi r^2$, bu ýerde r_G – Günüň radiusy.

Bu ýerden

$$I = \frac{R_e \cdot r_G^2}{r^2} \text{ alarys.}$$

Indi Stefan-Bolsmanyň kanunyndan peýdalanyp, Günüň temperaturasyny-da Winiň süýşme kanunyndan tapyp, alarys

$$R_e \sigma T^4 = \sigma \left(\frac{b_1}{\lambda_m} \right)^4 \text{ we}$$

$$I = \sigma \left(\frac{b_1}{\lambda_m} \right)^4 \cdot \left(\frac{r_G}{r} \right)^2 \text{ bolar.}$$

$\lambda_m = 0{,}47 \cdot 10^{-6}\ m$, $r_G = 6{,}95 \cdot 10^8\ m$, $r = 1{,}50 \cdot 10^{11}\ m$,

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \frac{Wt}{\left(m^2 \cdot K^4\right)}$, $b_1 = 2{,}90 \cdot 10^{-3}\ m \cdot K$ san bahalary göz öňünde tutup, geçirilen hasaplama

$$I = 1{,}8 \frac{kWt}{m^2} \text{ bahany berýär.}$$

Hakykatda $I = 1{,}4 \frac{kWt}{m^2}$ bolmaly. Bu tapawut biz hasaplamalarymyzda Günüň üstüni absolýut gara jisim diýip kabul edenimiz üçin ýüze çykdy. Aslynda Günüň üsti absolýut gara däldir jisim diýip kabul etmek bolmaz.

4. Spektriň islendik elementar bölegini $d\nu$ ýygylyklar aralygy ýa-da $d\lambda$ tolkun uzynlyklar aralygy bilen häsiýetlendirse bolar. Belli bolşy ýaly, $\nu = \frac{c}{\lambda}$, onda $\frac{d\nu}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}$ bolar. Bu gatnaşykdan görnüşi ýaly,

$d\nu$, $d\lambda$ garşylykly alamatlydyrlar. Spektriň şol bir uçastogyna şol bir (dR_e)degişlidir. Şonuň üçin $d\nu$ we $d\lambda$-niň alamatlaryny hasaba alyp

$r_{\nu,T} \cdot d\nu = -r_{\nu,T} \cdot d\lambda$ ýazyp bolar.

Bu iki aňlatmany özara deňeşdirip alarys, ýagny

$$r_{\lambda,T} = -r_{\nu,T} \frac{d\nu}{d\lambda} = r_{\nu,T} \cdot \frac{c}{\lambda^2}.$$

Ýokarky aňlatmalardan peýdalanyp $r_{\lambda,T}$ üçin Plankyň formulasyny alarys

$$r_{\lambda,T} = \frac{c}{\lambda^2} r_{\nu,T} = \frac{c}{\lambda^2} \cdot \frac{2\pi\left(c/\lambda\right)^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \text{ ýa-da}$$

$$r_{\lambda,T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}.$$

5. Tolkun uzynlyklarynyň insizje aralygy üçin

$$\Delta R_e = r_{\lambda_m} \cdot \Delta\lambda,$$

bu ýerde r_{λ_m} – berlen temperaturada absolýut gara jisimiň energetiki ýagtylanyşynyň spektral dykyzlygynyň maksimal bahasydyr. Plankyň formulasy boýunça r_{λ_m}-i tapmak üçin T – temperaturadan başga ýene r_{λ_m} degişli tolkun uzynlygyny-da bilmeli.Ony Winiň süýşme kanunyndan tapyp bolar

$\lambda = \lambda_m = \dfrac{b_1}{T}$, onda $r_{\lambda_m} = \dfrac{2\pi hc^2 \cdot T^5}{b_1^5} \cdot \dfrac{1}{e^{hc/b_1 k} - 1}$ we

$$\Delta R_e = \frac{2\pi hc^2 \cdot T^5}{b_1^5} \cdot \frac{\Delta\lambda}{e^{hc/b_1 k} - 1} \text{ bolar.}$$

$$\frac{2\pi hc^2}{b_1^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/b_1 k} - 1} = b_2 \text{ (Winiň 2-nji koeffisiýenti).}$$

Şonuň üçin

$r_{\lambda_m} = b_2 \cdot T^5$ (Winiň 2-nji kanuny).

Onda

$\Delta R_e = b_2 \cdot T^5 \Delta\lambda$ we $\Delta R_e = 3,2 \dfrac{kWt}{m^2}$ alarys.

$$\left(b_2 = 1,30 \cdot 10^{-5} \frac{Wt}{m^3 \cdot K^5}, T = 3000K, \quad \Delta\lambda = 1,0 \cdot 10^{-9} m \right).$$

6. Winiň süýşme kanunyna laýyklykda

$$\lambda_m = \frac{b_1}{T}.$$

Simiň temperaturasyny Stefan-Bolsmanyň kanunyndan taparys

$$0,8P = \alpha_T \cdot \sigma T^4 \pi \cdot \ell \cdot d.$$

Bu ýerden T-ni tapyp ýokarky formulada ýerine goýup alarys

$$\lambda_m = b_1 \cdot \sqrt[4]{\frac{\alpha_T \cdot \sigma \cdot \pi \cdot \ell \cdot d}{0,8P}} = 2,89 \cdot 10^{-3} \sqrt[4]{\frac{0,3 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 3,14 \cdot 0,15 \cdot 3 \cdot 10^{-5}}{0,8 \cdot 10}} =$$

$$= 1,2 \cdot 10^{-6} m.$$

7. Şar sowanda onuň içki energiýasynyň üýtgemesi

$$dU = -CdT.$$

Bu üýtgemäni energetiki ýagtylanyşynyň, üstüň meýdanynyň we wagtyň üsti bilen hem aňladyp bolar, ýagny

$$dU = R_e \cdot Sdt = \frac{1}{4} R_e \pi D^2 dt.$$

Onda

$$-CdT = \frac{1}{4} R_e \pi D^2 dt = \frac{1}{4} \alpha_T \sigma \cdot T^4 \pi D^2 dt$$

ýa-da

$-\dfrac{dT}{T^4} = \dfrac{\pi \alpha_T \cdot \sigma D^2}{4C} dt.$ Soňky aňlatmany integrirläliň:

$$\frac{1}{3T^3} = \frac{\pi \alpha_T \cdot \sigma D^2}{4C} \cdot t + A,$$

bu ýerde A – hemişelik, ony başlangyç şertden taparys:

$t = 0$-da $T = T_0$ we $A = \dfrac{1}{3T_0^3}.$

Onda

$$\frac{1}{3T^3} = \frac{\pi\alpha_T \cdot \sigma D^2}{4C} \cdot t + \frac{1}{3T_0^3}.$$

Bu ýerden

$$t = \frac{4C\left(\frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_0^3}\right)}{3\pi\alpha_T \cdot \sigma D^2}.$$

8. Wolfram simi absolýut gara jisim bolmany üçin onuň $\Delta\lambda$ tolkun uzynlyklarynyň aralygynda şöhlelenme kuwwaty

$$P_{\Delta\lambda} = a_T \cdot r_{\lambda,T}\, \Delta\lambda \cdot S,$$

bu ýerde $a_T = 0{,}260$, $T = 2000\ K$-de wolframyň garalyk derejesi,

$$r_{\lambda,T} = \frac{4\pi^2 c^2 \hbar}{\lambda^5\left(e^{\frac{2\pi\hbar c}{\lambda KT}} - 1\right)}$$ – absolýut gara jisimiň spektral energetiki ýagtylanyşy. Meseläniň şertine görä, λ şöhlelenmäniň maksimumyna degişli tolkun uzynlygy bolany üçin

$$\lambda = \lambda_0 - \frac{b_1}{T} \text{ we } \Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = 0{,}02\,\lambda_0.$$

Netijede

$$P_{\Delta\lambda} = a_T \cdot S \cdot \frac{8\pi^2 c^2 T^4}{100 b_1^4\left(e^{\frac{2\pi\hbar c}{b_1 \cdot K}} - 1\right)} = \frac{1}{25} \cdot \frac{2\pi^2 c^2 \hbar}{b_1^4} \cdot \frac{T^4}{\left(e^{\frac{2\pi\hbar c}{b_1 \cdot K}} - 1\right)}.$$

Geçirilen hasaplamalaryň netijesinde

$P_{\Delta\lambda} = 4{,}35 \cdot 10^{-2}\ Wt$ bolýar.

9. Şerte görä, $\lambda_{m_2} = \lambda_{m_1} + \Delta\lambda$

we Winiň kanunyna laýyklykda

$$\lambda_{m_1} \cdot T_1 = b_1 \Rightarrow \lambda_{m_1} = \frac{b_1}{T_1};$$

$$\lambda_{m_2} \cdot T_2 = b_1;$$

$$\left(\lambda_{m_1} + \Delta\lambda\right) \cdot T_2 = b_1;$$

$$\lambda_{m_1} \cdot T_2 + \Delta\lambda \cdot T_2 = b_1;$$

$$\lambda_{m_1} = \frac{b_1 - \Delta\lambda T_2}{T_2} = \frac{b_1}{T_1}.$$

Bu ýerden

$$b_1 T_1 - \Delta\lambda T_2 T_1 = b_1 T_2 \text{ we}$$

$$T_2 = \frac{b_1 T_1}{b_1 + \Delta\lambda \cdot T_1}$$

$$T_2 = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 10^3}{2,9 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5 \cdot 10^3}\left(K\right) = 1,75 \cdot 10^3 K \text{ bolar.}$$

10. Durnuklaşan ýylylyk ýagdaýynda simlerde toguň bölüp çykarýan kuwwaty şöhlelenme sebäpli ýitýän ýylylyk kuwwatyna deňdir. Şonuň üçin iki sim üçin-de ýylylyk balansynyň deňlemesini ýazalyň:

$$I^2 \cdot \rho_1 \cdot \frac{\ell_1}{S_1} = \alpha_{T_1} \cdot \sigma T_1^4 \cdot \pi \ell_1 d_1;$$

$$I^2 \cdot \rho_2 \frac{\ell_2}{S_2} = \alpha_{T_2} \cdot \sigma T_2^4 \cdot \pi \ell_2 d_2.$$

Bulary özara bölüp we $S_1 = \frac{\pi d_1}{4}$, $S_2 = \frac{\pi d_2}{4}$ aňlatmalary hasaba alyp,

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \frac{\frac{\pi d_2^2}{4}}{\frac{\pi d_1^2}{4}} = \frac{\alpha_{T_1} \cdot T_1^4 \cdot d_1}{\alpha_{T_2} \cdot T_2^4 \cdot d_2} \text{ deňligi ýazyp bolýar.}$$

Bu ýerden

$$d_2 = d_1 \sqrt[3]{\frac{\alpha_{T_1} \cdot T_1^4 \cdot \rho_2}{\alpha_{T_2} \cdot T_2^4 \cdot \rho_1}} = 0,06\, mm.$$

11. Energetiki ýagtylanyşyň spektral dykyzlygy Stefan-Bolsmanyň kanunyna laýyklykda: $R_e = \sigma T^4$.

Winiň kanunyna laýyklykda: $\lambda_1 \cdot T_1 = b_1 = \lambda_2 \cdot T_2$.

Bu ýerden $\frac{T_2}{T_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 20$ bolýar.

$$R_{e_1} = \sigma T_1^4,$$

$R_{e_2} = \sigma T_2^4$. Onda $\frac{R_{e_1}}{R_{e_2}} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^4 = 16 \cdot 10^4$.

12. Metal gabyň ýylylyk sygymyny hasaba alman, kubdaky suwuň sowama prosesiniň ýylylyk balansyny ýazalyň.

$\sigma T^4 \cdot 6a^2 dt = -cmdT$

ýa-da

$m = \rho \cdot a^3$ we $a^2 = \sqrt[3]{\left(\frac{m}{\rho}\right)^2}$ hasaba alyp alarys:

$$\frac{dT}{T^4} = -\frac{6\sigma \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{m}{\rho}\right)^2}}{c \cdot m} dt.$$

Bu deňlemäni integrirläliň:

$$\int_{T_1}^{T_2} T^{-4} dt = -\frac{6\sigma \sqrt[3]{\left(\frac{m}{\rho}\right)^2}}{c \cdot m} \cdot \int_0^t dt;$$

$$\frac{T^{-3}}{-3} = -\frac{6\sigma \sqrt[3]{\left(\frac{m}{\rho}\right)^2}}{c \cdot m} \cdot t.$$

Bu ýerden $\frac{6\sigma \sqrt[3]{\left(\frac{m}{\rho}\right)^2}}{c \cdot m} \cdot t = \frac{1}{3}\left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3}\right)$ ýa-da $t = \frac{c \cdot m\left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3}\right)}{18 \cdot \sigma \sqrt[3]{\left(\frac{m}{\rho}\right)^2}}$.

$$c = 4200\frac{J}{kg \cdot K},\; m = 1\ kg,\ T_2 = 283\ K,\ T_1 = 323\ K,$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}\frac{Wt}{m^2 \cdot K^4}.$$

$\rho = 10^3\ kg/m^3$ bahalary göz öňünde tutup geçirilen hasaplamalar $t = 6{,}2 \cdot 10^4\ s$ berýär.

13. Belli bolşy ýaly

$$R_e = \sigma T^4 \Rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{R_e}{\sigma}}.$$

Winiň kanunyna laýyklykda

$$\lambda_m \cdot T = b_1.$$

Bu ýerden

$$\lambda_m = \frac{b_1}{\sqrt[4]{\frac{R_e}{\sigma}}} = \frac{0,29 \cdot 10^{-2}}{\sqrt[4]{\frac{3 \cdot 10^4}{5,67 \cdot 10^{-8}}}}(m) \approx 3,4\ mkm.$$

14. Winiň kanuny boýunça Günüň üstüniň temperaturasyny tapalyň:

$$\lambda_m \cdot T = b_1 \Rightarrow T = \frac{b_1}{\lambda_m}.$$

Gün üstüniň meýdany $S = 4\pi R_G^2$ ($R_G = 6{,}95 \cdot 10^8\ m$) we A. Eýnşteýniň formulasyndan

$$\frac{m}{t} = \frac{E}{C^2} = \frac{\sigma\left(\frac{b_1}{\lambda_m}\right)^4 \cdot 4\pi \cdot R_G^2}{C^2} \text{ bolar.}$$

$$\frac{m}{t} = \frac{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{0,29 \cdot 10^{-2}}{0,48 \cdot 10^{-6}}\right)^4 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot \left(6,95 \cdot 10^8\right)^2}{9 \cdot 10^{16}}(kg/s) = 5 \cdot 10^9\ kg/s$$

bolýar.

t sekuntda Günüň massasynyň $m_G = 1{,}99 \cdot 10^{30}\,kg$ üýtgemesi $\Delta m \cdot t$ bolar.

Onda

$$\frac{\Delta m \cdot t}{m_G} \cdot 100\% = 1\% \text{ bolmaly.}$$

Bu ýerden

$$t = \frac{m_G}{10^2 \cdot \Delta m} = \frac{1{,}99 \cdot 10^{30}\,kg}{10^2 \cdot 5 \cdot 10^9\,\frac{kg}{s}} = \frac{0{,}4 \cdot 10^{19}}{3600 \cdot 24 \cdot 365}\,\text{ýyl} \approx 10^{11}\,\text{ýyl.}$$

15. Şarjagazyň sowamasy onuň şöhlelenme sebäpli içki energiýasynyň azalmasydyr. Gabyň içki diwarlarynyň temperaturasy absolýut nola ýakyn saklanýandygy üçin, diwar yzyna şöhle göýbermeýär. 9.2.7 we 9.2.12-nji meseleleriň çözüwine seret.

16. Günüň şöhlelendirýän energiýasynyň akymy $E_0 = \sigma T_0^4 \cdot 4\pi R_0^2$ ℓ – radiusly (ℓ – Günden Ýere çenli uzaklyk) sferanyň meýdan birliginden geçýän energiýa akymy $\frac{E_0}{(4\pi\ell^2)}$-a deňdir. Bu akym Ýeriň uly töwereginiň çäkleýän πR_y^2 meýdanyna düşýär. Bu akym $\frac{E_0}{4\pi\ell^2} \cdot \pi R_y^2$ bolar. Ýeriň ähli üstünden goýberýän energiýa akymy $E_1 = \sigma T_1^4 \cdot 4\pi R_y^2$ bolar.

Ýylylyk deňagramlylygynda

$$\pi R_y^2 \cdot \frac{\sigma T_0^4 \cdot 4\pi R_0^2}{4\pi\ell^2} = \sigma T_1^4 \cdot 4\pi R_y^2 \text{ bolar.}$$

Bu ýerden

$$T_1 = T_0\sqrt{\frac{R_0}{2\ell}} \approx 5500K \cdot \sqrt{\frac{6{,}95 \cdot 10^8\,m}{2 \cdot 149{,}50 \cdot 10^9\,m}} \approx 266\,K.$$

17. 1-nji deşikden çykýan energiýa akymy $\sigma T_1^4 \cdot \frac{\pi d^2}{4}$ deňdir.

2-nji deşikden girýän akymyň dykyzlygy $\frac{\sigma T_1^4 \cdot \frac{\pi d^2}{4}}{\pi\ell^2} \cdot \frac{\pi d^2}{4}$ bolar.

Ondan çykýany $\sigma T_2^4 \cdot \frac{\pi d^2}{4}$ bolar.

Ýylylyk deňagramlylygynda

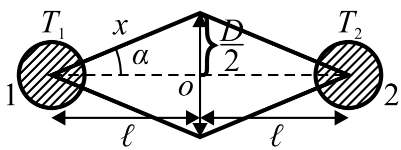
$$\frac{\sigma T_1^4 \cdot \dfrac{\pi d^2}{4}}{\pi \ell^2} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \sigma T_2^4 \cdot \frac{\pi d^2}{4}.$$

Bu ýerden

$$T_2^4 = T_1^4 \frac{d^2}{4\ell^2} \text{ ýa-da } T_2 = T_1 \sqrt[4]{\frac{d^2}{4\ell^2}} = T_1 \sqrt{\sqrt{\left(\frac{d}{2\ell}\right)^2}} = T_1 \cdot \sqrt{\frac{d}{2\ell}};$$

$$T_2 = 1700K \cdot \sqrt{\frac{1}{10}} \approx 400\ K.$$

18. T_1 – temperaturaly absolýut gara şarjagazyň jisim burçunyň bir birligine goýberýän ýylylyk akymy $\frac{\sigma T_1^4}{4\pi}$. Onuň ýerleşýän ýerinden D – diametrli linzanyň görünýän jisim burçy $\Omega = 2\pi$ (cos α)-dyr. Bu ýerde α – gara şarjagazdan D – diametrli linzanyň görünme burçunyň ýarysydyr (*8.2-nji çyzgy*).



8.2-nji çyzgy

$$\cos\alpha = \frac{\ell}{x} = \frac{\ell}{\sqrt{\ell^2 + \dfrac{D^2}{4}}}$$

Linza düşýän ýylylyk akymy 2-nji şarjagazyň üstüne düşýär. Onda 2-nji şarjagazyň üstüne düşýän ýylylyk akymy

$$\frac{\sigma T_1^4}{4\pi} \cdot \left(1 - \frac{\ell}{\sqrt{\ell^2 + \dfrac{D^2}{4}}}\right) \text{ bolar.}$$

2-nji şarjagazyň ýitirýän ýylylyk akymy σT_2^4-ä deňdir. Deňagramlylyk ýagdaýda

$$\sigma T_2^4 = \frac{\sigma T_1^4}{4\pi} \cdot 2\pi \left(1 - \frac{\ell}{\sqrt{\ell^2 + \frac{D^2}{4}}} \right)$$ deňlik dogrudyr.

Bu ýerden

$$T_2 = T_1 \sqrt[4]{\frac{1}{2}\left(1 - \frac{\ell}{\ell^2 + D^2/4} \right)}$$ alnar.

Hasaplamalar

$T_2 \approx 1125\ K$ berýär.

19. Çeşmäniň λ_m-a degişli temperaturasyny Winiň kanunyndan tapalyň:

$T = \frac{b_1}{\lambda_m}$; ($b_1 = 2{,}89 \cdot 10^{-3}\ m \cdot K$).

Ýylylyk akymynyň dykyzlygy:

$$j = \frac{\sigma T^4 \cdot \pi D^2}{4\pi L^2}.$$

Bu ýerde $D^2 = \frac{4L^2 j}{\sigma T^4}$ we $D = \frac{2L}{T^2}\sqrt{\frac{j}{\sigma}} = \frac{2L\lambda_m^2}{b_1^2} \cdot \sqrt{\frac{j}{\sigma}}$.

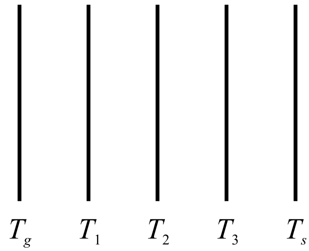
Hasaplamalar:

$$D = \frac{2 \cdot 1{,}3 \cdot 10^4 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 4 \cdot 10^{-20}}{\left(2{,}89 \cdot 10^{-3}\right)^2} \cdot \sqrt{\frac{10^{-11}}{5{,}67 \cdot 10^{-8}}}\ m =$$

$$= 1{,}178 \cdot 10^3\, km \cdot \sqrt{\frac{10^{-3}}{5{,}67}} \cdot = 15{,}5\ km$$

berýär.

20. Goý, T_g we T_S temperaturalary tekiz diwarlaryň arasynda 3 (üç) sany tekiz özara parallel ekranlar ýerleşdirilen bolsun. Olaryň



8.3-nji çyzgy

ýylylyk deňagramlylykda temperaturalary degişlilikde T_1, T_2, T_3 bolsun. Olar, absolýut gara jisimler diýip kabul edeliň (*8.3-nji çyzgy*).

Iki goňşy tekizlikleriň özara ýylylyk çalyşmasy diňe şöhlelenme arkaly bolup geçýär (wakuumda).

Onda T_g we T_1 temperaturaly tekizlikleriň goýberýän ýylylyk akymynyň dykyzlygy, Stefan-Bolsmanyň kanunyna laýyklykda

$$Q_{g1} = \sigma\left(T_g^4 - T_1^4\right).$$

Şuňa meňzeşlikde

$$Q_{12} = \sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right)$$

$$Q_{23} = \sigma\left(T_2^4 - T_3^4\right)$$

$$Q_{3S} = \sigma\left(T_3^4 - T_S^4\right)$$

ýazyp bolar.

Garalýan ýagdaýda

$Q_{g,1} = Q_{1,2} = Q_{2,3} = Q_{3,s} = Q$, onda ýokarky dört deňligi özara goşup alarys,

$$4Q = \sigma T_g^4 - \sigma T_1^4 + \sigma T_1^4 - \sigma T_2^4 + \sigma T_2^4 - \sigma T_3^4 + \sigma T_3^4 - \sigma T_S^4 =$$

$$= \sigma\left(T_g^4 - T_S^4\right).$$

Bilşimiz ýaly, $\sigma\left(T_g^4 - T_S^4\right)$ diwarlaryň arasynda ekranlar ýokga geçirilýän ýylylyk akymynyň dykyzlygydyr .

Diýmek, $4Q = Q_{g,s}$ we $Q = \dfrac{Q_{g,S}}{4}$ bolup, ulanylan üç sany ekran wakuumda şöhlelenme arkaly ýylylyk ýitgisini dört esse kiçeldýär ekeni.

1-nji tablisa. Dürli temperaturalarda wolframyň udel garşylygy (p) we garalyk derejesi (α_T).

T, K	$\boldsymbol{\alpha_T}$	$\boldsymbol{\rho}$ ***Om·m,*****10^4**
1000	0,115	25,7
1500	0,194	41,8
2000	0,260	59,1
2500	0,303	77,2
3000	0,334	96,2
3500	0,351	115,7

EDEBIÝAT

1. *Волькенштейн В.С.* Сборник задач по общему курсу физики. – Санкт-Петербург: Книжный мир, 2004.

2. *Гладкова Р.А., Добранравов В.Е., Жданов А.С.* Сборник задач и вопросов по физике. – М.: Наука, 1988.

3. *Иродов И.Е.* Задачи по общей физике. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001.

4. *Ландсберг Г.С.* Оптика – М.: Наука, 1985.

5. *Пинский А.А.* Задачи по общей физике. – М.: Наука, 1977.

6. *Сахаров Д.И.* Сборник задач по физике. – М.: Мир и образование, 2003.

7. Сборник задач по физике. Под.ред. *Р.И. Грабовского.*

8. *Чертов А., Воробьев А.А.* Задачник по физике. – М.: Высшая школа, 1991.

9. Задачи по физике. Учебное пособие. Под редакцией *О.Я. Савченко*. – 4-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2001.

10. Всероссийские олимпиады по физике. 1992-2004. Под ред. *С.М. Козела, В.П. Слободянина*. – 2-е изд., доп. – М.: Вербум, 2005.

11. Okuwçylar üçin olimpiadanyň web-saýty: http://www.mecme.ru/olimpiads/.

12. "Kwant" žurnalynyň internetdäki materiallary: http://kvant.mecme.ru/.

13. Сборник вопросов и задач по общей физике. Под редакцией *Е.М. Гершензона*. – AKADEMA, 2002.

14. *Сивухин Д.В*. Общий курс физики. Оптика. – М.: Наука, 1980.

MAZMUNY

V BAP. ÝAGTYLYGYŇ POLÝARLANMASY

VI BAP. ÝAGTYLYGYŇ DISPERSIÝASY WE SIŇDIRILMESI

VII BAP. KWANT OPTIKASYNYŇ ESASLARY

VIII BAP. ÝYLYLYK ŞÖHLELENMESI

Gurt Toýlyýew, Gylyçmämmet Orazow,
Aýsoltan Muhammetnyýazowa

FIZIKADAN MESELELER
OPTIKA

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw gollanmasy

Redaktor	*O. Abdyrahmanowa*
Surat redaktory	*T. Aslanowa*
Teh. redaktory	*T. Aslanowa*
Suratçy	*Ý. Peskowa*
Neşir üçin jogapkär	*A. Çaryýew*

Ýygnamaga berildi 10.01.2011. Çäp etmäge rugsat edildi 01.07.2011.
Möçberi 60x90 $^{1}/_{16}$. Ofset kagyzy. Edebi garnitura.
Ofset çap ediliş usuly. Çap listi 9,5. Hasap-neşir listi 7,524.
Neşir №33. Sargyt № Sany 500.

Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasynyň "Ylym" neşirýaty.
744000. Aşgabat, Türkmenbaşy şaýoly, 18.