

**Ózbekistan Respublikası Joqarı hám orta arnawlı bilim
ministrligi**

Berdaq atındaǵı Qaraqalpaq mámlekетlik universiteti

**OPTIKA HÁM ATOMLÍQ FIZIKA BOYÍNSHA
LABORATORIYALÍQ JUMÍSLAR**

**Joqarı oqıw orınlarınıń fizika qánigeliginiń studentleri
ushın arnalǵan oqıw-metodikalıq qollanba**

Nókis - 2016

Oqıw-metodikalıq qollanba ulywma fizika kursınıń optika hám atomlıq fizika bólimlerindegi fizikalıq praktikumda orınlanatuǵın laboratoriyalıq jumislardıń bayanlamalarınan hám bul jumislardı orınlaw ushın zárúrli bolǵan metodikalıq kórsetpelerden ibarat.

Qollanba hárekettegi mámlekетlik standartlar tiykarında dúzilgen bolıp, optika bólimine tiyisli 14, atomlıq fizika kursı boyınsha 9 jumıstı óz ishine aladı.

Oqıw-metodikalıq qollanba universitettiń fizika qánigeligi studentleri menen bir qatarda optika hám atomlıq fizika pánlerin úyreniwshi barlıq qánigeliklerdiń studentleri ushın da paydalı oqıw quralı bola aladı.

Dúziwshiler: B.Abdikamalov, J.Akimova, R.Xojanazarova, X.Turekeev.

Pikir bildiriwshiler:

Fizika-matematika ilimleriniń doktorı A.Kamalov.

Fizika-matematika ilimleriniń kandidatı docent U.Nasirov.

Oqıw-metodikalıq qollanba Berdaq atındaǵı Qaraqalpaq mámlekетlik universitetiniń ilimiý-metodikalıq keńesiniń 2016-jıl 18-may kúngi májilisinde maqullandı hám baspaǵa usınıldı. 6-sanlı protokol.

Mazmuni

I bólim. Optika.	4
1-laboratoriyalıq jumıs. Juqa linzaniń fokuslıq aralığın anıqlaw.	4
2-laboratoriyalıq jumıs. Optikalıq truba menen mikroskoptıń úlkeytiwin anıqlaw.	15
3-laboratoriyalıq jumıs. Shiyshe plastinkanıń sıniw kórsetkishin mikroskoptıń járdeminde ólshew.	27
4-laboratoriyalıq jumıs. Suyıqlıqtıń sıniw kórsetkishin Abbe refraktometrinıń járdeminde anıqlaw.	34
5-laboratoriyalıq jumıs. Koncentraciyası belgili bolǵan eritpeniń sıniw kórsetkishin paydalaniw arqalı eritpelerdiń koncentraciyasın ólshew.	46

6-laboratoriyalıq jumıs. Difrakciyalıq pánjereniń járdeminde jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵın aniqlaw.	50
7-laboratoriyalıq jumıs. Nyuton saqıynaları járdeminde jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵın ólshev.	56
8-laboratoriyalıq jumıs. Frenel biprizmasınıń járdeminde jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵın aniqlaw.	66
9-laboratoriyalıq jumıs. Plastinkaniń qalınlıǵın hám linzaniń iymeklik radiusın sferometrdiń járdeminde ólshev.	71
10-laboratoriyalıq jumıs. Prizmanı goniometrdiń járdeminde úyreniw.	75
11-laboratoriyalıq jumıs. Jaqtılıqtıń polyarizaciyasın úyreniw hám Malyus nızamın eksperimentte tekseriw.	85
12-laboratoriyalıq jumıs. Jaqtılıqtıń polyarizaciya tegisliginiń tábiyyiy túrde aylanıwı qubılısın úyreniw.	92
13-laboratoriyalıq jumıs. Optikalıq goniometrdiń járdeminde jıllılıq nurlanıwı nızamların úyreniw.	98
14-laboratoriyalıq jumıs. Polyarizaciyalıq mikroskoptıń járdeminde kristallooptikalıq qubılıslardı úyreniw.	105
II bólüm. Atom fizikası.	118
1-laboratoriyalıq jumıs. Fotonlar ushin anıqsızlıq qatnasları.	118
2-laboratoriyalıq jumıs. Vodorodtiń spektrin úyreniw.	122
3-laboratoriyalıq jumıs. Elektronniń salıstırmalı zaryadın aniqlaw.	127
4-laboratoriyalıq jumıs. Plank turaqlısın aniqlaw.	131
5-laboratoriyalıq jumıs. Frank hám Gerc tájiriybesi. Atomnıń kritikalıq potencialın tabıw.	135
6-laboratoriyalıq jumıs. Geliy-neonlı lazerdi úyreniw.	140
7-laboratoriyalıq jumıs. Yarım ótkizgishler arasındaǵı kontaktlıq potenciallar ayırmasın ólshev.	152
8-laboratoriyalıq jumıs. Rezerford tájiriybesi.	164
9-laboratoriyalıq jumıs. Bir ólshemli potencial shuqırdaǵı elektron. Paydalanylǵan ádebiyatlar dizimi.	172
	180

I bólím. Optika

1-laboratoriyalıq jumıs

Juqa linzaniń fokuslıq aralığın anıqlaw

Jumistiń maqseti payda etken súwretleri boyinsha juqa linzalardıń bas fokus aralığın anıqlawdan ibarat.

Linzalar haqqındaǵı tolıq türdegi maǵlıwmatlardi Internettegi [https://en.wikipedia.org/wiki/Lens_\(optics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lens_(optics)) saytınan oqıwǵa boladı.

Linza (nemisshe Linse, latin tilindegi lens sózinen kelip shıqqan sheshevica degen ósimliktiń atamasına sáykes keledi) zatlardıń súwretin payda etetuǵın eń ápiwayı optikalıq qural bolıp tabıldır. Sonlıqtan súwret payda etetuǵın barlıq dúzilislerdiń (lupalar, fotoapparatlar, mikroskoplar, teleskoplar, videokameralar hám taǵı basqalar) tiykarǵı bólimi linzalardan turadı.

Optikada obekttiń optikalıq súwreti túsinigi oǵada keń qollanıladı. Optikalıq súwret dep obektte shashıraǵan yamasa obekt tárepinen nurlandırılǵan jaqtılıq nurları optikalıq sistema arqalı ótkende alınatuǵın súwretke aytadı. Bunday súwret obekttiń konturları menen detalların jariqlıqtıń tarqalıwi túrinde payda etedi. Linzalar bolsa eń ápiwayı optikalıq sistemalar bolıp tabıldır.

Ámelde zárúrligine sáykes súwrettiń masshtabların jiyi türde ózgertedi hám onı qanday da bir betke proekciyalayıdı.

Súwrettiń obekt penen sáykes keliwi áhmiyetke iye. Bunday jaǵdayda obekttiń hár bir noqatı súwrettiń sol noqatqa juwıq türde bolsa da sáykes keliwi talap etiledi. Payda bolıwınıń geometriyasına qaray súwretti **haqıyqıy** hám **jormal súwret** dep ekige bóledi.

Qálegen noqattıń haqıyqıy súwreti sol noqattan shıqqan nurlardıń bir biri menen kesilisiwiniń saldarınan payda boladı. Bunday súwretti ekranda baqlawǵa yamasa fotoemulsiyada yaki fotomaticada registraciyalawdıń nátiyjesinde alıwǵa boladı.

Haqıyqıy súwretler obektiv (mısali kinoproektordıń fotoapparattıń obektivi) yamasa bir jiynawshı linzaniń járdeminde payda etiledi. Kópshilik jaǵdaylarda haqıyqıy súwretlerdi jiynawshı linzalardıń járdeminde aladı.

Qanday da bir noqattan shıqqan nurlar optikalıq sistema arqalı ótkennen keyin tarqalıwshı (shashırawshı) dásteni payda etetuǵın bolsa jormal súwret alınadı. Sol shashırawshı nurları qarama-qarsı tárepke qaray dawam etsek olar bir noqatta kesilisedi. Usınday noqatlardıń jiynaǵı jormal súwretti payda etedi. Bunday súwretti ekranda yamasa jaqtılıqtı sezgish bette baqlaw múmkin emes. Biraq onday súwretti basqa optikalıq sistemaniń (mısali jiynawshı linzanıń) járdeminde haqıyqıy súwretke aylandırıw (túrlendirıw) múmkin. Jormal súwretlerdi binokl, mikroskop, shashıratıwshı yamasa jiynawshı linza (lupa), tegis ayna sıyaqlı optikalıq sistemalardıń járdeminde payda etiw múmkin.

Kóphshilik jaǵdaylarda linzalar sferalıq betler menen shegaralanǵan móldir bir tekli zat bolıp tabıladi. Linzalardı soǵıw ushın ádette taza optikalıq materiallar paydalanılıdı (shiysheler, optikalıq shiysheler, kristallar, optikalıq jaqtan móldir plastmassalar, basqa da materiallar). Qalınlığı onı eki tárepten shegaralap turǵan sferalıq betlerdiń radiuslarından ádewir kishi bolǵan jaǵdayda linzanı juqa linza dep ataydı. Laboratoriyalıq jumıslardı orınlaganda ádette juqa linzalardı paydalanadı. Bunday jaǵdaylarda jaqtılıqtıń linzaniń materialındaǵı sıńıwı qubılısin úyrengende linzaniń qalınlığın esapqa alıw talap etilmeydi.

1-súwrette dóńes linzaniń fotosúwretleri keltirilgen.

2-súwrette dóńes (positive lens, bunday linzalardı jiynawshı linzalar, oń linzalar dep te ataydı) hám oyıs linzalardıń túrleri kórsetilgen. Bul súwretten qos dóńes, tegis-dóńes, oyıs-dóńes, qos oyıs, oyıs-tegis, oyıs-oyıs linzalardıń bar ekenligin kóriwge boladı.

3-a hám 3-b súwretlerde dóńes linzadaǵı bas optikalıq kósherge parallel baǵitta tarqalatuǵın jaqtılıq nurlarınıń jolları kórsetilgen. Bul súwrette d arqalı linzaniń qalınlığı, f arqalı fokuslıq aralığı, al R_1 menen R_2 arqalı linzanı payda etiwshi sferalıq betlerdiń radiusları belgilengen. Sonıń menen birge linzaniń bas optikalıq kóshere parallel bolǵan jaqtılıq dástesiniń linzaniń fokusunda jiynaytuǵınlığı kórinip tur.

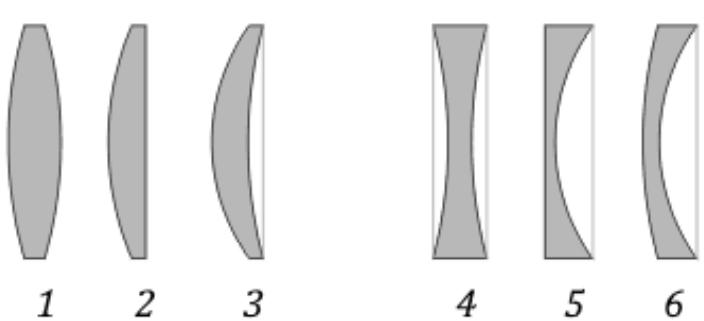
Radiusları R_1 menen R_2 shamalarına teń sferalardıń orayların tutastıratuǵın tuwrını linzaniń **bas optikalıq kósherı** dep ataydı. Optikalıq sistemada bas optikalıq kósher **simmetriya kósherı** bolıp tabıladi.

Oyıs linza (negative lens) sxema túrinde 4-súwrette kórsetilgen. Bunday linzalardı kóphshilik jaǵdaylarda shashıratiwshı linzalar yamasa teris (negative) linzalar dep te ataydı.

Eskertiw: jaqtılıqtıń tegis emes bettegi shashıraw qubılısı menen linzaniń shashıratiwı arasında úlken ayırmayıń bir ekenligin ańǵarıwımız kerek.



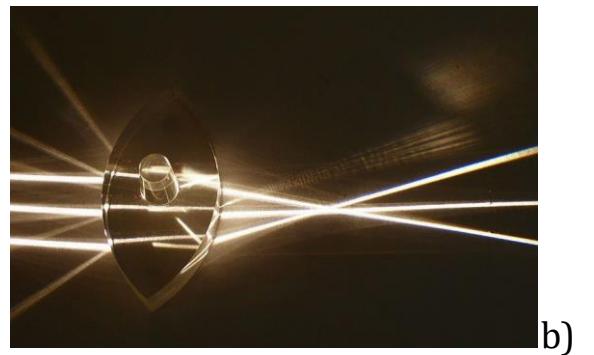
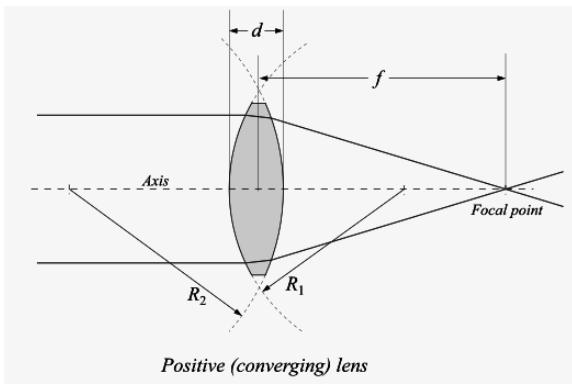
1-súwret. Qos dóńes linza.



2-súwret. Linzalardıń túrleri.

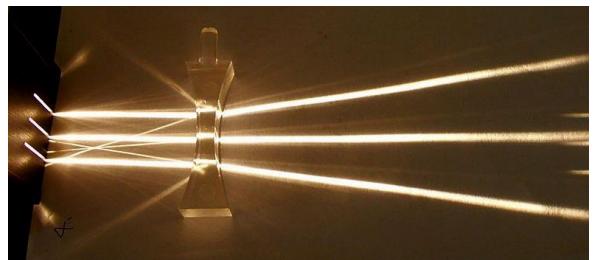
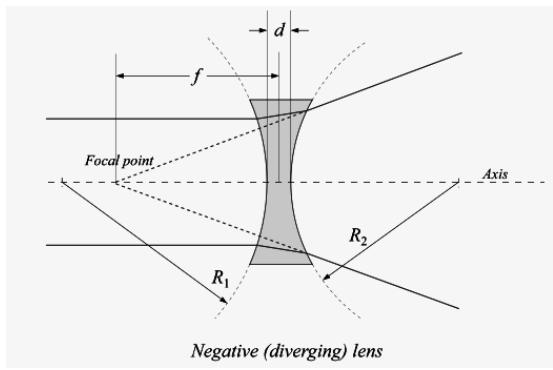
Jiynawshı linzalar: 1 – qos dóńes, 2 – tegis-dóńes, 3 – oyıs-dóńes.

Shashıratiwshı linzalar: 4 – qos oyıs, 5 – oyıs-tegis, 6 – oyıs-oyıs.



a)

3-súwret. Dóńes linza hám ondaǵı bas optikalıq kósherge parallel bolǵan jaqtılıq dástesiniń joli. b). Dóńes linzaniń jaqtılıqtı jiynaytuǵınlıǵın kórsetetuǵın fotosúwret.



a)

4-súwret. a) Oyıs linza hám ondaǵı bas optikalıq kósherge parallel bolǵan jaqtılıq dástesiniń joli. b). Oyıs linzaniń jaqtılıqtı shashıratatuǵınlıǵın kórsetetuǵın fotosúwret.

Biz joqarında linzaniń súwretti payda etetuǵın optikalıq qural ekenligin atap ótken edik. Usı jaǵdayǵa baylanıslı bir qatar belgilewler kabil etemiz:

d_1 - súwreti payda etiletuǵın obekttiń beti menen linzaǵa shekemgi (linzaniń orayına shekemgi) qashiqlıq;

d_2 - payda bolǵan súwret penen linzaǵa shekemgi qashiqlıq;

f - linzaniń fokuslıq aralığı (qashiqlığı).

Bul shamalardı bir biri menen baylanıstıratuǵın matematikalıq ańlatpanı **linzaniń formulası** dep ataydı hám onı bileyinsha jazamız:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{f}. \quad (1)$$

Linzaniń fokus aralığı onı qorshap turǵan sferalıq betlerdiń radiuslarından, linza soǵılǵan materialdiń hám qorshap turǵan ortalıqtıń sıniw kórsetkishlerinen górezli hám

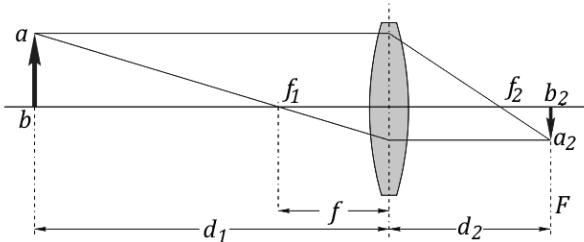
$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n'} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad (2)$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı. Bul formulada R_1 menen R_2 ler sferalıq betlerdiń radiusları, al n menen n' lar arqalı sáykes linzaniń materialınıń hám ortalıqtıń siniw kórsetkishleri belgilengen.

Bul formuladan qızıqlı nátiyjelerdi shígara alamız. Misalı $f = 5$ sm, al $d_2 = 10$ sm bolsa, $d_1 = 10$ sm nátiyjesin alamız. Bunday jaǵdayda linzadan obektke shekemgi hám linzadan súwretke shekemgi qashiqlıqlar birdey (súwretlerdiń úlkenligi de birdey) boladı.

Linzaniń **fokallıq tegisligi** túsinigi keńnen qollanıladı. **Fokallıq tegislik** dep aldińǵı yamasa artqı fokus arqalı bas optikalıq kósherge perpendikulyar tegislikke aytadı. Kino-, foto- hám videotexnikada artqı fokallıq tegislikte fotomateril yamasa fotomatrica jaylasqan boladı.

Linzaniń formulasın kórgizbeli türde túsinidiretuǵın sxema 5-súwrette keltirilgen.



5-súwret.

Linzaniń formulasın kórgizbeli türde túsinidiriw ushın arnalǵan sxema.

Linzaniń járdeminde obektiń súwretin payda etiw ushın ádette mınaday jaǵdaylar esapqa alınadı (5-súwret):

a). Obektten shıqqan hám linzaniń bas optikalıq kósherine parallel tarqalatuǵın nurdiń linzaniń fokusu arqalı ótetuǵınlığı;

b). Obektten shıqqan hám linzaniń orayı arqalı ótetuǵın nurdiń linza arqalı tuwrı ótetuǵınlığı.

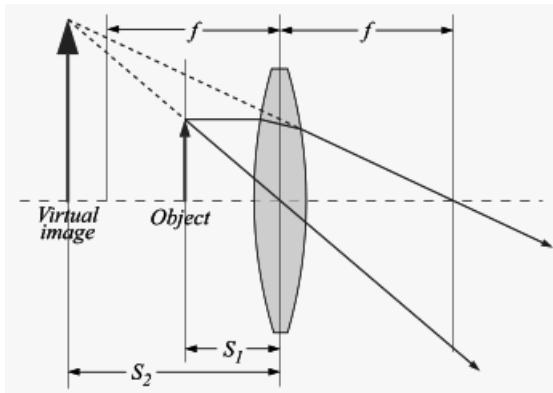
Demek linzadan d_1 qashiqlıqta turǵan ab strelkasınıń súwreti linzaniń ekinshi tárepinde tóńkerilgen $a_1 b_1$ strelkası türinde payda boladı eken. Bunday súwretti ádette haqıyqıy súwret dep ataydı. Biraq obekt penen linza arasındaǵı qashiqlıqlardıń hár qıylı boliwına baylanıslı hár qıylı nátiyjelerge iye bolamız. Usı jaǵdayǵa baylanıslı dara jaǵdaylardı qarap ótemiz.

Birinshi jaǵday: Súwreti payda etiletuǵın obekt penen linza arasındaǵı qashiqliq d_1 linzaniń fokuslıq qashiqliğı f ten kishi (bul jaǵday ádette lupanı paydalanganda orın aladı hám obektiń úlkeytilgen súwreti kórinedi). Bunday jaǵdayda súwret obekt penen linzaniń aralığında payda boladı hám bunday súwretti **jormal súwret (virtual image)** dep ataydı (6-súwret).

Eskertiwlər:

a) Súwrettiń haqıyqıy yamasa jormal bolıwı haqqında maǵlıwmattı linzaniń formulasınan aliwǵa boladı [(1)-formula]. Eger f penen d_1 shamalarınıń oń mánislerinde teris mánisli d_2 qashiqliğı alınatuǵın bolsa, onda payda bolǵan

súwretti jormal súwret dep ataymız (obekttiń súwreti linzaniń obekt tárepinde payda boladı).



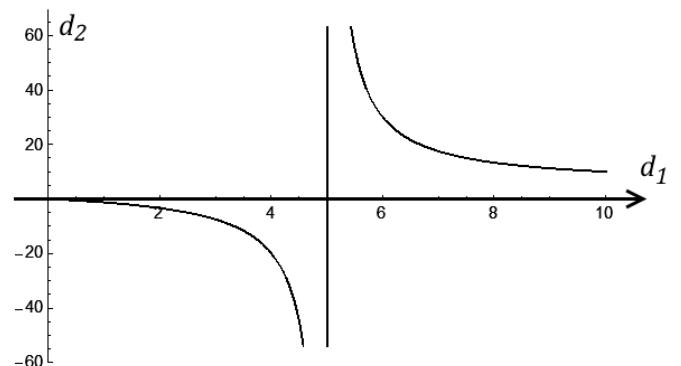
6-súwret.

$d_1 < f$ bolǵan jaǵdaydaǵı súwrettiń payda bolıw sxeması. Bul súwrette obektten linzaǵa hám linzadan obektke shekemgi qashıqlıqlar S_1 hám S_2 arqalı belgilengen.

b). Eger $d_1 = f$ shárti orınlanatuǵın bolsa, onda $1/d_2 = 0$ teńligine hám soǵan sáykes $d_1 = \infty$ ańlatpasına iye bolamız. Demek, $d_1 = f$ teńligi orınlanǵandalinza súwretti payda etpeydi (súwrettiń ornında jaqtılı daq payda boladı). Haqıyatında da linzaniń formulasınan d_1 hám d_2 shamaları arasındaǵı baylanıstı ańsat taba alamız. 1-formuladan $d_2(d_1) = \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{d_1}\right)^{-1}$ túrindegi ańlatpanı ala alamız. Bul ańlatpa boyınsha $d_1 \rightarrow f$ sheginde d_2 niń mánisiniń sheksizlikke umtilatuǵınlıǵı ańsat kóriwge boladı (7-súwret).

$$7\text{-súwret. } d_2(d_1) = \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{d_1}\right)^{-1}$$

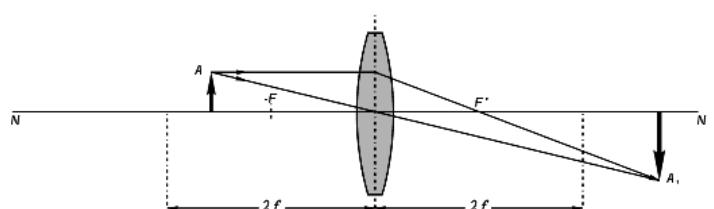
funkciyasınıń grafigi. Bul grafikte $f = 5$ sm. Haqıyatında da $d_1 \rightarrow 5$ sm sheginde $d_2 \rightarrow \infty$ sheginiń orın alatuǵınlıǵı kórinip tur.



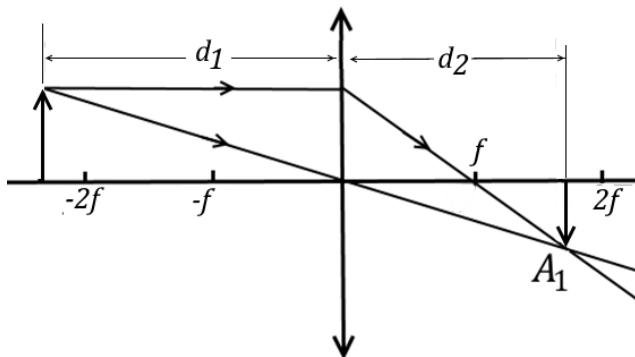
2. Eger obekt linzadan $f < d_1 < 2f$ qashıqlıqta jaylasqan jaǵdayda AB strelkasınıń súwreti linzaniń ekinshi tárepinde tóńkerilgen hám úlkeygen túrde payda boladı (A_1B_1 strelkasi). Bunday súwretti haqıqıy súwret dep ataymız. Linzaniń formulası boyınsha $d_2 > 2f$ teńsizligin alamız (8-súwret).

8-súwret.

$f < d_1 < 2f$ bolǵan jaǵdaydaǵı súwrettiń payda bolıw sxeması. Bul súwrette fokuslıq qashıqlıq F arqalı belgilengen.



3. Eger obekt linzadan $d_1 > 2f$ qashiqlıqta jaylasqan bolsa obektiń tóñkerilgen hám haqıqıy súwreti payda boladı. Ol linzadan f shamasınan úlken, biraq $2f$ shamasınan kishi qashiqlıqta jaylasadı (9-súwret).



9-súwret
 $d < 2f$ bolǵan jaǵdaydaǵı
súwrettiń payda bolıw sxeması

4. Oyıs (shashıratiwshı) linza haqıqıy súwretleniwdi payda etpeydi. Bunday jaǵdayda payda bolǵan súwretti jormal súwret dep ataymız.

Linzalardıń fokus aralıǵın ólshew ushın arnalǵan eń ápiwayı dúzilis súwreti alınatuǵın obekt xızmetin atqarıwshı metall strelkadan, jaqtılıq deregenen, optikalıq otırǵısh boyınsha jılıjytuǵın eki linzadan hám jılıjıtıw mümkin bolǵan ekrannan turadı.

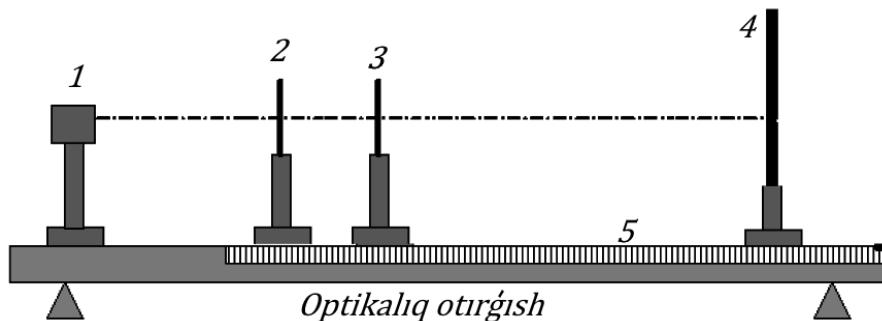
Tájiriybelerdi ótkeriw ushın arnalǵan eksperimentallıq dúzilstiń sxeması 10-súwrette berilgen.

Tiykarǵı másele ekranda deneniń súwretin payda etiw hám d_1 , d_2 qashiqlıqların sızǵısıstiń járdeminde ólshew bolıp tabıladı.

Ólshewler

Kerekli bolǵan ásbap hám úskenele: santimetrlerge bólingen bólimleri bar optikalıq otırǵısh, dene (obekt, bul jumısta strelka), jaqtılıq deregi, oyıs hám dóńes linzalar, jılıjytuǵın ekran, kóriw trubası, santimetrlı sızǵısh.

Dóńes linzaniń bas fokus aralığı tórt túrli usıldınıń járdeminde anıqlanadı.



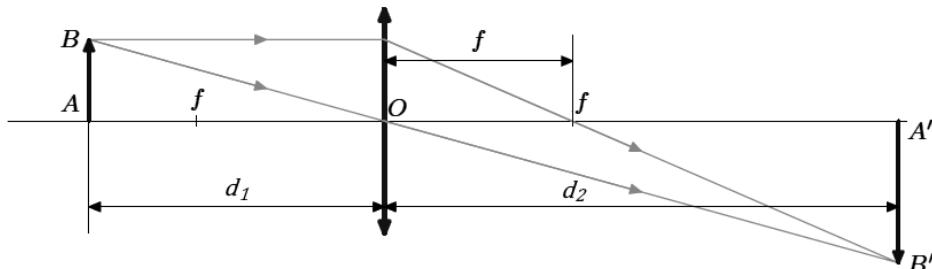
10-súwret. Tájiriybelerdi ótkeriw ushın arnalǵan eksperimentallıq dúzilstiń sxeması. 1 – ózinен jaqtılıq shıgaratuǵın obekt, 2 - hám 3- linzalar, 4 – súwretti baqlaw ushın arnalǵan ekran, 5 - sızǵısh.

1-shınıǵıw. Jynawshı linzaniń fokus aralığın ólshew

1-usıl. Dóńes linzaniń bas fokus aralığın d_1 hám d_2 shamaların ólshewdiń nátiyjeleri boyınscha anıqlaw

Deneden hám onıń súwretinen linzaǵa shekemgi qashıqlıqtı ólshew ushin (11-súwret):

1. Elektr jaqtırtqıshın jaǵıńız.
2. Optikalıq otırğıshqa dóńes linzaniń hám ekrandı jaylastırıńız.
3. Linzaniń yamasa ekrandı jılıjtıp deneniń (obekttiń) dál súwretin alıńız.



11-súwret. 1-tapsırmazı orınlaw ushin arnalǵan dúzilistiń optikalıq sxeması.

Linza menen obekt arasındaǵı d_1 qashıqlıqtıń keminde 3 túrli mánisleri ushin anıq súwretler alınadı hám sáykes d_2 shamaları ólshenedi. Linzaniń formulası boyınscha berilgen linza ushin fokuslıq qashıqlıqtıń shaması esaplanadı. Ólshewler sanı 3 ten kem bolmawı kerek hám alıńgan nátiyjeler boyınscha f tiń ortasha mánisi hám jiberilgen qátelerdiń mánisleri tabıladı.

Ólshew hám esaplawlar nátiyjelerin 1-kestege kirgiziledi.

1-keste

Nº	d_1	d_2	f_i	Δf_i	$(\Delta f_i)^2$
1					
2					
h.t.b					
X	X	X	f_{ort}	X	Σ

Jiberilgen qáteniń mánisin

$$\Delta f = t_{\alpha n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta f_i)^2}{n(n-1)}}$$

formulasınıń járdeminde esaplańız. Bul formulada $t_{\alpha n}$ arqalı Styudent koefficienti belgilengen. Eń aqırǵı nátiyjeni $f = f_{ort} \pm \Delta f$ sm túrinde esaplańız.

2-usıl. Linzaniń fokuslıq aralığın obektiń úlkenligi menen onıń súwretiniń úlkenligi hám súwret penen obekt arasındaǵı qashıqlıqtıń shaması boyınsha anıqlaw

Obektiń siziqlı ólshemin l , al onıń súwretiniń ólshemin L hám olardıń linzadan qashıqlıǵın sáykes a jáne b arqalı belgileyik. Bul shamalar arasında tómendegidey belgili qatnas bar:

$$\frac{l}{L} = b \frac{l}{L + l}.$$

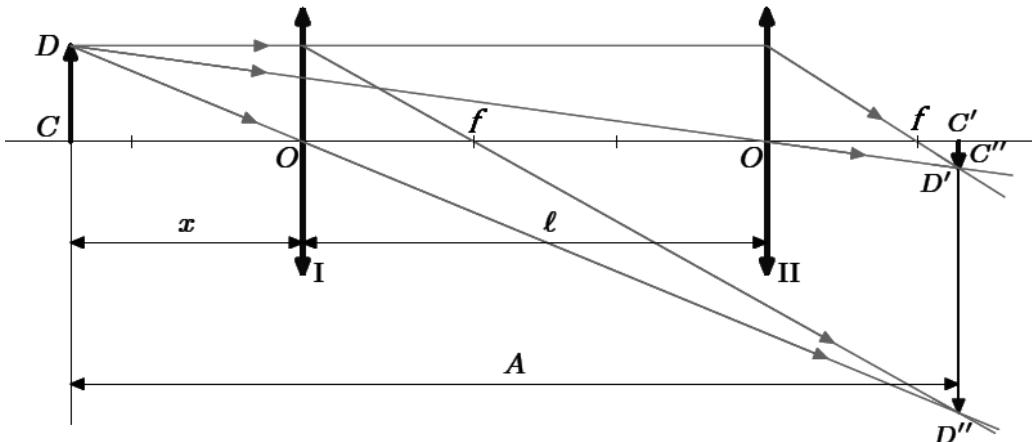
Bul ańlatpanıń járdeminde b shamasın anıqlap (bul shama obekt penen linza arasındaǵı qashıqlıq bolıp tabıldır) hám onı linzaniń formulasına qoysaq, onda f shamasın joqarıdaǵı úsh shama arqalı anıqlay alamız:

$$f = b \frac{l}{L + l}.$$

Ólshewler. Ekran menen obekt arasındaǵı qashıqlıqtı ekranda anıq hám úlkeytilgen súwret alınatuǵınday etip qoyıp aladı. Bunnan keyin linza menen ekrannıń orınlarınıń koordinataları jazıp alındı. Sızǵıstıń járdeminde ekrandaǵı súwretteń ólshemi ólshenedi. Bunnan keyin súwret penen linza arasındaǵı qashıqlıqtı ólshep $f = b \frac{l}{L + l}$ formulasınıń járdeminde linzaniń fokuslıq aralığı anıqlanadı. Ólshewler sanı keminde 3 ke teń boliwı shárt. Alınǵan nátiyjeler 1-kestedey bolǵan 3- kestege jazılıdı hám fokuslıq aralıqtıń mánisi, jiberilgen qáteliktiń shamasın anıqlanadı.

3-usıl. Linzanı jılıstırıwdıń shaması boyınsha fokus aralığın ólshew (Bessel usılı)

Eger jiynawshı linza ushın obekt penen ekran arasındaǵı qashıqlıq L tórt eselengen fokuslıq aralıqtan úlken bolsa (yaǵníy $L > 4f$ shártı orınlanaǵın bolsa), onda ekranda obektiń anıq súwreti payda bolatuǵın linzaniń keminde eki orı tabıldır (10-súwret). Bir jaǵdayda obektiń úlkeytilgen súwreti, al ekinshi jaǵdayda obektiń kishireytılgen anıq súwreti payda boladı.



12-súwret. Linzanı jılıstırıwdıń shaması boyınsha

fokus aralığın ólshew ushın arnalǵan optikalıq sxema.

Meyli linzaniń birinshi ornı menen predmetke shekemgi qashiqlıq X , linzaniń birinshi ornı menen ekinshi ornı arasında qashiqlıq ℓ bolsın. $A > 4f$ teńsizliginiń orın alatuǵınlıǵın itibarǵa alsaq linzaniń formulasınan tómendegidey ańlatpalardı keltirip shıǵarıw mumkin:

$$\text{Linzaniń 1-ornı ushın } f = \frac{(A-x)x}{A};$$

$$\text{Linzaniń 2-ornı ushın } f = \frac{(A-\ell-x)(x+\ell)}{A}.$$

Bul ańlatpalardıń oń táreplerin bir birine teńep

$$x = \frac{A - \ell}{2}$$

Bul ańlatpanı f ushın jazılǵan joqarıdaǵı eki ańlatpaǵa qoyıp eń aqırında

$$f = \frac{A^2 - \ell^2}{4A}$$

formulasına iye bolamız.

Ólshewler tómendegidey izbe-izlikte alıp barıladı:

Obekt penen ekran arasında qashiqlıqtı $A > 4f$ shártı orınlanaǵınday etip saylap alamız (f tiń mánisin 2-usıl boyınsha orınlanaǵan jumıstan alıw kerek). Dáslep obekttiń ekrandaǵı úlkeytilgen súwretin payda etemiz. Linzaniń usı awhalın belgilep alıp onı ekran tárepke jılıstıramız hám obekttiń anıq bolǵan kishi súwretin payda etemiz. Bul operaciya ℓ shamasınıń mánisin anıqlawǵa múmkınhılık beredi. Turaqlı A niń mánisinde tájiriybeni keminde úsh ret qaytalańız. Nátiyjelerdi tómendegi 2-sanlı kestege túsirińiz:

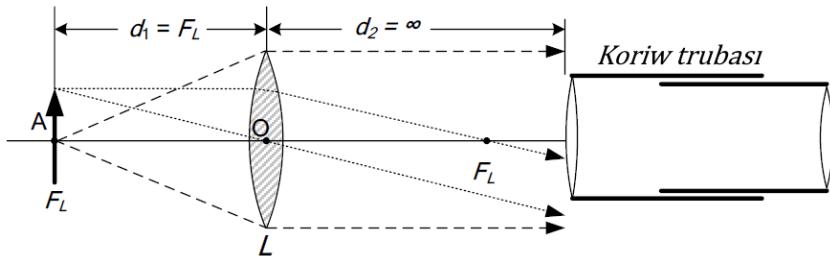
2-keste.

n	A_i	ℓ_i	f_i	Δf_i	$(\Delta f_i)^2$
1					
2					
h.t.b.					
X	X	X	f_{ort}	X	Σ

4-usıl. Kóriw trubası járdeminde dóńes linzaniń fokus aralığın ólshew

Tómendegidey tapsırmalardı orınlaw talap etiledi:

- 13-súwrette keltirilgen optikalıq sxemanı jiynap hám yustirovkalap, kóriw trubasın sheksizlikke tuwrılaw kerek ($d_2 = \infty$).
- Linzanı jılıtıw arqalı onı optikalıq trubada obekttiń súwreti anıq kórinetuǵınday jaǵdayǵa qoyıw kerek.
- Obekt penen linza arasında qashiqlıqtıń shaması ólshenedi. Bul shama linzaniń bas fokuslıq aralığı bolıp tabıladı. Alıngan maǵlıwmatlar tómendegi 3-sanlı kestege túsiriledi.



13-súwret. Jynawshi linzaniń fokus aralığın kóriw trubasınıń járdeminde anıqlawǵa mümkinshilik beretuǵın optikalıq sxema.

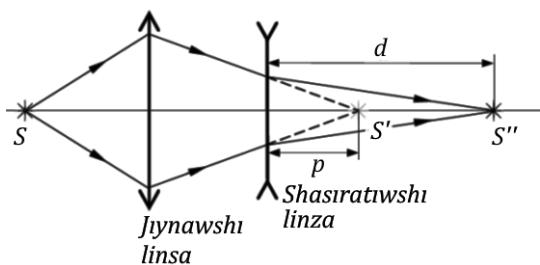
2-keste.

Ólshevlerdiń qatar sanı	Jynawshi linzaniń parametrleri (4-usıl)
	f, sm
1	
2	
h.t.b.	
Ortasha mánis	

2-shınıǵıw. Shashıratiwshı linzaniń fokus aralığın ólshev

Shashıratiwshı linzalar tek jormal súwretlerdi beredi. Olardı ekranda alıwǵa bolmaydı hám sonlıqtan linza menen súwret arasında qashiqlıqtı ólshevdiń mümkinshiliği bolmaydı. Usıǵan baylanıslı shashıratiwshı linzaniń fokusluq qashiqlıǵıń ekinshi jynawshi linzaniń paydalanıp ólshevwe boladı.

Jynawshi linzaniń járdeminde ekranda jaqtılıq dereginiń S' haqıyqıy súwretin alıp bolğannan keyin jynawshi linza menen ekran aralığına shashıratiwshı linzaniń jaylastırıwǵa boladı. Bunday jaǵdayda haqıyqıy súwret jılıjydi (14-súwret). Súwrettiń jańa ornın (onı S'' arqalı belgileymiz) ekrandı jilstırıw arqalı tabıwǵa boladı.



14-súwret.
Shashıratiwshı linzaniń fokus aralığın tabıw ushın dúzilistiń optikalıq sxeması.

Jaqtılıq nurlarınıń qaytimlıǵıń paydalanıp jaqtılıq nurların S'' noqatınań shıǵadı, al S' noqatında S'' noqatınıń súwreti (jormal súwret) alınadı dep qabil etiwge boladı.

S'' hám S' noqatlarından shashiratiwshı linzaǵa shekemgi qashiqliqlardı d hám p arqalı belgilep, S' noqatındaǵı súwrettiń jormal ekenligin esapqa alǵan halda juqa linzaniń formulasın jazamız:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} - \frac{1}{p}.$$

Bunnan linzaniń fokuslıq aralığı ushın

$$f = \frac{pd}{p-d}$$

formulasına iye bolamız. Álbette, shashiratiwshı linzaniń fokuslıq aralığı teris san bolıp shıǵadı.

Jumıslardı orınlaw hám ólshewlerdiń nátiyjelerin qayta islew

1. Jıynawshı linzaniń járdeminde jaqtılıq dereginiń haqıqıy súwretin alıńız.
2. Jıynawshı linza menen ekrannıń aralığına shashiratiwshı linzani ornalastırıńız hám ekran menen shashiratiwshı linza arasındaǵı qashiqliq p ni ólsheńiz.
3. Ekrandı shashiratiwshı linzadan qashiqlatıp ekranda jaqtılıq dereginiń jáne anıq súwretin alıńız. Ekran menen shashiratiwshı linza arasındaǵı qashiqliq d ni ólsheńiz.
4. Keyingi $f = \frac{pd}{p-d}$ formulasınıń járdeminde shashiratiwshı linzaniń fokuslıq aralığı f tiń mánisin esaplańız.
5. Ólshewler menen esaplawlardıń nátiyjelerin 4-kestege túsırińiz:

4-keste

Ólshengen shamalar			Esaplanǵan shamalar			
Nº	d, sm	f, sm	f, sm	f_{ort} , sm	Δf , sm	ε_f

6. Jaqtılıqtıń deregi menen jıynawshı linzaǵa shekemgi qashiqliqtı ózgertińiz.
7. 2-4 punktlerde kórsetilgen jumıslardı jáne de keminde 4 ret qaytalańız.
8. Fokuslıq aralıqtıń ortasha mánisin tabıńız.
9. Fokuslıq aralıqtı anıqlaǵandaǵı absolyut hám salıstırmalı qátelerdi bahalańız.
10. Tiyisli juwmaqlar shıǵarıńız.

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw ushın sorawlar

1. Linza degenimiz ne hám qanday linzalardı juqa linzalar dep ataydı?
2. Linzaniń formulasın keltirip shıǵarıńız.
3. Noqattıń, kólemlı obekttiń súwreti degenimiz ne? Haqıyqıy hám jormal súwretler arasında qanday ayırma bar?
4. Haqıyqıy súwretti qalay kóre alamız? Jormal súwretti she?
5. Shashıratiwshi linzani suwǵa baturǵan jaǵdayda onıń fokus aralığı ózgereme?
6. Jaqtı noqat shashıratiwshi linzaniń fokusunda tur. Usı noqattıń súwreti linzadan qanday aralıqta payda boladı? Nurlardıń jolin sızińız.
7. Linzaniń járdeminde ekranda elektr lamposhkasınıń haqıyqıy súwretleniwi alıńǵan. Eger linzaniń betiniń yarımın jawıp qoysaq súwret qanday ózgeriske ushıraydı?

Ádebiyat

1. Benjamin Crowell. Optics. Book 5 in the Light and Matter series of free introductory physics textbooks.
www.lightandmatter.com/lm.pdf
2. Г.С.Ландсберг. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. - 6-е изд., стереот. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 848 с.
<http://www.studentlibrary.ru/book/> ISBN9785922103145.htm.
3. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Учебное пособие. Для вузов. В 5 т. Тот IV. Оптика. 3-е издание. Издательство "ФИЗМАЛИТ". Москва. 2005. 792 с.
https://mipt.ru/dasr/upload/89a/f_3kf3p7-raphh81ii9w.pdf
<http://rgho.st/download/48302746/b7ce903fa62699dcfb60178ab548e0b7e0081db7/phys106.zip>

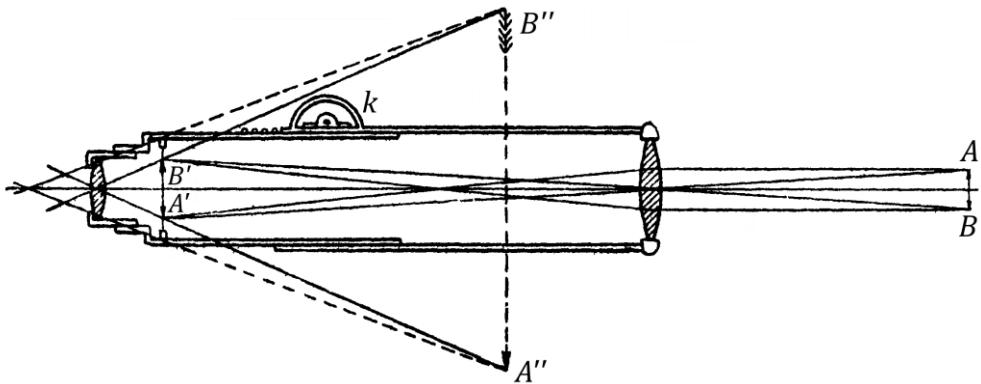
2-laboratoriyalıq jumıs

Optikalıq truba menen mikroskoptıń úlkeytiwin anıqlaw

Másele studentlerdi kóriw trubası menen mikroskoptıń úlkeytiwin anıqlawdıń hár qıylı usılları menen tanıstırıwdan ibarat.

Kirisıw

Optikalıq truba (kóriw trubası) hám mikroskop tiykarınan eki linzadan turatuǵıń optikalıq sistema bolıp tabıladı. Linzalardıń biri baqlanatuǵıń obektke qaray baǵıtlangan (onı obektiv dep ataydı) bolıp, ol 1-súwrettegi AB predmetiniń A'B' arqalı belgilengen haqıyqıy keri súwretin payda etedi.

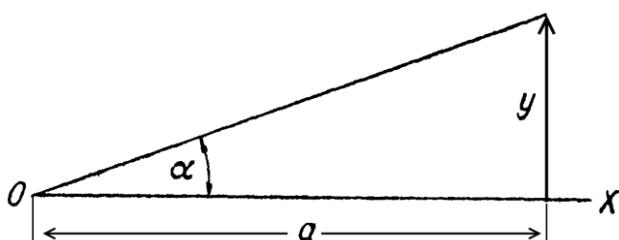


1-súwret. Obektivtiń AB predmetiniń haqıqıy (biraq keri) A'B' súwretin payda etetuǵınlıǵın túsindiretuǵın sxema.

Bul súwretóz gezeginde ekinshi linzaǵa (bunday linzanı okulyar dep ataydı) qatnasi boyınsha obekt bolıp tabıldır. Okulyar lupa sıpatında xızmet etip A'B' súwretine salıstırǵanda hám baqlawshı ushın anıq kóretuǵın qashiqlıqta A''B'' jormal súwretti payda etedi.

Júdá mayda obektlerdi kóriw ushın kishi qashiqlıqlarǵa mólsherlengen mikroskopıń obektivi qısqa fokuslıq aralıqqa iye boladı. Baqlanatuǵın obekt obektivtiń aldında fokuslıq aralıqtan úlkenirek qashiqlıqta jaylastırıldı. Usınıń nátiyjesinde A'B' súwreti ádewir úlkeygen boladı. Al salıstırmalı uzaq qashiqlıqlardaǵı obektlerdi baqlaw ushın mólsherlengen mikroskopıń obektiviniń fokuslıq aralığı úlken boladı (ádette obektivtiń fokuslıq aralığınıń eki eselengen mánisinen de úlken). Sonlıqtan onıń beretuǵın A'B' súwreti kishirek boladı.

Optikalıq sistema beretuǵın úlkeytiwdiń xarakteristikası ushın kóriniw mýyeshi túsiniği qollanıladı.



2-súwret.
Kóriniw mýyeshiniń fizikalıq
mánisin túsindiriwge arnalǵan
sxema.

O noqatında jaylasqan kóz OX kósherine perpendikulyar bolǵan y obektin kórgende kózden obekttiń bası menen ushına qaray baǵıtlanǵan tuwrılar arasındaǵı payda bolatuǵın mýyeshi kóriw mýyeshi dep ataydı (2-súwret). Ilimniń bir qatar tarawlarında (ásirese astronomiyada) kóriw mýyeshin obekttiń mýyeshlik ólshemi dep te ataydı.

α mýyeshiniń mánisin $\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{a}$ qatnasińiń járdeminde anıqlaw kerek. Bul ańlatpada a arqalı kóz benen obekt arasındaǵı qashiqlıq belgilengen.

Optikalıq sistemanıń járdeminde baqlanǵanda obekttiń kóriniw mýyeshiniń mánisi α_1 ge, al optikalıq sistemanı paydalambay kóz benen

qaraǵanda obekttiń kóriniw mýyeshiniń mánisi α2 ge teń bolsın. Bunday jaǵdayda $\frac{t g \alpha_1}{t g \alpha_2}$ qatnasın sistemaniń mýyeshlik úlkeytiwi dep ataydı. Tómende optikalıq truba menen mikroskoptıń mýyeshlik úlkeytiwi haqqında gáp etiledi.

Biz optikalıq ásbaptı fokusirovkalaw, yaǵníy súwretti anıq kórinetuǵınday etip qoyıw isi menen jiyi shuǵllanamız. Bul operaciyanı ámelge asırıw ushın obektiv penen okulyar arasındaǵı qashiqliqtı ózgertiw (bul optikalıq trubada orın aladı) yamasa ásbaptı tutası menen obektke salıstırǵanda jılıjitiw (mikroskop) joli menen ámelge asırıladı. Eki operaciya da kremalera dep atalatuǵın (1-súwrette k arqalı belgilengen) dúziliſtiń járdeminde ámelge asırıladı.

Ólshewler ushın optikalıq qurallardı paydalaniwdıń hár qıylı usılları bar. Olardıń ishindegi eń ápiwayısında baqlanatuǵın obekt qasına qoyılǵan shkala menen mikroskop yamasa kóriw trubası arqalı birgelikte baqlanadı. Bunday jaǵdayda obekt te, shkala da birdey shamaǵa úlkeytiledi hám sonlıqtan eń dál ólshew procedurası orınlanaǵı. Bunday ólshewlerge termometrđiń kórsetiwin kóriw trubasınıń járdeminde ólshew kiredi.

Ólshew ásbaplarınıń biri sıpatında kóriw trubası menen mikroskop basqasharaq türde qollanıladı. Bul jaǵdayda okulyarlarǵa esaplaw ushın arnalǵan atanaq ornatılaǵı. Atanaq okulyardıń fokallıq tegisligindegi shiyshe plastinkaǵa bir birine perpendikulyar sızılǵan jińishke eki sızıqtan turadı. Optikalıq ásbaptı orınan jılıjitiw barısında (yaǵníy mikroskoptı yamasa kóriw trubasın) obekttiń súwretiniń qálegen noqatın atanaqtı payda etiwshi sızıqlardıń kesilisken noqatına alıp kelip qoyıw mûmkin. Bunday jılıjılwırdıń shamasın sáykes shkala boyınsha ólshep obekttiń qálegen noqatları arasındaǵı qashiqliqtı ólshew mûmkin.

Kóphsilik jaǵdaylarda kóriw trubası menen mikroskopqa okulyarlıq mikrometr dep atalatuǵın mikrometr ornatılaǵı. Bunday jaǵdayda optikalıq sistema úlken emes qashiqliqlardı ólshew mûmkinshiligine iye boladı. Okulyarlıq mikrometr millimetrlık bólimlerge iye tegis shiyshe plastinkadan turadı. Hár bir millimetrlık bólim san menen belgilengen hám 10 bólimge bóligen. Bunday mikrometr ádette okulyardıń fokallıq tegisligine sáykes keliwshi diafragmaniń tegisliginde jılısatuǵın boladı. Usı tegislikke obektiv tárepinen payda etiletuǵın súwret proekciyalanadı.

Obekttegi shamanı ólshew ushın mikrometrđiń bólimleriniń bahaların, yaǵníy mikrometrđiń bir birine jaqın jaylasqan eki shtrixı (sızıǵı) arasındaǵı qashiqliqtı hám ásbaptıń obektivi beretuǵın úlkeytiwđiń shamasın biliw kerek. Biraq, eger kóriw trubası yamasa mikroskop beretuǵın úlkeytiw ózgerissiz qalatuǵın bolsa, onda obektiv tárepinen beriletuǵın úlkeytiwđi esapqa alǵan halda mikrometrđiń bólimleriniń effektivlik bahasın tabıw maqsetke muwapiq keledi. Bunday effektivlik bahanı bileyinsha anıqlaydı: ásbap onıń kósherine qatań türde perpendikulyar qoyılǵan bólimleriniń bahası belgili *l* shamasına teń bolǵan shkalagaǵa qaratılaǵı. Shkalanıń baqlanatuǵın obekt turatuǵın orında jaylasqan bolıwı shárt. Shkalanıń qanday da eki sızıǵı arasındaǵı qashiqliqtay

sızıqlı ólshemge iye mikrometrdiń eki sizığın tabadı. Meyli usı bólimler arasında mikrometrdiń n bólimi hám shkalaniń m bólimi jaylasqan bolsın. Bunday jaǵdayda $nl' = ml$ teńligi orınlanadı dep tastiyıqlaw múmkin. Usıǵan sáykes mikrometrdiń bóliminiń bahası

$$l' = \frac{m}{n} l$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı. Ásbaptı basqa sharayatlarda paydalanganda mikrometrdiń bóliminiń bahasın qaytadan tabadı yamasa ásbaptıń obektivi tárepinen beriletugın úlkeytiw esapqa alındı.

Okulyarlıq mikrometrge iye ásbaplardı paydalanganda obekttiń súwretin kórmesten burın okulyardıń kóz linzasın jılıstırıp ásbaptıń ishinde qozǵalmaytuǵınday etip ornalastırılgan mikrometrdiń ózin kórip alıw kerek.

Vintlik okulyarlıq mikrometrde kóz linzaniń fokallıq tegisliginde shiyshe plastinkaǵa túsirlgen eki sizıqtıń qıya kesilisiwine iye úlken emes ramka jaylasqan boladı. Ol kóriw maydanında mikrometrlik vintke iye barabanniń járdeminde jılıstırıladı. Ádette barabanniń tolıq bir aylanıwı atanaqtıń orayınıń 1 mm ge jılıjıwına sáykes keledi. Bunday jaǵdayda atanaqtıń orın almastırıwın 0,01 mm ge shekemgi dállikte anıqlaw múmkinshılıgi payda boladı. Álbette, bul mikrometr menen ólshewler ótkergende de obekttiń súwretiniń obektiv tárepinen mikrometrdiń atanaǵınıń tegisligine qanday úlkeytiw menen proekciyalanatuǵınlıǵıń biliw kerek (vintlik mikrometrdi mikroskop penen qalay paydalaniwdıń jolları haqqında usı máseleniń aqırǵı shınıǵıwında gáp etiledi)

1-shınıǵıw

Optikalıq trubanıń úlkeytiwin anıqlaw

Bul máselede optikalıq trubanıń úlkeytiwin anıqlaw eki usıldırıń járdeminde ámelge asırıladı.

Biz baqlanatuǵın obekt hám baqlanatuǵın predmet túsiniklerin birdey mániste qollanamız.

Birinshi usıl. Meyli O arqalı belgilengen kózden d_0 qashiqlıǵında turǵan uzınlığı l_0 ge teń predmet bar bolsın (3-súwret). l arqalı O kózden d qashiqlıǵında turǵan truba arqalı kórinetuǵın súwrettiń sizıqlı ólshemin belgileyik. α_0 menen menen α shamaları kóriw mýyeshlerine sáykes keletugın bolsın.

Anıqlaması boyınsha úlkeytiw

$$D = \frac{tg\alpha}{tg\alpha_0} = \frac{l}{d} : \frac{l_0}{d_0} = \frac{ld_0}{l_0 d}$$

shamasına teń boladı. l súwretiniń proekciyasın orayı O noqatındaǵı oraylıq proekciyanıń járdeminde predmettiń tegisligine túsireyik (súwrettiń barlıq

noqatlarınıń baqlawshınıń kózi menen baylanıstıratuǵın tuwrınıń boyınsha jaylasıwı ushın). Usınday etip proekciyası túsirilgen súwret L awhalın aladı. Bul proekciya kórinetuǵın kóriw mýyeshiniń shaması α ǵa, al onnan kózge shekemgi qashıqlıq d_0 shamasına teń boladı. Bunday jaǵdayda úlkeytiw

$$D' = \frac{tg\alpha}{tg\alpha_0} = D = \frac{L}{l_0}$$

formulasınıń járdeminde aniqlanadi.

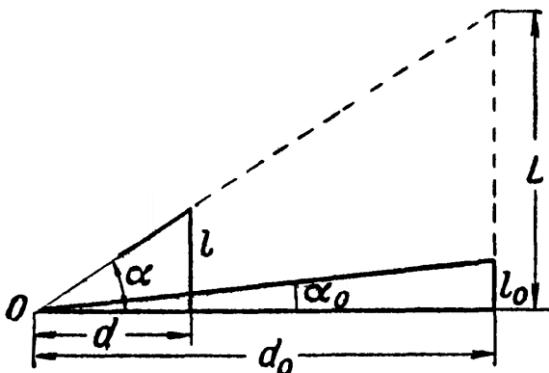
Eger biz baqlap atırǵan predmettiń ózi bólminiń bahası l_0 ge teń shkala bolıp tabılatuǵın bolsa, onda onıń súwretin sol shkalaǵa proekcyalap bólminiń bahası L ge teń súwretti alamız. Sonıń menen birge $L > l_0$. Eger endi predmettiń n bólimi hám súwrettiń N bólimi jaylasatuǵın kesindini saylap alsaq (biz qarap atırǵan jaǵdayda n menen N ler pútin sanlar hám $n > N$), onda $nl_0 = NL$ teńligin jaza alamız hám

$$D = \frac{L}{l_0} = \frac{n}{N} \quad (1)$$

formulasına iye bolamız. Eger predmet 3-súwrette kórsetilgendey emes, al ásbaptıń kósherin kesip ótetüǵın bolsa, onda (1)-formula ózgeriske ushıramaydı. Sáykes geometriyalıq sxemanı sizip usı gáptiń durıs ekenlige iseniwge boladı.

Ólshewler. Birinshi usıl. Kóriw trubasın bir neshe metr qashıqlıqta ornatılǵan sizgishtiń bólmlerin anıq türde kórinetuǵınday etip ornalastırıdı. Bunnan keyin bir kóz benen truba arqalı sizgishtiń súwretine, al ekinshi kóz benen tuwrıdan-tuwrı sizgishtiń ózine qaraw kerek. Kóriw trubasın qurallanbaǵan kóz benen kórinip turǵan sizgishtiń ústine truba arqalı kórinip turǵan súwrettiń ústine túsetuǵınday etip ornalastırıdı. Usınıń nátiyjesinde sizgishtiń shkalasınıń n bólminiń ishinde truba arqalı kórinetuǵın neshe dana N bólmiń jaylasatuǵınlığı esaplanadı. Úlkeytiwdiń mánisin (1)-formulaniń járdeminde aniqlanadi.

Ekinshi usıl. Optikalıq trubanıń úlkeytiwi menen onıń quramındaǵı linzalardıń fokuslıq aralıqları arasında $D = \frac{f_1}{f_2}$ túrindegi qatnastiń bar ekenligi belgili. Bul formulada f_1 arqalı obektivtiń hám f_2 arqalı okulyardiń bas fokuslıq aralıqları belgilengen. Sonıń menen birge sheksizlikke tuwrılanǵan (yaǵnıy alıstaǵı jaylarǵa yamasa tereklerge tuwrılanǵan) trubanıń uzınlığı L di $f_2 + f_1$ qosındısına teń dep esaplawǵa boladı.



3-súwret.
Kóriw trubasınıń úlkeytiwin anıqlaw
boyınsha ótkeriletuǵın tájiriybeniń
sxeması.

Eger aldın ala sheksizlikke tuwrılanǵan trubanıń obektivin alıp taslap, onıń ornına uzınlığı L ge teń predmetti ornalastırısaq (bunday predmet sıpatında kesilgen kesimge iye diafragma xızmet ete aladı), onda okulyardıń ekinshi tárepinde onnan b qashiqlığında sol predmettiń okulyar tárepinen payda etilgen haqıqıy súwreti payda boladı.

Linzaniń úlkeytiw formulasınan

$$\frac{L}{l} = \frac{f_2 + f_1}{b} \quad (2)$$

ańlatpasın alamız. Sonıń menen birge

$$\frac{1}{f_2 + f_1} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f_2}. \quad (3)$$

(2) menen (3) ten b shamasın joq etsek

$$\frac{L}{l} = \frac{f_1}{f_2}. \quad (4)$$

ańlatpasına iye bolamız.

Ólshewler. Kóriw trubasın sheksizlikke tuwrılaymız. Bul operaciyani orınlaw ushın trubanıń járdeminde alıstaǵı jaylardı yamasa basqa da úlken predmetlerdi anıq kórinetuǵınday halǵa qoyıw kerek.

Trubanıń obektivi ornınan alınadı hám onıń ornına romb túrinde kesilgen kesimi bar diafragmanı ornalastırıdı. Bunnan keyin trubanı qanday da bir jaqtılındırılǵan obektke qaratadı (mısالı birinshi usılda paydalanılǵan shkalaǵa qaratiwǵa boladı).

Shtativke bekitilgen lupanı mikrometrdiń shkalası anıq kórinetuǵınday etip fokuslaydı. Bunnan keyin lupanı trubanıń okulyarına jaqınlatıp mikrometrdiń shkalasında rombaniń súwreti anıq kórinetuǵınday etip qoyıladı. Rombaniń diagonalında mikrometrdiń neshe bóliminiń jaylasatuǵınlıǵı anıqlanadı. Sızǵısh yamasa shtangen-cirkuldiń járdeminde diafragmaǵı rombaniń diagonalınıń uzınlığı aldın-ala anıqlanǵan bolıwı kerek.

Eger rombanıń diagonallarınıń uzınlığı L_1 menen L_2 , al mikrometrdiń járdeminde ólshengen olardıń súwrettegi uzınlıqları sáykes l_1 menen l_2 shamalarına teń bolsa, onda trubanıń úlkeytiwi

$$D = \frac{\frac{L_1}{l_1} + \frac{L_2}{l_2}}{2}$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı.

2-shınıǵıw

Optikalıq trubanıń kóriniw maydanın tabıw

Kóriw trubasınıń kóriniw maydanın anıqlaw ushın onı diywalǵa ildirilip qoyılǵan bólimaleri bar sızǵıshqa fokuslaydı hám trubanıń neshe bólimdi kóretuǵınlıǵıń sanaydı. Bunnan keyin ruletkaniń járdeminde trubanıń obektivi menen sızǵısh arasındaǵı qashıqlıqtı ólsheydi.

Truba arqalı kórinetuǵın sızǵıshtiń bólimaleriniń sanı n , al ruletka menen ólshengen trubadan sızǵıshqa shekemgi qashıqlıq L bolsın. Bunday jaǵdayda optikalıq trubanıń kóriw maydanı graduslarda

$$a = 57,3 \frac{n}{N}$$

formulasınıń járdeminde anıqlanadı.

3-shınıǵıw. Mikroskoptıń úlkeytiwin anıqlaw

Ásbaptıń táriyipi. Eń ápiwayı mikroskoptıń dúzilisinde eki tiykarǵı bólimdi atap kórsetiwge boladı. Bul bólimaler mexanikalıq hám optikalıq bólimaler dep ataladı (4-súwret).

Mikroskoptıń mexanikalıq bólimi tiykarınan shtativten turadı. Shtativke mikroskoptıń basqa da bólimaleri bekitiledi (predmet qoyılatuǵın tekshe, tubus hám basqalar).

Mikroskoptıń optikalıq sisteması obektiv hám okulyar bolǵan tiykarǵı elementlerden turadı. Olar jılıjytuǵın tubusqa bekitilgen.

Házirgi zaman mikroskoplarında jaqtılandırıwshı sistema bar boladı (mısali irislik diafragmaǵa iye kondensor). 4-súwrettegi mikroskopta jaqtılandırıwshı sistema tek F aynasınan turadı.

Mikroskoptıń shtativi massalı tiykarǵa iye bolıp, ol oǵan zárúrli bolǵan ornıqlılıqtı beredi.

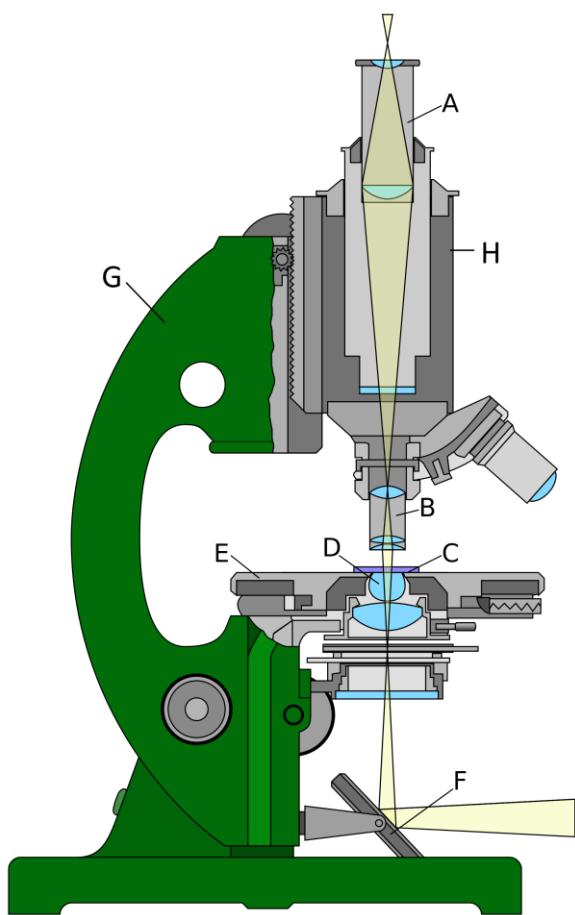
Predmet qoyılatuǵın tekshe kóphilik jaǵdaylarda dójgelek formaǵa iye bolıp izertleniwsı predmetti uslap turiw ushın xızmet etedi. Onıń joqarǵı tegisliginde eki tesik bolıp, olarǵa predmetti tekshege qısıp uslap turatuǵın

shtifler bekitiledi. Usınday ilajlardıń saldarınan baqlawlar waqtında izertleniwhi predmet qozǵalmaytuǵınday halda turadı.

Teksheniń astında ózgermeli diafragma ornalastırılgan boladı. Ol súwreti baqlanıp atırǵan obektke kelip túsip atırǵan jaqtılıqtıń intensivligin ózgertiw ushın arnalǵan.

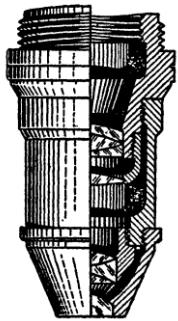
Mikroskoptıń tubusı cilindr tárizli metall (kópshilik jaǵdayda polat) truba túrinde soǵıladı hám onıń uzınlığı qaptalında jaylastırılgan shkala boyınsha ózgertiliwi múmkin.

Tubus ádette eki túrli vinttiń járdeminde qozǵaltıladi. Birinshi vinttiń járdeminde tubustıń úlken aralıqlarǵa qozǵaltılıwi múmkin. Ekinshi vint mikrometrik vint bolıp, onıń járdeminde tubus kishi aralıqlarǵa áste-aqırınlıq penen jılıstırıladı.

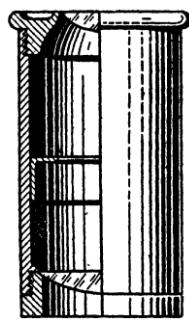


4-súwret.
Optikalıq mikroskoptıń dúzilisi.
A - okulyar,
B - obektiv,
C - obekt (predmet),
D - kondensor,
E - predmet qoyılatuǵın tekshe,
F - ayna,
G - shtativ,
H - tubus.

Obektiv (5-súwret) mikroskoptıń eń áhmiyetli bólimi bolıp tabıladı. Ol bir qasnaqqa jiynalǵan linzalardıń sistemасынан turadı. Frotnallıq linza dep atalatuǵın aldińǵı linza eń baslı linza bolıp tabıladı. Ol súwretti úlkeytedi. Ol qalǵan linzalar frontallıq linzanıń kemshiliklerin saplastırıw ushın xızmet etedi.



5-súwret. Obektiv.



6-súwret. Okulyar.

Okulyar (6-súwret) quramalı lupa bolıp tabıldadı. Ádette ol eki linzadan turadı: joqarǵı linzanı (baqlawshınıń kózi tárepindegi linzanı) kóz linzası dep ataydı. Tómengi linzanı jiynawshı linza dep ataydı. Olar bir birinen fokuslıq aralıqlarınıń qosındısınıń yarıımına teń qashıqlıqta jaylastırıladı. Eki linza da bir metall cilinderde ornalastırılğan bolıp, bul cilindr tubustıń joqarǵı tesiginde ornalastırıladı.

Obektivler de, okulyarlar da ózleriniń úlkeytiwi boyinsha nomerlenedi.

Mikroskoptıń teoriyası. Nurlardıń joli.

Lampadan shıqqan jaqtılıq nurları S aynasına kelip túsedı hám sol aynada shaǵılısıp I diafragmasınıń sańlaǵı arqalı K kondensorına, al onnan shıqqan jiynaliwshı dáste tegis parallel shiyshe plastinkaniń ústinde turǵan obektke kelip túsedı. Obekt obektivtiń astında hám kondensordıń fokusında jaylastırılğan bolıwı kerek. Obektiv arqalı ótip nurlar jiynaliwshı dáste túrinde okulyarǵa kelip jetedi hám obekttiń tegisligine túyinles bolǵan L_1 tegisliginde $N_1 M_1$ haqıqıy keri súwretti payda etiwi kerek. Biraq sol dásteniń jolında okulyar jaylastırılğan bolǵanlıqtan onda dásteler sınip obektivke biraz jaqın bolǵan L_2 tegisliginde $N_2 M_2$ súwretin beredi.

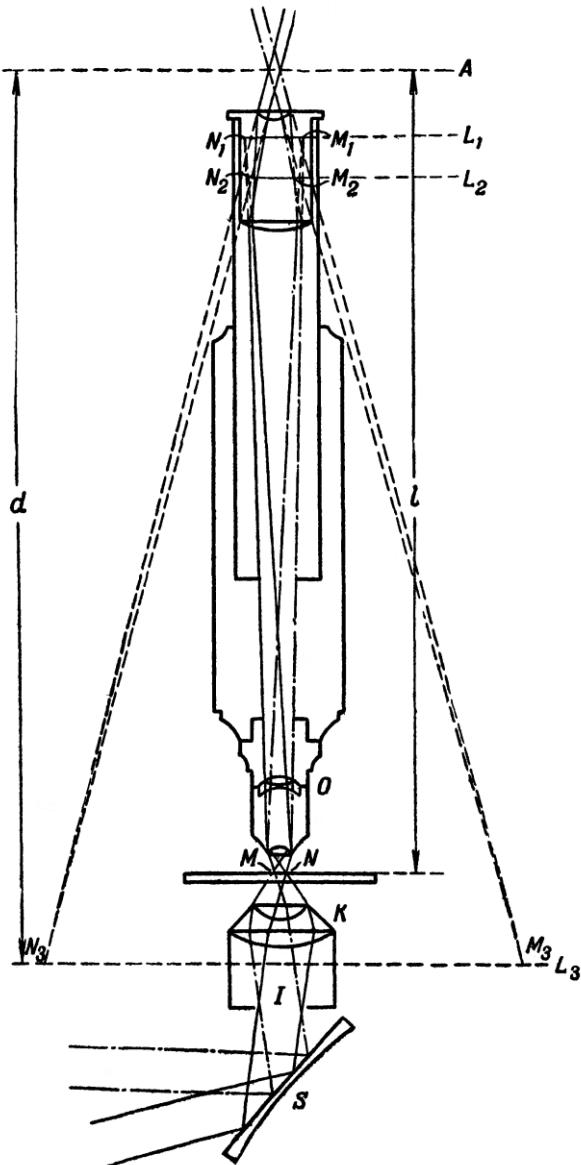
Ornı berilgen mikroskop ushin tubustıń uzınlığı menen aniqlanatuǵın bul tegislikte diafragma ornatılğan boladı. Bul diafragma shetki dástelerdi ótkermeydi hám sonlıqtan kóriw maydanın shekleydi. Sonlıqtan bul diafragma kóriw maydanınıń diafragması bolıp tabıldadı. Kóphsilik mikroskoplarda onıń ornı uzınlığı 160 mm bolǵan tubusqa sáykes keledi.

L_2 tegisligi okulyardıń fokusına qaraǵanda kóz linzasınıń orayında jaqınırıq jaylasqanlıqtan bul linzanıń tásiri ápiwayı lupanıń tásirindey boladı. Demek $N_2 M_2$ súwretiniń ornına L_2 tegisliginde jatatuǵın jormal, obektke salıstırǵanda keri hám kóbirek úlkeytilgen $N_3 M_3$ súwretin alamız. Ádette bul tegislik baqlawshı tárepinen onıń kózi anıq kóretuǵın qashıqlıqta ornalastırıladı.

Mikroskoptıń úlkeytiwi obektiv penen okulyardıń úlkeytiwleriniń kóbeymesine teń. Eger obektivti proekciyalıq ásbap túrinde qarasaq, onda $N_1 M_1$ súwretiniń úlkenligi tómendegi formulaniń járdeminde beriledi:

$$N_1 M_1 = \frac{NM \cdot \delta}{f_1}. \quad (5)$$

Bulańlatpada f_1 arqalı obektivtiń fokuslıq aralığı, al δ arqalı obektivtiń orayı menen súwret arasındaǵı qashıqlıq belgilengen.



7-súwret.

Mikroskoptıń optikalıq sxeması.

Okulyardıń eki linzasınıń tásirin oǵan ekvivalent jáne fokuslıq aralığı f_2 shamasına teń bolǵan lupa sıpatında paydalanylataǵın linzaniń tásiri menen almastırıwǵa boladı. Lupaniń úlkeytiwin ańlatatuǵın formulaǵa sáykes

$$N_3 M_3 = N_1 M_1 \frac{d}{f_2} \quad (6)$$

formulasına iye bolamız. Bul formulada d arqalı baqlawshınıń anıq kóretuǵın qashıqlıǵı belgilengen. (5)-formulaǵa sáykes

$$N_3 M_3 = \frac{NM \cdot \delta \cdot d}{f_1 f_2}$$

Mikroskoptıń sızıqlı úlkeytiwi

$$\omega = \frac{N_3 M_3}{NM} = \frac{\delta \cdot d}{f_1 f_2} \quad (7)$$

shamasına teń boladı. $N_1 M_1$ súwreti okulyardıń fokusına júdá jaqın jaylasatuǵın bolǵanlıqtan hám obektivtiń fokuslıq aralığınıń kishi ekenliginen δ shamasın obektivtiń artqı fokusı menen okulyardıń aldıńǵı fokusı arasındaǵı qashıqlıqqa teń dep joqarı dárejedegi dállikte ayta alamız. Bul qashıqlıqtı mikroskoptıń optikalıq uzınlığı dep ataydı.

Mikroskoptıń mýyeshlik úlkeytiwi tómendegi formulaniń járdeminde aniqlanadı:

$$D = \frac{tg\alpha}{tg\alpha_0}. \quad (8)$$

Bul formuladaǵı α menen α_0 mýyeshleri sáykes $N_3 M_3$ súwretiniń hám NM predmetiniń kóriniw mýyeshleri bolıp tabıladı. 3-súwretten

$$tg\alpha = \frac{N_3 M_3}{2d}, \quad tg\alpha_0 = \frac{NM}{2l}$$

teńlikleriniń orın alatuǵınlıǵı kórinip tur. Bul teńliklerdegi l shaması obektten baqlawshınıń kózı jaylasqan A tegislige shekemgi qashıqlıqqa teń (3-súwret). Demek

$$D = \frac{N_3 M_3}{NM} \frac{l}{d} = \omega \frac{l}{d}. \quad (9)$$

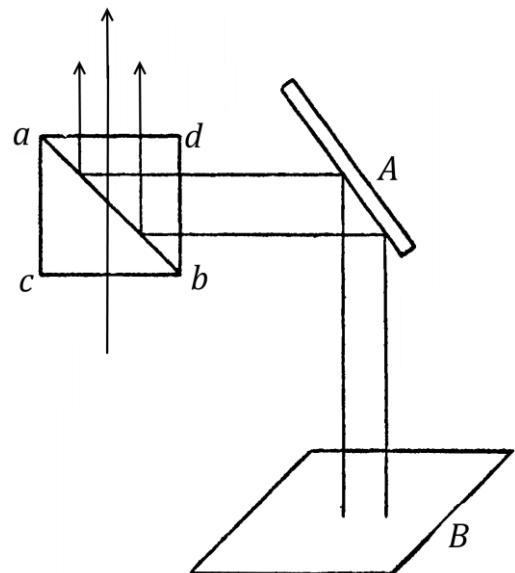
Ólshewler. Mikroskoptıń úlkeytiwi bolǵan D shamasın aniqlaw ushın obekt penen onıń kózden hár qıylı qashıqlıqlarda turǵan súwretin salıstırıp otırıwdıń zárúrligi joq. Onıń ushın súwrettiń shamasın qanday da bir basqa predmet penen salıstırıw kerek. Biraq usı predmettiń ólsheminiń baqlanatuǵın obekttiń ólshemine qatnası dál belgili boliwı kerek. Bunday jaǵdayda predmet penen kóz arasındaǵı qashıqlıq kóz benen súwret arasındaǵı qashıqlıqqa teń boliwı shárt. Ólshewler tómendegidey tártipte alıp barıladı:

Tubustıń uzınlıǵıń 160 mm etip mikroskoptıń predmetlik tekshesine obektlik mikrometrdi ornalastırıdı. Obektlik mikrometr shiyshe plastinkadan ibarat bolıp, onıń betine 0,01 mm bolǵan bólimlerge bólingen shkala bar. Bunnan keyin mikroskoptı shkala anıq kórinetuǵınday etip fokuslaydı.

Mikroskoptıń kaptalına onıń kósherinen 25 sm qashıqlıqta (ádettegi kóz ushın anıq kóriw qashıqlıǵı) vertikal baǵıttı 1 mm lik bólimlerge iye shkalanı ornalastırıdı (8-súwret). Mikroskoptıń okulyarına mikroskoptıń kósherine

450 lıq kiyalıqtaǵı yarım ótkiziwshi (yamasa boylıq baǵittaǵı tesigi bar) aynanı ornalastırıdı. Sonıń menen birge aynanı mikrometrdiń súwreti menen vertikallıq shkalanı bir waqıtta kóretuǵınday etip ornalastırıdı. Bunday jaǵdayda eki shkalanıń jaqtılıǵın teńlestiriw ushın kondensordıń diafragmasın paydalaniw usınıladı.

8-súwret.
Mikroskoptıń úlkeytiwin anıqlawdı
túsindiretuǵın sxema.



Bir birine sáykes keliwshi vertikallıq shkaladaǵı bólimler sanı N_1 menen mikrometrdiń shkalalar sanı N_2 ni sanaymız. Shkalanıń bólimleriniń uzınlığınıń mikrometrdiń bólimleriniń uzınlığınıń qatnası 100 ge teń bolǵanlıqtan

$$D = \frac{N_1}{N_2} 100 \quad (10)$$

formulasına iye bolamız. Endi D niń mánisin bilip (9)-formulaniń járdeminde sızıqlı úlkeytiwdi taba alamız.

Paydalanylǵan ádebiyatlar dizimi

1. Christoph Schiller. The Adventure of Physics. Volume III. Light, Charges and Brains. Edition 28.2, available as free pdf with films at www.motionmountain.net.
2. Justin Peatross, MichaelWare (Brigham Young University). Physics of Light and Optics. July 14, 2011. 335 p.
3. Г.С.Ландсберг. Оптика. Учебное пособие. Для вузов. 6-е издание. Издательство "Физматлит". Москва. 2003. - 848 с.
4. Физический практикум. Электричество и оптика. Под редакцией проф. В.И.Ивероновой. Издание второе. Издательство "Наука". Москва. 1968. 816 с.

3-laboratoriyalıq jumıs

Shiyshe plastinkanıń sıńıw kórsetkishin mikroskoptıń járdeminde ólshev

Jumistiń maqseti shiyshe plastinkalardıń sıńıw kórsetkishin mikroskoptıń járdeminde hár qıylı usıllardıń járdeminde anıqlawdan ibarat.

Ásbaplar hám úskeneler: mikroskop, mikrometr, shiyshe plastinkalardıń jiynaǵı, jaqtılıqtıń deregi.

Kirisiw

Zattıń absolyut sıńıw kórsetkishi onıń fizikalıq qásiyetlerin táriyipleytuǵın áhmiyetli fizikalıq shama bolıp tabıladı. Sıńıw kórsetkishi anıqlaması boyınsha jaqtılıqtıń vakuumdaǵı fazalıq tezliginiń zattaǵı fazalıq tezliginen neshe ese úlken ekenligin ańlatadı. Elektromagnit tolqınları ushın jazılǵan Maksvell teńlemelerinen sıńıw kórsetkishtiń

$$n = \sqrt{\mu\epsilon}$$

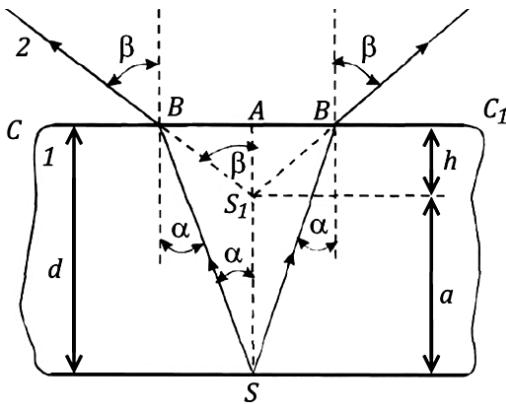
formulasınıń járdeminde anıqlanatuǵınlıǵı kelip shıǵadı. Bul ańlatpada μ menen ϵ arqalı zattıń magnitlik hám dielektriklik sińirgishlikleri bolıp tabıladı.

Sıńıw kórsetkishiniń shaması jaqtılıqtıń jiyilikiniń funkciyası bolıp tabıladı. Bul funkciyanı (ǵárezlikti) dispersiya dep ataydı. Eger jiyiliktiń artıwı menen sıńıw kórsetkishi úlkeyse dispersiyanı normal dispersiya, al jiyilik artqanda sıńıw kórsetkishi kemeyse dispersiyanı anomallıq dispersiya dep ataydı.

Sıńıw kórsetkishin anıqlawdıń kóp sanlı usılları bar. Solardıń ishinde sıńıw kórsetkishin mikroskoptıń járdeminde anıqlaw jetkilikli dárejedegi isenimli hám eń ápiwayı usıldıń biri bolıp tabıladı.

Qısqasha tariyx

Meyli, betleri bir birine parallel bolǵan shiyshe plastinkanıń astında jaylasqan bazı bir S noqatınan jińishke jaqtılıq dástesi tarqalatuǵın sızıq boyınsha tarqalatuǵın bolsın (1-súwret).



1-súwret.
Jaqtılıqtiń sınıw nızamın
paydalaniwǵa arnalǵan sxema.

CC₁ betine α mýyesi menen túsetuǵın nurlardıń júrisin qaraymız. Nurlar B noqatlarında shiysheden hawaǵa ótedi. Nurdıń baǵıtı sınıw nızamına sáykes ózgeriske ushıraydı:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n_{21}. \quad (1)$$

Bul ańlatpadağı α túsiw, al β sınıw mýyesi bolıp tabıldır. n_{21} arqalı ekinshi ortalıqtıń birinshi ortalıqqqa salıstırǵandaǵı sınıw kórsetkishi belgilengen. Onıń mánisi bılayınsha aniqlanadı:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (2)$$

Bul ańlatpada n_1 hám n_2 arqalı sáykes 1-hám 2-ortalıqlardıń absolyut sınıw kórsetkishleri belgilengen (yaǵníy bul ortalıqlardıń vakuumǵa salıstırǵandaǵı sınıw kórsetkishleri). Biz qarap atırǵan jaǵdayda ekinshi ortalıq hawa bolıp tabıldır. Onıń absolyut sınıw kórsetkishi vakuumnıń absolyut sınıw kórsetkishinen júdá kishi shamaǵa ayrıldı. Sonlıqtan hawaniń absolyut sınıw kórsetkishin 1 ge teń dep esaplaymız. Birinshi ortalıq shiyshe bolıp tabıldır. Onıń absolyut sınıw kórsetkishi bolǵan n_1 shamasın n arqalı belgileymiz. Sonlıqtan (1)-formulaǵa muwapiq

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{1}{n}, \quad n = \frac{\sin\beta}{\sin\alpha}. \quad (3)$$

Jaqtılıq optikalıq jaqtan tiǵızıraq ortalıqtan (shiyshe) optikalıq jaqtan kishi tiǵızlıqqqa iye ortalıqqqa ótkende nurlardıń baǵıtları ózgeriske ushıraydı. Usınıń nátiyjesinde 2-ortalıqta turǵan baqlawshıǵa jaqtılıq S noqatınan emes, al S_1 noqatınan shıǵıp atırǵanday bolıp kórinedi. Baqlawshıǵa S noqatı jaqınlaǵanday bolıp kórinedi. 1-súwretten tómendegidey qatnaslardı ala alamız:

$$SS_1 = a = SA - S_1 A, \quad tg\alpha = \frac{AB}{d}, \quad tg\beta = \frac{AB}{d-a}. \quad (4)$$

Bul ańlatpalarda d arqalı shiyshe plastinkanıń qalınlığı belgilengen. Öz gezeginde (4)-ańlatpadan

$$\frac{tg\beta}{tg\alpha} = \frac{d}{d-a} \quad (5)$$

ańlatpasın alamız. α hám β mýyeshleri kishi bolǵanda (tek usınday nurlar ógana S noqatınan shıqqan nurlar mikroskoptıń obektivine kelip túsedı) tengenslerdiń qatnasın sinuslardıń qatnasi menen almastırıwǵa boladı

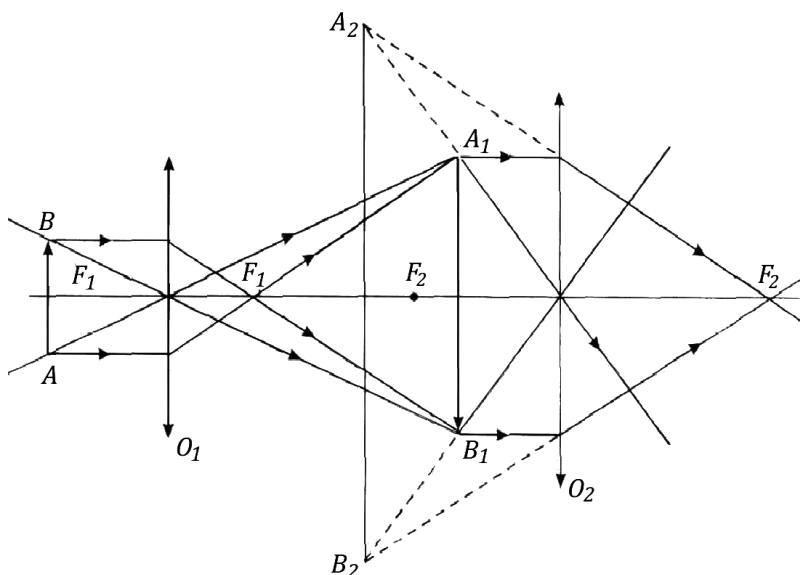
$$\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{d}{d-a}.$$

Bul ańlatpanı (3)-ańlatpanı esapqa alıp bileyinsha jazamız:

$$n = \frac{d}{d-a}. \quad (6)$$

Shiyshe plastinkanıń qalınlığı d ni mikrometr menen, al a qashıqlığın yamasa $d - a$ qashıqlığın mikroskoptıń járdeminde ólsheydi.

2-súwrette mikroskoptaǵı nurlardıń joli kórsetilgen. 2-laboratoriyalıq jumisti gáp etilgenindey, mikroskoptıń optikalıq sistemasi obektiv penen okulyardan turadı. O_1 obektiv qısqa fokuslı, al O_2 okulyar bolsa uzın fokuslı linza bolıp tabıladı (shın mánisinde obektiv te, okulyar da keminde eki linzadan turadı). O_1 obektiv AB obektiniń haqıqıy úlkeytilgen súwreti bolǵan A_1B_1 súwretin beredi. Bul súwret okulyar ushın súwretiniń úlkeytiliwi kerek bolǵan obekt (predmet) bolıp tabıladı. A_1B_1 súwreti bolsa okulyar menen onıń fokusınıń arasında jaylasqan bolıwı kerek.



2-súwret. Mikroskoptaǵı nurlardıń jolı.

Okulyar tárepinen payda etiletuǵın A_2B_2 súwreti jormal, predmetke salıstırǵanda keri hám úlkeygen boladı. Baqlawshı mikroskoptıń tubusın mikrometrlik vinttiń járdeminde qozǵap A_2B_2 jormal súwreti anıq kórinetuǵınday awhalǵa alıp keledi.

Jumıstı orınlaw tártibi

Shiysheniń sınıw kórsetkishin anıqlawdılıń birinshi usılı.

1. Mikroskoptıń predmet turatuǵın tekshesine tegis-parallel, móldır shiysheni ornalastırıdı. Shiyshe plastinkanıń betinde qara noqat túsirilgen boliwı kerek.
2. Jaqtılardıratuǵın lamposhka iske qosıladı hám onı qozǵaw arqalı onnan shıqqan jaqtılıqtıń mikroskoptıń okulyarınıń astna kelip jetiwi támiyinlenedi.
3. Mikroskoptıń predmetlik tekshesindegi shiysheniń jaqsı jaqtılardırılıwına jetisiw talap etiledi.
4. Mikroskoptıń mikrometrlik vinti aqırına shekem tawlanadı. Okulyar arqalı qarap qara noqattıń anıq kóringenishe tubus jılıstırıladı. Usı awhaldığı mikrometrlik vinttiń kórsetiwi ($N_1 = 0$ boliwı kerek) 1-kestege jazıp alındı.
5. Qara noqat bar plastinkanıń ústine sınıw kórsetkishin anıqlaw kerek bolǵan shiyshe plastinka ornalastırıladı.
6. Mikrometrlik vinttiń járdeminde tubus qara noqat qaytadan anıq kóringenshe kóteriledi. Tubustı kótergende mikrometrlik vinttiń shkalasındaǵı bólimler sanın (N_2 ni) sanaw kerek.
7. N_2 sanınıń mánislerin 1-kestege túsiredi. N_1 menen N_2 sanlarınıń ayırması a shamasına teń, yaǵníy

$$a = N_2 - N_1.$$

7. Tájiriýbe keminde 5 ret qaytalanadı.

8. Mikrometrdiń járdeminde plastinkanıń kalınlığı ólshenedi. Keminde 3 jazıw talap etiledi hám olardı 1-kestege túsiredi.

1-keste.

Nº	N_1, mm	N_2, mm	$a = N_2 - N_1, mm$	d, mm	n
1					
2					
3					
4					
5					
Ort.					

Shiysheniń sıniw kórsetkishin anıqlawdınıń ekinshi usılı

1. Endi shiyshe plastinka alıp onıń eki betin de tırnaymız. Baqlawdınıń qolaylı bolıwı ushın eki táreptegi tırnawdınıń saldarınan payda bolǵan sızıqlardıń bir birine perpendikulyar bolıwın támiyinleymiz.

2. Mikroskoptı jaqtırıtwı sistema elektr tarmáǵına tutastırıladı hám shiyshe plastinkanıń bir tekli jaqtılanıwı támiyinlenedi.

2-keste.

Nº	N_1, mm	N_2, mm	$b = N_2 - N_1$	d, mm	n
1					
2					
3					
4					
5					
Ort.					

3. Mikrometrlik vint aqırına shekem tawlanadı. Mikroskoptıń tubusı tómengi sızıq anıq kórinetuǵınday awhalǵa alıp kelinedi. N_1 shamasınıń mánisi 2-kestege túsiриledi.

4. Mikroskoptıń mikrometrlik vintiniń járdeminde tubus plastinkanıń ústindegi sızıq anıq kórinetuǵınday awhalǵa kóteriledi. Shkaladaǵı N_2 shamasınıń mánisi 2-kestege túsiриledi. Sanlardıń ayırması $N_2 - N_1 = h, h = d - a$. Biz mikroskoptıń tubusın h shamasına kóterdik. Bul shama plastinkanıń kózge kórinetuǵın qalınlığına teń (1-súwret).

5. Tájiriybeni keminde 5 ret qaytalaw kerek.

6. Mikrometrdiń járdeminde plastinkanıń qalınlığı ólshenedi. Ólshewlerdiń sanı 3 ten kem bolmawı kerek. Nátijelerdi 2-kestege jazadı.

Shiysheniń sıniw kórsetkishin anıqlawdınıń úshinshi usılı (ayna - zerkalo bar bolǵan jaǵdayda).

1. Mikroskoptıń predmetlik tekshesine ayna plastinkanı jaylastırımız. Aynaniń betine qara belgi qoyılǵan (qara sıziq sızılǵan) boliwı kerek.

2. Jaqtilandırıwshı lampa toqtıń deregine qosıladı. Eger plastinkanıń qalınlığı d ǵa teń bolsa, onda belginiń jormal súwreti aynaniń arǵı tárepinde d qashiqlığında jaylasqan boladı. Demek belgi menen onıń súwreti arasındaǵı qashiqlıq $2d$ shamasına teń boladı. Qoyılǵan ayna plastinka jaqtilandırılıdı.

3-keste.

Nº	N_1, mm	N_2, mm	$b = N_2 - N_1$	d, mm	n
1					
2					
3					
4					
5					
Ort.					

3. Mikroskoptıń tubusın aynadaǵı qara belgi anıq kórinetuǵınday etip qoyamız. N_1 diń mánisi 3-kestege túsiredi. h tiń ortasha mánisi esaplanıladı.

4. Belginiń aynalıq súwretin kóriw ushın mikroskoptıń tubusı mikrometralıq vinttiń járdeminde túsiriledi. Alıngan nátiyje N_2 3-kestege túsiriledi. Belgi menen onıń aynalıq súwreti arasındaǵı kózge kórinetuǵın qashiqlıq $N_2 - N_1 = h$ qa teń.

5. Tájiriýbe 5 ret qaytalanadı.

6. Planstinkanıń qalınlığı mikrometrdiń járdeminde 3 ret ólshenedi hám nátiyje 3-kestege jazıldadı.

Ólshewlerdiń nátiyjelerin qayta islew

1-usıl.

1. 1-kestege plastinkanıń kalińlıǵı bolǵan d shamasınıń ortasha arifmetikalıq mánisi jazıldadı.

2. Barlıq 5 tájiriýbe ushın $b = N_2 - N_1$ shaması esaplanadı hám nátiyje 1-kestege jazıldadı. b shamasınıń ortasha mánisi tabıladı.

3. Sınıw kórsetkishiniń mánisi

$$n = \frac{d}{d - b}$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı.

4. Sınıw kórsetkishin anıqlawda jiberilgen qáteniń salıstırmalı hám hám absolyut mánisleri esaplanadı.

2-usıl.

1. 2-usıldıń járdeminde anıqlanǵan plastinkanıń kalińlıǵı bolǵan d shamasınıń ortasha arifmetikalıq mánisi 2-kestege jazıldadı.

2. Barlıq 5 tájiriybe ushın $h = N_2 - N_1$ shamalarınıń mánisleri anıqlanadı. h tiń ortasha mánisi esaplanadı.

3. Sınıw kórsetkishiniń mánisi

$$n = \frac{d}{h} \quad (7)$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı hám 2-kestege jazıladı.

4. Ólshengen sınıw kórsetkishi ushın absolyut hám salıstırmalı qáteler esaplanadı.

3-usıl (ayna bar jaǵdayda).

1. Shiysheniń sınıw kórsetkishin anıqlawdıń úshinshi usılıniń járdeminde plastinkanıń qalıńlıǵı d niń ortasha arifmetikalıq mánisin 3-kestege jazadı.

2. Ólshevlerdiń barlıǵı ushın $h = N_2 - N_1$ shamalarınıń mánisleri esaplanadı hám 2-kestege túsiriledi. h tiń ortasha mánisi anıqlanadı.

3. Sınıw kórsetkishiniń mánisi

$$n = \frac{2d}{h}$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı hám alıńǵan nátiyje 3-kestege jazıladı.

4. Sınıw kórsetkishin ólshegende jiberilgen absolyut hám salıstırmalı qáteliklerdiń mánisleri esaplanadı.

Eskertiw: Joqarıda atap ótilgen sınıw kórsetkishin anıqlawdıń úsh usılında paydalanılgan plastinkalardı tayarlawda shiysheniń hár qıylı sortlarınıń paydalanılıwı múmkın. Sonlıqtan esaplawlardıń aqırında hár qıylı usıllar menen alıńǵan sınıw kórsetkishleri n lerdiń ortasha mánisin tabıwdıń keregi joq.

Jumistiń orınlaniwı boyınsha esap tómendegidey izbe-izlikte tayaranadı: jumistiń maqseti, qısqasha tariyx, ásbaplar hám úskenerler, ólshevler kesteleri, sınıw kórsetkishlerin anıqlawda jiberilgen absolyut hám salıstırmalı qátelerdiń esaplanıwı, jumıs boyınsha juwmaqlar.

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw boyınsha tayarlangan sorawlar

1. Jaqtılıqtıń shaǵılısıw nızamınıń fizikalıq mánisi nelerden ibarat?
2. Jaqtılıqtıń sınıw nızamınıń fizikalıq mánisi nelerden ibarat?
3. Absolyut sınıw kórsetkishi degenimiz ne?
4. Salıstırmalı sınıw kórsetkishi degenimiz ne?
5. Sınıw kórsetkishi menen zattıń dielektriklik hám magnitlik sińirgishligi arasında qanday baylanıs orın algan?
6. Sınıw kórsetkishiniń kanday dispersiyası normal dispersiya hám qanday dispersiyanı anomal dispersiya dep ataydı?
7. Qanday jaǵdayda jaqtılıqtıń tolıq shaǵılısıwı orın aladı?
8. Súwretiniń kishi, úlken, jormal boliwı ushın predmet dóńes linzaǵa salıstırǵanda qanday orınlarda turıwı kerek?

9. Mikroskoptaǵı linza menen okulyar qanday qásiyetleri menen ayrıladı?

Paydalanylǵan ádebiyatlar dizimi

1. David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker. Fundamentals of Physics (HALLIDAY & RESNICK). —9th ed. John Wiley & Sons, Inc. 1330 p.
2. Г.С.Ландсберг. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. - 6-е изд., стереот. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 848 с. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922103145.htm>.
3. Benjamin Crowell. Optics. Book 5 in the Light and Matter series of free introductory physics textbooks [www.lightandmatter.com](http://www.lightandmatter.com/lm.pdf). <http://lightandmatter.com/lm.pdf>

4-laboratoriyalıq jumıs

Suyıqlıqtıń sınıw kórsetkishin Abbe refraktometriniń járdeminde anıqlaw

Jumistiń maqseti: refraktometriń islew principi menen tanısıw; Abbe refraktometrine sıniw kórsetkishin ólshevdiń usılların úyreniw; laboratoriyada bar bolǵan bazı bir suyıqlıqlardıń sınıw kórsetkishin ólshev.

Teoriyalıq bólím

Eki móldir hám bir tekli ortalıqlar arasındaǵı shegaraǵa kelip túskenn jaqtılıq dástesiniń bir bólimi shegaralıq bette shaǵılısadı, ekinshi bólimi óziniń taralıw baǵıtın ózgertip ekinshi móldir ortalıqqqa ótedi. Biz sol eki ortalıqlardı 1- hám 2-ortalıqlar dep belgileymiz. Sol ortalıqlardaǵı jaqtılıq nurınıń tarqalıw baǵıtı Snellius tárepinen ashılǵan sınıw nızamınıń járdeminde anıqlanadı. Bul nızam boyınsıha sıńǵan nur, kelip túskenn nur hám nur kelip túskenn shegaraǵa túsırılgıen normal bir tegislikte jatadı, al berilgen eki ortalıq ushın túsiw mýyeshiniń (i_1) sinusunuń sınıw mýyeshiniń (i_2) sinusına qatnasi turaqlı shama bolıp tabıladı:

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21} = \text{const.} \quad (1)$$

n_{21} konstantasın ekinshi ortalıqtıń birinshi ortalıqqqa salıstırǵandaǵı salıstırmalı sınıw kórsetkishi dep ataydı.

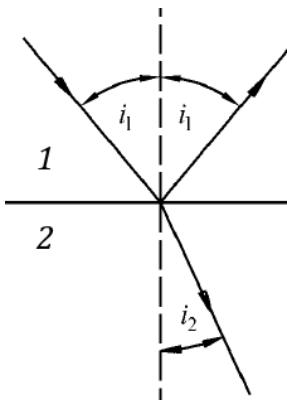
Maksvelldiń elektromagnitlik teoriyası sınıw kórsetkishiniń ápiwayı fizikalıq mánisiniń bar ekenligin anıqladı hám onıń shamasınıń zattıń ishindegi (ortalıqlardıń ishindegi) jaqtılıqtıń tarqalıw tezligine baylanıslı ekenliginaptı:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (2)$$

Bul ańlatpada v_1 hám v_2 arqalı 1- hám 2-ortalıqlardaǵı jaqtılıqtiń tezlikleri belgilengen. Zattıń "boslıqqa" (yaǵníy vakuumge) salıstırǵandaǵı sıniw kórsetkishin absolyut sıniw kórsetkishi yamasa qısqasha türde "sıniw kórsetkishi" dep ataydı. (2)-ańlatpadan zattıń absolyut sıniw kórsetkishiniń

$$n_{abs} = n = \frac{c}{v}$$

formulasınıń járdeminde aniqlanatuǵınlıǵı kelip shıǵadı (bul formulada c arqalı jaqtılıqtiń vakuumdegi tezligi, al v arqalı jaqtılıqtiń biz gáp etip atırǵan zattaǵı tezligi belgilengen. Demek absolyut sıniw kórsetkishi zattaǵı jaqtılıqtiń tarqalıw tezliginiń vakuumdegi tarqalıw tezliginen neshe ese kishi ekenligin bildiredi eken. Al salıstırmalı sıniw kórsetkish bir jaqtılıq ortalıqtan ekinshi ortalıqqa ótkende tezliginiń neshe ese ózgeretuǵınlıǵın ańlatadı. Eki ortalıqlar jubınıń salıstırmalı jıllılıq sińirgishligi $n_{21} = \frac{n_1}{n_2}$ formulasınıń járdeminde esaplanadı. Demek vakuumnıń sıniw kórsetkishi 1 ge teń eken.



1-súwret. Eki ortalıqtıń shegarasındaǵı jaqtılıq nurınıń shaǵılısıwi menen sıniwi.

Bir zat hár qıylı agregat hallarda hár qıylı sıniw kórsetkishlerine iye boladı. Geometriyalıq optikada normal basımlardaǵı hám 200°C temperaturadaǵı hawaniń sıniw kórsetkishin juwıq türde 1 ge teń dep qabil etedi (dál mánisi 1,000274 ke teń). Suyıqlıqlar ushın sıniw kórsetkishleriniń mánisleri 1,2 den 1,9 ǵa shekem jetedi. Qattı denelerde sıniw kórsetkishleriniń mánisleri úlken (1,3 ten 4,0 ge shekem).

Absolyut sıniw kórsetkishlerin paydalanganǵanda (1)-ańlatpanı bilayınsha kóshirip jazıwǵa boladı:

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad (3)$$

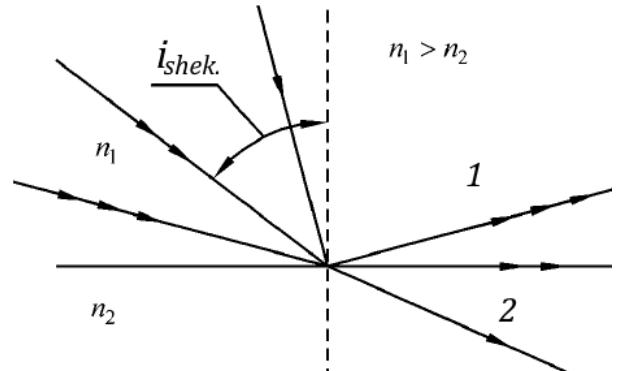
(3)-ańlatpadan ortalıqtıń absolyut sıniw kórsetkishiniń betke túsirilgen normal menen nur arasındaǵı müyeshtiń sinusına kóbeymesiniń turaqlı shama bolıp tabilatuǵınlıǵı kelip shıǵadı. Usı jaǵdayǵa baylanıslı $n_1 \sin i_1$ túrindegi kóbeymeni optikalıq invariant dep ataydı.

Toliq ishki shaǵılısıw

(3)-ańlatpadan eger jaqtılıq nuri optikalıq jaqtan tiǵızlıǵı kishi ortalıqtan tiǵızlıǵı úlken ortalıqqqa ótkende (yaǵníy $n_2 > n_1$) sıniw mýyeshi (i_2) túsiw mýyeshinen (i_1) kishi bolatuǵınlıǵı kórinip tur. Biraq ortalıqlar ushin $n_2 < n_1$ shárti orınlanaǵın bolsa sıniw hám túsiw mýyeshleri ushin $i_2 > i_1$ teńsizligi orınlı boladı (sıniw mýyeshiniń mánisi túsiw mýyeshiniń mánisinen úlken). Bunday jaǵdayda túsiw mýyeshi úlkeygende sıniw mýyeshiniń mánisi 90^0 qa teń boliwı mýmkin. Usınday sıniw mýyeshine sáykes keliwshi túsiw mýyeshin tolıq ishki shaǵılısıwdıń shekli mýyeshi dep ataydı (i_{shek} . arqalı belgileymiz). Jaqtılıq nurları eki ortalıq arasındaǵı shegaraǵa $i_1 > i_{shek}$. mýyeshi menen kelip túskende sıńǵan nur bolmaydı, jaqtılıq 1-ortalıqtan sırtqa shıqpaydı hám tolıq ishki shaǵılısıw qubılısı orın aladı. 2-súwrette usı qubılıs illyustraciyalanǵan (sáwlelendirilgen).

2-súwret.

Optikalıq jaqtan tiǵızıraq ortalıq penen tiǵızlıǵı kem ortalıqqqa ótkende tolıq ishki shaǵılısıwdıń payda boliwı.



Mýyeshtiń sheklik mánisi (eń úlken mánisi)

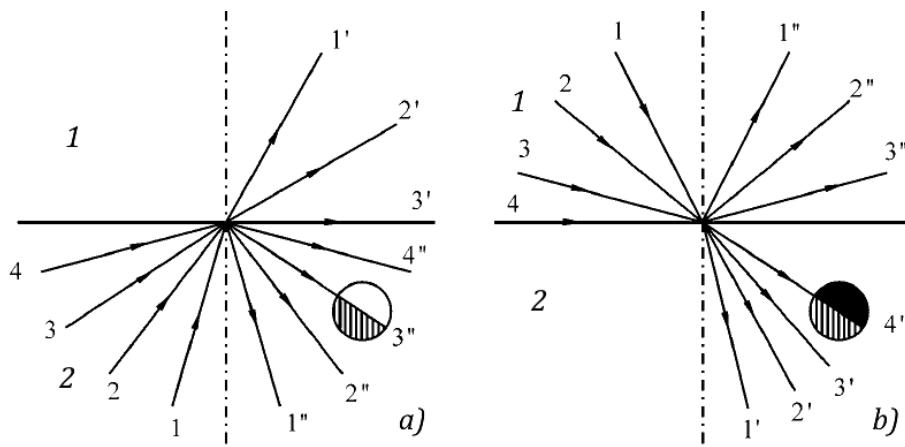
$$\sin i_{shek.} = \frac{n_2}{n_1}, \quad n_1 > n_2 \quad (4)$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı.

Eger jaqtılıq nuri zattan hawaǵa qaray tarqalatuǵın bolsa, onda $\sin i_{shek.} = \frac{1}{n_1}$ teńligi orın aladı.

Eki ortalıq arasındaǵı shegaradaǵı mýyeshtiń sheklik mánisi tek bul ortalıqlardıń sıniw kórsetkishlerinen ǵana ǵárezli boladı. Olay bolatuǵınlıǵı bolsa, sheklik mýyeshtiń mánisin eger bir ortalıqtıń sıniw kórsetkishiniń mánisi belgili bolsa ekinshi ortalıqtıń sıniw kórsetkishin anıqlaw ushin paydalaniwǵa boladı eken dep juwmaq shıǵarıwǵa boladı.

Sheklik mýyeshtiń mánisin eki usıldıń járdeminde anıqlawǵa boladı: 1) shaǵılısqan jaqtılıq nuri boyınsha, 2) ótken jaqtılıq nuri boyınsha.



3-súwret. Kóriw maydanınıń jaqtılaniwın shaǵılısqan (a) hám sınǵan nurlarda (b) baqlaw.

Eger eki ortalıq arasındaǵı shegaraǵa jaqtılıq nurın optikalıq jaqtan tiǵızıraq ortalıq tärepten 0 gradustan tan 90 gradusqa shekemgi mýyeshlerde túsireuǵın bolsaq hám shaǵılısqan nurlarda súwretti baqlasaq, onda kóriw maydanınıń hár qıylı jaqtılandırılgan eki bólimge bólingenin ańgariwǵa boladı. Shegarada bir bólimi sınǵan, al ekinshi bólimi shashıraǵan nurlar menen jaqtılandırılgan kóriw maydanınıń bólimi kemirek jaqtılandırılgan boladı (3 – a súwrettegi 1- hám 2-nurlar). Al kóriw maydanınıń ekinshi bólimi tolıq ishki shaǵılısıwdıń nátiyjesinde payda bolǵan nurlar menen kúshlirek jaqtılandırıladı (3-a súwrettegi 3- hám 4-nurlar).

Ótken nurda súwretti baqlağanda shegara kishi sıńıw kórsetkishine iye ortalıqtan ótken nurdıń járdeminde jaqtılandırıladı (3-b súwrettegi 1-, 2-, 3-hám 4-nurlar). Sınǵan nurlar dástesinde 4' nurdıń eń shetkisi bolatuǵınlığı túsinikli. Kóriw maydanı pútkilliy qarańǵı hám jaqtılı bólimlerden turadı. Bul usıl júdá ayqın türdegi shegaranı beredi. Biraq onı tek móldir ortalıqlar ushın paydalaniw mümkin. Al birinshi usıldı kishi sıńıw kórsetkishine iye ortalıq onsha móldir emes bolǵan jaǵdayda da paydalaniw mumkin. Biraq, bul jaǵdayda eki bólimniń jaqtılaniwınıń ayırmasınıń kishi bolıwına baylanıslı shegaranı baqlaw qıyınırıaq boladı.

Jaqtılıqtıń dispersiyası

Joqarıda bayan etilgen qubılıslardıń barlıǵı da jaqtılandırıw ushın monoxromat nurlar paydalanganda durıs boladı. Eger jaqtılıq dástesi quramalı spektrallıq quramǵa iye bolsa, onda joqarıda bayanlangan qubılıslarda jaqtılıqtıń dispersiyası baqlanadı.

Jaqtılıqtıń dispersiyası dep sınǵanda, difrakciyada yamasa interferenciyada jaqtılıqtıń spektrge jikleniwine (ayrılıwına, bóliniwine) aytamız. Bul jumısta jaqtılıqtıń dispersiyası zatlardıń sıńıw kórsetkishiniń jiyilikke górezli bolıwınıń saldarınan júzege keledi. Móldir, reńi joq zatlar ushın $n = f(v)$ górezlilikinde

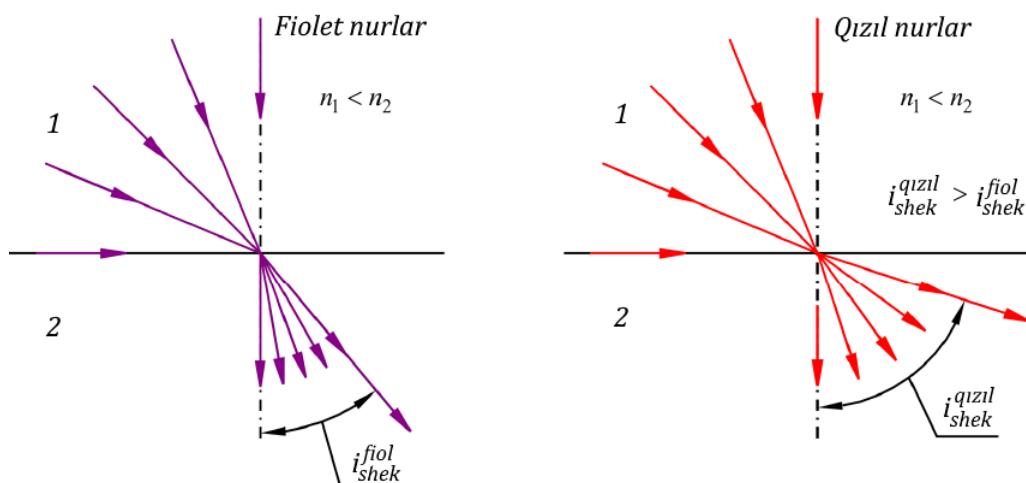
jiyilik kishireygende sínıw kórsetkishi de kishireyedi. dn/dv tuwındısın zattıń dispersiyası dep ataydı.

Dispersiya qubılısı zattaǵı jaqtılıqtıń tarqalıw tezliginiń nurlardıń reńine baylanıslı bolatuǵınlıǵın kórsetedi. Vakuumde bolsa qálegen tolqın uzınlıǵına iye jaqtılıqtıń birdey tezlik penen tarqalatuǵınlıǵı belgili. Biraq zatlarda kók reńli jaqtılıq qızıl reńli jaqtılıqqa qaraǵanda kishirek tezlik penen tarqaladı.

Dispersiyanıń saldarınan hár qıylı tolqın uzınlıqlarına iye jaqtılıq nurlarınıń keńisliktegi bóliniwi orın aladı. Sonlıqtan dispersiya baqlanatuǵıń ásbaplardıń xarakteristikası ushın dispersiyanıń ólshemi sıpatında mýyeshlik hám sızıqlıq dispersiya shamaları kirkiziledi.

Mýyeshlik dispersiya dep $\theta = \frac{d\phi}{d\lambda}$ shamasın túsinemiz. Bul ańlatpada tolqın uzınlığı $d\lambda$ shamasına ayrılatuǵın dásteler arasındaǵı mýyeshler ayırmazı bolıp tabıladı.

Sızıqlı dispersiya dep tolqın uzınlıqları $d\lambda$ shamasına ayrılatuǵın eki spektrallıq sızıq arasındaǵı qashıqlıq dl ge aytadı.



4-súwret. Sheklik sínıw mýyeshiniń mánisine dispersiyanıń tásırı.

Sínıw qubılısında dispersiyanıń bar boliwınıń saldarınan biz joqarıda qarap ótken tolıq ishki shaǵılısıwdıń sheklik mýyeshin baqlaw quramalasadi. Kórgizbeli túrdegi kóz-qaraslarǵa iye boliw ushın hár qıylı monoxromat nurlardıń hár qıylı túsiw mýyeshleri menen kemirek optikalıq tiǵızlıqqa iye ortalıq penen úlkenirek optikalıq tiǵızlıqqa iye ortalıq arasındaǵı shegaraǵa túsiwin qaraymız. Shetki tolqın uzınlıqları ushın súwrettiń kóriniw spektri sheklerinde súwretler bir birinen sheklik sínı mýyeshi boyınsha ayrıladı.

Eger túsiwshi jaqtılıq aq jaqtılıq bolsa, onda hár qıylı tolqın uzınlıqlarında alıngan súwretlerdiń bir biriniń ústine túsiwi júzege keledi. Nátiyjede normaldiń qasında (yaǵníy kishi sínıw mýyeshlerinde) sıńgan jaqtılıq aq bolıp qala beredi. Nor maldan qashıqlaǵan sayın (yaǵníy sínıw mýyeshiniń úlkeyiwinde) sıńgan dáste fiolet nurlar menen birlesedi (eń dáslep fiolet nurlar ushın sheklik mýyeshtiń mánisi alınadı). Bunnan keyin izbe-iz kók, aspan kók, jasıl, sarı, ashıq qızıl hám eń aqırında qızıl nurlar menen birlesiw orın aladı.

Ádettegi 7 reńge bóliwdiń pútkillay shártli túrde alınatuǵınlıǵın este tutıw kerek (aq jaqtılıqtiń quramında 7 reń emes, al oǵada kóp reńler bar). Jaqtılıqtiń quramında hár qıylı tolqın uzınlıqları bar bolǵan jaǵdayda reńlerdiń ózgerisleri júdá ástelik penen júzege keledi.

Qızıl nurlar ushın sheklik mýyeshtiń mánisi menen anıqlanatuǵın baǵıt jaqtılandırılǵan hám qarańǵılatılǵan oblastlardıń kóriw maydanlarınıń shegarasına sáykes keledi.

Solay etip eki ortalıqtiń arasındań shegara boyalǵan boladı. Usınıń menen birge sheklik mýyeshti ólshegende anıqsızlıq payda boladı. Sebebi hár qıylı tolqın uzınlıqları ushın sheklik mýyeshtiń mánisi hár qıylı boladı.

Joqarıda aytılǵanlardan berilgen ortalıq ushın sıniw kórsetkishiniń tek jaqtılıqtiń belgili bir tolqın uzınlığı ushın konstanta bolatuǵınlıǵı kelip shıǵadı. Sonıń menen birge sheklik mýyeshtiń mánisi monoxromat nurları paydalanganda ózgeriwi kerek. Ortalıqlardıń xarakteristikası sıpatında natriy gorelkadan jaqtılıq (Na atomlarıńı D sarı jaqtılığı, tolqın uzınlığı $\lambda D = 5893 \text{ Å}$) sıniw kórsetkishi paydalanylادı. Sıniw kórsetkishiniń belgileniwi bolǵan n_D^{20} shamasında D indeksi spektrallıq sızıqqa tiyisli, al 20 usı sıniw kórsetkishine sáykes keletuǵın temperaturanı ańlatadı.

Geypara jaǵdaylarda sıniw kórsetkishin basqa da spektrallıq sızıqlar ushın anıqlaydı.

Biz joqarıda gáp etken sıniw kórsetkishiniń shamasın anıqlaw ushın dóretilgen ásbaplardı refraktometrler dep ataydı. Solardıń ishindegi eń kóp tarqalǵanı Abbe refraktometri (Abbe refractometer, oylap tapqan nemis fizigi Ernst Abbe, 1840-1905) bolıp tabıladı (internette https://en.wikipedia.org/wiki/Abbe_refractometer adresinde oqıwǵa boladı). Refraktometr suyuqlıqlar menen qattı denelerdiń sıniw kórsetkishin anıqlaydı.

Abbe refraktometriniń islew principi

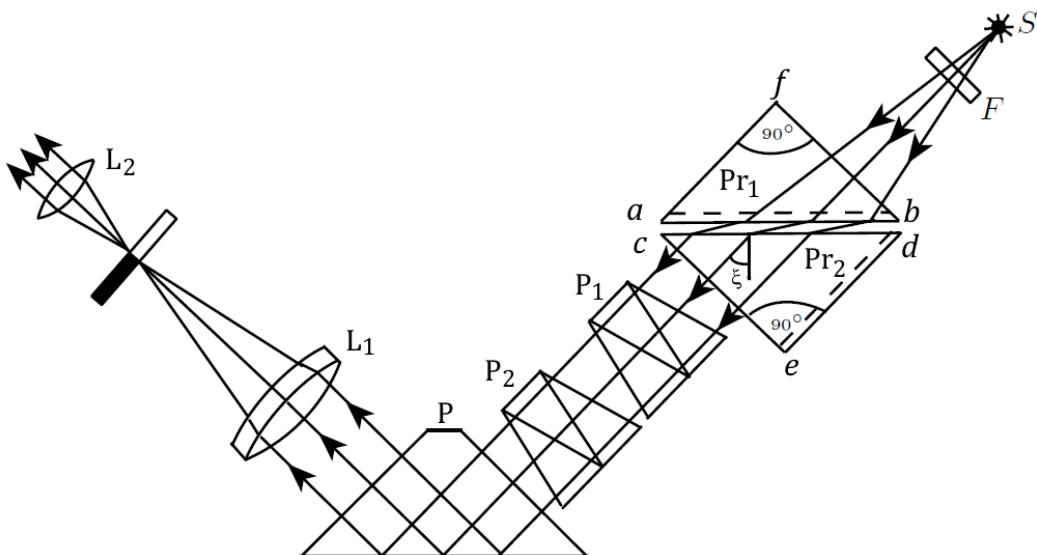
Abbeniń texnikalıq refraktometri suyuq hám qattı denelerdiń sıniw kórsetkishin tez (biraq salıstırmalı turpayı) anıqlawǵa mumkinshilik beredi. Abbe refraktometriniń dúzilisi tolıq ishki shaǵılısıw qubılısına tiykarlangan. Biraq refraktometrdi paydalanganda tolıq ishki shaǵılısıw usılin da, jılıp tarqalatuǵın nur usılin da paydalaniwǵa boladı.

Abbe refraktometriniń optikalıq sxeması hám jılıp tarqalatuǵın usıl boyınsıha sıniw kórsetkishin ólshew 5-súwrette keltirilgen.

Refraktometrdiń tiykarǵı bólimi úlken sıniw kórsetkishine iye shiysheden soǵılǵan eki tuwrı mýyeshli Pr_1 hám Pr_2 prizmalarınan turadı. Kese-kesiminde olar gipotenuzaları menen bir birine qaraytuǵın eki tuwrı mýyeshli prizmalar bolıp tabıladı (gipotenuza haqqında gáp etilgende prizmalardıń úsh mýyeshli ekenligin birde ańǵaramız). Prizmalar arasındań qashıqlıq shama menen 0,1 mm ge teń hám olar izertlenilip atrıǵan suyuqlıqtı jaylastırıw ushın qollanıladı. Jaqtılıq Pr_1 prizmasına bf qaptalı arqalı túsedi hám suyuqlıqqa ab gúńgirt

prizması arqalı túsedi. Gúñgirt bet arqalı ótken jaqtılıq suyılqıqtıń qatlamı arqalı ótedi hám Pr_2 prizmasınıń cd qaptalına kelip túsedi.

Suyılqıqta jılıjıp tarqalatuǵın nurǵa ($i = 90^\circ$) ξ shekli sıniw kórsetkishi sáykes keledi. ξ shamasınıń úlken mýyeshlerde sinǵan nurlar payda bolmaydı. Usı jaǵdayǵa baylanıslı ce qaptalınan nurlarıń shıǵıw mýyeshi tek bazı bir intervalda ǵana ózgere aladı.



5-súwret. Sınıw kórsetkishi jılıjıp tarqalatuǵın usıldırıń járdeminde ólshenetuǵın jaǵdaydaǵı refraktometrdegi nurlarıń joli.

Eger ce qaptalınan shıǵatuǵın jaqtılıqtı L_1 jiynawshi linzası arqalı ótkersek, onda onıń fokallıq tegisliginde jaqtılıq penen qarańgılıq arasında keskin shegara baqlanadı. Sol shegara L_2 linzası arqalı baqlanadı. Al L_1 hám L_2 linzaları sheksizlikke qoyılǵan kóriw trubasın payda etedi. Olardıń ulıwmalıq fokallıq tegisliginde sıniw kórsetishiniń shamasına sáykes shkala jáne kórsetkish (jińishke sıziq) ornalastırılǵan boladı. L_2 okulyarınıń kóriw maydanında shkalanıń maydanınıń tek bir bólimin jáne Pr_2 prizmadan shıqqan hám fokuslanǵan nurlarıń jaqtı maydanınıń bir bólimi ǵana kóriw mýmkin. Pr_1 hám Pr_2 prizmalarınıń sistemasın aylandırıp, usıǵan sáykes kóriw trubasına salıstırǵandaǵı nurlarıń sheklik mýyeshleriniń qıyalıǵın ózgertip orınlar menen qarańǵı oblast arasındaǵı shegaranıń L_2 okulyarınıń kóriw maydanına túsiwine hám ásbaptıń kórsetkishine sáykes orıngá túsiwine erisiwge boladı. Sistema aylanǵanda Pr_1 hám Pr_2 prizmaları sistemasi menen bekkem baylanıstırılǵan plastinkada ornalastırılǵan kórsetkishler shkalası da burıladı (2-súwrette shkala kórsetilmegen). Suyılqıqtıń sıniw kórsetkishiniń mánisi shkaladaǵı jaqtılı orın menen qarańǵı orın arasındaǵı shegaraga sáykes keliwshi mánis alındı.

Eger S jaqtılıq deregi monoxromatlıq emes bolsa, onda trubanıń okulyarında baqlanatuǵın jaqtı hám qarańǵı oblastlar arasındaǵı shegara anıq bolmaydı hám izertlenip atırǵan zattıń dispersiyasınıń (yaǵníy n shamasınıń λ

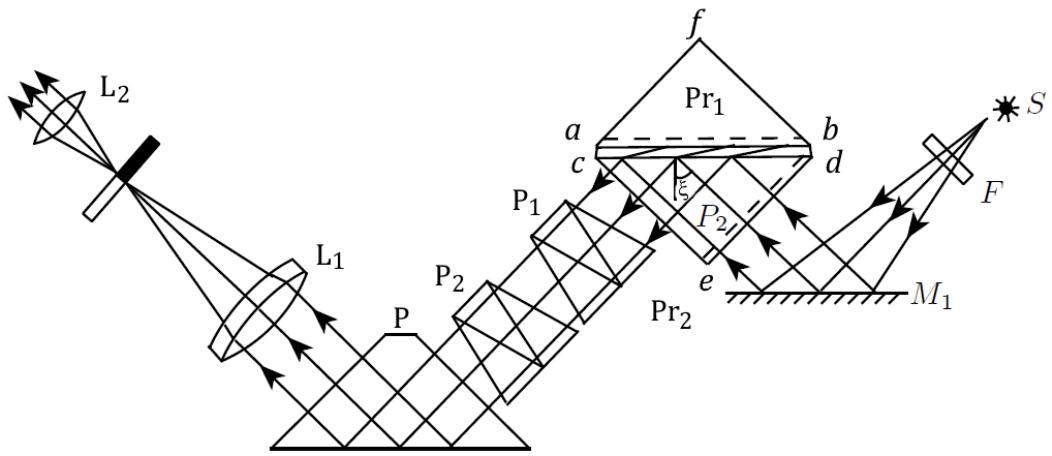
tolqın uzınlığına baylanıslı bolıwınıń) saldarınan hár qıylı reńlerge boyalǵan boladı. Bunday jaǵdayda shegaraniń anıq súwretin alıw ushın Pr_2 prizmasınan shıqqan nurlardıń jolina ózgermeli dispersiyaǵa iye kompensator ornalastırıladı. Kompensator óz ishine birdey bolǵan eki Amishi dispersiyalıq prizmaların aladı (2-súwrette P_1 hám P_2 prizmaları). Al sol prizmalardıń hár qaysısı hár qıylı sıniw kórsetkishine hám hár qıylı dispersiyaǵa iye bir birine jelimlengen úsh prizmadan turadı. Prizmalar tolqın uzınlığı $\lambda_D = 589,3$ nm bolǵan (natriydiń sarı dubletine sáykes keliwshi eki tolqın uzınlıqlarınıń ortasha mánisi) monoxromatlıq nurǵa esaplanǵan. Bunday nur hesh tárepke qaray jılıjmaydı. Basqa tolqın uzınlıqlarına iye tolqınlar shep yamasa oń tárepke qaray jılıjydı. Eger prizmalardıń iyelegen ornı 2-súwretke sáykes keletuǵın bolsa, onda eki prizmaniń dispersiyası olardıń hár biriniń eki eselengen dispersiyasına teń boladı. Amishi prizmasınıń birin ekinshisine salıstırǵanda 180° qa burǵanda kompensatordıń tolıq dispersiyası nolge teń boladı (sebebi bir prizmaniń dispersiyasın ekinshi prizmaniń disersiyası tolıq kompensaciyalaydı). Bir prizmaniń ekinshisine salıstırǵandaǵı orientaciyasına baylanıslı kompensatordıń dispersiyası nolden baslap bir prizmaniń dispersiyasınıń eki eselengen mánisine shekem ózgeredi.

Prizmalardı bir birine salıstırǵanda buriw ushın arnawlı tutqa hám konuslıq tisli dóńgelekler ornatılǵan. Olardıń járdeminde prizmalar bir waqıtta qaramaqarsı baǵıtlarda burladı (aylandırıladı). Kompensatordıń tutqasın aylandırip kóriw maydanında jaqtılıq penen qarańǵı orınlar arasındaǵı shegaraniń jetkilikli dárejede anıq kóriniwine erisiwge boladı. Bunday jaǵdayda shegaraniń orna λ_D tolqın uzınlığına sáykes keledi. Tap usınday λ_D tolqın uzınlığına sáykes keletuǵın sıniw kórsetkishiniń mánisi beriledi.

Eger dispersiyası júdá úlken bolǵan zat izertlense kompensatordıń diapazonı jetkiliksiz bolıwı hám sonıń saldarınan anıq shegaraniń kórinbewi múmkın. Bunday jaǵdayda jaqtılardırǵıshtiń aldına sarı reńli jaqtılıq filtrin ornalastırıw usınıladı.

Abbe refraktometrinde qollanılatuǵın burılıwshı P (Dove prizması dep ataydı) ásbaptı kishkene ǵana etip islewge (kompaktlı etip) múmkinshilik beredi.

6-súwrette tolıq ishki shaǵılısıw usılında orın alatuǵın refraktometrdiń ishindegi nurlardıń júriw jolları kórsetilgen. Bul jaǵdayda S deregenen shıqqan jaqtılıq M_1 aynasında shaǵılısqannan keyin Pr_2 prizmasınıń gúńgirt cd qaptalına kelip túsedı (jılıjıp tarqalıwshı nur usılında bul bet metall perde menen jabıladı). Usı cd qaptalında shashıraqannan keyin jaqtılıq múmkın bolǵan barlıq jollar menen shiyshe menen suyiqliqtı ayırıp turǵan shegaraga kelip túsedı. $r > r_s$ teńsizligi orınlıǵanda tolıq ishki shaǵılısıw orın aladı. Biraq $r < r_s$ shártı orınlıǵanda jaqtılıqtıń bir bólegi shashiraydı. Trubanıń kóriw maydanında jaqtılıq penen yarım sayanıń shegarasınıń súwreti baqlanadı.



6-súwret. Tolıq ishki shaǵılısıw usılı menen suyuqlıqtıń sınıw kórsetkishin ólshegende refraktometrdiń ishindegi nurlardıń júrisi.

Jıljıp tarqalatuǵın usılda da, tolıq ishki shaǵılısıw usılında da sheklik mýyeshti aniqlaytuǵın sharayatlar birdey bolǵanlıqtan, eki usılda da kóriw trubasında kórinetuǵın bólip turiwshı sıziqtıń iyelegen orınları da birdey boladı.

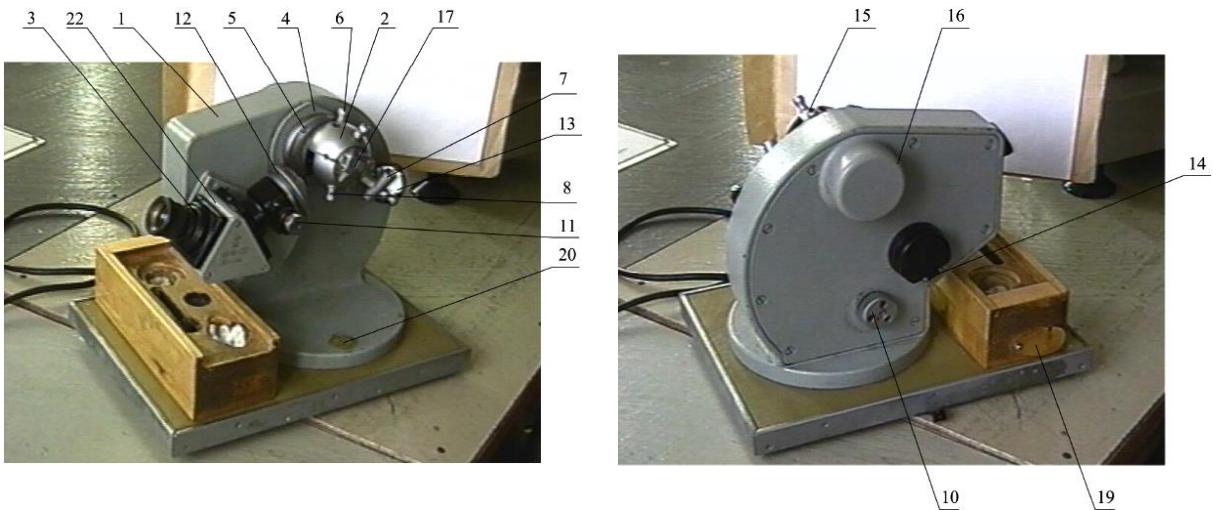
Tolıq ishki shaǵılısıw usılında móldır emes zatlardıń da sınıw kórsetkishleri aniqlanadı. Biraq jıljıp tarqalıwshı nurlar usılında móldır emes zatlardıń sınıw kórsetkishin aniqlaw mýmkin emes.

Abbe refraktometrin qattı denelerdiń sınıw kórsekishin ólshew ushın da hám joqarıda bayan etilgen eki usılda da paydalaniwǵa boladı. Bunday jaǵdayda izertlenetuǵın plastinka tárizli zattıń eki tárepi de polirovkalanǵan bolıwı kerek.

Házirgi waqtları Abbe refraktometriniń kóp túri payda bolǵan. Solardıń biri ИРФ-22 refraktometri bolıp tabıladı (7-súwrette kórsetilgen). Refraktometr minaday tiykarǵı bólimlerden turadı:

1-korpus,
3-ólshewshi tutqa,
4-kóriw trubkası (bul trubkada sınıw kórsetkishin aniqlaw ushın zárúrlı bolǵan shkala jaylasqan).

Ólshewshi tutqada Abbeniń prizmalıq blogı ornalastırılgan. Ol korputstıń ishinde jaylasqan esaplawshı dúzilistiń shkalası menen bekkem baylanısqan. Shkala 14-ayna tárepinen jaqtılındırıladı hám trubanıń kóriw maydanına arnawlı optikalıq sistemaniń járdeminde proekciyalanadı.



ИРФ-22 tipindegi Abbe refraktometriniń sırtqı kórinisi.

Solay etip trubanıń kóriw maydanında bir waqitta shegara sızıq, sızıqlar atanaǵı, shkalanıń bólimlerin hám shkalanıń fizirlik shtrixları bir waqitta kórinedi. Qarańǵı hám jaqtılı maydanları bólip turǵan shegaranı tabıw hám onı atanaqtı payda etiwshi eki sızıqtıń kesilisiw noqatına alıp barıp qoyıw ushin 10-maxovikti aylandırıw jolı menen ólshewshi dúzilisti qıyalatiw kerek. Baqlanıp atırǵan shegaranıń reńliligin joǵaltıw 11-maxovikti buriw arqalı ámelge asırıladı. Kompensator menen bir waqitta 12-baraban da aylandırıladı. Bul barabanniń járdeminde zárúrli bolǵan jaǵdaylarda zattıń dispersiyasın da ólshew mümkin. Izertlenetuǵın zattı jaqtılandırıw ushin 13-aynaniń járdeminde ádettegi jaqtılıq (Quyashtiń jaqtılığı) yamasa arnawlı elektr lampasınıń jaqtılığı paydalanyladi.

Eksperimentallıq bólim

Bul laboratoriyalıq jumıs eki tapsırmadan turadı. Eki tapsırmazı da orınlawdiń aldında refraktometrdiń durıs yustirovkalanǵanlığı puqtalıq penen tekseriledi.

Birinshi tapsırmada bir qansha suyuqlıqlardıń sıniw kórsetkishleri ólshenedi. Sınıw kórsetkishleriniń ólshengen mánisleri menen belgili kestelerdegi mánisleri salıstırılıp, suyuqlıqlardıń ximiyalıq jaqtan tazalığınıń dárejesi aniqlanadı. Eger alıngan nátiyje menen kestelik mánis arasındaǵı ayırma 0,0005 yamasa onnan da úlkenirek ayırmaǵa iye bolsa, onda izertlenip atırǵan suyuqlıqtı ximiyalıq jaqtan taza dep esaplawǵa bolmaydı. Mısalı taza xloroform (yamasa piridin) waqıttıń ótiwi menen jaqtılıqtıń tásirinde okislenedi hám sonıń nátiyjesinde sıniw kórsetkishiniń mánisi ózgeredi. Sonlıqtan 1-kesteniń eń aqırǵı baǵanasına suyuqlıqtıń ximiyalıq tazalığınıń mánisin jazıw kerek.

Ekinshi tapsırmada ortasha dispersiya hám Abbe sanı aniqlanadı. Ortasha dispersiyaniń mánisi spektrdiń kók reńli sızıǵına ($\lambda = 488,1$ nm) sáykes keliwshi sıniw kórsetkishi (onı n_F arqalı belgileymiz) menen qızıl reńli sızıǵına

sáykes keliwshi sínw kórsetkishi (onı n_c arqalı belgileymiz) arasındaǵı ayırmaǵa iye. Ortasha dispersiyanıń shamasın ($n_F - n_c$) 10^5 túrinde jazadı hám onıń mánisi 639 dan 3178 ge shekemgi diapazonda jatadı.

Laboratoriyalıq jumıslardı orınlaganda ortasha dispersiyanı tómendegi formulaniń járdeminde esaplaydı

$$n_F - n_c = A + B \cdot \sigma.$$

Biz bul formulalarda n_c , n_D hám n_F arqalı fraungofer sızıqlarına sáykes keliwshi tolqın uzınlıqlarında alınatuǵın ortalıqtıń sínw kórsetkishleri belgilengen [C sızıǵında 656,3 nm, D sızıǵında 589,2 nm, F sızıǵında 486,1 nm].

Bul ańlatpadaǵı A , B hám σ koefficientleriniń mánisleri refraktometriń pasportında berilgen kesteden alınadı. Al Abbe sanı bolsa

$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_c}$$

formulasınıń járdeminde esaplanatuǵınlıǵı belgili (Optikada Abbe sanın V arqalı belgileydi, bul san ólshem birligine iye emes hám móldır ortalıqlardaǵı jaqtılıqtıń dispersiyasınıń ólshemi bolıp tabıladı, kúshli dispersiyaǵa V niń kishi mánisi sáykes keledi).

ИРФ-22 refraktometriniń járdeminde móldır suyuqlıqlardıń sínw kórsetkishin ólshev

Ólshevshi prizmaniń betine izertleniletuǵın suyuqlıqtıń bir neshe tamshısı tamızıladı hám prizma ásbaptaǵı ornına ornatılǵannan keyin jabiladı. Bunnan keyin suyuqlıqtıń ólshevshi hám jaqtılandırıwshi prizmalar arasındaǵı keńislikti tolıq toltrǵanın kóriw ushın 15-aynanıń járdeminde baqlaydı. Trubanıń kóriw maydanınıń bir tekli jaqtılandırılıwı ushın 13-aynanı 15-aynanıń aldına qoyıladı. Bunnan keyin ayna 16-vinttiń járdeminde qatırıladı. 10-maxovikti aynadırıw arqalı kóriw maydanındaǵı jaqtı menen sayanıń arasındaǵı shegaranı tabadı. Al 11-maxoviktiń járdeminde onıń reńleri joq etiledi. Kóringen súwrettegi bólip turǵan shegaranı tordaǵı atanaq penen bir orıngá alıp kelip sínw kórsetkishi shkalasındaǵı kóringen nátiyje jazıp alınadı. Esap ushın indeks sıpatında tordıń vizirlik shtrixı xızmet etedi. Sínw kórsetkishiniń mánisiniń pútin, onlıq, júzlik hám mińlıq bólimleri shkala boyınsha aniqlanadı, al on mińnan bir bólegi kóz benen bahalanadı. Refraktometriń shkalası 20°C temperaturaǵa graduirovkalanǵan. Sínw kórsekishiniń mánisi temperaturadan górezli bolǵanlıqtan ásbaptaǵı prizmaliq bloktıń temperaturasın termostattan shıqqan suw ótip turǵan kameranıń járdeminde stabillestiriw názerde tutılǵan. Oqıw maqsetlerinde joqarı dállık talap etilmeydi. Sonlıqtan ólshevler barısında temperaturanı turaqlı etip uslap turıwshi qosımsa dúzilisler paydalanılmayıdı.

Eskertiwler: Ólshevler tamamlanǵannan keyin Abbe blogınıń betleri jumsaq gezlemenıń qıyındısı yamasa filtrlik qaǵaz benen puqtalıq penen tazalanadı. Ólshevshi prizmaniń polirovkalanǵan qaptalın polirovkaniń buzıp

almaw maqsetinde oǵada abaylap sıpirıw kerek. Bunnan keyin prizmalar spirt yamasa efir menen juwiladı hám kebiwi ushın blok ashiq qoyıladı. Bunnan keyin ólshewshi sistemanı abaylap jabadı hám ásbaptı qabına saladı.

Hár bir ólshew 5 ret qaytalanadı hám n_D shamasınıń ortasha mánisleri esaplanadı.

Eskertiw: Durıs yustirovkalanǵan refraktometrdiń járdeminde distillyaciyalanǵan suw ushın $n_D = 1,33299$ mánisiniń alınıwi kerek.

Hár bir suyıqlıq ushın alıńǵan nátiyjeler 1-kestege kirgiziledi.

1-keste

Nº	Suyıqlıqtıń ataması	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	$\langle n \rangle$

ИРФ-22 refraktometriniń járdeminde eritpedeǵi qantıń procentlik muǵdarın aniqlaw

Tájiriybeler koncentraciyaları hár qıylı bolǵan kant eritpeleri ushın qaytadan ótkeriledi hám alıńǵan nátiyjeler 2-kestege túsıriledi.

2-keste

Qantıń koncentra- ciyası, %	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	$\langle n \rangle$
10						
15						
20						
25						

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw ushın arnalǵan tapsırmalar hám sorawlar

1. Jaqtılıqtıń sıniw nızamın keltirip shıǵarıńız hám absolyut, salıstırmalı sıniw kórsetkishleriniń fizikalıq mánislerin túśındırıńız.

2. Tolıq ishki shaǵılısiw orın alatuǵın sharayatlardı tabıńız. Tolıq ishiki shaǵılısiw ushın sheklik mýyeshtiń mánisin esaplaytuǵın formulani, sheklik sıniw mýyeshiniń shamasınıń tolqın uzınlıǵınan górezliligin keltirip shıǵarıńız.

3. Monoxromatlıq nur menen jaqtılardırǵandaǵı ИРФ-22 refraktometrineǵi nurlardıń jolların kórsetińiz. Ásbaptaǵı dispersiya kompensatori qanday orındı iyeleydi?

4. Aq jaqtılıq penen jaqtılandırǵanda kóriw trubasınıń fokallıq tegisligindegi súwret qalay payda boladı?

5. Refraktometrde ólshewler ótkeriw ushın kóriw trubasınıń bolıwı shárt. Onıń tutqan ornı qanday?

6. Dispersiya kompensatorı degenimiz ne, onıń xızmeti nelerden ibarat?

Ádebiyat

1. Hugh D. Young, Roger A. Freedman. University Physics. With Modern Physics. 13th edition. Copyright ©2012, 2008, 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison-Wesley, 1301 Sansome Street, San Francisco, CA, 94111. 1598 p.

2. Физический практикум. Электричество и оптика. Под редакцией проф. В.И.Ивероновой. Издание второе. Издательство "Наука". Москва. 1968. 816 с.

3. Г.С.Ландсберг. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. - 6-е изд., стереот. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 848 с. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922103145.htm>.

4. https://en.wikipedia.org/wiki/Abbe_refractometer

5. <https://en.wikipedia.org/wiki/Refractometer>

6. https://en.wikipedia.org/wiki/Total_internal_reflection

7. [https://en.wikipedia.org/wiki/Dispersion_\(optics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Dispersion_(optics))

5-laboratoriyalıq jumıs

Koncentraciyası belgili bolǵan eritpeniń sıniw kórsetkishin paydalaniw arqalı eritpelerdiń koncentraciyasın ólshew

Jumistiń maqseti ИРФ-22 refraktometriniń járdeminde ólshengen sıniw kórsetkishiniń mánisin (yaǵníy koncentraciyası belgili bolǵan eritpeniń yamasa distillyaciyalanǵan suwdıń sıniw kórsetkishiniń mánisin) paydalanıp eritpeniń koncentraciyasın anıqlawdan ibarat. Sıniw kórsetkishi n menen eritpeniń koncentraciyası C arasında tuwrı sızıqlı baylanıstiń orıń alıwı talap etiledi.

Jumista tómendegidey máseleler sheshiledi:

1. Refraktometrдиń islew principin ámeliy jaqtan úyreniw;
2. Abbe refraktometrinde suyiqliqtıń sıniw kórsetkishin ólshew usılların úyreniw;

3. Koncentraciyası belgili eritpelerdiń yamasa taza eritkishlerdiń sıniw korsetkishlerin refraktometrдиń járdeminde ólshew;

4. Eksperimenterde alıngan suyuqlıqlardıń sıniw kórsetkishleri tiykarında berilgen eritpeniń koncentraciyasın aniqlaw.

Eskertiw: jumıstiń teoriyalıq bólimi 4-laboratoriyalıq jumısta berilgen.

Jumısti orınlaw tártibi:

1. Abbe refraktometrinıń optikalıq sxeması hám dúzilisi menen tanısıw.

2. Ásbaptıń durıs isleytuǵınlıǵın tekserip kóriw. Bul operaciyanı orınlaw ushın sıniw kórsetkishi belgili bolǵan suyuqlıq alındı. Misali distillyacyyalanǵan suwdıń ójire temperaturasındaǵı sıniw kórsetkishi $n = 1,33291$ ge teń. Tekseriwdi jılıjıp tarqalatuǵın nur usılıniń járdeminde ótkeredi.

3. Derekten shıqqan jaqtılıqtıń jaqtılındırıwshı prizmaǵa túsiwine hám kóriw maydanın bir tekli jaqtılındırıwına erisiw.

4. Ásbaptıń shkalası bar vintin paydalanıp kóriw maydanındaǵı reńlerdi joq qılıw jáne jaqtılıq penen saya arasındaǵı anıq shegaranı alıw. Bul shegaranı ásbaptıń okulyarınıń esaplaw ushın arnalǵan atanaǵı menen úylestirip (bir orıngá alıp kelip) okulyardıń shkalasınıń járdeminde suwdıń yamasa eritpeniń sıniw kórsetkishin mińnan birge shekemgi dállikte aniqlaw.

5. Koncentraciyası hár qıylı bolǵan eritpelerdiń sıniw kórsetkishleri ólshenedi. Ólshevler keminde 3 ret qaytalanadı. Kelesi suyuqlıqtıń sıniw kórsetkishin aniqlaw ushın refraktometrdiń prizması suw menen juwladı hám keptiriledi.

6. Sıniw kórsetkishleriniń mánisleri boyınsha eritpeniń koncentraciyası aniqlanadı.

Eskertiw: Alıngan nátiyjelerdi suw ushın berilgen ádebiy maǵlıwmatlar menen salıstırıw kerek. Eger olar arasındaǵı ayırma $\pm 0,001$ den aspasa ólshevlerdi durıs ótkerilgen dep esaplawǵa boladı.

1-tapsırma.

1. As duzınıń taza suwdaǵı eritpesin derlik toyıngan tayarlańız hám eriw sheginiń $C = 200 \text{ g/litr}$ ekenligin esapqa alınız.

2. Alıngan eritpeniń sıniw kórsetkishin ólsheńiz. Ólshev keminde 3 ret qaytalanadı hám hár bir eritpe ushın sıniw kórsetkishiniń ortasha mánisi esaplanadı.

3. Taza suw quyıw joli menen eritpeniń koncentraciyasın pútin san ese ózgertip sıniw kórsetkishiniń koncentraciyadan górezligin tabıńız hám 1-kesteni toltırınız. C_1 shamasınıń 200 g/litr ekenligin itibarǵa alıw kerek.

1-keste

i	1	2	3	4	5	6	7
$C_i, \text{ g/l}$							
n_1							
n_2							
n_3							
...							
n_{ort}							

1-tapsırma boyınsha shınığıw: Eritpegen suwdı aralastırıw joli menen koncentraciyani dáslepki C_1 shamasını $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{4}$ hám basqa da shamalarına alıp keliwge boladı?

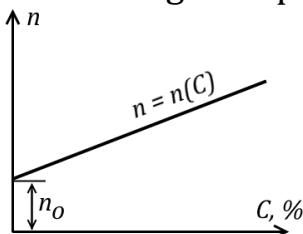
2-tapsırma. $n = n(C)$ górezliginiň grafigin dúzińiz. Grafikte koncentraciya C niň mánisleri abscissa kósherine, al sıniw kórsetkishi n niň mánisleri ordinata kósherine túsiriledi.

Tájiriybelerde alıńǵan nátiyjelerdi qayta islew

Eritpeniň koncentraciyası kishi bolǵan jaǵdaylarda basım kóphshilik jaǵdaylarda

$$C_x = \frac{n_k - n_0}{K}$$

túrindegi teńlik orın aladı. Bul teńlikte C_x arqalı eritpeniň koncentraciyası, n_k arqalı eritpeniň sıniw kórsetkishi, n_0 arqalı taza eritkishtiň sıniw kórsetkishi, K arqalı eksperimentte alıńǵan maǵlıwmatlar tiykarında esaplanǵan koefficient belgilengen (eksperimentallıq dúziliske hám eksperiment ótkerilgen sharayatlarǵa baylanıslı bolǵan koefficient). Joqarıdaǵı teńlikten biz koncentraciya menen sıniw kórsetkishi arasında sızıqlı baylanıstiń orın alatuǵınlıǵıń kóremiz ($K = \text{const}$ ekenligin esapqa alamız). Nátiyjede



túrindegi grafikke iye bolmız.

Ádette C hám n arasındasıdańı sızıqlı baylanıś kóphshilik suyuq eritpelerde koncentraciyaniň muǵdarı salıstırımlı kishi bolǵan jaǵdaylarda orınlanaǵdı (ádette toyıńǵan yamasa toyınıwǵa jaqın eritpelerde sızıqlı baylanıś buzıladı).

a) Grafikalıq usıl.

1. Alıńǵan grafikten müyeshlik koefficient bolǵan $\xi = \operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta C}{\Delta n}$ shamasın alıńız. Bul shama eksperiment sharayatlarındańı erigen zat penen eritkishti xarakterleydi.

2. Grafikiň járdeminde oqtıwshi tárepinen berilgen eritpeniň koncentraciyasın (mısali $NaCl$ eritpesiniň) $C = \frac{n - n_0}{\xi}$ formulasınıň járdeminde anıqlaydı.

b) Analitikalıq usıl.

En dáslep koncentraciyaniň muǵdarı C menen sıniw kórsetkishi n arasında sızıqlı baylanıstiń bar ekenlige tolıq isenimniň bolıwı kerek. Usıǵan sáykes izertlenip atırǵan suyuqlıq ushın eksperimentte alıńǵan joqarıda kórsetilgendey grafikiň bolıwı shárt. Bul grafik $n = \xi \cdot C + n_0$ funkciyasınıň grafigi bolıp tabıladı. Bul formulada $\xi = \operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta n}{\Delta C}$ müyeshlik koefficienttiň mánisi

eksperimentallıq maǵlıwmatlar (alıngan grafik) boyınsha esaplanadı. n_0 koncentraciyasınıń shaması eritkishtiń sıniw kórsetkishi bolıp tabıladi. Nátiyjede koncentraciyani

$$C = \frac{n - n_0}{\xi}.$$

formulasınıń járdeminde esaplaw mûmkin.

Sızıqlı baylanıstiń orın alıwı alıngan nátiyjelerdi qayta islegende jiberilgen eksperimentallıq qátelikti bahalaw ushın eń kishi kvadratlar usılın paydalaniwǵa mûmkinshilik beredi.

Alıngan nátiyjeler tómendegidey kestege jazıladı:

Nº	C_i	n_i	C_i^2	$n_i C_i$	$n = \xi \cdot C + n_0$	$c_i = n_0 - n_i$	c_i^2
1							
2							
3							
	$\sum C_i$	$\sum n_i$					
Ort.	C_{ort}	n_{ort}		$n_{ort} C_{ort}$			

Studentlerdiń bilimin qadaǵalawǵa arnalǵan sorawlar

- Optikadaǵı refraktometriyaniń mánisi nelerden ibarat? Refraktometriyalıq usıllar qanday fizikalıq máselelerdi sheshiw ushın qollanılıdı?
- Jaqtılıqtıń dispersiyası. Normal dispersiya menen anomal dispersiyaniń ayırması neden ibarat?
- Toliq ishki shaǵılısıw nızamınıń fizikalıq mánisi nelerden ibarat?
- Jumisti orınlığanda aq jaqtılıq paydalanylادı. Usı jaǵdayda qanday sıniw kórsetkish ólshenedi?
- Abbe refraktometrlerinde sıniw kórsetkishi refraktometdiń prizmasınıń sıniw kórsetkishinen úlken bolǵan suyuqlıqlardı izertlewge bolmaydı. Nelikten?
- Suyuqlıqlardıń konsentraciyasın aniqlawda qollanılatuǵın grafikalıq hám analitikalıq usıllardıń ayırmashılığı nelerden ibarat?

Paydalanylǵan ádebiyatlar dizimi

- Dr. J. B. Tatum. Geometric Optics.
<http://www.astro.uvic.ca/~tatum/goptics.html>
- Benjamin Crowell. Optics. Book 5 in the Light and Matter series of free introductory physics textbooks www.lightandmatter.com.
<http://lightandmatter.com/lm.pdf>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Abbe_refractometer

6-laboratoriyalıq jumıs

Difrakciyalıq pánjereniń járdeminde jaqtılıqtiń tolqın uzınlığın aniqlaw

Kerekli ásbaplar hám úskenele: Difrakciyalıq pánjere, optikalıq otırğısh, jaqtılıq derekleri.

Jumistiń maqseti: móldir difrakciyalıq pánjere menen tanısıw, jaqtılıq degeriniń (qızdırıw lampasınıń) spektriniń tolqınlarınıń uzınlıqların ólshew.

Qısqasha tariyx

Jaqtılıqtiń difrakciyası baqlanǵanda geometriyalıq optikanıń nızamları orınlanbaydı hám jaqtılıqtiń tuwrı sızıqlı tarqalıw haqqında ayqın túrdegi gúmán payda boladı. Jaqtılıq tolqınları sızıqlı ólshemleri usı tolqınlardıń tolqın uzınlığı menen barabar bolǵan móldir emes tosqınlıqlar arqalı ótkende difrakciya baqlanadı. Geometriyalıq jaqtan qanday nurlardıń paydalanılıwına baylanıshı (tarqalıwshı yamasa parallel jaqtılıq dásteleri) optikada difrakciyanı eki túrge ayıradı:

1. Frenel difrakciyasında sferalıq tolqın frontına iye jaqtılıq difrakciyaǵa ushıraydı. Bunday difrakciyanı ádettegi ekranda qurallanbaǵan kóz benen baqlawǵa boladı.

2. Fraunhofer difrakciyasında parallel nurlar sisteminiń (yaǵníy tolqın frontı tegis bolǵan nurlardıń) difrakciyası baqlanadı. Bunday jaǵdayda qarańǵı hám jaqtılı jolaqlardan turatuǵın difrakciyalıq súwretti fokallıq tegisliginde nurlardı jiynawshı linzaniń járdeminde baqlaydı.

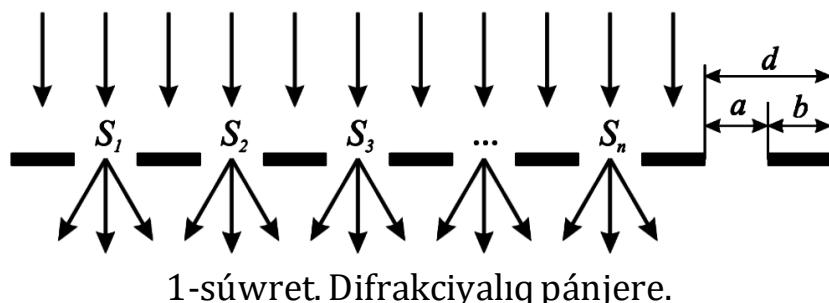
Difrakciyalıq pánjeredegei Fraunhofer difrakciyasın qaraymız.

Difrakciyalıq pánjere betine gezeklesip jaylastırılǵan móldir hám móldir emes jolaqlar túsirilgen móldir plastinka bolıp tabıladı.

Móldir hám móldir emes jolaqlardıń keńligin **pánjereniń turaqlısı** yamasa **dáwiri** dep ataydı (onı d arqalı belgileydi). Ádette

$$d = a + b$$

teńligi orınlı bolıp, bul ańlatpada a menen b arqalı móldir hám móldir emes jolaqlardıń keńligi (eni) belgilengen.

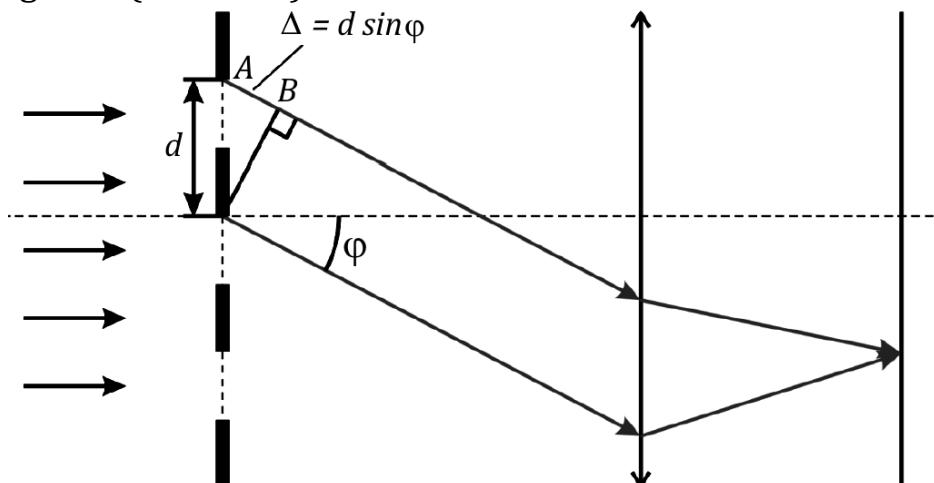


Difrakciyalıq pánjereniń elementar teoriyasın qarap ótemiz.

Pánjereniń tegisligine perpendikulyar baǵitta tolqın uzınlığı λ ge teń bolǵan monoxromat jaqtılıq dástesin (yaǵníy tegis monoxromat tolqındı) túsiremiz. Gyuygens-Frenel principi boyınsha tolqın frontınıń hár bir noqatın tolqınnıń deregi dep qarawǵa boladı. Tolqın frontınıń betinde noqatlar, yaǵníy tolqınnıń derekleri oǵada kóp. Sol dereklerdiń barlıǵı da kogerentli bolıp tabıladı.

Eger pánjereniń sańlaǵınıń sızıqlı ólshemi tolqın uzınlığınan kishi bolsa, onda hár bir sańlaqtı tolqınnıń deregi dep qarawǵa boladı. Bunday jaǵdayda difrakciyalıq pánjereni $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ noqatlıq kogerentli jaqtılıq derekleri bolıp tabıladı (1-súwrette kórsetilgen). Bul derekler pánjereniń sańlaqlarında jaylasqan hám olar tolqınlardı barlıq baǵıtlarda tarqatadı.

Difrakciyalıq pánjerege túsetuǵın jaqtılıq nurları difrakciyanıń nátiyjesinde óziniń strukturasın ózgertedi. Pánjereden keyin nurlardıń dáslepki baǵittan burılıwı mýyeshi φ diń shaması oń hám shep táreplerge qaray 0° tan 90° qa shekem ózgeredi (2-súwret).



2-súwret. Qońsılas sańlaqlardan shıqqan nurlardıń júrisler ayırmasın esaplawǵa arnalǵan sxema.

Eger difrakciyalıq pánjereden keyin jıynawshi linza ornatılǵan bolsa, onda onıń fokallıq tegisliginde difrakciyalıq súwretti baqlawǵa boladı. Bul súwretke processtiń nátiyjesi bolıp tabıladı:

- pánjereniń hár bir sańlaǵındaǵı jaqtılıqtıń difrakciyası,
- barlıq sańlaqlardan alınatuǵın kóp nurlıq interferenciya.

Pánjerege tegis tolqın túsetuǵın bolǵanlıqtan qanday da bir baǵitta tarqalǵan nurlardıń barlıǵı da birdey baslangısh fazaga iye boladı. Linza fazalar ayırmasın ózgertpeydi. Demek, 2-súwretke sáykes fazalar ayırması tek ǵana Δ júrisler ayırmasınıń bar bolıwınıń saldarınan júzege keledi

$$\Delta = AB = d \sin \varphi.$$

Qońsılas sańlaqlardan bir baǵitta shıqqan nurlardıń júrisler ayırması Δ jaqtılıq tolqınnıń uzınlığınıń pútin san eselengen kóbeymesine teń bolǵan

jaǵdayda tolqınlar bir birine kúsheytedi (intensivliktiń maksimumı payda boladı):

$$\Delta = k\lambda, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

Demek usı baǵitta tarqalatuǵın qálegen nurlar arasındaǵı júrisler ayırması

$$\Delta = Nd \sin \varphi = Nk\lambda$$

shamasına teń boladı. Bul ańlatpadaǵı N shaması sańlaqlardıń nomerleriniń ayırmasına teń (nomerler pútin san bolǵanlıqtan olardıń ayırması da pútin sańga teń boladı). Onday bolatuǵın bolsa qońsılas sańlaqlardan φ mýyeshinde shıqqan barlıq nurlar

$$d \sin \varphi = k\lambda \tag{1}$$

shártin qanaatlandırıdı eken. Kristallar rentgenografiyasında (1)-teńleme túrindegi formula júdá keńnen paydalanalıdı hám onı Braggler teńlemesi (Bragg's law) dep ataydı (rus tilindegi ádebiyatlarda Vulf-Bregg shártı yamasa Vulf-Bregg teńlemesi dep ataydı).

Interferenciyada nurlar bir birin kúsheytedi hám ekranda jaqtılıqtıń intensivliginiń maksimumı baqlanadı.

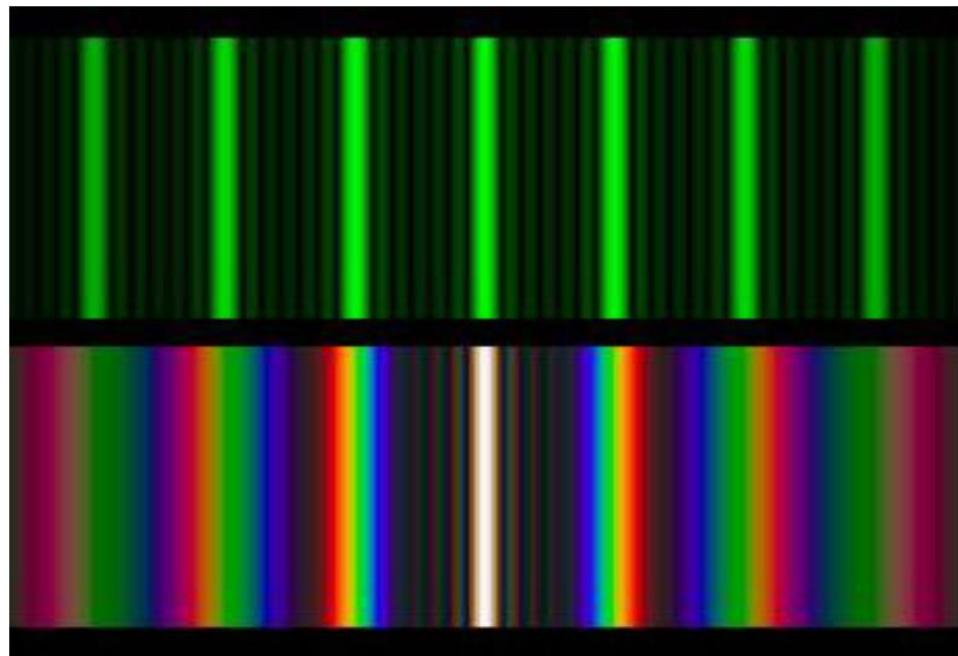
Difrakciyalıq pánjerelerdi paydalanganǵanda (1)-teńleme tiykarǵı teńleme bolıp tabıladı. Difrakciyalıq maksimumlar payda bolǵan orınlar boyınsha φ di ólshep hám jaqtılıqtıń tolqın uzınlığı λ ni bilip pánjereniń turaqlısı d ni tabıw mûmkin. Tap sol siyaqlı, eger pánjere turaqlısı d berilgen bolsa, onda ólshevlerde tabılǵan φ diń járdeminde jaqtılıqtıń tolqın uzınlığı λ ni tabıw mûmkin.

Oraylıq jaqtılıq jolaǵındaǵı súwret (onı **oraylıq maksimum** dep atayız) tolqın uzınlığınıń shamasınan górezsiz pánjerege kelip túsken nurǵa parallel bolǵan jaqtılıq dásteleriniń qosılıwınıń saldarınan payda boladı. Bul jaǵdayda

$$k = 0, \quad \sin \varphi = 0.$$

Oraylıq maksimumnıń oń hám shep táreplerinde k shamasınıń mánisleri $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ shamalarına teń jaqtılıq jolaqları jaylasqan boladı. Sol jolaqlardı 1-, 2-, 3- h.t.b. tártipli **difrakciyalıq maksimumlar** dep ataydı.

(1)-teńlemege sáykes tolqın uzınlığı λ niń hár qıylı mánislerine sáykes hár qıylı φ ler sáykes keledi (yaǵníy bir tártiptegi difrakciyalıq maksimumnıń ishinde). Sonlıqtan pánjere aq jaqtılıq penen jaqtılandırılatuǵın bolsa, onda linzanıń fokallıq tegisliginde bir biri menen jalǵasıp ketetuǵın bir qatar difrakciyalıq spektrler payda boladı (3-súwret).



3-súwret. Pánjereniń jasıl (monoxromat) hám aq jaqtılıqtaǵı difrakciyalıq súwreti.

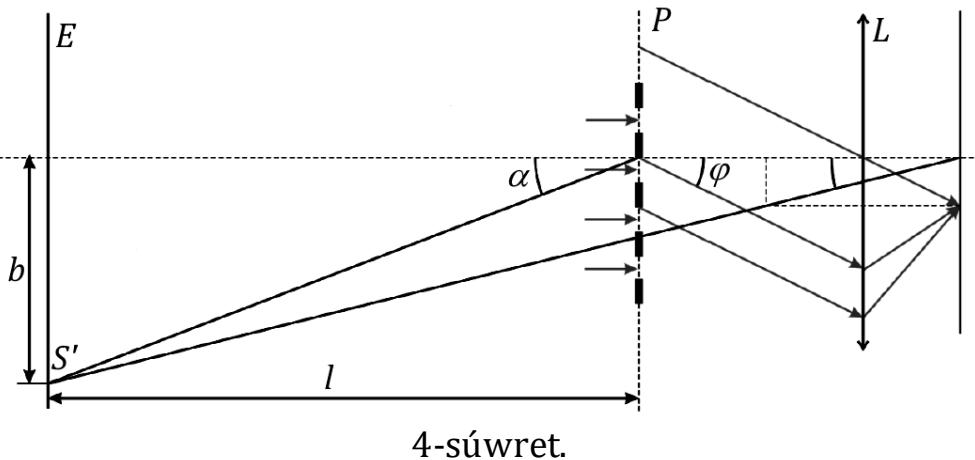
(1)-teńlemeňi tolqın uzınlığı λ ge qarata sheshsek, onda

$$\lambda = \frac{d \sin\varphi}{k} \quad (2)$$

ańlatpasına iye bolamız. Bul formula jaqtılıqtiń tolqın uzınlığın esaplaw ushın arnalǵan tiykarǵı formula bolıp tabıladı. Bul laboratoriyalıq jumısta tolqın uzınlığınıń shamasın optikalıq goniometrdiń hám sızıqlı dúzilistiń járdeminde ólsheydi.

Eksperimentallıq úskene

Ekperimentallıq úskene (optikalıq otırǵısh) tuwrı mýyeshli formaǵa iye ágashtiń kesindisinen turadı. Onıń joqarǵı betine millimetrlık shkala jabıstırılǵan. Ágashtiń ústindegi pazalarda E ekranı qozǵálısqa keltiriliwi mümkin (4-súwret). Ekrannıń betine millimetrovkaliq shkala jelimlengen. Shkalaniń noli sańlaǵı bar ekrannıń ortasında jaylastırılǵan. Kóz E ekranına proekciyalanǵan difrakciyalıq spektrlerdi kóredi.



Difrakciyalıq maksimum kórinetuǵın mýyeshtiń mánisi φ kishkene bolsa, onda

$$\sin\varphi \approx \operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{a} \quad (3)$$

teńligin qabil etiwge boladı. Bul teńlikte b arqalı ekrandaǵı difrakciyalıq maksimumǵa shekemgi qashıqlıq, al l arqalı difrakciyalıq pánjereden ecranǵa shekemgi qashıqlıq belgilengen.

(3)-teńlikti (2)-ańlatpaǵa qoyıp

$$\lambda = \frac{d b}{k l} \quad (4)$$

formulasına iye bolamız. Bul formulada d arqalı pánjereniń dawiri, al k arqalı spektrdiń tártibi (qatar sanı) belgilengen.

Jumistiń barısı

1. Elektr lamposhkasın shınjırǵa tutastırınız (jaǵınız). Ásbaptı gorizont baǵıtındaǵı joqarǵı tárepı kózdiń qáddinde jaylasatuǵınday etip bekitińiz.

2. Úskenege difrakciyalıq pánjereni ornalastırınız. Difrakciyalıq pánjereniń dawiri bolǵan d shamasın aniqlańız (pánjereniń ózine jazıp qoyılǵan).

3. $l_1 = 20$ sm qashıqlıqta jılıjtuǵın ekrandı ornalastırınız.

4. Ekrandaǵı sańlaq arqalı jaqtılıq dereginiń jaqtılıq shıgarıp turǵan sabagi kórinetuǵınday etip jaylastıramız.

Qarańǵı fonda sańlaqtıń eki tárepinde simmetriyalıq spektrler payda boladı.

5. Ekrandaǵı shkalanıń járdeminde oraylıq maksimumnıń orayınan birinshi hám ekinshi tártipli difrakciyalıq jolaqlardaǵı spektrdiń qızıl (b_q) hám fiolet (b_f) jolaqlarına shekemgi qashıqlıqlar ólshenedi. Bunday ólshewlerdi ekrandaǵı oraylıq maksimumnıń orayınan shep táreptegi maksimumlar ushin da, oń táreptegi maksimumlar ushin da islew kerek.

6. Tap usınday ólshewler $l_1 = 30$ sm bolǵan qashiqlıqta da orınlanadı.
7. (4)-formulanı paydalanıp qızıl (λ_q) hám fiolet (λ_f) nurlarıń tolqın uzınlıqları ólshenedi.
8. Alıńǵan nátiyjeler kestege jazıladı.
9. Qızıl (λ_q) hám fiolet (λ_f) nurlarıń tolqın uzınlıqlarınıń ortasha mánisleri esaplanadı.
10. Alıńǵan nátiyjeler kestelerden alıńǵan nátiyjeler menen salıstırıladı.
11. Ótkerilgen tájiriybeler boyınsha juwmaqlar shıǵarıladı.

Ornı	k	d, sm	b_q, sm	b_f, sm	l, sm	λ_q, nm	λ_f, nm	Keste
oń	1				20			
shep	1				20			
oń	2				20			
shep	2				20			
oń	1				30			
shep	1				30			
oń	2				30			
shep	2				30			
								Ortasha mánisler

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw ushın arnalǵan sorawlar

1. Gyuygens-Frenel principiniń fizikalıq mánisi neden ibarat?
2. Qanday tolqınlardı kogerent tolqınlar dep ataydı?
3. Difrakciya qubılışınıń fizikalıq mánisi nelerden ibarat?
4. Bir qatar qánigeler "difrakciya jaqtılıqtıń tosqınlıqlardı aylanıp ótiwi" dep ataydı. Neniń saldarınan jaqtılıq tosqınlıqlardı "aylanıp ótiwi" múmkin?
5. Qanday jaǵdaylarda difrakciya baqlanadı?
6. Difrakciyalıq súwrettiń alınıwındaǵı linzaniń tutqan ornı neden ibarat?
7. Difrakciyalıq pánjere ushın maksimumlar shártı nelerden ibarat?
8. Difrakciyalıq spektrlerdegi reńlerdiń ózgeriw tártibi qanday?

Paydalanylǵan ádebiyatlar dizimi

1. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Учебное пособие. Для вузов. В 5 т. Тот IV. Оптика. 3-е издание. Издательство "ФИЗМАЛИТ". Москва. 2005. 792 с.

https://mipt.ru/dasr/upload/89a/f_3kf3p7-raphh81ii9w.pdf
<http://rgho.st/download/48302746/b7ce903fa62699dcfb60178ab548e0b7e0081db7/phys106.zip>

2. Diffraction grating. https://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction_grating

7-laboratoriyalıq jumıs

Nyuton saqıynaları járdeminde jaqtılıqtıń tolqın uzınlığın ólshew

Teoriyalıq bólım

Nyuton saqıynaları (Newton's rings) dep jaqtılıq dóńes linza arqalı ótkende usı linza menen tegis-parallel plastinkanıń bir biri menen tiyisip turǵan noqattıń dógereginde payda bolatuǵın saqıyna tárizli interferenciyalıq maksimumlar menen minimumlarǵa aytadı.

Jiyilikleri birdey, al fazalar ayırması turaqlı bolǵan eki $E_1 = a \cos\Phi$ hám $E_2 = b \cos(\Phi + \delta)$ garmonikalıq terbelislerin qosqanda jiyiliği tap sonday bolǵan garmonikalıq terbelis alınadı:

$$E = a \cos\Phi + b \cos(\Phi + \delta) = E_0 \cos(\Phi + \alpha). \quad (1)$$

Bul ańlatpalarda $\Phi = \omega t + \delta_1$ arqalı birinshi terbelistiń fazası, ω arqalı tolqinnıń jiyiliği, al δ_1 arqalı birinshi terbelistiń dáslepki fazası belgilengen.

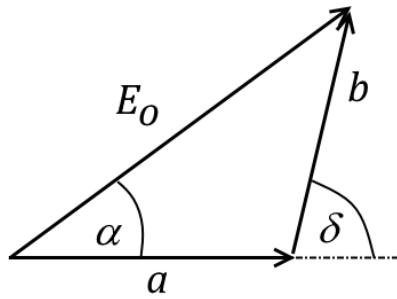
Qosındı terbelistiń amplitudası E_0 diń mánisin tabıwdıń hár qıylı jolları bar. Solardıń biri terbelislerdi vektorlıq qosıw usılı bolıp tabıladi:

$$E_0^2 = a^2 + b^2 + 2ab \cos\delta. \quad (2)$$

Bul ańlatpada a menen b arqalı qosilatuǵın terbelislerdiń amplitudaları belgilengen. Garmonikalıq terbelislerdiń energiyası olardıń amplitudalarınıń kvadratına tuwrı proporsional bolǵanlıqtan (2)-formuladan qosındı energiyaniń maksimallıq mánisiniń fazalar ayırması

$$\delta = 2\pi m \quad (3)$$

shamasına teń bolǵanda alınatuǵınlığı kórinip tur. Bul ańlatpada $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ δ niń usınday mánislerinde qosındı terbelistiń energiyası qosılıwshı terbelislerdiń energiyasınan úlken boladı. Bunday jaǵdayda 1-súwrettegi a hám b amplitudaları baǵıtlas boladı.



1-súwret.
Eki garmonikalıq terbelisti qosıwdıń vektorlıq diagramması.

Qosındı terbelistiń energiyasınıń minimallıq mánisi

$$\delta = 2\pi \left(m + \frac{1}{2} \right) \quad (4)$$

shártı orınlıǵanda júzege keledi. Bunday jaǵdayda qosındı terbelistiń energiyası qosılıwshı terbelislerdiń energiyalarınıń qosındısınan kishi boladı hám \$a = b\$ shártı orınlıǵanda nolge aylanadı.

Terbelislerdi usınday etip qosıw monoxromat tolqınlardıń interferenciyasına sáykes keledi. Tolqınlardı monoxromatlıq emesliginiń xarakteristikası ushin kogerentlik uzınlığı (\tilde{l}) hám kogerentlik waqıt (τ) túsinikleri paydalanyladi. Eger c arqalı tolqınnıń (biz qarap atırǵan jaǵdayda jaqtılıqtıń) tarqalıw tezligin belgilesek, onda olar arasında

$$\tilde{l} = c\tau \quad (5)$$

túrindegi ápiwayı qatnas orın alǵan. Al kogerentlik waqıt nurlanıw spektriniń keńligi $\Delta\nu$ menen ápiwayı türde baylanısqan

$$\tau = \frac{1}{\Delta\nu}. \quad (6)$$

$\nu = \frac{c}{\lambda_0}$ teńliginiń orın alatuǵınlıǵıń esapqa alsaq ($\lambda_0 = ct$, onda (5)- hám (6)- formulalardan

$$\tilde{l} = c\tau = \frac{c}{\Delta\nu} = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda_0} \quad (7)$$

formulasın alamız. Bul formuladan spektrdiń sheksiz kishi keńligi orın alǵan jaǵdayda ($\Delta\nu = 0$), yaǵniy monoxromatlıq tolqın orın alǵan jaǵdayda kogerentlik uzınlığınıń mánisi sheksiz úlken bolatuǵınlıǵı kelip shıǵadı. Eger nurlanǵan jaqtılıqtıń quramında hár qıylı jiyiliklerge iye kóp sanlı tolqınlar qatnasatuǵın bolsa, onda derek monoxromatik emes, al shekli waqıtlıq uzınlıqtıǵı tolqınlardıń jaynaǵın nurlandıradi. Bunday jaǵdayda sol shekli

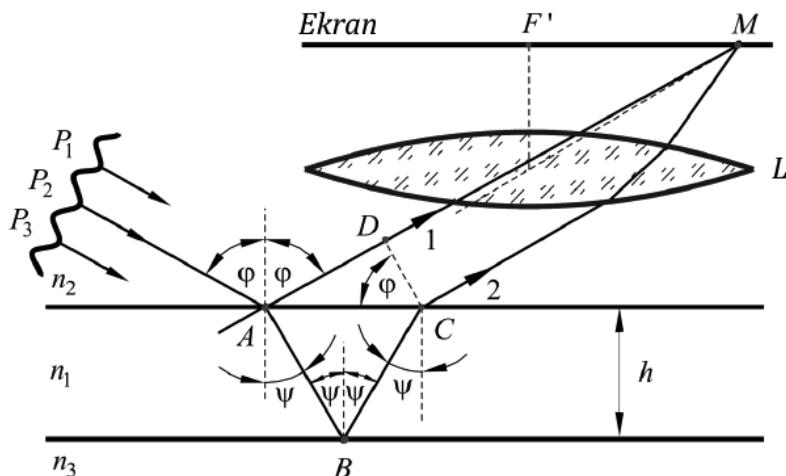
waqıtlıq uzınlıqtaǵı tolqınlardıń jiynaǵı ushın kogerentlik uzınlıqtıń shaması (7)-formulaniń járdeminde esaplanadı.

Biz tómende ápiwayılıq ushın "shekli waqıtlıq uzınlıqtaǵı tolqınlardıń jiynaǵı" túsiniginiń ornına rus tilindegi "tolqınlardıń cugı" túsinigin paydalanamız.

**Fazalar ayırması menen júrisler ayırması arasındaki baylanıs.
Intensivliktiń mánisiniń maksimum hám minimum bolıw shártleri.
Teńdey qıyalıq jolaqları**

Joqarında keltirilgen maǵlıwmatlar derekten shıqqan nurlardıń quramında hár qıylı jiyilikke, dáslepki fazaga hám tarqalıw baǵıtı hár qıylı bolǵan kóp sanlı tolqınlardıń cuglarınıń bolatuǵınlıǵın bildiredi. Al jaqtılıqtıń ádettegi deregın paydalanganǵanda interferenciyanı baqlaw ushın nurdı qanday da bir jollar menen eki dástege ayırıw kerek boladı. Dástelerdiń biri waqıt boyınsha keshigiwge iye boladı (yaǵníy biri ekinshisine salıstırǵanda artta qaladı). Onıń shaması kogerentlik uzınlıǵınan úlken bolmawı kerek. Bunnan keyin eki dásteni ekrannıń bir noqatında jiynaydı. Bul orında superpoziciya principine sáykes terbelislerdiń qosılıwı orın aladı.

Interferenciyanı baqlawǵa múmkinshilik beretuǵın sxemalardıń birin qaraymız. Meyli jaqtılıq $P_1 P_2 P_3$ dereginen qalınlığı h shamasına teń tegis-parallel plastinkaǵa túsetuǵın bolsın (2-súwret). Absolyut sıniw kórsetishleriniń mánisleri n_1 hám n_2 shamalarına teń bolǵan bir tekli eki móldir zattı ayırıp turǵan birinshi shegaradaǵı A noqatında jaqtılıqtıń sıniw menen shaǵılısıwı qubılısları baqlanadı. Al sıńǵan nurdıń bir bólimi B noqatında shaǵılısıp, usı shaǵılısqan nurdıń bir bólimi C noqatında qaytadan birinshi ortalıqta sınadı.



2-súwret. Teńdey qıyalıqtaǵı interferenciyalıq jolaqlardı baqlaw sxemasındıǵı nurlardıń joli.

Linzaniń tautaxronlıq sistema ekenligi belgili. Bunday sistema mınaday qásiyetke iye: 2-nurdıń D noqatınan M noqatına baraman degenshe ketken waqıttıń shaması 1-nurdıń C noqatinan M noqatına baraman degenshe ketken waqıtqa teń. Bunday jaǵdayda irkiliw (keshigiw) $(AB + BC)$ hám (AD) kesindirileriniń uzınlıqlarınıń birdey bolmawınıń sebebinen payda boladı. 1-hám 2-nurlarǵa sáykes keliwshi ekrandaǵı ulıwmalıq noqattıń terbelislerin jazamız:

$$E_1 = a \cos \Phi = a \cos(\omega t + k_1 z_1 + \delta_1), \quad (8)$$

$$E_2 = b \cos(\Phi + \delta) = b \cos(\omega t + k_2 z_2 + \delta_2). \quad (9)$$

Bul ańlatpalarda Φ arqalı birinshi terbelistiń fazası, δ arqalı fazalar ayırması, $k_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1} = \frac{2\pi n_1}{\lambda_0}$ arqalı sıniw kórsetkishi n_1 bolǵan ortalıqtaǵı tolqın sanı, δ_1 arqalı B noqatındaǵı shaǵılısqanda orın alatuǵın faza boyınsha sekiriw, δ_2 arqalı ekinshi nurdıń A noqatında shaǵılısqanında orın alatuǵın faza boyınsha sekiriw belgilengen. $k_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2} = \frac{2\pi n_2}{\lambda_0}$. $z_1 = 2AB, z_2 = AD$. (8)-hám (9)-formulalardaǵı terbelisler fazalarında P_2A, DM hám CM kesindileri esapqa alınbaǵan. Sebebi bul kesindilerde fazalar ayırması payda bolmaydı. Terbelislerdiń fazalar ayırmasın esaplaymız:

$$\delta = k_1 z_1 - k_2 z_2 + \delta_2 - \delta_1 = \frac{2\pi}{\lambda_0} (z_1 n_1 - z_2 n_2) + \delta_2 - \delta_1. \quad (10)$$

Bul ańlatpada $z_1 = \frac{2h}{\cos\psi}, z_2 = AC \cdot \sin\varphi$.

$$\Delta = z_1 n_1 - z_2 n_2 + \lambda_0 \frac{\delta_2 - \delta_1}{2\pi} \quad (11)$$

belgilewin paydalanamız. Bul formuladaǵı birinshi qosılıwshı 1-hám 2-nurlarıń jollarınıń optikalıq uzınlıqlarınıń ayırmasın ibarat. Δ shamasın júrislerdiń optikalıq ayırması dep ataydı. $AC = 2AB \sin\psi$, al φ menen ψ shamaları bolsa bir biri menen sıniw nızamı boyınsha baylanısqan bolǵanlıqtan ($n_2 \sin\varphi = n_1 \sin\lambda$) júrisler ayırmasın esaplaw ushın

$$\Delta = 2hn_1 \cos\psi + \lambda_0 \left(\frac{\delta_2 - \delta_1}{2\pi} \right) \quad (12)$$

formulasın alamız.

(10)-hám (11)-formulalardan fazalar ayırması δ hám júrisler ayırması Δ niń

$$\frac{\delta}{2\pi} = \frac{\Delta}{\lambda_0} \quad (13)$$

ańlatpası arqalı baylanışqan ekenligine kóz jetkeriwge boladı.

Eger biz M noqatındaǵı terbelislerdiń sinfazalı bolıwın qáleytuǵın bolsaq [(3)-formulaǵa qarańız], onda júrisler ayırmasınıń

$$\Delta = m\lambda_0 \quad (14)$$

shártin qanaatlandırıwın talap etiwimiz kerek. Bul shárt M noqatındaǵı intensivliktiń maksimum shártı bolıp tabıladı. Intensivliktiń minimumı

$$\Delta = \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda_0 \quad (15)$$

túrine iye boladı.

Monoxromat jaqtılardırıw orın alganda, yaǵníy λ_0 shaması turaqlı bolǵanda Δ shaması [(11)-formulaǵa qarańız] túsiw múyeshi φ diń funkciyası bolıp tabıladı. Sonlıqtan φ shamasınıń turaqlı mánisine turaqlı Δ shaması, yaǵníy turaqlı jaqtılardırıw sáykes keledi. Sonlıqtan berilgen λ_0 ushın (belgili reń ushın degen sóz) ekranda baqlanatuǵın súwret koncentrlik sheńberler túrindegi jaqtılı hám qarańğı jolaqlardan turadı. Ekrandaǵı sáykes jolaqları teńdey qıyalıqlar jolaqları dep ataydı.

Teńdey qıyalıqlar jolaqların baqlaw ushın ekrandı linzaniń fokallıq tegisligine jaylastırıw kerek. Al olardı kóz benen kórgende kóz sheksizlikke akkomodciyalanadı (kóz sheksiz qashıqlıqtaǵı obektlerdi kóriwge iykemlestirilgen boladı). Bunday jaǵdayda teńdey qıyalıqlar jolaqları sheksizlikte lokalizaciyalanǵan dep ataydı.

Eger jaqtılıqtıń deregi monoxromat emes tolqınlardı nurlardıratuǵın bolsa (demek jaqtılıqtıń quramında hár qıylı reńlerdegi jaqtılıqlar bolsa), onda quramalı súwret payda boladı. Alıńǵan súwret hár qıylı reńlerdegi jolaqlardıń qosındısınan turadı. Hár qıylı reńlerdegi intensivlikleriniń maksimumları hár qanday múyeshlerde baqlanadı (sabinnıń kóbigi, suwdıń betindegi maydıń plenkası hám t.b.). Bunday jaǵdayda júrisler ayırmasın esaplaytuǵın formulaǵa kiretuǵın qatlamnıń qalınlığı

$$\Delta < \tilde{l} \quad (16)$$

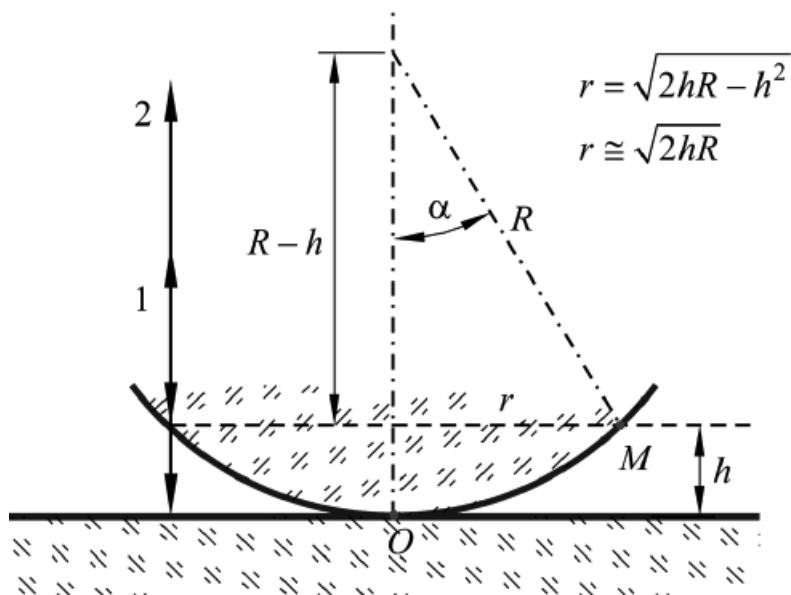
shártin qanaatlandırıwı kerek.

Kogerentlik uzınlığı bolǵan \tilde{l} shamasınıń mánisin bahalaw ushın adam kóziniń 0,4 mkm den (fiolet) 0,7 mkm ge (qızıl) shekemgi diapazonda eń keminde úsh reńdi isenimli türde alatuǵınlıǵın paydalaniwǵa boladı [adamnıń kózi úsh reńge seziwi joqarı bolǵan kóriw receptorlarınıń úsh sortına iye boladı

(qızıl, jasıl, kók)]. Sonlıqtan juwiq türde reńi boyinsha kózdiń ajiratiwı qıym bolatuǵın intervaldını keńligi ushın $\Delta\lambda_0 = 0,1$ mkm shamasına teń intervaldı ala alamız. Bunday jaǵdayda kogerentlik uzınlığınıń shaması $(5 \div 6) \lambda_0$, yaǵníy $2 \div 3$ mkm shamasına teń boladı. Bunnan biz qanday sebeplerge baylanıslı ójirelerdiń tegis aynalarında interferenciyalıq súwrettiń baqlanbaytuǵınlıǵıny aqın türde tú sine alamız.

Teńdey qalınlıqlar jolaqları. Nyuton saqıynaları

Biz joqarıda birdey qıyalıqlar jolaqlarınıń payda bolıwınıń fizikaliq tiykarları menen tanıstiq. Bunday jolaqlar qalınlığı $2 \div 3$ mkm shamasınan úlken bolmaǵan tegis parallel plastinkalarda baqlanadı eken (mısali suwdıń betindegi juqa may plenkasında). Al teńdey qalınlıqlar menen baylanıslı bolǵan interferenciyalıq jolaqlar qalınlığı ózgermeli bolǵan zatlardıń qatlamında baqlanadı. Aq jaqtılıqtı paydalanganda plastinkaniń qalınlığı h shamasınıń (16)-shártti qanaatlandırıwı shárt bolǵanlıqtan h tiń mánisi júdá kishi bolıwı kerek hám zattıń qatlamın hár bir noqatta lokallıq jaqtan tegis hám parallel dep qarawǵa boladı. Bunday jaǵdayda qatlamnıń sına tárizlilik müyeshin júdá kishi dep esaplap, júrisler ayırmasın esaplaǵanda onı itibarǵa almawǵa boladı. Bunday jaǵdayda joqarıda alıngan nátiyjelerdi paydalaniw múmkın [(12)-formulaǵa qarańız].



3-súwret. Shiyshe plastinkaniń tegis beti menen sferalıq bettiń arasındaǵı boslıqta payda bolatuǵın optikalıq sına.

Eger interferenciyalıq jolaqlardı baqlaǵanda φ müyeshiniń turaqlılıǵı támiyinlengen bolsa (ózgermeli qalınlıqqı iye qatlamǵa jaqtılıq usınday müyesh penen tú sedi), onda turaqlı λ_0 orıń alganda qatlamnıń qalınlığı h birden

bir ózgermeli shama bolıp qaladı. Bunday sharayatta h tiú turaqlı mánisine turaqlı júrisler ayırması hám usığan sáykes turaqlı intensivlik sáykes keledi.

Sına tárizlilikti esapqa alǵan halda joqarǵı hám tómengi betlerden shashıraǵan nurlarıń júrislerin tallaw sol nurlarıń joqarǵı bettiń tikkeley qasında (millimetrden kishi qashiqlıqta) kishi múyesh penen kesilisetugınlıǵın kórsetedi. Sonlıqtan teńdey qalınlıqlar interferenciyalıq jolaqların baqlaǵanda kózdiń kóriwin sınanıń joqarǵı betine iykemlestiriw kerek boladı. Al linzaniń járdeminde baqlawlar ótkergende ekrandı sınanıń joqarǵı betine qatnasi boyınsha túyinles bolǵan tegislikte ornalastırıw talap etiledi. Bunday jaǵdayda teńdey qalınlıqlar jolaqları sınanıń betinde lokalizaciyalanǵan dep aytadı.

Ámelde ózgermeli qalınlıqqa iye sınanı payda etiw ushın jiynawshı linzaniń dóńes tárepin shiyshe plastinkanıń tegis betine qoyıw kerek (3-súwret).

Linzaniń beti menen plastinka tiyisip turǵan orında (O noqatında) jetkilikli dárejede kishi qalınlıqqa iye hawa sınanı payda boladı. h tiú turaqlı mánisine O noqatinan teńdey qashiqlıqta jaylasqan noqatlardıń kópligi sáykes keledi (radiusı r bolǵan sheńber). $R = 1$ m hám $h = 1$ mkm bolǵan jaǵday ushın $r = 1.414$ mm. Bunday jaǵdayda M noqatındaǵı hawa qatlamınıń sına tárizligi júdá kishi shamaǵa teń boladı: $\alpha \cong \frac{r}{R} \cong 4,8'$.

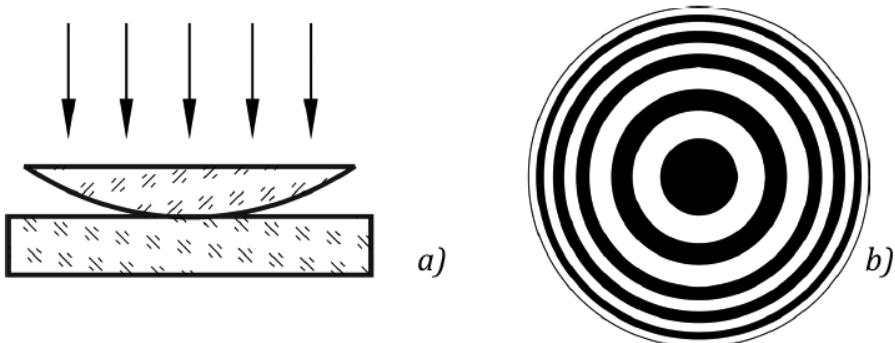
Sonlıqtan eger derekten shıqqan jaqtılıq vertikal baǵitta túsetuǵın bolsa, onda sınıwdı esapqa almawǵa boladı hám juwiq türde shaǵılısqan 1- hám 2-nurlar joqarı tárepke qaray bir sızıq boyınsha, biraq bir birine salıstırǵanda keshigip júredi dep esaplawǵa boladı. (12)-formulada júrisler ayırması esaplaw ushın $n_1 = 1, \cos\psi = 1, \delta_1 = \pi, \delta_2 = 0$ teńliklerin qabil etiw kerek. Bunday jaǵdayda júrisler ayırması

$$\Delta = 2h - \frac{\lambda_0}{2} \quad (17)$$

shamasına teń boladı.

(17)-formuladan baqlanatuǵın difrakciyalıq súwrettiń ortasında (yaǵníy O noqatında) barlıq tolqın uzınlıqları ushın qarańǵı daqtıń alınatuǵınlığı kelip shıǵadı. Bul noqattaǵı júrisler ayırması $\Delta = -\frac{\lambda_0}{2}$, fazalar ayırması $\delta = -\pi$ shamalarına teń boladı [(13)-formulaǵa qarańız]. Bul noqatta (orayda) sáykes terbelislerdiń fazaları qarama-qarsı boladı hám sonlıqtan olar bir birin sóndiredi. Sonıń menen birge a hám b amplitudaları juwiq türde bir birine teń boladı. Sebebi biz qarap atırǵan jaǵdayda shiyshe-hawa hám hawa-shiyshe shegaralarında túsiwshi jaqtılıq aǵımınıń tek kishi gana bólimi shaǵılısadı ($n_2 = 1.5, n_1 = 1$ hám $n_3 = 1.5$ bolǵan jaǵdaylarda jaqtılıq normal baǵittaǵı túskende shaǵılıstırıw koefficientiniń mánisi tek 4 procentti quraydı). Sonlıqtan sına tárizli hawa sańlaqtıń tómengi hám joqarı táreplerinde shashıraǵan tolqınlar bir birin tolıq óshiredi. Shashıraǵan nurlarda alınatuǵın interferenciyalıq súwret ótken nurlarda alınatuǵın interferenciyalıq súwretke

salıstırǵanda ádewir anıq boladı. Sebebi ótken nurlarda a menen b shamaları birdey bolmaydı.



4-súwret. Linza menen tegis-parallel plastinka arasındaǵı optikalıq sına hám tájiriybelerde baqlanatuǵın Nyutonnıń interferenciyalıq saqıynalarınıń túri.

Birinshi jaqtılı interferenciyalıq jolaq $h = \frac{\lambda_0}{4}$ shártine sáykes noqatlarda alındı. Sonlıqtan jolaq dóńgelek formaǵa iye boladı. Baqlawlar aq jaqtılıqta júrgizilse dóńgelek jolaq hár qıylı reńler menen boyalǵan hám sonıń menen birge qızıl jolaqtıń radiusı fiolet jolaqtıń radiusınan úlken boladı. Barlıq interferenciyalıq súwret orayı O noqatında jaylasqan dóńgelek formaǵa iye jaqtılı hám qarańǵı jolaqlardıń jiynaǵınan – Nyuton saqıynalarınan turadı (4-súwret). Qarańǵı saqıynalardıń radiusları

$$2h_m = m\lambda_0 \quad (18)$$

shártin qanaatlandıradı (m arqalı saqıynanıń qatar sanı belgilengen) hám radiusları

$$r_m = \sqrt{m\lambda R} \quad (19)$$

shamalarına teń boladı. Bul teńliklerden usı laboratoriyalıq jumısta tolqın uzınlığı tabılatuǵın formula alındı:

$$\lambda_0 = \frac{d_m^2 - d_k^2}{4R(m - k)} \quad (20)$$

d_m hám d_k arqalı $m -$ hám $k -$ Nyuton saqıynalarınıń diametrleri belgilengen.

(20)-formulaniń Nyutonnıń jaqtılı jolaqları, sonıń menen birge O noqatında hawa qatlamınıń kalińlıǵı nolge teń bolmaǵan jaǵday ushın da durıs ekenligin dálillew qıyın emes.

Aq jaqtılıq deregenen shıqqan jaqtılıqtıń interferenciyalıq súwreti baqlanǵanda $5 \div 6$ tártipli Nyuton saqıynalarına itibar beriw kerek [(16)-formulaǵa hám onıń mánisine itibar berińiz]. Jaqtılıq filtrlerin qollanıw paydalanıp atırǵan jaqtılıqtıń spektriniń keńligi bolǵan $\Delta\lambda_0$ shamasın kishireytedi hám usıǵan sáykes kogerentlik uzınlığı bolǵan \tilde{l} shamasın

úlkeytedi [(7)-formulaǵa qarańız]. Bunday jaǵdayda baqlanatuǵın Nyuton saqıynalarınıń sanı úlkeyedi. Baqlanǵan Nyuton saqıynalarınıń sanın anıqlap paydalanılǵan jaqtılıq filtriniń ótkergen nurlarınıń spektrallıq keńligi bolǵan $\Delta\lambda_0$ shamasın anıqlawǵa boladı.

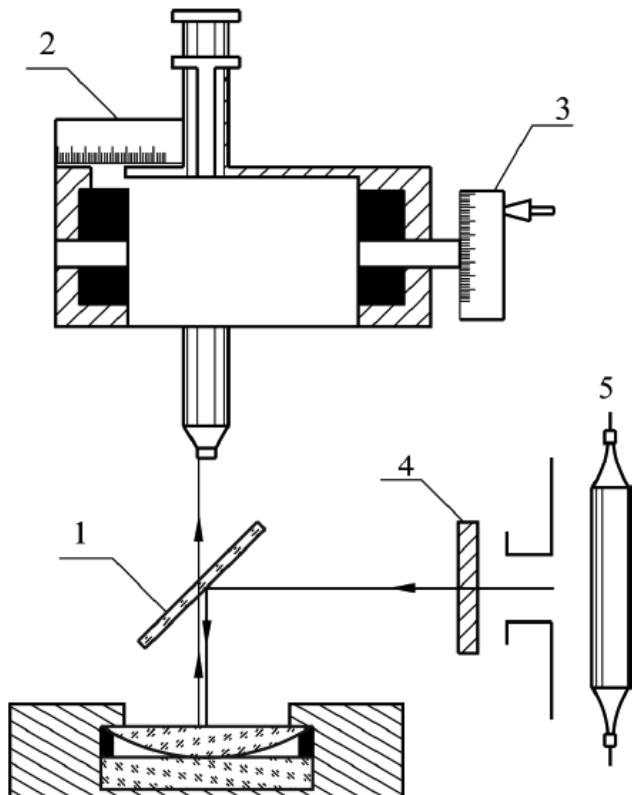
Jaqtılıqtıń sınaptan soǵılǵan deregin paydalanganda spektrdiń keńligin jáne de kishireytiwge hám usıǵan sáykes baqlanatuǵın saqıynalardıń sanın úlkeytiwge boladı.

Eksperimentallıq bólím

Nyuton saqıynaların alatuǵın optikalıq sistema (bul sistema linzadan hám tegis plastinkadan turadı) ólshevshi mikroskoptıń qozǵalatuǵın stolında jaylastırıladı. Bul jaǵdayda stol saqıynalardıń diametrlerin ólshevge arnalǵan (5-súwret).

Tegis-parallel shiyshe plastinka (1) mikroskoptıń tubusına 45° liq kiyalıqta qoyılǵan hám "dóńeslinza- tegis plastinka" sistemасын jaqtilandırıw hám usınıń menen birge Nyuton saqıynaların baqlawǵa kesent etpew ushin jaylastırıladı.

Mikroskoptıń tubusu mikrometrik vinttiń járdeminde gorizont baǵıtında qozǵala aladı hám onıń iyelegen ornı 2-shkala hám 3-barabannıń járdeminde millimetrdiń júzden bir úlesindey dállikte ólshenedi.



5-súwret. Nyuton saqıynaların baqlaw hám onıń diametrlerin ólshev ushin arnalǵan úskeneneniń sxeması.

1-sanlı shınıǵıwlar. Linzaniń iymeklik radiusın tabıw

1. Jaqtılıq deregin qosıńız. Mikroskoptıń okulyarına ótkeriw jolaǵı belgili bolǵan jaqtılıq filtrin ornalastırıńız.
2. Dereken shıqqan jaqtılıqtıń tegis-parallel plastinkaǵa túskennlige hám onıń mikroskoptıń kósherine 45° qıya etip jaylastırılǵanına tolıq isenim payda bolǵannan keyin mikroskoptı saqıynalar anıq kórinetuǵınday etip fokuslańız.
3. Ólshewshi mikroskoptıń qozǵalıwshı karetkasınıń barabanın aylandırıw arqalı sızcıqlardıń kesilisiw noqatın oraydan qashiqlasqan (mısali shep tárępten altınsı jolaq) qarańǵı yamasa jaqtılı saqıynaǵa alıp kelip ólshew júrgizińiz. Bunnan keyin usınday ólshewlerdi 5-, 4-, 3- hám basqa da saqıynalar ushın ótkerińiz. Oraylıq daqtan ótip oń táręptegi saqıynalar ushın da (altınsı saqıynaǵa shekem) ólshewler júrgizińiz.
4. Ólshewlerdiń nátiyjeleri boyınsha saqıynalardıń diametrleriniń shamaların anıqlańız. Linzaniń iymekliginiń radiusı (20)-formulaniń járdeminde alınadı. Nátiyjelerdiń dállicity joqarılıtiw ushın $k/2$ -saqıynanıń diametri menen k -saqıynanıń diametrin, $(k/2-1)$ -saqıynanıń diametrin $(k-1)$ -saqıynanıń diametri menen kombinaciyalaw kerek. Nátiyjeler boyınsha ortasha mánisti tabıńız hám sferalıq bettiń iymekliginiń iymekliginiń radiusın anıqlawda jiberilgen qáteniń shamasın bahalańız.

2-sanlı shınıǵıwlar. Jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵıń anıqlaw

1. Zárúrli bolǵan jaqtılıq filtrin ornalastırıńız (1-sanlı tájiriybelerde paydalangan jaqtılıq filtrlерinen basqa).
2. 1-sanlı tájiriybelerdegi barlıq ólshewlerdi qaytalańız.
(20)-formulaǵa linzanıń anıqlanǵan iymeklik radiusın qoyıp tolqın uzınlıǵınıń mánisin tabıńız.

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw ushın arnalǵan sorawlar

1. Terbelisler menen tolqınlardıń tiykarǵı xarakteristikaları hám olardıń fizikalıq mánisi (jiyilik, dáwir, ciklıq jiyilik, tolqın sanı, tolqinnıń tarqalıw tezligi, tolqinnıń uzınlıǵı, amplituda, faza).
2. Garmonikalıq terbelislerdi qosıw. Qosındı terbelistiń energiyasınıń maksimumı menen minimumı shártleri.
3. Fazalar ayırması menen júrisler ayırmasın baylanıstıratuǵın formulani keltirip shıǵarıw.
4. Nyuton saqıynaların baqlaw sxemasındaǵı interferenciyalanıwshı nurlardıń júrisler ayırması ushın formulani keltirip shıǵarıw.
5. Baqlanatuǵın interferenciyalıq jolaqlardıń forması hám olardıń reńlerin túsindiriwi.

Paydalanylǵan ádebiyatlar dizimi

1. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Учебное пособие. Для вузов. В 5 т. Тот IV. Оптика. 3-е издание. Издательство "ФИЗМАЛИТ". Москва. 2005. 792 с.

https://mipt.ru/dasr/upload/89a/f_3kf3p7-raphh81ii9w.pdf
<http://rgho.st/download/48302746/b7ce903fa62699dcfb60178ab548e0b7e0081db7/phys106.zip>

2. Кольца Ньютона. https://ru.wikipedia.org/wiki/Кольца_Ньютона

3. Newton's rings. https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_rings

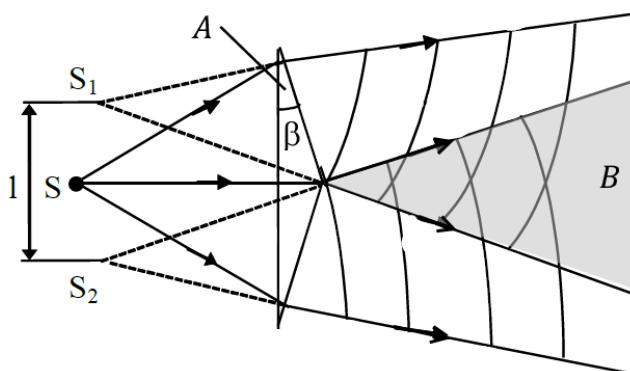
8-laboratoriyalıq jumıs

Frenel biprizmasınıń járdeminde jaqtılıqtıń tolqın uzınlığın aniqlaw

Jumistiń maqseti: biprizmaniń járdeminde jaqtılıqtıń interferenciyası qubılısı menen tanısıw hám tolqın uzınlığın ólshew.

Ólshewler usılları

Frenel biprizması ultanları menen bir birine biriktirilgen kishi sindırıwshı mýyeshlerge iye ($\sim 30'$) eki prizma bolıp tabıladı (sindırıwshı mýyeshlerdi β arqalı belgileydi, Frenel biprizması 1-súwrette kórsetilgen).



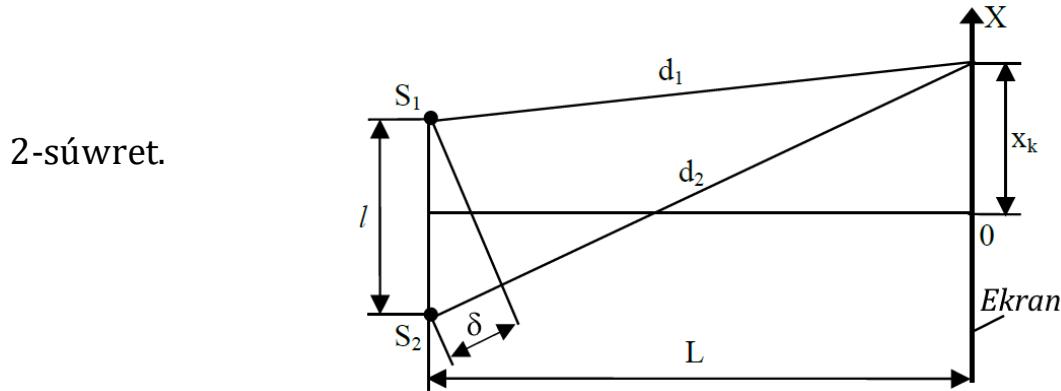
1-súwret.

Frenel biprizması hám ondaǵı nurlardıń joli.

A – biprizma.

B – interferenciya baqlanatuǵın oblast.

Eger S tiń ornına sızıqlı jaqtılıq deregin (monoxromat nurlar menen jaqtılardırılǵan saňlaqtı) kóz aldımızǵa keltirsek, onda S₁ menen S₂ ler sızıqlı jormal kogerent derekler bolıp tabıladı. Olardıń aldına L qashıqlıqta ekran jaylastırıramız (2-súwret).



Súwrette mınaday belgilewler paydalanılgan: x_k – ekrannıń orayınan k-tártipli maksimumǵa shekemgi qashiqlıq, $\delta = d_2 - d_1$ eki nur arasındaǵı júrisler ayırması, l – jormal kogerentli derekler arasındaǵı qashiqlıq, L – jormal dereklerden ekranga shekemgi qashiqlıq.

Interferenciyasınıń nátiyjesinde ekranda bir birine parallel bolǵan jaqtılı hám qarańǵı jolaqlar payda boladı. Jolaqtıń keńligin (eni, misali qońsılas jaqtılı oblastlar arasındaǵı qashiqlıq) 2-súwretti paydalanıp alıwǵa boladı.

Interferenciyalıq maksimumnıń alınıwı ushın júrisler ayırması pútin san eselengen λ tolqın uzınlığına teń boladı:

$$\delta = k\lambda. \quad (1)$$

2-súwrettegi úsh mýyeshlerdiń uqsaslıǵı shártinen k-tártipli maksimum ushın

$$\frac{\delta_1}{l} \approx \frac{x_k}{L}, x_k = \delta_1 \frac{L}{l} \quad (2)$$

teńliklerin alamız. Al $(k+1)$ -tártipli maksimum ushın

$$\frac{\delta_2}{l} \approx \frac{x_{k+1}}{L}, x_{k+1} = \delta_2 \frac{L}{l} \quad (3)$$

teńlikleri orınlı boladı. (2)- hám (3)-ańlatpalarǵa sáykes jolaqtıń keńligi

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{L}{l} (\delta_2 - \delta_1) = \frac{L}{l} [(k+1) - k] \lambda = \frac{L}{l} \lambda \quad (4)$$

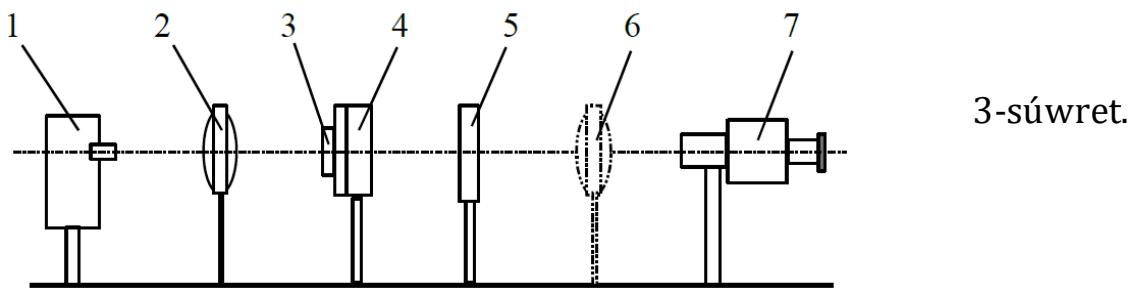
formulasınıń járdeminde esaplanadı. Bunnan

$$\lambda = \frac{\Delta x l}{L} \quad (5)$$

formulasına iye bolamız. Demek ásbaptıń ólshengen parametrleri boyinsha (l menen L) jaqtılıqtıń tolqın uzınlığı bolǵan λ shamasın aniqlaw mümkin eken.

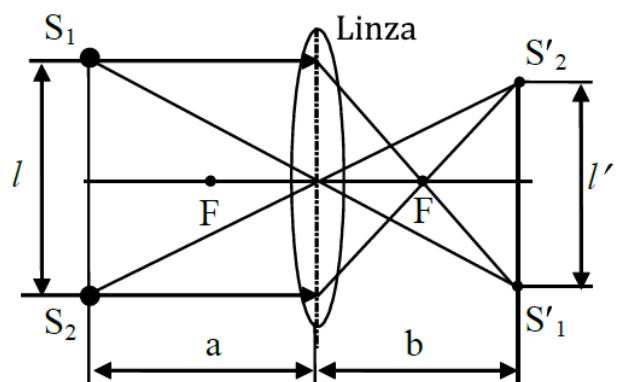
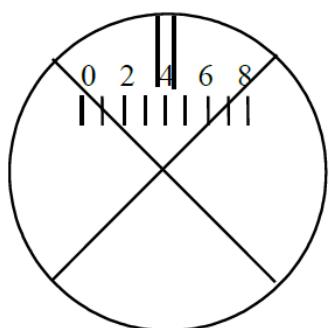
Eksperimentallıq dúzilis

Frenel biprizmasınıń járdeminde interferenciya qubılısin izetlew ushın arnalǵan dúzilistiń sxeması 3-súwrette keltirilgen.



Optikalıq otırǵıshta izbe-iz türde mınaday dúzilisler menen ásbaplar ornalastırıladı: jaqtılıq deregi (qızdırıw lampası) 1, kondensor 2, jaqtılıq filtri 3, sańlaq 4, Frenel biprizması 5, okulyarlıq mikrometr 7. Ásbaplar arasındaǵı qashıqlıq optikalıq otırǵıshtıń shkalası boyinsha aniqlanadı.

Okulyarlıq mikrometrdiń (7) járdeminde interferenciyalıq súwret baqlanadı hám interferenciyalıq jolaqlar arasındaǵı qashıqlıqlar ólshenedi.



Okulyarlıq mikrometrdiń shkalası 4-súwrette kórsetilgen. Qozǵalmaytuǵın torda bahası 1 mm ge teń bólimerler bólingen. Qozǵalatuǵın torda eki qozǵalatuǵın sıziq hám atanaq bar. Tordı mikrometrdiń vintin buraw arqalı jılıjtadı. Mikrometrdiń bólimerleriniń bahası 0,01 mm.

Atanaq tı mikrometrdiń barabanın aylandırıp dáslepki ólshenetuǵın kesindiniń baslangısh noqati, al onnan keyin eń aqırğı noqati menen úylestiredi hám okulyarlıq mikrometrdiń shkalasındaǵı hám barabandaǵı kórsetkishler jazıp alınadı (sıziqlardıń iyelegen orınları boyinsha).

Mısalı, eger eki sızıq arasındağı mikrometrdiń shkalasında 4 sanı turǵan (4-súwretke qarańız), al mikrometrlik vinttiń barabanında 29 bólüm belgilengen bolsa, onda ólshew 1,29 mm, yaǵniy $4,29 \cdot 10^{-3}$ m shamasın beredi.

Birinshi hám ekinshi ólshewlerde alıńǵan shamalardıń ayırması ólshenip atırǵan kesindiniń uzınlığına teń.

Jormal jaqtılıq derekleri bolǵan S_1 hám S_2 derekleriniń arasındaǵı qashiqlıq l di anıqlaw ushın (2-súwret) optikalıq otırǵıshta biprizma menen okulyardıń ortasına (6) jiynawshı linzanı ornalastıradı (3-súwret). Jormal derekler arasındaǵı qashiqlıqtı 5-súwrette kórsetilgen linzadaǵı jaqtılıq nurlarınıń júriw jollarınıń sxeması boyınsha tabıwǵa boladı.

5-súwrette l' arqalı okulyardaǵı mikrometrdiń járdeminde anıqlanǵan jormal derekler arasındaǵı qashiqlıq, b arqalı linza menen okulyarlıq mikrometr (7) arasındaǵı aralıq, a arqalı (4) sańlaq hám (6) linza arasındaǵı qashiqlıq belgilengen. Sol 5-súwrettegi úsh mýyeshliklerdiń uqsaslıǵınan

$$\frac{a}{b} = \frac{l}{l'}, \text{ yaǵniy } l = \frac{l'a}{b} \quad (6)$$

ańlatpasın alamız. Usı jaǵdayǵa baylanıslı tolqın uzınlığı ushın eń aqırında

$$\lambda = \frac{\Delta x a l'}{L b} \quad (7)$$

formulasın alamız. Prizmaniń sindırıwshı mýyeshiniń mánisin

$$\beta = \frac{a l'}{2 b d (n - 1)} \quad (8)$$

formulasınıń járdeminde anıqlaw mümkin. Bul formulada d arqalı (4) sańlaq penen (5) biprizma arasındaǵı qashiqlıq hám $n = 1,5$ shaması shiysheniń sínıw kórsetkishi bolıp tabıladı.

Jumıstı orınlaw tártibi

1. Optikalıq otırǵıshqa 3-súwrette kórsetilgendey tártipte ásbaplardı ornalastırıńız (6-linzadan basqaların).
2. Qızdırıw lampasın elektr tarmagına jalǵańız.
3. Jaqtılıq filtrin ornalastırıńız hám mikrometrlik vinttiń járdeminde bir neshe interferenciyalıq jolaqlar arasındaǵı qashiqlıqlardı ólsheńiz (qatar sanları $N = 3, 5, 7$, qashiqlıqlar $N \cdot \Delta x$). Hár bir ólshew ushın qońsılas jolaqlar arasındaǵı qashiqlıq Δx hám olardıń ortasha mánisin

$$\overline{\Delta x} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3}{3}$$

túrindegi formulaniń járdeminde esaplańız. Ólshewlerdiń nátiyjelerin hám jaqtılıq filtriniń reńin 1-kestege jazińız.

4. $\bar{\Delta}x$ shamasınıń mánisin metrlerde alıńız.

1-keste.

Jaqtılıq filtri _____.

Jolaqlar sani N	$N\Delta x$, mm	Δx , mm	$\bar{\Delta}x$, mm	$\bar{\Delta}x$, m	λ , m
3					
5					
6					

5. Jaqtılıq filtrin ózgertip 3- hám 4-punktlerde kórsetilgen ólshewlerdi qaytalańız. Alınǵan nátiyjelerdi 2-kestege túsirińız.

2-keste.

Jaqtılıq filtri _____.

Jolaqlar sani N	$N\Delta x$, mm	Δx , mm	$\bar{\Delta}x$, mm	$\bar{\Delta}x$, m	λ , m
3					
5					
6					

6. Optikalıq otırǵish boyınsha (4) sańlaq penen (7) okulyarlıq mikrometr arasındań L aralıqtı hám (4) sańlaq penen (5) biprizma arasındań aralıq d ni ólsheńiz.

7. Optikalıq otırǵishqa (6) linzanı ornalastırıp hám onı jılıstırıw joli menen dereklerdiń (ańlaqlardıń) eki súwretiniń okulyarlıq mikrometrdegi anıq súwretiniń payda bolıyaına erisińiz. Mikrometrdiń járdeminde olar arasındań qashıqlıq l' tiń mánisin ólsheńiz. Optikalıq sızǵıstiń shkalası boyınsha a menen b arasındań qashıqlıqtı ólsheńiz (5-súwret).

8. Basqa jaqtılıq filtrin paydalanıp 7-punktte keltirilgen ólshewlerdi qaytalańız.

9. (7)-formula boyınsha hár bir jaqtılıq filtri ushin tolqın uzınlığı λ ni anıqlańız.

10. (8)-formula boyınsha prizmaniń sindırıwshi müyeshi β ni anıqlańız.

11. Ásbaplardı tarmaqtan ajıratıńız.

Qadaǵalaw ushın arnalǵan sorawlar

1. Frenel biprizması degenimiz ne hám onıń laboratoriyalıq jumısta tutqan ornı qanday?

2. Eki tolqın deregenen shıqqan jaqtılıqtıń interferenciyasında interferenciyalıq jolaqtıń keńligin kalayınsha anıqlawǵa boladı?

3. Usı jumisti orınlaganda qanday maqsetlerde linzanı sańlaq penen okulyarlıq mikrometr arasına ornalastırıdı?

Paydalanylǵan ádebiyatlar dizimi

1. Бипризма Френеля.

https://ru.wikipedia.org/wiki/Бипризма_Френеля

2. М.Борн, Э.Вольф. Основы оптики. Издание 2-е, исправленное.
Издательство "Наука". Москва. 1973. 719 с.

http://filekachat.com/getfile/25872_d0cbd07ad96bb8aa5a77eed0913a4c2f

3. А.Н.Матвеев. Оптика. Издательство "Высшая школа". Москва. 1985.
351 с. <http://rgho.st/download/48302963/d7cefda80f8727c6683686d5a8e905f299a242ec/phys111.zip>

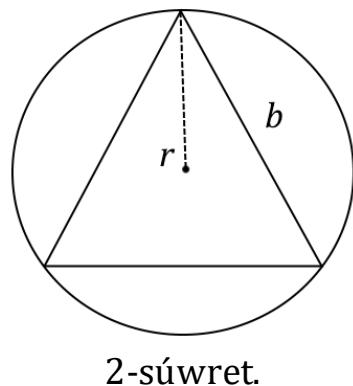
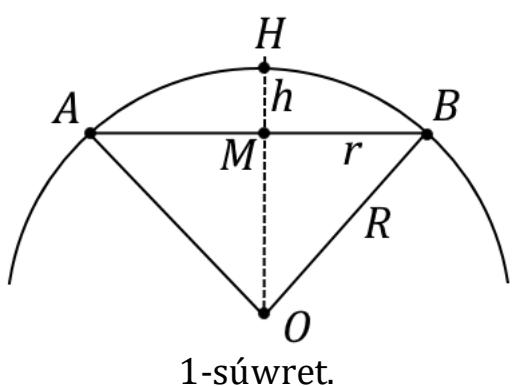
9-laboratoriyalıq jumıs

Plastinkaniń qalınlıǵıń hám linzaniń iymeklik radiusıń sferometrdiń járdeminde ólshew

Ásbaplar hám úskenele: sferometr, ayna shiyshe, shiyshe plastinka, tegis linza, shtangencirkul.

1. Teoriyalıq kirisiw

Sferometrdiń járdeminde linzaniń iymeklik radiusı R di ólshegende sferalıq segmenttiń biyikligi h hám sferometrdiń ayaqlarınıń ushları arasında qashıqlıq b tikkeley ólshenedi (1-súwret).



Tikkeley ólshenetugin shamalar menen linzaniń iymeklik radiusın baylanıstıratuǵın formulanı keltirip shıǵaramız. Belgilewler qabil etemiz:

AB — linzaniń ústindegi sferometrdiń ayaqları menen ańlatılǵan sferalıq segment.

OH — linzaniń iymeklik radiusı R.

MH — sferalıq segmenttiń biyikligi h.

MB — sferalıq segmenttiń radiusı r.

1-súwrettegi tuwrı mýyeshli úsh mýyeshlikten

$$R^2 = r^2 + (R - h)^2$$

teńliginiń orın alatuǵınlığı kórinip tur. Bunnan

$$R = \frac{r^2 - h^2}{2h} \quad (1)$$

formulasına iye bolamız.

Biraq r shaması úsh mýyeshliktiń sırtınan sızılǵan úsh mýyeshliktiń radiusı bolıp tabıladı. Bul úsh mýyeshliktiń tóbeleri sferometrdiń ayaqlarınıń ushi bolıp tabıladı. Usı r shaması teń qaptallı úsh mýyeshliktiń qaptalı b menen ápiwayı túrde baylanısqan (2-súwret):

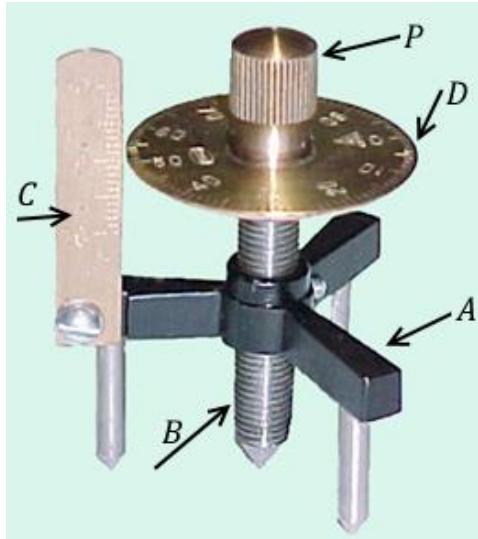
$$r = b \frac{\sqrt{3}}{3}. \quad (2)$$

Alıngan nátiyjeni (1)-formulaǵa qoysaq tek ólshenetugin shamalarǵa iye iymeklik radiusın alamız:

$$R = \frac{b^2 + 3h^2}{6h}. \quad (3)$$

Ásbaptıń táriyipi

Sferometr metalldan soǵılǵan úsh ayaqqa iye boladı (3-súwrettegi A). Úsh ayaq boyınsha B vertikallıq mikrometrlik vint qozǵaladı. Onıń adımı 1mm ge yamasa 0,5 mm ge teń boladı. Tómengi tárepte vinttiń ushi shıǵarılǵan, al joqarǵı tárepte D diskı bekitilgen. Bul disk 100, 500 yamasa 1000 bólimge bólingen. Qaptal tárepte C vertikallıq sızǵıshi bekitilgen bolıp, usı sızǵıshı boyınsha vinttiń tolıq aylanıslar sanı esaplanadı. Aylanıslar sanınıń yarım, onnan bir h.t.b úlesleri D diskı boyınsha aniqlanadı.



3-súwret.
Sferometrdiń sırtqı
kórinisi.

Sferometrdiń ayaqları ushlı etip islengen, olar arasındaǵı qashıqlıqlar birdey.

B vintiniń obektke tiygenin seziw ushin P sezgir rıshağı xızmet etedi. Onıń iynine mikrometrik vinttiń joqarğı ushin tireledi. Vinttiń ushi izertlenetuǵın betke tiygende P rıshaginiń ushi joqarıǵa qaray jılısadı.

3. Jumıstı orınlaw tártibi

1-tapsırma. Plastinkanıń qalınlıǵıń ólshew.

1. Sferometrdi aynalıq shiysheniń (yaǵníy aynanıń) ústine qoyıńız hám vintti aylandırıp onıń ushınıń shiyshege tiygenshe burap vinttiń nollik awhalın anıqlańız. Nollik awhaldı anıqlawdı bir neshe ret qaytalańız.

Vintti jetkilikli aylandırıp joqarıǵa kóterińız hám shiysheniń ústine ólshenetuǵın plastinkanı qoyıńız. Vinni sáykes baǵitta burap onıń ushin plastinkaǵa tiyetuǵınday jaǵdayǵa alıp kelińiz hám esaplawdı júrgizińiz.

Planstinkanıń mýyeshlerine jaqın eki noqat ushin da tap sonday ólshewlerdi júrgizińiz. Alınǵan nátiyjelerdi tómendegi kestege túsirińiz:

1-keste.

i	N_{0i}	N_i	$d_i = N_i - N_{0i}$	Δd_i	Δd_i^2
1					
2					
3					
4					
5					
Ort.					
Summa					

Isenimlilik koefficientin $\alpha = 0,94$ shamasına teń etip alıp absolyut hám salıstırmalı qátelerdiń mánislerin bahalańız hám keste boyınsha Styudent koefficientin tabıńız.

2-tapsırma. Linzaniń iymeklik radiusın ólshew.

Linzaniń iymeklik radiusınıń mánisi 3-formula boyınsha esaplanadı.

Ayna shiysheniń ústine sferometrdi ornalastırıńız hám vinttiń nollik awhalın anıqlańız. Operaciyanı bir neshe ret qaytalańız.

Vintti tawlap onıń B mikrometrik vintin jetkilikli dárejede joqarı kóterińiz hám sferometrdiń dál ortasına linzanı qoyıńız. Vintti linza menen tiyiskenshe tawlańız hám kórsetkishlerdi jazıp alıńız.

Sferometrdi jılıstırıp ólshewlerdi qaytadan ótkerińiz (keminde 3 ret).

Sferometrdi bir bet qaǵazdıń ústine qoyıńız, ásbaptı qaǵazǵa ástelik penen basıńız hám sferometrdiń ayaqlarınıń qaǵazda qaldırǵan izleri arasındaǵı aralıqlardı shtangencirkuldiń járdeminde ólsheńiz.

Nátiyjelerdi tómendegi 2-kestege túsirińiz:

2-keste.

i	N_{0i}	N_i	$h_i = N_i - N_{0i}$	b_i	R_i	ΔR_i	ΔR_i^2
1							
2							
3							
4							
5							
Ort.							
Summa							

Qátelerdi esaplaǵanda isenimlilik koefficientin 0,95 ke teń etip aliw usınıladı. Iymeklik radiusınıń mánisindegi ortasha kvadratlıq qátelik

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{\sum_i \Delta R_i^2}{n(n-1)}}$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı. Isenim beriletuǵın interval

$$\Delta R_g = \sigma_r t_{\alpha n}$$

shamasına teń. Bul formulada $t_{\alpha n}$ shaması Styudent koefficienti bolıp tabıladı (onıń mánisleri kestelerden alınadı). Eń aqırǵı nátiyjeler:

$$R = \bar{R} \pm \Delta R_g,$$

$$E_r = \frac{\Delta R_g}{\bar{R}} \cdot 100\%.$$

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw ushın sorawlar

1. Bettiń iymekliginiń radiusı hám bettiń iymekligi dep nege aytamız?

2. Vinttiń adımı degen ne hám berilgen sferometrdegi vinttiń adımı nege teń?

3. Linzaniń iymeklik radiusın aniqlaǵanda jiberiletuǵın qátelerdiń xarakteri nelerden ibarat?

Paydalanylǵan ádebiyatlar dizimi

1. Spherometer. <https://en.wikipedia.org/wiki/Spherometer>

2. Сферометр. <https://ru.wiktionary.org/wiki/сферометр>

3. Лабораторный практикум по оптике. Учебное пособие. Санкт-Петербургский Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. Санкт-Петербург. 2012. 63 с.

10-laboratoriyalıq jumıs

Prizmani goniometrdeki járdeminde úyreniw

Jumistiń maqseti: Optikalıq goniometrdeki (optical goniometer) jumısı menen tanısıw, shiyshe prizmani dispersiyasın izertlew hám spektrallıq ásbap sıpatındaǵı prizmani xarakteristikaların aniqlaw.

Jumista tómendegidey ásbap hám úskenerler paydalanylادı: goniometr, sınap lampası, prizma, shiyshe tegis-parallel plastinka, prizmalı mýyeshlik shaǵılıstırǵish.

Goniometr dep mýyeshlerdiń mánisin dál ólsheytuǵın ólshewshi ásbaplardıń klassına aytadı. Optikalıq laboratoriyalarda goniometrler keńnen qollanılıdı. Olardıń járdeminde prizmalar menen kristallardıń siniw kórsetkishlerin hám sindırıwshı mýyeshlerin aniqlaw, difrakciyalıq pánjerelerdiń parametrlerin izertlew, spektrallıq sızıqlardıń tolqın uzınlıqların ólshew mýmkin. Goniometrlerdiń járdeminde basqa da kóp sanlı izertlewler ótkeriledi. Bul jumista ásbap shiyshe plastinkalardıń dispersiyasın (yaǵníy siniw kórsetkishiniń tolqın uzınlıǵınan górezligin) izertlew ushın qollanılıdı.

Prizmani materialınıń siniw kórsetkishin eń kishi awısıw mýyeshiniń mánisi boyınsha aniqlaw qolaylı. Prizmada sınǵan nurdıń minimallıq awısıwinıń (yaǵníy prizmaǵa kelip túskenn hám prizmada sınǵan nurlar arasındaǵı mýyesh haqqında gáp etilip atır) nurdıń simmetriyalıq júrisinde alınatuǵınlıǵı belgili (prizmada nur sindırıw mýyeshiniń bissektrisasına perpendikulyar baǵitta tarqaladı). Minimallıq awısıw mýyeshi δ , sindırıwshı mýyesh α (1-súwrettegi prizmaniń tóbesindegi mýyesh) hám siniw kórsetkishi n shamaları arasında tómendegidey baylanıs bar:

$$n = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (1)$$

Bul formulań keltirip shıǵarıw studentlerdiń ózlerine tapsırıladı.

Goniometrдиń járdeminde sindırıwshi mýyeshtiń hám hár qıylı tolqın uzınlıqları ushın eń kishi awısıw mýyeshiniń mánislerin ólshep n shamasınıń mánisin esaplawǵa jáne dispersiyalıq iymeklikti $n(\lambda)$ górezliginiń grafigin dúziw mýmkin.

Dispersiyalıq iymeklik boyınsha optikalıq shiyshelerdiń sonday áhmiyetli xarakteristikalarınıń biri bolǵan ortasha dispersiyani

$$D = n_F - n_C \quad (2)$$

hám dispersiya koefficientin (Abbe koefficientin)

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} \quad (3)$$

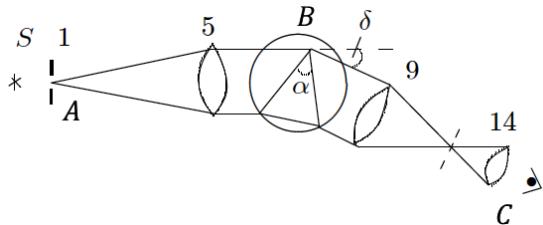
anıqlaw mýmkin.

Bulańlatpalarda n_D, n_F hám n_C arqalı $\lambda_D = 589,3$ nm (natriydiń sarı dubleti ushın ortasha tolqın uzınlığı), $\lambda_F = 486,1$ nm (vodorodtiń kók reńli sızıǵı) hám $\lambda_C = 656,3$ nm (vodorodtiń qızıl sızıǵı) tolqınları ushın sıniw kórsetkishleri belgilengen.

Dispersiyalıq iymekliktiń qıyalığı boyınsha prizmaniń ajırata alıwshılıq uqıplıǵıń tabıw mýmkin:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = b \frac{dn}{d\lambda}. \quad (4)$$

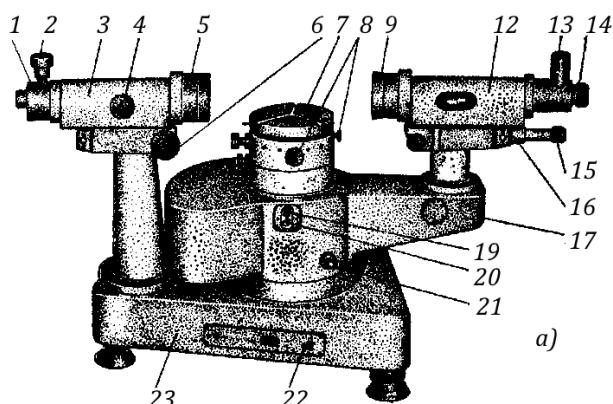
Bul formulada $\delta\lambda$ arqalı Reley kriteriyi boyınsha ruqsat etiletuǵın tolqınlardıń minimallıq intervalı, b arqalı prizmaniń ultanınıń ólshemi (eger prizmaniń qaptalı parallel dáste menen jaqtılardırılgan bolsa) belgilengen.



1-súwret.
A – kollimator,
B – prizma,
C – kóriw trubası.

Goniometr. Goniometrдиń optikalıq sxeması 1-súwrette keltirilgen. S deregenen shıqqan jaqtılıq kollimator arqalı (kollimator dep 1-sańlaqtan hám

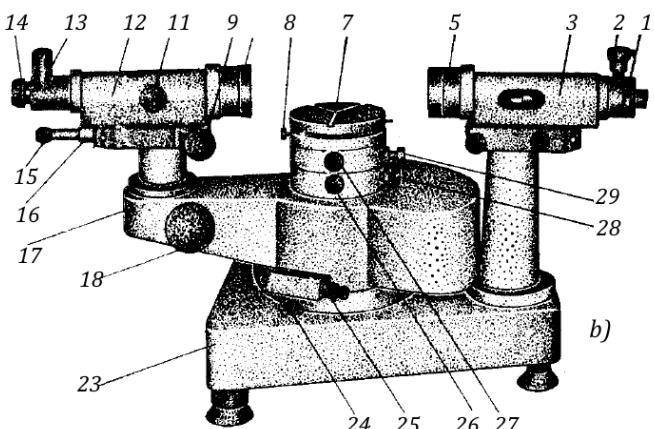
5-obektivten turatuǵın parallel dásteni beretuǵın dúziliske aytamız) ótedi hám prizma yamasa pánjere tárepinen parallel dástelerdiń jiynaǵına túrlendiriledi. Sol dástelerdiń hár qaysısı belgili bir tolqın uzınlıǵındaǵı jaqtılıq penen qáliplesedi. Parallel dásteler kóriw trubasınıń 9-obektiviniń fokallıq tegisliginde jiynaladı hám kóz benen kóriw trubasınıń 14-okulyarı arqalı baqlanadı. Sınap quyılǵan lampanıń jaqtısı menen sańlaq jaqtilandırılǵanda (sınaptıń diskret spektrge iye jaqtılıq beretuǵınlıǵı belgili) fokallıq tegislikte ayırım sızıqlar kórinedi. Bul sızıqlar jaqtılıq kiretuǵın sańlaqtıń reńli súwreti bolıp tabıladı (5-súwretke hám 1-kestege qarańız).



2-a súwret.
GC-5 tipindegi optikalıq
goniometrдиń sırtqı túri (bir
tárepten qaraǵanda).

Goniometrдиń sırtqı túri 2-a hám 2-b súwretlerde keltirilgen. Kollimator 3, kishkene stol 7 hám 12 kóriw trubası ornalastırılǵan alidada 17 úlken massága iye tiykarǵa bekitiledi. Kishkene stolda izertlenetuǵın obektler jaylastırıladı. Kollimator qozǵalmaytuǵın etip bekitilgen, al kishkene stol menen kóriw trubası ornalastırılǵan alidada vertikal baǵittaǵı kósherdiń dógereginde aylana aladı.

2-b súwret.
GC-5 tipindegi optikalıq
goniometrдиń sırtqı túri
(ekinshi tárepten qaraǵanda).



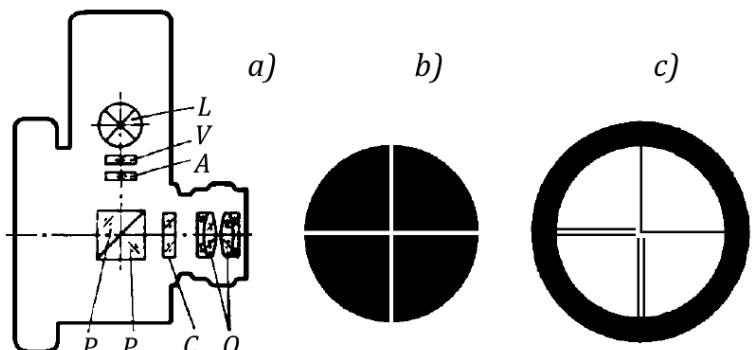
Kollimatorlıq sańlaqtıń keńligin 0 den 2 mm ge shekem 2-mikrometrik vinttiń járdeminde ózgertiw mümkin. Al sańlaqtıń biyikligi de 0 den 2 sm ge shekem sańlaqqa kiygilgen úsh múyeshli kesigi bar diafragmaniń járdeminde ózgertedi. 4-vint 5-obektivti jılıjıtw ushın paydalanyladi.

12-kóriw trubası 9-obektivten hám 13-avtokollimaciyalıq dúziliske iye 14-okulyardan turadı. Kollimator menen kóriw trubasınıń obektivleri birdey.

Trubanı fokuslaw 11-vinttiń járdeminde ámelge asırıladı. Gorizont baǵıtındaǵı kósherge salıstırǵandaǵı kollimator menen kóriw trbuasınıń qıyalığı sáykes 6-hám 10-vintlerdiń járdeminde ózgertiledi.

Kóriw trubasınıń avtokollimaciyalıq dúziliske iye okulyarınıń sxeması 3-súwrette kórsetilgen. L lampasınan shıqqan jaqtılıq V qorǵawshı shiyshe plastinka arqalı bir birine perpendikulyar bolǵan sańlaqqa iye A avtokollimaciyalıq torǵa kelip túsedı (3-b súwret). A torınan ótken jaqtılıq eki tuwrı mýyeshli P prizmaǵa kelip túsedı hám gipotenuza qaptalında shaǵılısadi. Al gipotenuza qaptalına shaǵılıstırıw koefficienti 50 % bolǵan yarım móldır qatlam jaǵılǵan. Goniometrди yustirovkalaw ushın kishi stolǵa tegis shaǵılıstırıwshı betke iye predmet qoyılatdı. Onda shashıraǵannan keyin parallel dáste kóriw trubasına qaytadı hám obektivtiń fokallıq tegisliginde jaynaladı. Bunday jaǵdayda jaqtılıq shıgarıp turǵan atanaqtı kóriw trubasınıń okulyarı arqalı kóriwge boladı. Sonıń menen okulyarda jáne bir C torı bar bolıp, onıń betine anıq kórinip turatuǵın atanaq túsilirgen (3-c súwret). Eki atanaqtıń da bir biriniń ústine túsilirgen súwreti O okulyarlıq linza tárepinen baqlanadı. Esaplawshı atanaqtıń kózge kórinetuǵın súwretiniń anıqlığı okulyardıń 14-opravasın aylandırıw menen júzege keltiriledi.

3-súwret.
Avtokollimaciyalıq
dúzilis.

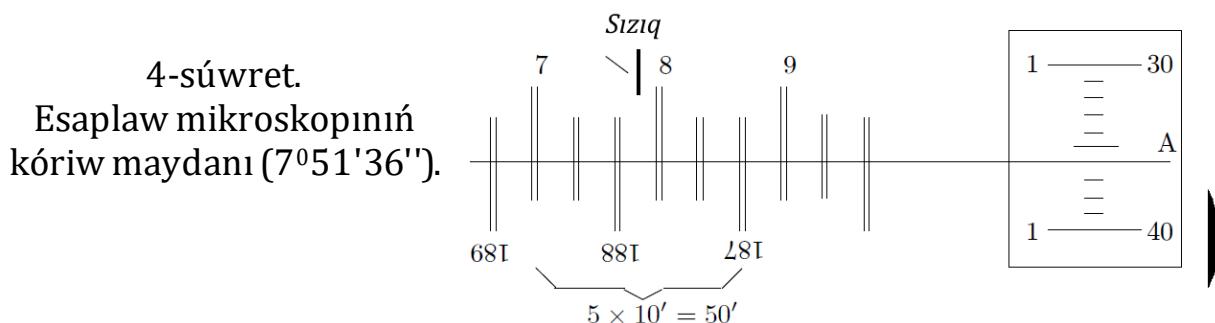


Okulyardıń eki torı da (A hám C lar, 3-a súwret) P prizmasınıń gipotenuza qaptallarınan birdey qashiqliqta jaylasqan. Sonlıqtan olardıń ekewin de tek bir waqıtta – obektiv penen okulyardıń fokallıq tegislikleri bir biriniń ústine túskende baqlaw mýmkin (truba sheksizlikti kóriwge tuwrılanǵan).

Kishi stoldıń orayı arqalı ótetüǵın vertikallıq kósherdeń dóberegeindegi kóriw trubasınıń burılıwın kórsetetuǵın dúzilis goniometrдиń eń áhmiyetli bólimleriniń biri bolıp tabıladı. Usı kósherge ásbaptıń korpusında jaylasqan móldır saqıyna (limb) bekitiledi. Limbiń betine bólimlerge iye shkala jaylastırırlıǵan. Limb $3 \times 360 = 1080$ dana bólimge bólingen. Hár bir bólimniń bahası $20'$ qa teń. Bólimler hám 1° tan cifrlanǵan (cifra jazılǵan). Eger jaqtılandırırlıǵan bolsa (22-tumbler), esaplaytuǵın dúzilis 16 niń okulyarı arqalı limbiń shkalasın baqlaw mýmkin. Shkalanıń súwretiniń anıqlığı okulyardıń opravası (15) ti buraw arqalı ámelge asırıladı.

Esaplawshı dúzilistiń optikalıq sisteması bılayınsha jiynalǵan: limbniń eki diametrallıq qarama-qarsı ushastkasınıń shtrixların okulyar arqalı baqlawǵa boladı, sol súwretlerdiń biri tuwrı súwret, al ekinshisi keri (4-súwret). Usınıń menen birge optikalıq sistema sol súwretlerdi bir birine salıstırǵanda jılıstıra aladı. Bunday jaǵdayda limb yamasa kóriw trubası bekitilgen alidada qozǵalıssız orınlarında qaladı.

Shtrixlardıń bul orıń almastırıwları optikalıq mikrometrdiń járdeminde ólshenedi. Mikrometrdiń shkalası 600 bólekke jılıjǵanda limbniń shtrixlarınıń joqarǵı súwreti tómengige salıstırǵanda $10'$ qa awısadı. Demek mikrometrdiń bir bóliminiń bahası $1''$ qa teń eken.



Esaplaytuǵın mikroskoptıń kóriw maydanı 4-súwrette keltirilgen. Shep táreptegi aynada limbtíń diametrallıq qarama-karsı ushastkalarınıń súwretleri hám graduslardı belgileytuǵın vertikallıq sızıq kórinedi. Oń tárepte optikalıq mikrometrdiń shkalasınıń bólimleri hám minutlar menen sekundlardı esaplaytuǵın A sızıǵı kórinip tur.

Eksperimentatordıń jumısınıń qolaylı bolıwı ushın goniometrde kishi stoldıń, kóriw trubası ornalastırılgan alidadanıń hám limbtíń bir birine salıstırǵandağı qozǵalıslarınıń bir neshe variantları názerde tutılǵan.

Goniometr puqtalıq penen ótkerilgen yustirovkanı talap etedi. YUstirovka tómendegilerden turadı:

- a) kóriw trubası sheksizlikke qoyıladı;
- b) kishi stoldıń beti hám trubanıń optikalıq kósheri ásbaptıń aylanıw kósherine perpendikulyar etip qoyıladı;
- v) kollimator túsiwshi nurlardıń baǵıtına perpendikulyar ornalastırıladı;
- g) kollimatordıń optikalıq kósheri ásbaptıń kósherine perpendikulyar ornalastırılgan bolıwı shárt.

Jumısti orınlaw barısında hár bir student goniometrde jumıs islewdiń qaǵıydarı menen tolıq tanıсадı.

Tapsırmalar

Jumısta goniometrdi yustirovkalaw, prizmanıń sindırıwshı mýyeshin anıqlaw, sinaptıń bir neshe spektrallıq sızıqları ushın eń kishi awısıw

múyeshiniń mánisin ólshew hám prizmaniń spektrallıq xarakteristikaların bahalaw názerde tutıladı.

1. Goniometrdi yustirovkalaw

Sistemanıń qálegen aylaniwshi elementi qol menen erkin túrde aylaniwi shárt (eger sáykes bekitiw vinti bosatılǵan halǵa qoyılǵan bolsa).

1. Yustirovkaǵa kirisiwdiń aldında 2-súwrettegi 20-rıshagtiń joqarǵı awhalda turǵanlıǵın anıq kórip alıńız. 19-rıshagtiń basılǵan boliwı kerek.

2. Kishi stoldıń tómengi bóliminiń shkala menen birgelikte erkin aylaniwi ushın 26-vint, stoldıń joqarǵı bóliminiń erkin aylaniwi ushın 27-vint bosatılǵan boliwı kerek. Stoldı qol menen aylandırip kóz benen qaraǵanda gorizont baǵıtında turatuǵınday etip qoyıńız. Bul operaciya 8 sanı menen belgilengen bir birine perpendikulyar bolǵan eki vinttiń járdeminde ámelge asırıladı (usınıń menen birge stoldıń qaqpası hám onıń qaptal beti arasındaǵı sańlaqtıń shamasına da itibar beriledi).

Kóriw trubasın sheksizlikke tuwrılaw.

3. 14-tutqanı aylandırw arqalı kóriw trubasınıń okulyarın qara reńli esaplawdıń bası xızmetin atqaratuǵın qara atanaqtı anıq kórinetuǵınday etip qoyadı (krestti stol lampasınıń shashıraǵan nırımenen jaqtılındırıwǵa boladı).

4. 22-tumblerdi elektr tarmaǵına qosıńız (bul jaqtılındırǵısh). Bunday jaǵdayda obektiv tárepten trubaǵa qaraǵanda avtokollimaciyalıq tordaǵı jaqtılıq shıǵarıp turǵan krestti kóriwge boladı.

Obektivtiń tutqasına tegis-parallel plastinkanı qıyalap jaylastırıńız hám 11-vintti aylandırip (yaǵníy obektivti tuwrılap) okulyardaǵı shiyshe betten shaǵılısqan jaqtılıq shıǵarıp turǵan atanaqtıń súwretin tabıńız.

Kishi stoldıń betin ásbaptıń aylaniw kósherine perpendikulyar etip qoyıńız.

5. Kishi stoldıń tek joqarǵı bóliminiń erkin aylaniwi hám 8-vintlerdiń biriniń trubanıń kósheriniń baǵıtında turiwı ushın 26-vintti qatırıńız.

Kishi stoldıń ústine múyeshlik shaǵılıstırıwshını (tóbesindegi múyesh 90° qa teń bolǵan prizmanı) mına shártlerdi qanaatlandıratuǵınday etip qoyıńız: 8-vintlerdiń biri prizmaniń gipotenuzalıq qaptalına perpendikulyar, al gipotenuzalıq qaptal kóriw trubasınıń kósherine perpendikulyar bolsın. Bunday prizmadaǵı kiriwshi hám shıǵıwshi nurlar barlıq waqitta da bir birine parallel.

Gipotenuzalıq qaptalǵa perpendikulyar bolǵan 8-vintti aylandırip hám kishi stoldı qol menen shep hám oń táreplerge qaray áste-aqırınlıq penen aylandırip prizmada shaǵılısqan jaqtılıqtıń túsiwiniń sebebinen jaqtılıq shıǵarıp turǵan atanaqtıń kóriw maydanında kóriniwine erisemiz. Shaǵılısqan atanaqtıń orayın esaplaw ushın arnalǵan atanaqtıń gorizont baǵıtındaǵı shtriǵı menen betlestiremiz (bul jerde gorizont baǵıttıǵı awısıw hesh qanday áhmiyetke iye emes). Eger shaǵılısqan atanaqlardıń sanı bir neshe bolsa eń jaqtı atanaq penen jumıs islew kerek.

6. Shaǵılıstırǵıshı kóterińiz, kishi stoldı 180 gradusqa burińız hám shaǵılıstırǵıshı stoldıń ústine qoyıńız. Avtokollimaciyalıq atanaqtıń orayın jáne de esaplawdiń bası orın iyeleytuǵın shtrix penen úylestiremiz. Biraq bul jaǵdayda yarım aralıqtı truba menen parallel bolǵan 8-vint penen, al qalǵan yarımin 10 vinttiń (trubanıń qıyalığı vinti) járdeminde ótiw kerek. Stoldı dáslepki awhalına alıp kelińiz hám alıp kelingen (tuwrılangan) awhaldiń shamasın aniqlańız. Jaqtılıq shıǵarıp turǵan atanaqtıń kóriw maydanınıń radiusınıń úshten birine awısıwı ruqsat etiledi.

2. Kollimatordı tuwrılaw

1. Sınaplı lampanı jaǵıńız. Kiriw sańlaǵın keńeytińiz hám sınaplı lampanı sańlaqqı jaqın jaylastırıńız. Kollimatordıń obektiviniń artına aq qaǵazdı qoyıńız hám kollimatordıń kósherine perpendikulyar baǵitta jaqtılıqqtıń deregin qozǵap qaǵazdaǵı jaqtılıq daǵınıń oraylıq bóliminiń maksimallıq jaqtılaniwına erisińiz.

2. Alidadanı bolsatińız (24-vint) hám sheksizlikke tuwrılangan kóriw trubasın kollimatordıń qarsısına ornalastırıńız. Tap usınday tuwrılawdı 24-vint bekitilgen jaǵdayda 25-vintti aylandırıw joli menen orinlańız. Kóriw trubası arqalı sańlaqtıń súwretin baqlap hám usınıń menen birge 4-vintti buraw arqalı (yaǵníy kollimatordıń obektivin qozǵaw arqalı) sańlaqtıń anıq súwretiniń payda bolıwına erisińiz.

3. Sańlaqtıń kózge kórinip turǵan biyikliginiń shamasın bir neshe millimetre shekem kishireyińiz.

4. 6-vinttiń járdeminde kollimatordıń qıyalığın ózgertip anıq súwretti okulyardıń kóriw maydanınıń orayına alıp kelińiz.

5. Kiriw sańlaǵınıń keńliginiń mánisin onıń kórinip turǵan keńligi qos esaplaw jolaqları arasındaǵı qashıqlıqtan 1,5-2 ese úlken bolǵanday etip alınız.

3. Múyeshlerdi ólshev

15-okulyarǵa qarap hám onıń tutqasın buraw arqalı limbtıń hám libtiń oń tárepindegi vertikallıq shkalaniń anıq kóriniwine erisińiz.

18-optikalıq mikrometrdiń maxovigin burap esaplawdiń bası bolıp tabilatuǵın eń jaqın sıziqqa tómengi shkalaniń shep táreptegi cifrlılangan shtrixin alıp kelińiz (eger shtrixlardı bir orıngá alıp keliwdiń sóti túspese 18-maxovikti basqa tárepke qaray burińız hám qońsılas tómengi shtrix penen betlestirińiz); múyeshti graduslarda ólsheńiz (4-súwrette 7°).

Onlaǵan minutti anıqlaw ushın qos shtrixlar arasındaǵı intervallardıń sanın sanańız (4-súwrette 7 den 187 ge shekem 5 interval bar, hár qaysısı 10 minuttan, yaǵníy 50 minut).

Minutlar sanı vertikallıq shkaladaǵı A sızıǵınıń ústindegi shep táreptegi san bolıp tabıladı (4-súwrette 1'). Sekundlar sanı vertikallıq shkalaniń oń tárep

boyınsha esaplaw bolıp tabıladi (4-súwrette gorizont bağıtındaǵı A sızığınıń turǵan ornı 36 sekundtı beredi).

4-súwrette kórsetilgen awhal $7^{\circ}51'36''$ shamasın beredi. Goniometrdiń ólshew dálligi $5''$ shamasınan kem emes (GS-5 goniometriniń pasportı boyınsha).

I. Esaplaw ushın baslaǵısh noqattıń (esaplaw basınıń) aniqlanıwı

1. Trubanı kollimatordıń qarsısına qoyıńız. 25-mikrometrik vintti buraw arqalı (24-vint qatırılgan bolıwı kerek) esaplaw bası bolǵan qos shtrixti kiriw sańlaǵınıń axromatiklik súwreti menen betlestirińiz.

2. Esaptı júrgiziw ushın eń qolaylı bolǵan baslaǵısh mýyesh sıpatında $\approx 180^{\circ}$ awhalın saylap alıwǵa boladı. Usınday jaǵdayǵa keliw ushın 18-maxovikti aylandırıw arqalı gorizont bağıtındaǵı esaplaw júrgiziletuǵın A sızığın $1'00''$ awhalına alıp kelińiz. Usınday qosımsha minuttiń alınıwınıń sebebi bar (dál $0'0''$ ge tuwrlanǵanda kóphilik jaǵdaylarda 18-maxovik isten shıǵadı).

Dáslap erkin qoyılǵan 26-vintte stoldıń tómengi bólimin qol menen aylandırıp, bunnan keyin 26-vintti qatırıp 28-mikrometrik vintti aylandırıw arqalı joqarǵı shtrixti 180° qa, al tómengisin 0° qa alıp kelińiz. Ásbaptı tap usınday etip jumısqa tayarlaǵanda spektrallıq sızıqlar kórinetuǵın barlıq mýyeshler $0'1'0''$ tan baslap ólshenedi. Bul nurdıń túsiw mýyeshi bolıp tabıladi.

Eger ásbap 180° shamasına tuwrlanbaǵan bolsa, onda siziń ózińiz esaplaw bası sıpatında saylap alǵan mýyeshtiń mánisin jazıp qoyıńız.

Usınıń menen goniometrdi tuwrlaw (jumısqa tayarlaw) processi juwmaqlanadı. Esaplawdıń bası sıpatında alıńǵan noqattı joǵaltıp almaw ushın ólshewlerdiń aqırına shekem 26-vintti bosatpaw kerek. Al stoldı tek 27-vintti bolsatiwdan keyin ǵana buriwǵa boladı (stoldıń joqarǵı bólimi shkalasız aylanadı).

Jumıs processi barısında esaplawdıń basınıń ózgermegenligin tekserip turiw usınıs etiledi.

II. Prizmanı ornalastırıw

1. Prizmanı onıń sindırıwshı qabırǵası vertikal, al onıń qaptallarınıń biri 8-vintlerdiń birine perpendikulyar etip ornalastırıńız.

2. Prizma dál türde ornalastırılmaǵan bolǵan jaǵdayda stoldıń qıyalıǵın jáne bir ret ózgertiwge tuwrı keledi. Bunı ámelge asırıw ushın mınaday operaciyalardı orınlaw kerek: 24-vint bos turǵan jaǵdayda alıdada aylandırıladı yamasa 27-vint bos bolǵan jaǵdayda stol aylandırıladı (esaplawdıń bası tuwrlanǵannan keyin 26-vintti bosatpaw kerek). Usınday jollar menen jumıs islenip atırǵan kaptaldaǵı jaqtılıq shıǵarıp turǵan atanaqtan shashıraǵan nurdı

tabınız hám onı 8-vinttiń járdeminde shaǵılıstırıwshı qaptaldiń orayına alıp kelińiz. Trubanıń qıyalıǵın ózgertiwge bolmaydı.

3. Prizmaniń paydalanılatuǵın qaptalın 8-vintlerdiń ekinshisine perpendikulyar etip jaylastırıńız hám shaǵılısqan atanaqtı jáne de tabınız. Eger atanaq jılıǵan bolsa, onda shaǵılıstırıwshı qaptalǵa perpendikulyar bolǵan vinttiń járdeminde qaytadan orayǵa alıp kelińiz. Prizma ornalastırılgan stoldı burińiz hám ekinshi qaptaldan shaǵılısıwdı tekserip kórińiz. Usınday operaciyanı atanaq kóriw maydanınıń radiusınıń úshten birinen de úlken qashiqlıqqa jılıǵansha dawam etińiz.

III. Sindırıwshı mýyeshti ólshew

Prizmaniń sindırıwshı mýyeshin ólshew ushın kóriw trubasın onıń (prizmaniń) shaǵılıstırıwshı qaptallarınıń birine perpendikulyar etip qoyıńız hám limbniń kórsetiwin jazıp alıńız (limbda mýyeshlerdiń mánisi tolıq dóńgelek boyınsha jazılǵan boladı). Bunnan keyin prizma menen stoldı qozǵamay alidadanı buriw joli menen trubanı prizmaniń ekinshi qaptalına perpendikulyar etip qoyamız. Limbniń ekinshi kórsetiwin jazıp alamız. Sol kórsetiwlerdiń ayırması sindırıwshı mýyeshtiń shaması bolıp tabiladı.

IV. Awısıwdıń minimallıq mýyeshi

1. Minimallıq awısıw mýyeshin anıqlaw ushın prizmanı stoldıń ústine ultanı kollimatordıń kósherine parallel etip qoyamız (bul operaciya qurallanbaǵan kózdiń járdeminde ámelge asırıladı). Prizmaniń artına qaǵazdı qoyıp hám stoldı qol menen aylandırip (qaǵazdıń betindegi) spektrdi tabamız. Stoldı buriwdı dawam etip hám spektrdiń orın almastırıwın baqlap minimallıq awısıw mýyeshine sáykes keliwshi prizma ornalastırılgan stoldıń awhalın anıqlańız.



5-súwret. ДРШ-250
sinaplı lampasınıń
spektri.

1-keste.

ДРШ-250 sinaplı lampanıń spektriniń xarakteristikaları

Nº	1	2	3	4	5	6
λ , nm	578,2	577,0	546,1	491,6	435,8	404,7
Reń	sarı	sarı	jasıl	kók	kók	fiol.
Jaqılıǵı	10	8	10	4	4	3

Kóriw trubasınıń járdeminde spektrdi tabińız hám sarı sızıqlardıń birine tuwrılańız (5-súwret hám 1-keste). Bunnan soń dáslep qol menen, keyin 29-vint penen stoldı aylandırıp (buniń ushın 27-vinttiń qatırılıǵanlıǵına itibar beriw kerek) onı spektrallıq sızıqtıń tarqalıw baǵıtın kollimatrdıń kósheriniń baǵıtı menen arasındaǵı mýyesh eń kishi mániske iye bolatuǵınday awhalǵa qoyıladı.

Ólshevdiń qolaylı júrgiziliwi ushın kiriw sańlaǵınıń biyikligin úlkeytiwge boladı. Eger sızıq anıq kórinbese trubaniń 11-vintin aylandırıw arqalı anıq sızıqtıń payda bolıwin támiyinlew mýmkin. Bunnan keyin dáslep alidadanı qol menen, keyin 25-vinttiń járdeminde burıp ólshev torınıń qos shtriǵın saylap alıńǵan sızıq penen betlestirińız hám limb boyınsha kórsetiwdi jazıp alınız.

2. Spektrdiń hár bir sızıǵı ushın (5-súwret) ózine sáykes awısıwdı anıqlańız hám sızıqtıń koordinatasın anıqlańız.

V. Ajırata alıw qábiletligi

Prizmaniń ajırata alıw qábiletligin bahalaw ushın kiriw sańlaǵınıń keńliginiń mýmkin bolǵan minimallıq shamasın anıqlap algannan keyin dublettiń qızıl sızıqlarınıń birewiniń mýyeshlik keńligin ólsheńiz. Eger dál ólshevlerdi ótkeriwdiń mýmkinshiligi bolmasa dublettiń qurawshilarınıń arasındaǵı qashıqlıqtıń bir sızıqtıń keńliginen shama menen neshe ese úlken ekenligin kóz benen anıqlańız. Prizmaniń ultanınıń uzınlığı bolǵan b shamasın sızǵıstiń járdeminde ólsheńiz.

VI. Nátiyjelerdi qayta islew

1. (1)-formulaniń járdeminde awısıwdıń minimallıq mýyeshi $\delta(\lambda)$ ni hám sínıw kórsetkishi $n(\alpha, \delta)$ ni esaplańız. $n(\lambda)$ dispersiyalıq iymekligin dúzińiz.

2. Alıńǵan grafik boyınsha n_D, n_F hám n_C shamaların anıqlańız hám (2)-formula boyınsha shiysheniń ortasha dispersiyasın esaplańız. n_C shamasın sınaplı lampanıń spektri boyınsha anıqlaǵanda dispersiyalıq iymeklikti uzın tolqınlar tárepke qaray ekstrapolyaciyalawǵa tuwrı keledi. Abbe sanın (3)-formulaniń járdeminde esaplańız hám kesteler tiykarında paydalanylǵan shiysheniń sortın tabińız.

3. $dn/d\lambda$ iymekliginiń kiyalığı boyınsha (4)-formula boyınsha prizmaniń maksimallıq ajırata alıwshılıq uqıplılıǵıń esaplańız.

Sarı dubletti ólshevdiń nátiyjeleri boyınsha eksperimentallıq R shamasın anıqlańız hám prizmaniń ultanınıń ólshemin bahalańız.

Ultanı $b = 5$ mm bolǵan prizmaniń ajırata alıwshılıq qábiletliginiń 100 sızıq/mm bolǵan difrakciyalıq pánjereniń qanday ólshemlerinde birdey bolatuǵınlıǵıń bahalańız.

Sarı dubletti ólshevler boyınsha $d\varphi/d\lambda$ müyeshlik dispersiyasınıń mánisin esaplańız hám alıngan nátiyjelerdi 100 sızıq/mm bolǵan difrakciyalıq pánjereniń ajirata aliwshılıq qábiletligi menen birinshi tártipte salıstırıńız.

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw boyınsha sorawlar

1. (1)-formulanı keltirip shıǵarıńız.
 2. Avtokollimaciyalıq dúzilistiń qurılısin hám jumısın táriyipleńiz.
 3. Dispersiya qubılısunıń fizikalıq mánisi nelerden ibarat?
 4. Sınıw kórsetkishi menen tolqın uzınlığınıń arasında kanday qatnas bar?
- Dispersiya iymekliginiń súwretin salıńız.
5. Optikalıq goniometrlerden basqa qanday goniometrlerdi bilesiz?

Ádebiyat

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Goniometer>
2. <http://www.goniometer.ru/>
3. Г.С.Ландсберг. Оптика. Учебное пособие. Для вузов. 6-е издание. Москва. ФИЗМАТЛИТ. 2003. 848 с.
[http://d.theupload.info/down/cvz9lmsiktsbmr6ygtxc8wl455j8mko/landsberg_g_s_optika_\(2003\).djvu](http://d.theupload.info/down/cvz9lmsiktsbmr6ygtxc8wl455j8mko/landsberg_g_s_optika_(2003).djvu)
4. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Учебное пособие. Для вузов. В 5 т. Тот IV. Оптика. 3-е издание. Издательство "ФИЗМАЛИТ". Москва. 2005. 792 с.
https://mipt.ru/dasr/upload/89a/f_3kf3p7-raphh81ii9w.pdf
<http://rgho.st/download/48302746/b7ce903fa62699dcfb60178ab548e0b7e0081db7/phys106.zip>
5. А.Н.Матвеев. Оптика. Издательство "Высшая школа". Москва. 1985. 351 с.
<http://rgho.st/download/48302963/d7cefda80f8727c6683686d5a8e905f299a242ec/phys111.zip>

11-laboratoriyalıq jumıs

Jaqtılıqtıń polyarizaciyasın úyreniw hám Malyus nızamın eksperimentte tekseriw

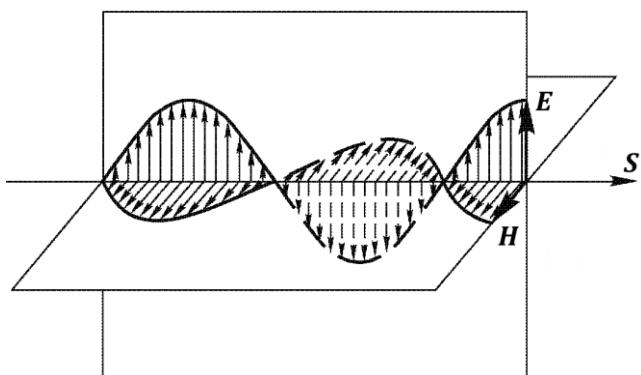
Jumıstiń maqseti: tájiriybede Malyus nızamın tekserip kóriw hám jaqtılıqtıń polyarizaciyası qubılısı menen tanısıw.

Qısqasha teoriya

1. Tiykarǵı túsinikler

Jaqtılıq tolqınlıq qásiyetke de, korpuskulalıq qásiyetke de iye quramalı elektromagnitlik process bolıp tabıladı. Bazı bir qubılıslarda (interferenciya, difrakciya, polyarizaciya) jaqtılıqtıń tolqınlıq qásiyetleri, al basqa bir qubılıslarda (fotoeffekt, Kompton effekti, lyuminescenciya) jaqtılıqtıń tek korpuskulalıq qásiyetleri kórinedi. Polyarizaciya qubılısının úyrengende jaqtılıqtıń tek tolqınlıq qásiyetleri haqqında gáp etiledi.

Elektromagnitlik teoriya boyınsha jaqtılıq kóldeneń elektromagnit tolqıń bolıp tabıladı (1-súwret).



1-súwret.
Elektromagnit tolqınnıń strukturası. Juwırıwshi tolqında **E** hám **H** vektorları bir fazada ózgeredi.

Elektr maydanınıń kernewligi vektorı **E** hám magnit maydanınıń kernewligi **H** vektorı bir birine perpendikulyar tegisliklerde terbeledi. Umov-Poynting vektorı **S** tolqınnıń (jaqtılıq nurunuń) tarqalıw baǵıtın táriyipleydi. Jaqtılıq zatlar menen tásir etiskende (tárisleskende) ózgermeli elektr maydanı usı zattıń atomları menen molekulalarınıń elektronlarına tásir etedi. Al ózgermeli magnit maydanı tárepinen zatqa tásir júdá ázzi boladı. Sonlıqtan jaqtılıqtıń tarqalıw processlerinde elektr maydanınıń kernewligi vektorı **E** tiykarǵı orındı iyeleydi.

Qızdırılǵan deneniń (jaqtılıq dereginiń) atomınıń nurlanıwınıń waqıt boyınsha uzaqlığı shama menen 10^{-8} sekund shamasına teń. Sol atomnıń endigi nurlanıwı dáslepki nurlanıwı, sonıń menen birge zattıń basqa atomlarınıń nurlanıwları menen baylanıshlı emes. Sonlıqtan tábiyyiy jaqtılıqtıń tolqıńında **E** vektorı tolqınnıń tarqalıw baǵıtına perpendikulyar bette jatadı hám onıń baǵıtı barlıq waqitta sol tegisliktiń betine parallel qalǵan halda ózgeriske ushıraydı.

Tábiyyiy jaqtılıqtı polyarizaciyalanǵan jaqtılıqqa túrlendirirw mümkin. Al polyarizaciyalanǵan jaqtılıqta bolsa **E** vektorı tek bir tegisliktiń betinde terbeledi. Polyarizaciya qubılısunıń ózi jaqtılıq tolqınlarınıń kóldeneń tolqınlar ekenligin dállileydi. Sebebi boylıq tolqınlarda terbelislerdiń baǵıtı tolqınnıń tarqalıw baǵıtına parallel hám sonlıqtan olar polyarizaciyalanbaydı. Eger **E** vektorınıń terbelisleri nur arqalı ótetugın tegislikte júzege keletugın bolsa, onda jaqtılıqtı tegis (yamasa sızıqlı) polyarizaciyalanǵan dep ataymız (1-

súwrette kórsetilgen). Sonday-aq, \mathbf{E} vektorınıń baǵıtı nurdıń dógeregide aylanadı hám sonıń menen birge onıń shaması da ózgeriske ushıraydı. Usınıń nátiyjesinde vektordıń ushı ellipsti sızadı. Bunday jaqtılıqtı **ellipslik polyarizaciyalanǵan** dep ataydı. Eger \mathbf{E} vektorınıń ushı sheńberdi sızatuǵın bolsa, onda bunday jaqtılıqtı **sheńber boyınsha polyarizaciyalanǵan** jaqtılıq dep ataydı.

Jaqtılıqtı polyarizaciyalaytuǵın ásbaplardı polyarizatorlar dep ataydı.

Polyarizaciyalanǵan nur ózine tán tegisliklerge iye boladı. \mathbf{E} vektorı terbeletuǵın tegislikti **terbelisler tegisligi**, al \mathbf{B} vektorı terbeletuǵın tegislikti **polyarizaciya tegisligi** dep ataydı. Sol tegisliklerdiń kesilisiw sızığında tolqın frontınıń tarqalıw tezliginiń vektorı jatadı. Bul úsh vektor oń vintlik sistemanı payda etedi (1-súwret).

Bazı bir zatlardıń kristalları, ádettegi tegis aynalar yamasa biri biriniń ústine qoyılǵan shiyshə plastinkalardıń jıynaǵı jaqtılıq tolqınları ushın polyarizatorlar hám analizatorlardıń xızmetin atqara aladı.

2. Qos nur sindırıwdaǵı polyarizaciya

Kublıq sistemaǵa kirmeytuǵın móldir kristallar arqalı ótkende qos nur sindırıw qubılısı baqlanadı. Bul qubılıstıń fizikalıq mánisi minalardan ibarat: kristalǵa kelip túsiwshi jaqtılıq nurı kristaldıń ishinde eki nurǵa bólinedi, ulıwma jaǵdayda bul eki nur hár qıylı tezlikler menen hár qıylı baǵıtlarda tarqaladı. Bir kósherli kristallarda (tetragonallıq, trigonallıq, geksagonallıq kristallar) nur ushın eki nurǵa ayrılmayıtuǵın bir baǵıt orın aladı. Kristaldıǵı bunday baǵıttı ádette kristaldıń optikalıq kósheri dep ataydı. Kristaldıń optikalıq kósheri arqalı ótetuǵın qálegen tegislikti kristaldıń bas kesimi dep ataydı.

Sıńǵan eki nurdıń biri barlıq baǵıttı da birdey tezlik penen tarqaladı, ádettegi sıńıw nızamına baǵınadı hám sonlıqtan onı **ádettegi nur** dep ataydı. Ekinshi nurdı **ádettegidey emes nur** dep ataydı. Ol kristaldıǵı tarqalıw baǵıtına baylanıslı hár qıylı tezlik penen tarqaladı hám onıń ushın ádettegi sıńıw nızamı orınlambayı (túsiw múyeshiniń sinusınıń sıńıw múyeshiniń sinusına qatnasi túsiw múyeshiniń mánisi ózgergende ózgeriske ushıraydı). Kristaldıń betine ádettegidey emes nur perpendikulyar túsken jaǵdayda da (yaǵníy túsiw múyeshiniń mánisi 0 ge teń) sıńıw múyeshiniń shaması 0 gradusqa teń bolmaydı.

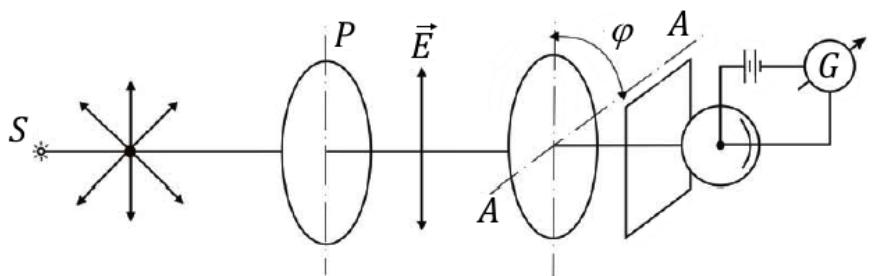
Ádettegidey hám ádettegidey emes nurlar bir birine perpendikulyar baǵıtlarda sızıqlı polyarizaciyalanǵan nurlar bolıp tabıladı. \mathbf{E} vektorı barlıq waqıtta da kristaldıń bas kesimine perpendikulyar baǵıtlanǵan.

Ádettegidey emes nuda \mathbf{E} vektorınıń terbelisleri kristaldıń bas kesimi tegisliginde júredi. Eki nurdı bir birinen bılayınsha ayırıwǵa boladı: eger kristaldı ádettegi nurdıń dógeregide aylandırsa, onda ádettegidey emes nur kristal menen birge aylanıp sheńberli sızadı. Bar qansha kristallarda nurlardıń

biri ekinhisine salıstırǵanda kúshlirek jutladı. Bunday qubılısti optikada dixroizm dep ataydı. Kózge kórinetuǵın nurlar diapazonında júdá kúshli dixroizmge turmalin kristallı [ayırım turmalin kristallınıń formulası $\text{Na}(\text{Li}_{1.5},\text{Al}_{1.5})\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$ türinde jazıladı] iye. Bunday kristalda ádettegidey nur 1 mm aralıqta derlik tolıǵı menen jutıldı. Bul jaǵdaydı polyaroid dep atalatuǵın polyarizaciyalıq düzilisti soǵıw ushın paydalanydı. Dixroizmniń orın alıwına baylanıslı polyaroid ózi arqalı belgili bir tegislikte polyarizaciyalanǵan bir nurdı ótkeredi.

3. Malyus nazamı

Eki jaqtılıq deregenen, P hám A polyaroidlarından hám fotoelementten turatuǵın düzilistiń principiallıq sxemasın qarap shıǵamız (2-súwret). Birinshi polyaroid (polyarizator xızmetin atqaradı) arqalı ótiwdiń barısında jaqtılıq tegis polyarizaciyalanǵan jaqtılıqqa aylanadi. Ekinshi polyaroid (onı analizator dep ataydı) ózi arqalı tek bas baǵıt bolǵan AA baǵıtındaǵı terbelislerdi ótkeredi. Eger polyarizator menen analizatorlardıń bas baǵıtları bir biri menen sáykes kelse (yaǵníy olar bir birine parallel bolsa) onda eki polyarizator arqalı ótken jaqtılıqtıń intensivligi maksimallıq boladı. Eger polyarizator menen analizatordıń bas baǵıtları bir birine perpendikulyar bolsa, onda ótken nurdıń intensivligi nolge teń boladı. Polyaroidlardıń tap usınday awhalı kesilistirilgen dep ataladı.

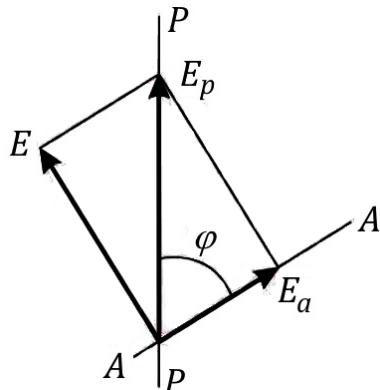


2-súwret.
Dúzilistiń
principiallıq
sxeması.

Eger polyaroidlardıń bas baǵıtları arasındaǵı mýyesh φ diń shaması 0° qada, 90° qada teń emes bolsa, onda ótken nurdıń intensivligi qanday da bir aralıqlıq mániske teń boladı.

Intensivlik I menen φ mýyeshi arasındaǵı baylanıstı tabamız.

Meyli E_p polyarizator tárepinen ótkerilgen terbelislerdiń kernewlilik vektorınıń amplitudası bolsın (2-súwret). AA arqalı analizatordıń bas baǵıtı belgilengen. E_p amplitudasın bir birine perpendikulyar bolǵan eki E_a hám E qurawshılarına jiklew mýmkin. Olardıń birewi bolǵan E_a analizatordıń bas baǵıtına parallel bolsın. AA baǵıtına perpendikulyar bolǵan terbelisler analizator arqalı ótpeydi.



3-súwret.
Elektr maydanınıń kernewliligi
vektorın
eki qurawshıǵa jiklew.

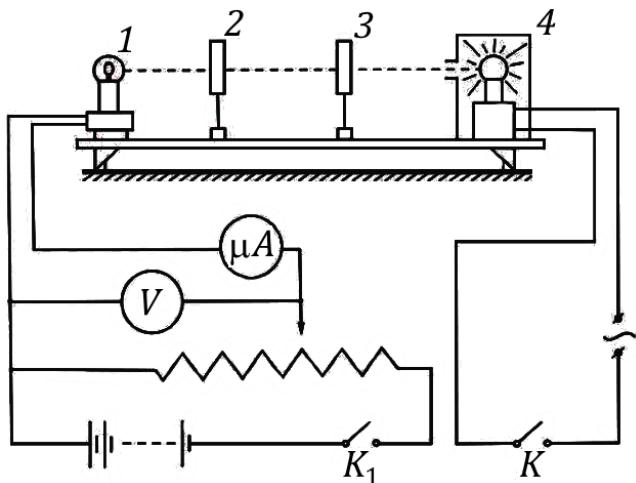
3-súwrette analizatordan shıqqan jaqtılıqtıń amplitudasınıń $E = E_a \cos \varphi$ shamasına teń ekenligi kórinip tur. Intensivlik I diń amplitudanıń kvadratına tuwrı proporsional ekenligin esapqa alsaq, onda

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad (1)$$

ańlatpasına iye bolamız. Bul teńleme Malyus nızamın ańǵartadı. Malyus nızamı boyınsha analizator boyınsha ótken nurdıń intensivligi analizatorǵa kelip túsip atırǵan nurdıń intensivligi menen túsiwshi nurdıń polyarizaciya tegisligi menen analizatordıń polyarizaciya tegisligi arasındaǵı mýyeshtiń kosinusınıń kvadratınıń kóbeymesine teń.

Ásbaptıń táriyipi

Ersperimentallıq dúzilis (4-súwret) tiykarınan optikalıq otrıǵıștan turadı. Onıń ústine parallel nurlı beretuǵın jaqtılıq deregi 4, polyarizator, analizator hám fotoelement ornalastırılǵan. Fotoelementtiń járdeminde analizatordan ótken jaqtılıqtıń intensivligi ólshenedi. Polyarizator (3) penen analizator (2) polyaroidlar túrinde soǵılǵan. Olar kelip túsiwshi nurdıń baǵıtı menen baǵıtlaş bolǵan kósheriniń dógeregide aylanıwı kerek. Sonıń menen birge polyarizator menen analizatordıń qansha mýyeshke burılǵanlıǵıń ólshew mýmkinshiliginıń orıń aliwı talap etiledi. Sonlıqtan mýyeshtiń mánisin ólshew ushın analizatordıń korpusında graduslarǵa bólingen shkala boladı.



4-súwret.
Eksperimentallıq dúzilistiń
sxeması.

Ótken jaqtılıqtiń intensivligi 7-fotoelementtiń járdeminde ólshenedi. Oǵan kernew potenciometrдиń sxeması boyınsha jumıs islewshi reostattan beriledi. Fotoelementtiń shınjırındaǵı toqtıń shamasın ólshew ushın mikroampermetr tutastırılǵan. Fototoqtıń shaması fotoelementke túsken jaqtılıqtiń intensivligine tuwrı proporsional. Sonlıqtan Malyustıń nızamına fototoqtıń mánisin qoyıwǵa boladı.

Jumıstı orınlaw tártibi

1. Sxeması 4-súwrette kórsetilgendey dúzilis jıynaladı.
2. Jıynalǵan sxema oqıtıwshı tárepinen tekserilgennen keyin jaqtılıq deregi hám fotoelement shınjırı elektr tarmaǵına qosıladı.
3. Analizatordı 90° mýyeshke burıp qoyadı hám polyarizatordı ástelik penen aylandırıw joli menen fotoelementtiń eń minimallıq jaqtılıanıwına alıp kelinedi. Bul jaǵdaydı mikroampermetrдиń strelkasınıń minimallıq awısıwı arqalı kóredi. Minimallıq fototoqtıń shaması i_{min} jazıp alındı. Toqtıń bul minimallıq shaması jaqtılıqtiń polyaroidlar tárepinen ótkeriliwi hám fotoelementke basqa táreplerden kelgen jaqtılıqtiń tásirinde payda boladı.
4. Analizatordı buradı hám onı 0° awhalına alıp keledi. Fototoqtıń maksimallıq shamasınıń ornawı kútiledi hám onıń mánisi i_{max} jazıp alındı. i_{max} toǵına jaqtılıqtiń analizatorınan ótken jaqtılıqtiń tásirinde payda bolǵan fototoq i_0 hám fonnıń (i_{min} minimallıq fototoqtıń shaması) tásirinde payda bolǵan fototoq kiredi. Sonlıqtan $i_0 = i_{max} - i_{min}$ teńligine iye bolamız.

Analizatordı nolden 180° qa shekemgi barlıq mýyeshlerge burıp qoyadı hám mýyeshtiń hár bir mánisi ushın fototoqtıń shaması ólshenedi. Alıńǵan nátiyjelerdi 1-kestäge kirgizedi.

1-keste.

Fotoelementke túsken kernew $U =$ volt.

Minimallıq fototoq $i_{min} = \dots$

Nº	φ	Mikroam-permetrdiń kórsetiwi, i	$i_\varphi = i - i_{min}$	$i_\varphi = i_0 \cos^2 \varphi$
1				
2				
3				
4				
5				

6. Hár bir mýyeshushın analizator tárepinen ótkerilgen jaqtılıq payda etken fototoqtıń mánisi

$$i_\varphi = i - i_{min}$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı.

7. $i_0 = i_{max} - i_{min}$ shamasın aniqlap analizatordıń hár bir burılıw mýyeshi ushın fototoqtıń mánisin Malyus nızamı boyınsha esplaydı.

8. Millimetrlı qaǵazda Malyus nızamınıń grafigin sızadı (abscissa kósherine mýyeshtiń, al ordinata kósherine $i_0 \cos^2 \varphi$ shamasınıń sáykes mánisi qoyıladı).

9. Tap usı grafikiń ózine basqa reńli noqatlar menen mýyeshtiń hár bir mánisine sáykes keliwshi fototoqtıń mánisleri qoyıladı hám sol noqatlar arqalı iymeklik ótkeriledi. Eksperimentallıq iymeklik penen Malyus nızamınıń iymekligi salıstırıladı hám sáykes juwmaqlar shıǵarıladı.

Paydalanylǵan ádebiyatlar dizimi

1. Benjamin Crowell. Optics. Book 5 in the Light and Matter series of free introductory physics textbooks [www.lightandmatter.com](http://www.lightandmatter.com/lm.pdf). <http://lightandmatter.com/lm.pdf>

2. М.Борн, Э.Вольф. Основы оптики. Издание 2-е, исправленное. Издательство "Наука". Москва. 1973. 719 с.

http://fileeskachat.com/getfile/25872_d0cbd07ad96bb8aa5a77eed0913a4c2f

3. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Учебное пособие. Для вузов. В 5 т. Тот IV. Оптика. 3-е издание. Издательство "ФИЗМАЛИТ". Москва. 2005. 792 с.

https://mipt.ru/dasr/upload/89a/f_3kf3p7-raphh81ii9w.pdf

12-laboratoriyaḥıq jumıs

Jaqtılıqtıń polyarizaciya tegisliginiń tábiyyiy túrde aylaniwı qubılısın úyreniw

Jumısta yarım sayalı saxarimetrdiń járdeminde belgili koncentraciyaǵa iye qanttiń eritpesi tárepinen polyarizaciya tegisliginiń salistirmalı aylandırılıwın hám izertlenip atırǵan eritpelerdegi qanttiń procentlik muǵdarı aniqlanadı. Usınday usil ximiyalıq, azıq-awqat hám neft sanaatı laboratoriyalarında keńnen qollanıladı.

Eger atanaqlastırılǵan (yaǵníy bir birine perpendikulyar qoyılǵan) eki nikoldıń arasındaǵı keńislikke qanttiń eritpesi quylǵan idisti qoysa, onda monoxromat jaqtılıqta maydannıń jaqtulaniwı orın aladı. Analizatordı shep yamasa oń tárepke qaray bazı bir mýyeshke burıw arqalı bunday jaqtı maydandı óshiriwge (joq etiwge) boladı. Bul qubılıs qanttiń eritpesiniń polyarizaciya tegisligin aylandıra alıw qábiletligi menen túsindiriledi hám optikada onı polyarizaciya tegisliginiń aylaniwı dep ataydı. Usınday qásiyetlerge iye zatlardıń sanı júdá kóp. Olardı optikalıq jaqtan aktiv zatlar dep ataydı. Optikalıq aktiv zatlar qatarına suyıq hám qattı organikalıq birikpeler, neft, vino kislotası hám basqalar, sonıń menen birge kvarc, kinovar siyaqlı kristallar kiredi.

Polyarizaciya tegisliginiń baǵıtı ońǵa yamasa shep tárepke qaray aylaniwı mümkin. Ońǵa qaray aylaniwda baqlawshınıń kózine túsiwshi nur ushın aylaniw saat strelkasınıń qozǵalıs baǵıtında aylanadı. Qattı denelerde aylaniw mýyeshiniń shaması jaqtılıq ótetüǵın qatlamnıń qalińlıǵına proporsional. Al eritpede qalińlıq penen birge eritpedegi aktiv zattıń koncentraciyasına da baylanıslı. Sonıń menen birge aylaniw (burılıw) mýyeshiniń shaması túsiwshi nurdıń tolqın uzınlıǵınan da górezli.

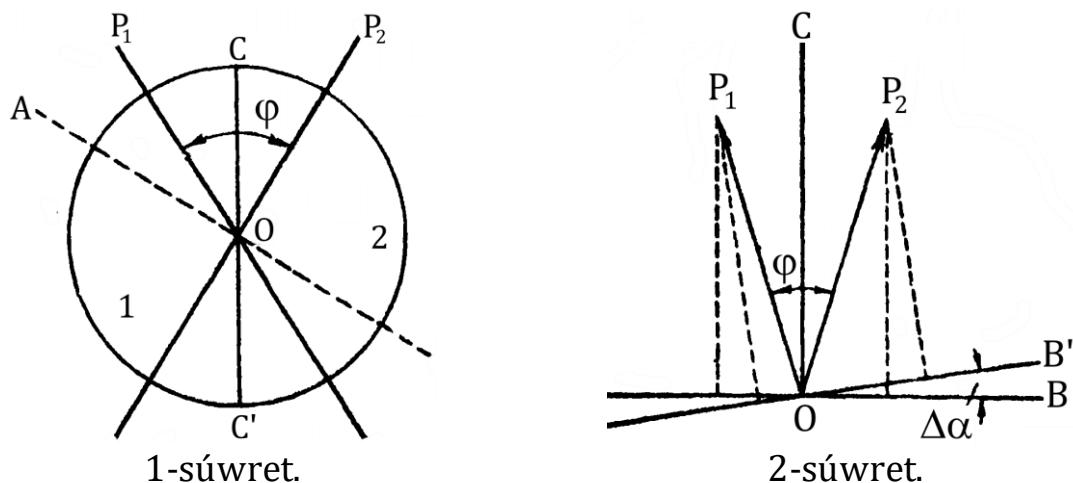
Eritpe jaǵdayında

$$\alpha = [\alpha] cl$$

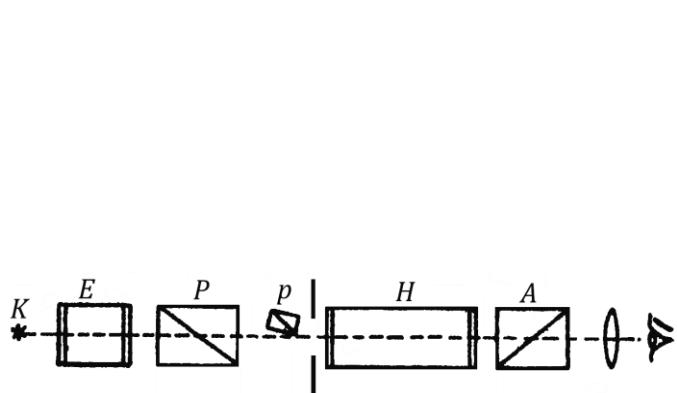
formulasına iye bolamız. Bul formulada α arqalı burılıw mýyeshiniń mánisi, l arqalı qatlamnıń qalińlıǵı, al c arqalı eritpeniń koncentraciyası belgilengen. $[\alpha]$ arqalı proporsionallıq koefficient belgilengen. Onıń san mánisi berilgen zat ushın salistirmalı aylaniwǵa (burılıwǵa) teń (ádette qalińlıǵı $l = 10$ sm, koncentraciyası $c = 1$ mol/litr bolǵan eritpe ushın polyarizaciya tegisliginiń burılıwı). Aylaniw turaqlısı $[\alpha]$ niń shaması tolqın uzınlıǵına shama menen keri proporsional ($[\alpha] \sim \frac{1}{\lambda^2}$).

Nikol-polyarizatordıń eki awhalı ushın optikalıq aktiv zat bolǵanda da, bolmaǵanda da polyarizaciya tegisliginiń burılıwın ólshev juwiq túrde ámelge asırıladı. Sebebi analizatordıń tolıq qarańǵılatıw awhalına qoyılǵanın adamnıń kózi dál aniqlay almaydı. Sonlıqtan ólshevlerde **yarım sayalıq polyarimetrlər**

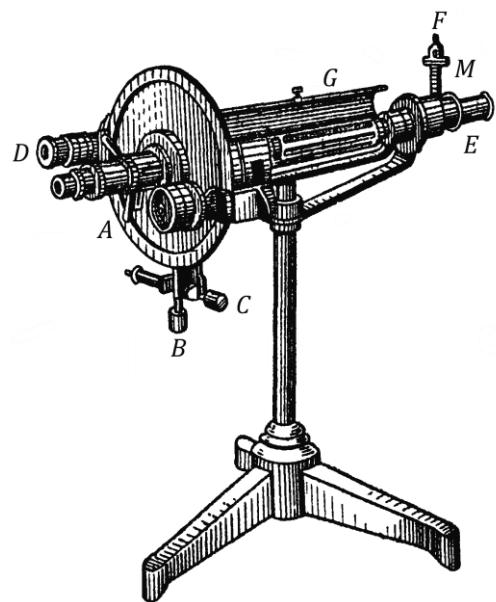
qollanıladı. Olar kóriw maydanınıń qarańǵı awhalına emes, al kóriw maydanınıń eki yarımınıń teńdey jaqtılıwına tiykarlangan. YArım sayalıq polyarimetrler menen bir qatarda bikvarc hám kompensator menen támiyinlengen polyarimetrlер de paydalanıladı. Bunday polyarimetrlerde kóriw maydanınıń eki yarımınıń reńleriniń birdey bolıwı basshılıqqa alınadı. Reńniń birdey bolıwın bahalaw jetkilikli dárejede obektiv ólshev qatarına kirmeydi (hár baqlawshınıń kózleriniń reńlerdi ajırata alıwshılıq qábletligi hár qıylı). Sonlıqtan házirgi waqıtları polyarizaciya tegisliginiń burılıwın $0,01^{\circ}$ qa shekemgi ólshevge múmkinshilik beretuǵın yarım sayalıq polyarimetrlер paydalanıladı.



Ásbaptıń qısqasha teoriyası. Yarım sayalı polyarimetrdede CC' diametri kóriw maydanın eki yarımga bóledi (1-súwret). Bir yarimdajaqılıq terbelisleri P_1 tegisliginde, al ekinshi yarimdada P_2 tegisliginde terbeledi. Sol eki tegislik arasındaǵı mýyesh φ ge teń. Eger eki jaqtılıq dástesin A terbelis tegisligi P_2 tegisligine perpendikulyar analizator arqalı ótkerse, onda 2-yarımnıń jaqtılıq dástesi sóndiriledi hám usı yarım qarańǵı boladı. Al usı jaǵdayda jaqtılıqtıń bir bólimi analizator tárrepinen ótkeriledi hám sonlıqtan bul yarımnıń maydanı jaqtıraq boladı. Eger analizatorda terbelis tegisligi P_1 tegisligine perpendikulyar bolsa, onda keri qubilis baqlanadi. Eki maydannıń birdey jaqtılıwınıń tek $A \perp OC$ hám $A \parallel OC$ shártleri qanaatlanatuǵın jaǵdayda orın alatuǵınlıǵı túsinikli (2-súwret). OC sizىgi OP_1 hám OP_2 sizىqları teńdey ekige bóledi (OP_1 hám OP_2 vektorları kóriw maydanınıń eki yarımınıń terbelis amplitudaların sáwlelendiredi). Analizatrdıń iyelegen jaǵdaylardı dáslep hawa arqalı ótetüǵın jaqtılıqqa, bunnan keyin optikalıq aktiv ortalıq arqalı ótetüǵın jaqtılıqqa qoyıw joli menen optikalıq aktiv ortalıqtıń polyarizaciya tegisligin qanday shamaǵa buratuǵınlıǵıń aniqlawǵa boladı.



3-súwret.



4-súwret.

Ázzi jaqtılanıw beretuǵın (yarım saya) analizatordıń $A \perp OC$ awhalı jaqtılanıwdıń teńligi boyınsha ásbaptı tuwrılaw adamnıń kóziniń fiziologiyalıq ózgesheliklerin esapqa alǵan halda ádewir utımlı boladı. Polyarizatordıń terbelisleriniń tegislikleri arasındaǵı φ mýyeshtiń shaması qanshama kishi bolsa analizatordı eki maydanniń da teńdey jaqtılanıwına tuwrılawdı joqarı dállikte ámelge asırıwǵa boladı. Usı aytilǵanlardıń durıslıǵına iseniw ushin 2-súwretke itibar beremiz. Kóriw maydanınıń eki yarıminıń intensivliklerin teńlestiriw ushin analizatorlı $OB \perp OC$ awhalına qoyıw kerek boladı. Al haqıyqatında bazı bir qátelik jiberiledi hám ásbaptı OB' awhalına qoydıq dep juwmaq shıgarıladı. Bul qátelik $\Delta\alpha$ kishi mýyeshi menen xarakterlenedi. Ásbap durıs tuwrılanganda intensivliklerdiń qatnasi ushin

$$\frac{I_1}{I_2} = 1$$

teńliginiń alınıwı kerek. Al qátelik penen tuwrılaw orın alganda

$$\begin{aligned} \frac{I_1}{I_2} &= \frac{I_0 \sin^2 \left(\frac{\varphi}{2} + \Delta\alpha \right)}{I_0 \sin^2 \left(\frac{\varphi}{2} - \Delta\alpha \right)} = \\ &= \left(\frac{\sin \frac{\varphi}{2} \cos \Delta\alpha + \cos \frac{\varphi}{2} \sin \Delta\alpha}{\sin \frac{\varphi}{2} \cos \Delta\alpha - \cos \frac{\varphi}{2} \sin \Delta\alpha} \right)^2 = \left(\frac{1 + ctg \frac{\varphi}{2} \tg \Delta\alpha}{1 - ctg \frac{\varphi}{2} \tg \Delta\alpha} \right)^2. \end{aligned}$$

teńlikleri orınlı boladı. $\Delta\alpha$ shamasın júdá kishi dep esaplap juwiq türde

$$\frac{I_1}{I_2} = 1 + 4\Delta\alpha ctg \frac{\varphi}{2}$$

teńligin jaza alamız. Demek qátelik procentlerde

$$\Delta p = \left(4\Delta\alpha \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} \cdot 100 \right) \%$$

shamasına teń boladı eken. Bul ańlatpada $\Delta\alpha$ mýyeshi radianlarda alınadı. Graduslarǵa aylandırǵanda graduslardaǵı mýyeshlik qáteliktiń mánisi

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta p}{2} \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$$

shamasına teń boladı. Mísali, intensivlikti bahalaǵanda jiberiletuǵın qáteniń muǵdarı (Δp) shama menen 2 % ke jetetuǵın bolsa, onda tuwrlawda jiberiletuǵın qátelik ($\Delta\alpha$) mınaday mánislerge iye boladı:

$$\begin{aligned}\varphi &= 1^0, \Delta\alpha = 0,0025^0; \\ \varphi &= 2^0, \Delta\alpha = 0,005^0; \\ \varphi &= 8^0, \Delta\alpha = 0,02^0.\end{aligned}$$

Bul teńliklerden jetkilikli dárejedegi φ mýyeshlerinde α shamasın joqarı dállikte ólshewdiń múmkinhiligiń tuwılatuǵınlıǵı kelip shıǵadı. Demek tájiriybelerde de mýyeshtiń mánisin gradustıń júzden bir úlesine shekemgi dállikte ólshewge bolatuǵınlıǵıń kóremiz.

φ mýyeshiniń shamasınıń kishireyiwi menen jaqtılanıwdıń da hálshireytuǵınlıǵıń umıtpaw kerek. Sonlıqtan kúshli jaqtılıq dereklerinen paydalaniwǵa tuwrı keledi. Eger kúshli jaqtılıq deregin paydalaniwdıń múmkinhiligi bolmasa yamasa izertlenip atrıǵan eritpe jaqtılıqtı kúshli jutatuǵın bolsa, onda φ mýyeshiniń shamasın úlkeytiwge tuwrı keledi (biraq bunday jaǵdayda ólshewdiń dálliginiń tómenlewiniń orın alatuǵınlıǵıń umıtpaymız).

Ásbaptıń táriyipi. Qálegen polyarizaciyalıq ásbap sıpatında yarım sayalıq polyarimetr eki tiykarǵı bólım bolǵan polyarizator hám analizatordan turadı (3-súwret). Polyarizator eki polyarizaciyalıq prizmadan ibarat (birinshisi úlken hám P arqalı belgilengen, ekinshisi onıń keyninde jaylasqan kishi prizmadan ibarat bolıp, ol p arqalı belgilengen). Bul prizmalardıń bas kesimleri hám jaqtılıq terbelisleriniń sáykes tegisligi bir biri menen úlken emes mýyeshke burılǵan. K deregenen shıǵıwshı jaqtılıq E trubası arqalı ótip P nikoli arqalı tarqaladı. Belgili bir tegislikte polyarizaciyalanǵan jaqtılıq nurunuń bir bólimi H saxarimetrik trubaǵa kelip túsedı. Bul trubanıń ishinde izertlenip atırıǵan qanttıń eritpesi quyılǵan. Bunnan keyin jaqtılıq A analizatorǵa kelip túsedı. Jaqtılıqtıń ekinshi bólimi usı trubaǵa kelip jetpesten burın p nikoli arqalı ótedi. Usınıń nátiyjesinde onıń polyarizaciya tegisligi bir qansha ózgeriske ushıraydı. Solay etip eger analizator bir jaqtılıq nuri ushın tolıq qarańǵılatıw halına qoyılǵan boliwı múmkın. Bunday jaǵdayda ekinshi dásteniń bir bólimi sol analizator arqalı óte aladı. Usınday jaǵdayda diafragma menen sheklengen kóriw maydanı eki yarımǵa ajiraladı. Olar arasındaǵı ayırıp turıw sızıǵı p prizmasınıń qabırǵası bolıp tabıladı.

Analizator H trubkadaǵı polyarizaciya tegisligin buriwshı zat joq bolǵan jaǵdayǵa ornalastırıladı. Onnan keyin polyarizaciya tegisligin buratuǵın zat ornalastırılǵannan keyin buriw arqalı hám eń dáslepki payda bolǵanday jaqtılı kóriw maydanı izlenedi. Bunday jaǵdayda kóriw maydanınıń eki yarımın jaqtilandırıp turǵan jaqtılıq vektorınıń terbelisler tegisligi α mýyeshine burıladı. Tap usınday mýyeshke analizatordı buriwǵa tuwrı keledi.

Ásbaptıń aldıńǵı bóliminde jaylasqan analizatordı (4-súwret) B vintin bosatqannan keyin A tutqasınıń járdeminde qálegen mýyeshke buriwǵa boladı. Onıń ástelik penen aylanıwı B vintin qatırǵannan keyin C mikrometrik vinttiń járdeminde ámelge asırıladı. Mýyeshtiń mánisleri D lupasınıń járdeminde usı lupa menen baylanısqan eki noniuslar boyınsha aniqlanadı. Noniuslar mýyeshlerdiń mánislerin gradustıń júzden bir úlesine shekemgi dállikte ólshewge mýmkinshilik beredi. Analizator menen polyarizatordıń ortasındaǵı saxarimetrik trubka ayraqsha G kamerasında ornalasqan boladı. P hám p prizmaları arasındaǵı mýyeshti p prizmasın úlken emes mýyeshke burıp ayraqsha rıshag F tiń járdeminde ólsheydi. Rıshagtiń bir ushı bólimleri bar M sektori boyınsha jılısadı (4-súwret).

Yarım sayalı polyarimetr menen jumıs islegende jaqtılıq deregi monoxromat bolıwı kerek. Eger jaqtılıq deregi monoxromatlıq emes bolsa, onda jaqtılıqtı tolqın uzınlıqlarınıń kishi intervalında ótkeriwshi jaqtılıq filtri paydalanylادı.

Ólshewler. H trubkasın ornına alıp hám ásbaptıń aldına jaqtılıqtıń deregin ornalastırıp okulyardı kóriw maydanınıń ayırıp turǵan sızıǵı aniq kórinetuǵinday awhalǵa burıp qoyadı. Bunnan keyin analizatordı nollık awhalǵa alıp keledi. Nátiyjede kóriw maydanınıń eki yarımı da birdey jaqtılıqqa (yamasa qarańǵılıqqa) iye bolıwı kerek.

Mýyeshlerge bóligen dóńgelek boyınsha mýyeshtiń mánisin jazıp alıp analizatordı jáne de bir tárepke buradı hám qaytadan dáslepki awhalǵa (kóriw maydanınıń eki yarımınıń da birdey jaqtılıqqa iye bolıwına) alıp kelip mýyeshtiń mánisi qaytadan jazıp alınadı. Bul operaciyani bir neshe ret qaytalaydı hám analizatordıń dóńgelek boyınsha tabılǵan nollık awhalı ushın mýyeshtiń ortasha mánisi tabıldadı.

G kamerasına koncentraciyasınıń shaması belgili bolǵan qanttiń eritpesin quyadı (koncentraciya $C = \text{qanttiń massası}/100 \text{ cm}^3$ túrinde aniqlanadı). Bunnan keyin maydanniń eki bóliminiń de birdey jaqtılıqqa iye bolǵanınsha burayıdı hám dóńgelektigi mýyeshtiń mánisi jazıp alınadı. Bul operaciyani da bir neshe ret qaytalaw kerek. Ólshengen mýyeshlerdiń ortasha arifmetikalıq mánisin esaplap qanttiń eritpesiniń polyarizaciya tegisligin qanday mýyeshke buratuǵınlıǵı aniqlanadı.

Esaplawlar. Alıńǵan nátiyjeler boyınsha qanttiń salıstırmalı aylandırıwı esaplanadı. Qant eritpesiniń qalınlıǵı l di ádette dicimetrlerde, al c koncentraciyani 1 cm^3 eritpedegi grammarda ólsheydi. Kópshilik jaǵdaylarda

c niň ornına 100 sm^3 eritpedegi zattıň muğdarı paydalanylادы (onı C arqalı belgilegen edik). Solay etip

$$\alpha = [\alpha] \frac{Cl}{100} \quad (1)$$

formulasına iye bolamız. Bul formuladan

$$[\alpha] = \frac{100\alpha}{Cl}$$

ańlatpasın alamız.

Bul formula C hám l shamalarınıň belgili mánislerindegi eritpedegi qanttuň salıstırmalı aylanıwin aniqlaw ushın xızmet etedi. Geyde C koncentraciyaniň ornına eritpeniň tiǵızlıǵı bolǵan d da jáne eritpedegi erigen zattıň procentlik muğdarı da paydalanylادы. Bunday jaǵdayda

$$[\alpha] = [\alpha] \frac{lpd}{100}$$

formulası orınlı boladı. Nátiyjede

$$[\alpha] = \frac{100\alpha}{lpd} \quad (2)$$

ańlatpasına iye bolamız.

Tap usınday ólshevler koncentraciyası belgisiz bolǵan qanttuň eritpeleri ushın da júrgiziledi hám baqlawlarda alıńǵan nátiyjeler boyınsha hár bir eritpedegi qanttuň muğdarın (2)-formulaniň járdeminde esaplaydı.

Joqarıda bayanlangan usıldıň járdeminde kristallıq kvarctan kesip alıńǵan plastinkadaǵı polyarizaciya tegisliginiň burılıw qubılısin da ólsheydi. Bul plastinkalar kristaldiň optikalıq kósherine perpendikulyar baǵitta kesilgen bolıwı kerek.

Paydalanylǵan ádebiyatlar dizimi

1. Saccharimeter. <https://en.wikipedia.org/wiki/Saccharimeter>
2. А.Н.Матвеев. Оптика. Издательство "Высшая школа". Москва. 1985. 351 с.
<http://rgho.st/download/48302963/d7cefda80f8727c6683686d5a8e905f299a242ec/phys111.zip>
3. Г.С.Ландсберг. Оптика. Учебное пособие. Для вузов. 6-е издание. Москва. ФИЗМАТЛИТ. 2003. 848 с.
[http://d.theupload.info/down/cvz9lmsiktkbsmr6ygtxc8wl455j8mko/landsberg_g_s_optika_\(2003\).djvu](http://d.theupload.info/down/cvz9lmsiktkbsmr6ygtxc8wl455j8mko/landsberg_g_s_optika_(2003).djvu)
4. Физический практикум. Электричество и оптика. Под редакцией В.И.Ивероновой. Издание второе, переработанное. Издательство "Наука". Москва. 1968. 816 с.

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Iveronova1968ru.djvu>

13-laboratoriyalıq jumıs

Optikalıq goniometrdiń járdeminde jıllılıq nurlanıwı nızamların úyreniw

Jumistiń maqseti: Stefan-Bolcman nızamınıń durıs ekenligin eksperimentte tekseriw, Stefan-Bolcman hám Plank turaqlılarıniń mánislerin aniqlaw.

Ásbap-úskeneler: optikalıq pirometr, qızdırıw lampası, ózgermeli toqtı tuwrılawshı, voltmetr, ampermetr.

1. Qısqasha tariyx

Qálegen qızdırılǵan dene ózinen elektromagnit tolqınlar túrinde energiyani nurlandırıdı. Qızdırılǵan denelerdiń elektromagnit tolqınları túrinde energiyani nurlanırıwin jıllılıq nurlanıwı (yamasa temperaturalıq nurlanıw) dep ataydı. Jıllılıq nurlanıwı atomlar menen molekulalardıń tutası menen qozǵalıwınıń saldarınan qozdırılıdı.

Jıllılıq nurlanıwı nurlanıwdıń basqa túrlerinen (mısali lyuminescenciyadan) tek nurlanıwshı sistemalardıń qozǵan halǵa ótiwiniń uslı menen ǵana ayrıladı. Jıllılıq nurlanıwı qubılsılarında usınday ótiwler atomlar menen molekulalardıń jıllılıq qozǵalısları nátiyjesinde júzege keledi.

Jıllılıq nurlanıwı teń salmaqlıq qubılıs bolıp tabıladı. Demek ol barlıq waqıtta da termodynamikalıq teń salmaqlıqqa ótiwge tırısadı. Termodynamikalıq teń salmaqlıq halında qálegen waqıt ishinde nurlanırılgan energiyaniń ortasha muǵdarı jutılǵan energiyaniń ortasha muǵdarına teń boladı.

Jıllılıq nurlanıwı nurlanırıw hám jutıw qábiletlikleri menen xarakterleniwi mümkin. Qızdırılǵan deneniń betiniń bir birliginen waqıt birliginde uzınlıqları λ menen $\lambda + d\lambda$ shamaları arasında bolǵan elektromagnitlik tolqınlar túrinde nurlanǵan energiyaniń shaması deneniń spektrallıq nurlanırıw qábiletligi dep ataladı hám onıń shaması

$$E_{\lambda_T} = \frac{dW_{nurl}}{d\lambda} \quad (1)$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı.

Bettiń bir birliginen tolqın uzınlığı 0 den ∞ ke shekemgi elektromagnitlik tolqınlar túrinde nurlanatuǵın jıllılıq nurlanıwınıń tolıq quwati deneniń integrallıq nurlanırıw qábiletligi yamasa deneniń energiyalıq jarqınlığı dep ataladı:

$$R_T = \int_0^{\infty} E_{\lambda_T} d\lambda. \quad (2)$$

Eger denegə nurlanıw ağısı kelip túsetuǵın bolsa, onda sol ağıstiń bir bólimi shaǵılısadi, al ekinshi bólimi jutiladı. Deneniń jutiwshılıq qábiletligi A_{λ_T} ólshem birligine iye emes fizikalıq shama bolıp tabıladı. Ol tolqın uzınlıqları λ menen $\lambda + d\lambda$ shamaları arasında bolǵan tolqınlardıń deneniń betiniń bir birligine kelip túskende waqıt birligi ishinde onıń energiyasınıń qansha bóliminiń jutilatuǵınlıǵıń kórsetetuǵın shama bolıp tabıladı.

Jiyiliginen yamasa tolqın uzınlıǵıńan górezsiz betine túskenn energiyaniń barlıǵın tolıq jutatuǵın deneni absolyut qara dene dep ataydı. Absolyut qara dene ushın $A_{\lambda_T} = 1$. Tábiyatta bar hesh bir dene absolyut qara dene bola almaydı. Qara kúyik penen qaplańgan ayırm denelerdiń jutiw koefficienti tolqın uzınlıqlarınıń sheklengen intervalında 1 ge jaqınlasadı. $A_{\lambda_T} < 1$ teńsizligi orınlantuǵıń denelerdi kóbinese sur deneler dep ataydı.

Denelerdiń nurlandırıwshı hám jutiwshı qásiyetleri arasındaǵı baylanıs tábiyatınan górezsiz Kirxgof nızamınıń járdeminde ańlatıldı:

$$\frac{E_{\lambda_T}}{A_{\lambda_T}} = r_{\lambda_T}. \quad (3)$$

Nurlandırıwshılıq qábiletliginiń jutiwshılıq qábiletligine qatnasi deneniń tábiyatınan górezsiz shama bolıp tabıladı hám onıń mánisi absolyut qara deneniń nurlandırıwshılıq qábiletligine teń (onı r_{λ_T} arqalı belgiledik).

Qara deneniń nurlandırıwshılıq qábiletligi funkciyasınıń analitikalıq túrin 1900 jılı kvantlıq fizikanıń tiykarın salıwshı ullı nemis fizigi Maks Plank (Max Karl Ernst Ludwig Planck; 1858-1947) taptı. Funkciyanı tabıw ushın ol qızdırılǵan deneler energiyani porciyalar túrinde shıǵaradı hám jutadı dep boljadı. Sol energiya porciyasınıń muǵdarı $E = hv$ shamasına teń. Bul ańlatpada h arqalı Plank turaqlısı, v arqalı elektromagnit tolqınıń jiyiliği belgilengen. Demek, energiya porciyasınıń muǵdarı tolqınnıń jiyiligine tuwrı proporsional eken.

r_{λ_T} shaması ushın Plank formulası

$$r_{\lambda_T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (4)$$

túrinde jazıladı. Eger jiyilik penen tolqın uzınlığı arasındaǵı $v = \frac{c}{\lambda}$ túrindegi baylanıstı esapqa alsaq, onda

$$r_{\lambda_T} = \frac{c}{\lambda^2} r_{\nu_T} = r_{\nu_T} \left| \frac{d\nu}{d\lambda} \right| \quad (5)$$

formulasına iye bolamız. Bul ańlatpalarda

λ – nurlanıwdıń tolqın uzınlığı,

ν – nurlanıw jiyiliǵı,

c – jaqtılıqtıń vakuumdegi tezligi.

Bunday jaǵdayda Plank formulasın bılayınsha jaza alamız:

$$r_{\lambda_T} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}. \quad (6)$$

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Dj·s – Plank turaqlısı,

$c = 3 \cdot 10^8$ m/s - jaqtılıqtıń vakuumdegi tezligi,

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Dj/K - Bolcman turaqlısı.

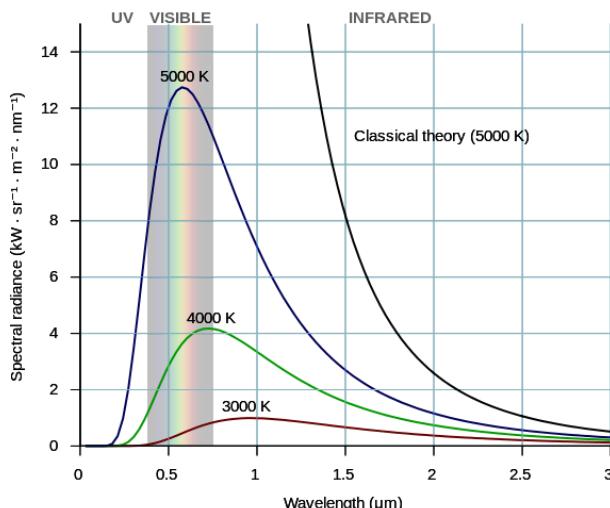
r_{λ_T} shamasın bilsek, onda absolyut qara deneniń integrallıq nurlandırıwshılıq (shıǵarıwshılıq) qábletligin taba alamız:

$$R_T = \int_0^{\infty} r_{\lambda_T} d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} T^4. \quad (7)$$

$$R_T = \sigma T^4, \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3}. \quad (9)$$

Bul formulada σ arqalı Stefan-Bolcman turaqlısı belgilengen.



1-súwret.

Plank formulası boyınsha [(4)-formula] absolyut qara deneniń nurlanıwı. Abscissa kósherine tolqın uzınlığı λ niń mánisleri, al ordinata kósherine r_{λ_T} funkciyasınıń hár qıylı temperaturalardaǵı mánisleri qoyılǵan.

(8)-formula absolyut qara dene ushın Stefan-Bolcman nızamı bolıp tabıladı. Sur dene ushın (4)-ańlatpa tiykarında

$$R_T = A_T \sigma T^4 \quad (10)$$

ańlatpasına iye bolamız. Bul ańlatpada $\lambda=\text{const}$ bolǵan jaǵdayda $A_T = A_{\lambda_T}$.

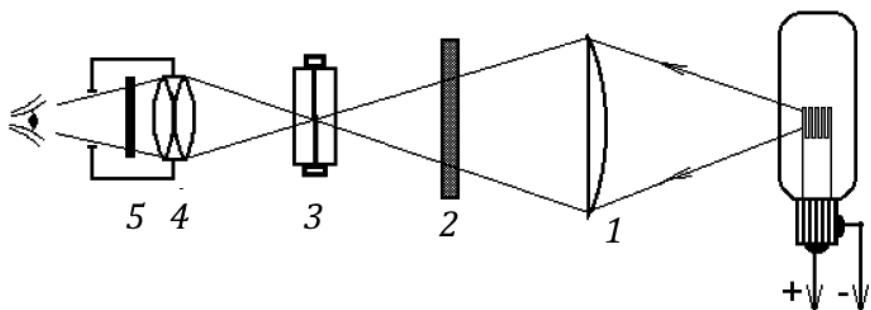
Eger temperaturası T ǵa teń bolǵan deneniń betiniń maydanı S bolsa hám bul dene temperaturası T_0 bolǵan ortalıqta jaylasqan bolsa, onda usı dene tárepinen nurlandıratuǵın quwat

$$P = R_T S \quad (11)$$

shamasına teń boladı.

2. Dúzilistiń táriyipi

Qızdırılǵan deneniń temperaturasın aniqlaw ushın **pirometr** dep atalatuǵın optikalıq ásbap qollanıladı. Bunday ásbapta temperaturası ólshenetuǵın deneniń shıǵarıp turǵan jaqtılıǵı piometrдиń ishindegi qızdırılǵan sım shıǵarıp turǵan jaqtılıq penen salıstırıladı. Piometrдиń ishinde ádette volfram sım qollanıladı. Deneniń temperaturası menen sımniń temperaturası teńleskende olardıń jarıqlığı da teńlesedi. Sonlıqtan deneniń súwretiniń fonında sım kórinbey qaladı. Usı jaǵdayǵa baylanıslı piometrdi "joǵalatuǵın sımǵa iye" optikalıq ásbap dep te ataydı.



2-súwret. Piometrдиń optikalıq sxemasi.

1-bir linzalı obektiv, 2-jutuwshı shiyshe, 3-piometrlik lampa, 4-aplantikalıq lupa, 5-qızıl filtr.

Piometrдиń optikalıq sxemasi 2-súwrette berilgen. 1-obektiv nurlanıw deregine tuwrılanadı hám onıń ishindegi linza 3-etalonlıq piometrlik lampanıń tegisliginde izertlenetuǵın deneniń súwretin payda etedi. Eki súwret te okulyardıń ishinde jaylasqan 4-aplantikalıq lupanıń járdeminde kórinedi. Etalon lampa arnawlı elektr tarmaǵınan energiya aladı.

Reoxordtıń járdeminde piometrlik lampadaǵı toqtıń shamasın ózgertip izertlenip atırǵan volfram sımniń fonında piometrlik lampanıń etalonlıq sımınıń joǵalıw ámelge asırıladı. Joǵalıw saylap alıngan spektrallıq intervalda

pirometrik hám izertleniwshi lampanıń jariqlıqları birdey bolǵan jaǵdayda júzege keledi. Bul jaǵday olardıń tolqın uzınlıqlarınıń usı intervalında nur shıǵarıwshılıq uqıplılıqlarınıń birdey ekenligin ańǵartadı. Pirometr aldın ala absolyut qara deneniń nurlanıwı boyınsha graduirovkalanǵan boladı. Sonlıqtan onıń shkalasına temperaturasınıń usı mánisinde jariqlığı izertlenip atırǵan deneniń jariqlıǵınday absolyut qara deneniń temperurasınıń mánisleri qoyılǵan boladı (oni T_q arqalı belgileymiz). Bunday temperaturanı **jariqlıq temperaturası** dep ataydı. Jariqlıq temperurasınıń haqıyqıy temperaturadan tómen bolatuǵınlıqı belgili.

Piometrдиń graduirovkasınıń shártin hám $T_0^4 < T_j^4$ teńsizliginiń orın alatuǵınlıǵın esapqa alıp

$$\begin{aligned}\sigma T_q^4 &= A_T \sigma T^4 = \sigma T_j^4; \\ A_T \sigma S(T^4 - T_0^4) &= \sigma S(T_q^4 - T_0^4) \sim \sigma S T_q^4 = \sigma S T_j^4\end{aligned}\quad (12)$$

ańlatpalarına iye bolamız.

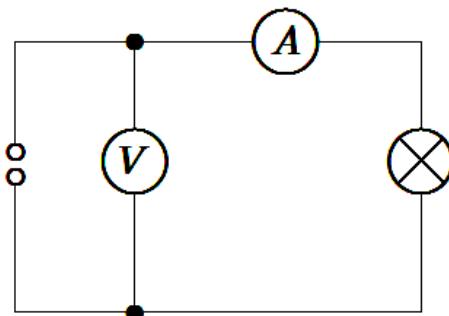
Volfram simi bar qızdırıw lampası 3-súwrette keltirilgen sxema boyınsha ózgermeli kernewdi tuwrılaǵıshqa jalǵanǵan. Lampadaǵı toqtıń kúshiniń shamasın ózgertip lampanıń siminiń hár qıylı temperaturalarǵa shekem qızıwın ámelge asıra alamız. Shınjırdaǵı toqtıń kúshin hám lampaǵa túskenn kernewdi bilip (olardıń shaması ampermetr hám voltmetrдиń járdeminde ólshenedi) lampanıń simin qızdırıw ushın sarıplanıp atrǵan quwattıń shamasın biliwge boladı. Sol quwat $P = UI$ ni lampanıń simi arqalı waqt birliginde nurlanıw túrinde joǵaltıp atrǵan energiyaǵa teńep

$$UI = \sigma S T_j^4 \quad (13)$$

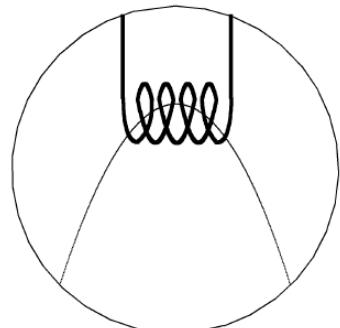
ańlatpasına iye bolamız. Bu ańlatpada U arqalı lampaǵa túskenn kernew, I arqalı lampanıń shınjırındaǵı toqtıń kúshi belgilengen.

$P = f(T^4)$ funkciyasınıń grafigi koordinata basınan ótetüǵın $Y = kX$ tuwrısınıń grafigi bolıp tabıladı. Bu ańlatpada $Y = UI$, $X = T^4$, $k = \sigma S$.

k koefficientiniń mánisin eksperimentallıq maǵlıwmatlar tiykarında grafikalıq yamasa analitikalıq usillardıń járdeminde tabıwǵa boladı. k niń mánisin maydan S ke bólip Stefan-Bolcman turaqlısınıń mánisin tabıw mümkin.



3-súwret. Qızdırıw lampasın elektr toǵı kózine jalǵaw sxeması.



4-súwret. Pirometr obektivi arqalı qızdırıw lampasınıń sımı menen etalon simniń kóriniwi.

3. Jumisti orınlaw tártibi

1. Optikalıq piometrди ólshewler júrgiziw ushın tayarlańız. Onıń ushın piometrди tarmaqqa arnawlı blok arqalı tutastırıńız. Regulyatorın saat strelkasınıń qozǵalıs baǵıtında burap okulyar arqalı etalon sim kórinetuǵınday awhalǵa alıp kelińiz. Okulyardıń tubusın qozǵap simniń súwretin anıq bolıwına erisińiz.

Qızdırıw lampasınıń tarmagındaǵı tuwrılaǵısti qosıńız hám lampa arqalı ótip atırǵan toqtıń shamasın 4 amperge teń etip alıńız. Piometrдиń obektivin izertlenip atırǵan lampanıń jaqtılıq shıǵarıp turǵan simına 4-súwrette kórsetilgendey awhaldıń alınatuǵınday etip qaratińiz. Obektivtiń tubusın qozǵaw arqalı sol simniń anıq kóriniwine erisińiz. Arnawlı uslaǵıstiń járdeminde kóriw maydanına qızıl jaqtılıq filtrin jaylastırıńız.

2. Izertlenip atırǵan lampanıń nakalın ózgertip qızǵan simniń temperaturasın piometrдиń járdeminde ólsheńiz. Lampadaǵı toqtıń mánisın 0,5 A adımlı menen 4 A den 6,6 A ge shekem ózgertińiz. Hár ólshewdiń barısında toqtıń, kernewdiń hám temperaturanıń mánisleri jazıp alınadi.

Eskertiwler:

a) laboratoriyalıq jumisti orınlawda qızdırıw lampalarınıń hár qıylı markalarınıń paydalanylılıwi mümkin. Sonlıqtan joqarida keltirilgen toqtıń mánisleri ózgerislerge ushıraydı.

b) piometrlerdiń shkalaları ádette Celsiya shkalasındaǵı temperaturalarda graduirovkalanǵan boladı.

Piometrдиń járdeminde temperaturanı anıqlaǵanda piometrlik lampanıń qızatıǵın siminiń ortasındaǵı ushastkanıń jariqlığın izertlenip atırǵan lampanıń qızıwshi siminiń ortasındaǵı jariqlıq penen teńleskenshe ózgertedi. Jariqlıqlar teńlesken waqitta piometrlik lampanıń simi kórinbey qaladı. Tap usı waqitta piometrдиń shkalası boyınsha temperaturanıń mánisi jazıp alınadi. Piometrlerde ólshewler diapazonlarınıń bar ekenligine, diapazonlardıń ózgertiletuǵınlığına itibar beriw kerek. Toqtıń hár bir mánisi ushın temperaturanıń mánisi keminde úsh ret ólshenedi. Usınday ólshewlerde

priometrđiń siminiń temperurasın joqarı temperaturalardan baslap ta, tómengi temperaturalardan baslap ta ózgertiw talap etiledi. Toqtıń hár bir mánisi ushın temperaturaniń ortasha mánisi qabil etiledi.

3. $P = kT^4$ tuvrısınıń qıyalığınan k koefficientiniń mánisin anıqlańız.

4. Tuwrınıń qıyalığınıń koefficientin anıqlaǵanda jiberilgen tolıq qáteni anıqlańız. Qátelikti anıqlaǵanda $\Delta T = 20 K$, $\Delta I = 0,05 A$, $\Delta U = 0,05 V$ shamaların qabil etińiz.

5. k niń belgili mánisi boyınsha Stefan-Bolcman koefficientin hám (9)-formula boyınsha Stefan-Bolcman koefficientiniń mánisi tiykarında Plank turaqlısınıń mánisin esaplańız. Izertlengen lampanıń maydanınıń shaması $S = 57 \text{ mm}^2$ (eğer basqa tiptegi lampa paydalanılgan bolsa S shamasınıń mánisi basqa boladı). Usı eksperimentlerde Stefan-Bolcman hám Plank turaqlıların anıqlaǵanda jiberilgen absolyut hám salıstırmalı qátelerdiń mánislerin tabıńız.

6. Alıńǵan nátiyjelerdi ádebiyatta bar nátiyjeler menen salıstırıńız.

Sorawlar

1. Jıllılıq nurlanıwınıń basqa da nurlanıwlardan ayırması nelerden ibarat?

2. Jıllılıq nurlanıwin táriyipleytuǵın fizikalıq shamalardı atap aytıńız hám oлar arasındaı baylanıslardı kórsetińiz. Hár bir shamaǵa anıqlama berińiz.

3. Jıllılıq nurlanıwi nızamların keltirip shıǵarıńız.

4. Ideal shaǵılıstırıwshı dene degenimiz ne? Abslyut qara degenimiz ne? Ideal shaǵılıstırıwshı dene menen absolyut qara dene birdey muǵdardaǵı jaqtılıq energiyasın aladı. Olardıń jaqtılıq energiyasın shaǵılıstırıwdaǵı ayırması qanday?

5. $J_\lambda = f(\lambda)$ funkciyasınıń grafiginen nurlanıwdıń integrallıq intensivligi bolǵan J shamasın qalay alıwǵa boladı?

6. Plank formulasınan paydalanıp Stefan-Bolcmanniń, Vinniń, Reley-Djinstiń nızamların keltirip shıǵarıńız.

7. Temperaturaniń hár qıylı mánisleri ushın r_{λ_T} funkciyasınıń grafiklerin dúzińiz. Sol grafiklerdiń bir birinen ayırmasın kórsetińiz hám sol ayırmalıq fizikalıq mánisin túsındırıńiz.

8. Bul jumısta Stefan-Bolcman hám Plank turaqlılarınıń mánisin anıqlawǵa mümkinshilik beretuǵın formuları keltirip shıǵarıńız.

9. Optikalıq pirometrđiń islewiniń principin túsındırıńiz. Deneniń qanday temperurasın jarıqlıq temperurası dep ataydı? Optikalıq pirometrđiń ólshew sheklerin qanday sebepler anıqlaydı?

10. Stefan-Bolcman hám Plank turaqlılarınıń qaysısınıń mánisi usı jumısta dálirek anıqlanadı? Nelikten?

Ádebiyat

1. Тепловое излучение. https://ru.wikipedia.org/wiki/Тепловое_излучение
2. Thermal radiation. https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_radiation
3. Г.С.Ландсберг. Оптика. Учебное пособие. Для вузов. Главы 35 и 36. 6-е издание. Москва. ФИЗМАТЛИТ. 2003. 848 с.
[http://d.theupload.info/down/cvz9lmsiktsbmr6ygtcx8wl455j8mko/landsberg_g_s_optika_\(2003\).djvu](http://d.theupload.info/down/cvz9lmsiktsbmr6ygtcx8wl455j8mko/landsberg_g_s_optika_(2003).djvu)

14-laboratoriyalıq jumıs

Polyarizaciyalıq mikroskoptıń járdeminde kristalloptikalıq qubılıslardı úyreniw

Jumistiń maqseti polyarizaciyalıq mikroskoptı qattı denelerdiń sınıw kórsetkishin, bir kósherli hám eki kósherli kristallardıń hár qıylı optikalıq konstantaların anıqlawdan ibarat.

Kerekli ásbap hám úskenerler: МП tipindegi polyarizaciyalıq mikroskop, móldir qattı denelerdiń jiynaǵı, bir kósherli hám eki kósherli kristallar jiynaǵı.

Ásbaptıń táriyipi. Polyarizaciyalıq mikroskop tiykarınan A shtativten, B tubustan turadı (1-súwret). Tubusta joqarǵı nikol-analizator C hám G linzası ornalastırılǵan bolıp, olar qosılıwshı jaqtılıqta polyarizaciya qubılısin baqlaw ushın qollanıladı. G linzasın ádette Bertran linzası dep ataydı.

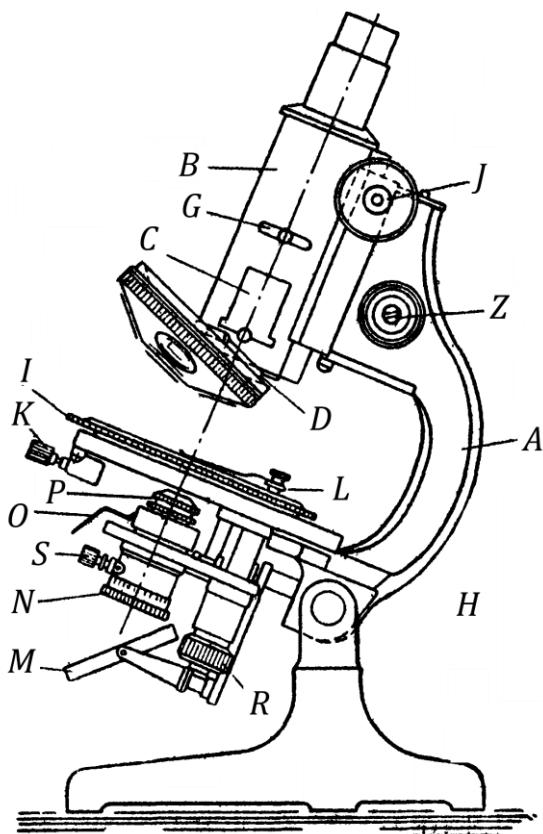
Bertran linzası polyarizaciyalıq mikroskoptıń áhmiyetli bólimleriniń biri bolıp tabıldı. Okulyar menen analizatordıń ortasında jaylasqan. Úlken kóriw maydanına iye ázzi obektiv. Konoskoptıq figurarı úlkeytilgen türde baqlaw ushın paydalanylادı.

Analizator hám G linzası arnawlı kesilgen jol boyınsha qozǵalıwdıń nátiyjesinde tubustıń sırtına shıǵa aladı.

Tubusta úshinshi kesim de boladı (D). Ol mikroskoptıń optikalıq sistemасına kompensatorlardı kirgiziw ushın arnalǵan. Tubustı J vintiniń hám C mikrometrik vinttiń járdeminde joqarı yamasa tómenge qaray túsıriwge boladı. Tubustıń qansha shamaǵa kóterilgeni vinttiń basındaǵı shkala boyınsha anıqlanadı. Ádette shkalanıń bir bólimi 0,002—0,003 mm aralıqqa jılıwǵa sáykes keledi. Qolaylılıq ushın shtativti sáykes vint penen qatırıp qálegen qıya awhalǵa alıp keliw mümkin.

Obektiv tubusqa qısqıshlardıń járdeminde qısilǵan halda ornalastırıladı. Sonıń menen birge obektivtiń optikalıq kósheri menen tubustıń kósherin betlestiriwdiń mümkinshiliqi tuwdırılǵan.

Eger okulyardıń atanaǵınıń ortası predmetlik stoldıń aylanıw kósheri menen betlesetuǵın bolsa, onda obektivti oraylastırılǵan dep esaplaydı. Al predmetlik stoldıń ústine izertleniwshi predmet qoyıladı.



1-súwret.
Polyarizaciyalıq mikroskoptıń
dúzilisi.

Predmetlik stol óziniń kósheriniń dógereginde aylanadı. Aylanıw mýyeshiniń shaması stoldıń shetindegi limb boyınsha anıqlanadı. Limbniń aylanıwında 1° lıq dállık tolıq jetkilikli dep esaplanadı. Qaptalda predmetlik stoldı qozǵalmaytuǵın awhalǵa alıp keletuǵın K vinti bar. Stoldıń ústinde izertlenetuǵın predmetti stoldıń betine qısıp uslap turatuǵın serpimli metalldan tayarlanǵan L plastinkası bar.

Stoldıń astında jaylasqan jaqtılandırıwshı sistema tegis hám oyıs M aynasınan, N polyarizatorınan hám O diafragmasınan hám aperturası 0,5-1,3 shamasına teń almastırılatuǵın P kondensorının turadı. Kúshli qosılıwshı dásteni alıw ushın P kondensorınıń joqarısına qosımsha kondensor bolǵan Lazo linzası ornalastırılǵan (1-súwrette kórsetilmegen). S vinti polyarizatordı kesilisetuǵın hám parallel nikollarda baqlaw maqsetinde zárúrli bolǵan awhalda qısıp turıw ushın arnalǵan. Barlıq jaqtılandırıwshı sistema qaptaldaǵı R vintiniń járdeminde túsiriledi hám usı vinttiń járdeminde shetke de shıǵarılıdı.

Mikroskoptı jumısqa taylorlaw. Izertleniwshi obektti jaqtılandırıw ushın arnawlı jaqtırtqısh yamasa shashıraǵan nurları alıw ushın gúńgirt shiyshege iye kúshli elektr lampası paydalanalıdı. Shama menen 8,8 úlkeytiwge iye obektiv qısqıshlardıń járdeminde tubustıń tómenine ornalastırıladı. G

analizatorı hám linza tubustan shıgarıladı. Okulyardı tubusqa ornalastırmay turıp hám aynanı jılıstırıw arqalı kóriw maydanınıń eń jaqsı jaqtılındırılıwına erisiledi. Usınday jaǵdayda jaqtılındırıwshı sistemadaǵı diafragma tolıq ashıq turǵan boliwı kerek. Bunnan keyin tubusqa atanaqqa iye okulyar ornatıldı. Analizatordı tubusqa kirgizedi, S vintin tómenge túsiredi hám kóriw maydanı tolıq qarańǵı bolǵanınsha polyarizatordı aylandıradı. Kóriw maydanınıń maksımallıq qarańǵı boliwı nikollerdiń bir birine perpendikulyar turǵanlıǵıń bildiredi ("ayqastırıp qoyılǵanlıǵıń bildiredi" túsinigi de qollanıladı).

Bunnan keyin polyarizator ótkergen jaqtılıq terbelisleriniń baǵıtın aniqlaw kerek boladı. Buniń ushın tubusqa bekitiwshi vintti bosatıp analizatordı shıgarıp aladı. Analizatordı kózge jaqınlatıp qanday da bir jiltıraq betten shaǵılısqan nurlarıı baqlayıdı. Nikoldı buriw arqalı ótiwshi nurdıń intensivligindegi ayırmazı belgileydi. Usınday jollar menen shaǵılısqan nurlarııń terbelisiniń baǵıtın analizatordıń járdeminde bilip analizator tárepinen (sonıń menen birge polyarizator tárepinen) ótkeriletuǵın terbelislerdiń baǵıtın bile aladı.

Jumısti orınlaw barısında nikollar tárepinen ótkeriletuǵın jaqtılıqtıń terbelis baǵıtın barlıq waqitta bilip otırıw ushın okulyardıń atanaǵınıń jaqtılıq terbelisleriniń baǵıtı menen sáykes keliwin tekserip kóriw kerek boladı. Atanaqtıń jaylasıwı shliftegi qara slyuda kristallı (biotit kristallı) boyınsha tekserilip kóriledi. Slyudada sańlaqlar anıq kórinedi. Usı sańlaqlar boyınsha slyudajúdájuqa kristallıq folgalarǵa ańsat türde ayrıladı. Analizatordı tubustan alıp predmetlik stoldı aylandıradı hám sańlaqlarıń baǵıtı okulyardaǵı atanaqtıń bir sızıǵına parallel etip qoyadı. Bunnan keyin analizatordı orına qoyadı. Bunday jaǵdayda kristaldıń tolıq qarańǵılawı kútiledi. Sebebi biotittiń jarıqlarǵa parallel bolǵan tegisligi sıniw kórsetkishiniń ellipsoidınıń bas kesimleriniń birine sáykes keledi. Eger tolıq qarańǵılanıw orın almaytuǵın bolsa, onda okulyardıń atanaǵınıń nikollar tárepinen ótkeriletuǵın jaqtılıqtıń terbelisleriniń baǵıtı menen sáykes kelmeytuǵınlıǵıń kórsetedi. Mikroskoptaǵı tap usınday effektjúdá áhmiyetli effektlerdiń biri bolıp tabıladı hám onıń ońlaw ushın optik qánige shaqırıladı.

Obektiviń oraylastırıw. Eger obektiv oraylastırılmaǵan bolsa, onda predmetli stoldı aylandırganda obekttiń barlıq noqatları sheńber boyınsha aylanadı. Olardıń orayı okulyardıń kóriw maydanındaǵı atanaqtıń orayı menen sáykes kelmeydi. Oraylastırıwda alda turǵan másele kóriw maydanınıń orayıń okulyardıń atanaǵınıń orayı menen betlestiriw bolıp tabıladı. Stoldı eki tárepke de tez aylandırw arqalı kóz benen onıń aylanıw orayıń belgileydi. Bunnan keyin obektiviń qasnaǵında bir birine perpendikulyar jaylasqan eki oraylastırıw vintiniń járdeminde kóriw maydanınıń aylanıw orayıń atanaqtıń orayı menen betlestiriwge háreket etedi. Bunday háreketlerdi bir neshe ret qaytalap oraylastırılganlıqtıń dálligin joqarılıatatadı hám usınday jollar menen obektiviń kósherin stoldıń aylanıw kósherı menen betlestiredi.

Ólshewler. Polyarizaciyalıq mikroskoptı jumısqa tayarlap bolğannan keyin ólshewlerge kirisedi.

1-shınığıw Untalǵan kristallardıń sınıw kórsetkishin jaqtılıq jolaǵı usılı menen aniqlaw (immersiyalıq usıl)

Bul usıldı paydalaniw ushin tek bir nikol kerek. Sonlıqtan analizatordı mikroskoptan alıw kerek boladı. Eger untalǵan kristaldıń sınıw kórsetkishleri aniqlanatuǵın bolsa, onda dáslep kristaldıń izertlenetuǵın bólegi mikroskoptıń stolin aylandırıw arqalı bir birine perpendikulyar qoyılǵan nikollerdegi halǵa qoyıladı. Bunnan keyin analizator alıp taslanadı. Baqlawlardıń jaqsıraq shıǵıwı ushin úlken úlkeytiwge iye obektiv qoyıladı ($20\times$ yamasa $40\times$).

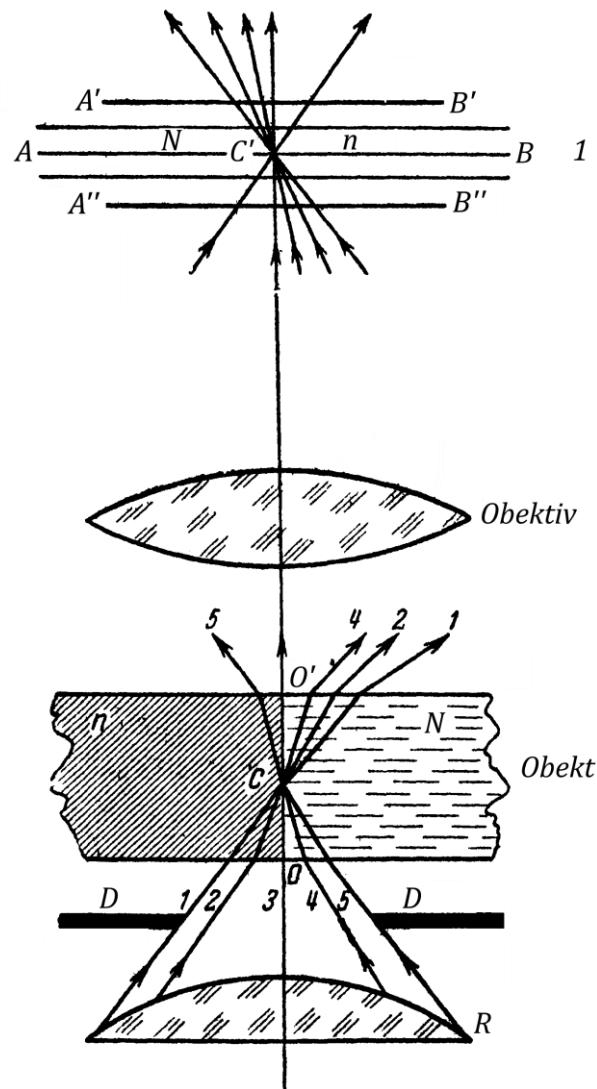
Sıniw kórsetkishin aniqlaw hár qıylı sıniw kórsetkishine iye eki ortalıq arasındaǵı shegarada jaqtılıq jolaǵınıń jılısıwına tiykarlangan. Eger sol eki ortalıqtıń sınıw kórsetkishleriniń shaması $0,002$ — $0,003$ shamasına ayrılatuǵın bolsa, onda sıniw kórsetkishiniń mánisin ólshewge boladı. Jaqtılıq jolaǵınıń payda bolıwı hám onıń jılıwı hár qıylı sıniw kórsetkishlerine iye ortalıqlar arasındaǵı shegarada júretuǵın qubılıslardıń ózgeshelikleri menen baylanıslı. Bul qubılıslardı 2-súwrettiń járdeminde túsındırıw múmkin.

Eger kondensordan shıqqan 1-, 2-, 3-, 4- hám 5-nurlar sıniw kórsetkishleri n hám N ($N > n$)bolǵan eki ortalıq arasındaǵı shegaraǵa qosılıwshi nurlar túrinde túsetuǵın bolsa, onda 3-nur shegaraǵa túシリgen ürünba baǵıtında júredi, 1- hám 2-nurlar OO' shegarasında sinadı hám sıniw kórsetkishi N bolǵan ortalıqqa ótedi. 5-nur OO' shegarasında sinadı hám sıniw kórsetkishi n bolǵan ortalıqqa ótedi. Al 4-nur bolsa shegarada tolıq ishki shaǵılısadı hám shep táreptegi ortalıqqa bara almaydı. Usı jaǵdaylarǵa baylanıslı sıniw kórsetkishi úlken hám N shamasına teń bolǵan ortalıq kishirek sıniw kórsetkishine iye ortalıqqa (biz qarap atırǵan jaǵdayda sıniw kórsetkishi n ge teń ortalıq) qaraǵanda kúshlirek jaqtılangan boladı. DD diafragması shetki nurları ótkermeydi, shep tárepten (5-nur) shıǵatuǵın nurdıń intensivligin kemeytedi. Nátiyjede shegaranıń kontarstlıǵı joqarılıaydı. Obektiv preparat (predmet) arqalı ótken jaqtılıqtı súwrettiń tegisligine alıp keledi hám keri haqıyqıy súwretti beredi. Usı súwret okulyar arqalı kórinedi. Dál fokuslanǵanda okulyardıń predmetiniń AB tegisligi (obektiv payda etken súwrettiń tegisligi) C' noqatı arqalı ótedi. Eger mikroskoptıń tubusın kóterse obektivtiń súwretiniń tegisligi tómenge túsedı hám okulyardıń predmetiniń tegisligi obektiv tárepinen C' noqatınan joqarıda A'B' sızıǵı boyınsha jiynalǵan jaqtılıqtı kesedi. Baqlawshiǵa úlken sıniw kórsetkishine iye ortalıqta aq jolaq bar bolǵanday bolıp kórinedi. Bul aq jolaq mikroskoptıń tubusın kótergen sayın úlken sıniw kórsetkishine iye ortalıq tárepke qaray jılısadı. Eger mikroskoptıń tubusın jáne de tómenge túsirse, onda okulyardıń predmetiniń tegisligi dásteni C' noqatınan tómende A''B'' sızıǵı boyınsha kesedi. Al aq jolaq sıniw kórsetkishi kishi bolǵan

ortalıq tárepke jılıjydi. Usı jaǵdaylarǵa baylanıslı aq jolaq ápiwayı hám qolaylı belgi sıpatında xızmet etedi. Onıń járdeminde izertlenip atırǵan zattıń sınıw kórsetkishiniń onı qorshaǵan ortalıqtıń sınıw kórsetkishinen úlken yamasa kishi ekenligin ańsat anıqlawǵa boladı.

2-súwret.

Hár qıylı sınıw kórsetkishlerine iye ortalıqlar arasında ótetuǵın qubılıslardıń ózgesheligin tú sindiretuǵın sxema.



Eger mikroskoptıń tubusın kótergende jaqtılıq jolaq izertlenip atırǵan zatqa qaray (zattıń ishine qaray), al tubustı tómenge qaray túsigende sırtqa qaray jılıssa, onda izertlenip atırǵan zattıń sınıw kórsetkishi qorshaǵan ortalıqtıń sınıw kórsetkishinen úlken degendi ańǵartadı. Izertleniwshi zat penen qorshaǵan ortalıqtıń sınıw kórsetkishleriniń shamaları birdey bolsa jaqtılıq jolaq tolıq joǵaladı, al zattıń ózi kórinbey qaladı (suyıqlıqta erip joq bolıp ketkendey).

Sınıw kórsetkishin ólshew ushın izertleniwshi untaq kristaldı (poroshokti) predmetlik shiysheniń ústine saladı. Poroshokti jiynaqta bar suyuqlıqlardıń biriniń 1-2 tamshısı menen iǵallaydı. Usınıń menen birge sol suyuqlıqtıń nomeri hám onıń sınıw kórsetkishi jazıp alındı. Tamshınıń ústin jabıwshi shiyshe plastinkaniń járdeminde jabadı hám preparattıń barlıǵın mikroskoptıń predmetlik stolınıń ústine qoyadı. Dispersiya qubılısin boldırmaw ushın

preparatti monoxromat jaqtılıq penen jaqtılandırıdı. Bul jaǵday ólshevlerdiń dálligin joqarılatacı. Aq jaqtılıqtı paydalanganda jolaq suyıqlıq penen zattıń dispersiyaları birdey bolǵanda góana joǵaladı. Ámelde bunday jaǵday júdá siyrek ushırasadı. Mikroskop zat penen suyıqlıqtıń shegarasına tuwrılanadı. Bunnan keyin tubustı kóterip jaqtılı jolaqtıń qay tárepke qaray jılıjytuǵınlığı anıqlanadı.

Preparatti basqa suyıqlıq penen tayarlaydı hám baqlaw qaytalanadı. Suyıqlıqlardı tańlap alıw joli menen jaqtılı jolaqtıń joǵalıwinə erisiw kerek. Suyıqlıqtıń baqlaw ótkerilgen sharayatlardań sıniw kórsetkishin bilip (temperatura hám tolqın uzınlığı) izertlenip atırǵan zattıń sıniw kórsetkishi anıqlanadı.

Obektivtiń frontallıq linzasın (yaǵníy izertleniwshi denege qarap turǵan linzasın) búldırıp almaw maqsetinde baqlawlardı preparatti jabiwshi (ústine qoyıwshi) plastinka menen jawıp ótkeredi.

Joqarıda táriyiplengen usıldıń (immersiyalıq usıldıń) járdeminde ólshevler ótkergende izotrop ortalıqlarda sıniw kórsetkishiniń qálegen baǵitta turaqlı bolatuǵınlıǵın, al anizotroplıq kristallıq ortalıqta sıniw kórsetkishiniń kristallografiyalıq baǵittan górezli bolatuǵınlıǵın názerde tutıw kerek. Eger mikroskopta kóp sanlı sıniqlar (túyirtpeler) baqlanatuǵın bolsa, onda hár bir túyirtpekte eki sıniw kórsetkishi baqlanadı (bul polyarizatordan shıqqan tolqınnıń jaqtılıq terbelisleriniń qaysı baǵitta ekenliginen górezli). Eger ólshevlerden aldın kristal atanaqlastırılgan (bir birine perpendikulyar qoyılǵan) nikollerdegi qarańǵı awhalǵa qoyılatuǵın bolsa, onda olar bir birinen keskin túrdegi ayırmaga iye boladı.

Bunday jaǵdaylarda mikroskoptıń stolin bir birinen 90° qa ayrılatuǵın jaǵdaylarga qoyıw arqalı eki sıniw kórsetkishi ólshenedi. Ulıwma jaǵdayda maksimallıq hám minimallıq sıniw kórsetkishleriniń mánislerin anıqlaw ushın izertlenip atırǵan bir kristallıq zattıń hár qıylı orientirovkalarında múmkin bolǵanınsha kóbirek ólshevler ótkeriledi.

2-shınıǵıw

Kvarc kristallarınıń qalınlıǵıń hám kristallardıń qos nur sindırıw shamaların ólshev

Tolqınlardıń júrisler ayırması R menen plastinkanıń qalınlıǵı d hám qos nur sindırıwdıń shaması ($n_g - n_p$) arasında

$$R = d(n_2 - n_1)$$

túrindegi qatnas orın aladı.

Mikroskoptıń predmetlik stolınıń ústine atanaqlastırılgan nikollardıń arasında kvarc plastinkasın ornalastırıdı. Onıń intensivli boyawǵa (okraskaǵa) iye bolıwın támiyinlew kerek boladı. Buniń ushın plastinka qoyılǵan predmetlik stoldı aylandırw arqalı kóriw maydanınıń eń qarańǵı bolǵan awhalı tabıladı.

Onnan keyin mikroskoptıń stoli saat strelkasınıń qozǵalıw baǵıtına qarama-qarsı baǵıtta 45° qa burıladı (1-súwret). D kesimine kvarc sına ornatılıadı hám sınanıń qozǵalıwı menen júretuǵın interferenciyalıq boyawlardıń ózgerisi baqlanadı. Bul ózgeris intensivliktiń kishireyiwi yamasa joqarılawının ibarat boladı. Ekinshi jaǵdayda stoldı 90° qa burıw kerek boladı. Bunday jaǵdayda júrisler ayırmasınıń kompensaciyası (qarańgınıń alınıwı) ańsat ámelge asırıladı. Sáykes tártiptıń boyawı ushın sınanıń qalınlıǵın bilip, kelesi kesteniń járdeminde ólsheniwi kerek bolǵan plastinkaniń qalınlıǵı aniqlanadı.

Keste
Atanaqlasırılǵan hám parallel nikollerdegi kvarc sınanıń interferenciyalıq reńleri

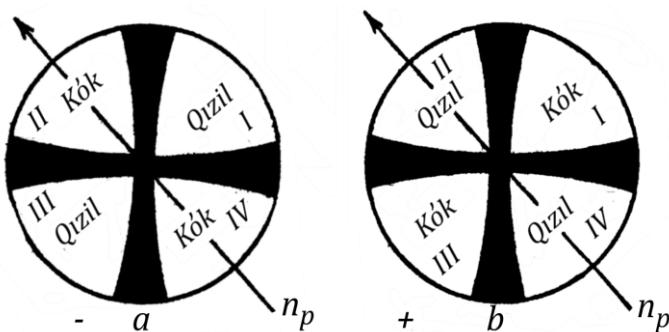
Sınanıń qalınlıǵı, mm	Atanaqlastırı́lǵan nikollerde	Parallel nikollerde	
0,15	Qızıl	Jasıl	Úshınskı tártıp
0,14	Sarı	Sur-kók	
0,13	Jasıl	Qızıl	
0,12	Kók	Sarı	
0,11	Qoyıw qızıl	Jasıl	
0,10	Qızıl	Kók-jasıl	
0,09	Qızǵılt-sarı	Qarańgı kók	
0,08	Jasıl	Qoyıw qızıl	
0,07	Aspan-kók	Altın-sarı	
0,06	Kók	Sarı	
0,05	Qoyıw qızıl	Jasıl	
	Qızıl		
0,04	Qızǵılt sarı	Kók	
0,03	Sarı	Aspan kók	
0,02	Jasıl	Qońır	
0,01	Qara	Aq	

Atanaqlastırı́lǵan nikollardıń arasına qalınlıǵı belgili bolǵan kristallıq plastinkanı ornalastırıadı. Joqarıda táriyiplengendey izbe-izlikte kvarc sınası kirgiziledi hám kóriw maydanınıń qarańgı boliwına erisiledi. Sına ushın kóriw maydanınıń qarańgılanıwına sáykes keliwshi interferenciyalıq boyawdıń tártibin bilip qos nur sindırıwdıń reńli nomogramması boyınsha izertlenip atırǵan plastinka ushın qos nur sindırıwdıń shamasın aniqlaydı (qarańız: Fizisheskiy plaktikum. Elektrishestvo i optika. Pod redakciey prof. V.I.Iveronovoy. Izdanie vtoroe. Izdatelestvo "Nauka". Moskva. 1968. 19-reńli keste).

3-shınığıw

Jıynalıwshı nurlarda bir kósherli kristallardıń optikalıq belgisin, eki kósherli kristallardıń optikalıq belgisin hám optikalıq kósherleriniń mýyeshin aniqlaw

Kúshli jıynalıwshı jaqtılıq dástesin alıw ushin mikroskoptıń jaqtılandıratuǵın sistemasiна qosımsha kondensor ornatadı. Bunday kondensordı Lazo linzası dep te ataydı. Aperturanı úlkeytiw jáne kristaldan tarqalıwshı jaqtılıq nurların maksimallıq paydalaniw ushin maksimallıq úlkeytiwge iye obektiv qollanıladı ($60\times$). Usınday obektiv ornalastırılğannan keyin oraylastırıw procedurası puqtalıq penen ótkeriledi.



3-súwret.

Úlken sıniw kórsetkishine iye qalıń kristallardı izertlegende $40\times$ yamasa $20\times$ ese úlkeytetüǵın obektivlerdi de paydalaniw mýmkin. Sebebi usınday obektivler optikalıq kósherge kishi mýyeshler boyınsha tarqalatuǵın tolqınlar ushin sezilerliktey júrisler ayırmasın bere aladı (yamasa optikalıq kósherler arasındaǵı súyir mýyeshtiń bissektrisasına iye eki kósherli kristallarda).

Alınatuǵın interferenciyalıq súwret okulyar mikroskopqa ornalastırılmaǵan jaǵdayda tikkeley kórinedi yamasa qosımsha G linzası ornalastırılğan jaǵdayda obektiv arqali da kórinedi. Okulyar linza menen birgelikte interferenciyalıq súwretti 2-3 ese úlkeytip kórsete alatuǵın optikalıq sistemanı payda etedi. Fokusirovka bolsa kóziniń kóriwi hár qıylı bolǵan baqlawshınıń izrtlew júrgiziwine mýmkinshilik beredi.

Úlken úlkeytiwlerge iye obektivlerdi paydalanǵanda onıń frontallıq linzası menen preparattıń arasındaǵı qashıqlıqtıń júdá kishi bolatuǵınlıǵın atap ótiwimiz kerek. Usı jaǵdayǵa baylanıslı eksperimentlerdiń barısında frontallıq linzanı preparatqa abaylamay basıp alıw mýmkinshiliği tuwiladı. Sonlıqtan dáslep obektivti preparatqa tiygenge shekem túsiredi. Bunnan keyin súwretti fokuslaw procedurasın obektivti fokuslawshı vintti saat strelkasınıń qozǵalıw baǵıtına qarama-qarsı baǵıtta buraw arqalı áste-aqırınlıq penen kóteriw jolı menen ámelge asıradı.

Bir kósherdi kristallardı qosılıwshı jaqtılıq dástesinde (tarqalıwshı emes) izertlegende olardıń optikalıq kóshere perpendikulyar etip kesilgen

plastinkaları (shlifleri) paydalanyladi. Al eki kósherli kristallar izertlengende optikalıq kósherleri menen súyir mýyesh jasaytuǵın bissektrisasına perpendikulyar plastinkalar qollanıladı.

Qısqasha teoriya

1. Optikalıq kósherine perpendikulyar baǵitta kesip alıńǵan bir kósherli (yaǵníy tetragonallıq, trigonallıq, geksagonallıq singoniyaǵa kiriwshi) kristallarda orın alatuǵın qubılıslar. Parallel nurlarda bunday plastinka izotrop dene qásiyetine iye boladı hám qos nur sindırıw qubılısunıń belgileri baqlanbaydı. Qosılıwshı jaqtılıq nurlarında ol interferenciyanıń ózine tán figuraların beredi. Eger qubılıstı atanaqlastırılǵan nikollerde monoxromat jaqtılıqta baqlasa, onda mikroskopta koncentrlik qarańǵı hám jaqtılı saqıynalardan turatuǵın interferenciyalıq súwretti baqlawǵa boladı. Bul saqıynalar qara atanaq penen kesilgen bolıp, atanaqtıń shaqaları saqıynalardıń orayında kesilisedi, al súwrettiń shetine qaray atanaqtıń shaqaları keńeyedi (3-súwret). Qarańǵı hám jaqtılı qızıl reńli saqıynalar arasındań qashiqliq kók saqıynalar arasındań qashiqliqtan úlken boladı. Sonlıqtan baqlawlardı aq jaqtılıqta ótkergende interferenciyalıq figura reńli saqıynalardan turadı (olardı izoxromat sızıqlar dep ataydı). Bul sızıqlardıń reńi Nyuton saqıynalarınıń shkalasına sáykes bir saqıynadan ekinshi saqıynaǵa ótkende ózgeredi. Kesilisetuǵın qara atanaqtı **izogirler** dep ataydı. Plastinkalardı jaqtılıq dástesiniń baǵıtında qozǵaǵanda figuralardıń ózgerislerge ushıramaytuǵınlıǵı túsinikli. Eger nikollerdiń birin 90° qa bursa izoxromat sızıqlar ózleriniń reńin ózgertedi, al qara atanaq aq atanaqqa aylanadı. Plastinkanıń kalińlıǵı qanshama úlken bolsa hám onıń qos nur sindırıwinıń shaması úlken bolsa, onda izoxromat sızıqlar biri birine jaqın jaylasadı.

Bir kósherli kristaldiń optikalıq belgisin aniqlaw ushın sezgir túske iye kvarc plastinka qollanıladı. Usınday plastinkada tolqında terbelislerdiń baǵıtı plastinkanıń uzın tárepine parallel etip alındı. Usı baǵitta jaqtılıq úlken tarqalıw tezligine, yaǵníy kishi sıniw kórsetkishine iye boladı (onı n_p arqalı belgileymiz). Kvarc plastinkası mikroskoptıń tubusına kirgiziledi hám bunday jaǵdayda interferenciyalıq súwrettiń reńi ózgeredi: atanaq qızıl-kók reńge boyaladı, al onıń shaqaları arasında kvadrantlar kók yamasa qızıl (qızǵılt-sarı) reńlerge boyaladı. Eger plastinkanıń uzın tárepı penen kesilesetuǵın kvadrantlardıń ekewinde qızıl (yamasa qızǵılt sarı), al qalǵan ekewinde kók jaqtılıq payda bolsa, onda kristaldiń optikalıq belgisi oń boladı (3-súwret). Kúshli qos nur sindıratuǵın yamasa qaliń kristallarda bolsa atanaqtıń orayına jaqın ushastkalarda boyalıw ádewir kúshli seziledi.

Bul qaǵıydanı túsindiriw ushın eki jaǵdaydı eske túsiriwge tuwrı keledi:

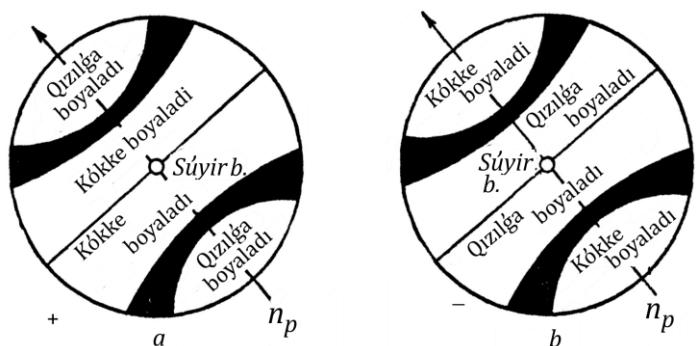
1) eger ádettegidey emes tolqinnıń tezligi ádettegidey tolqinnıń tezliginen kishi bolsa (yaǵníy $n_e < n_0$) bir kósherli kristaldı oń belgige iye dep esaplaymız, eger ádettegidey tolqinnıń tezligi ádettegidey emes tolqinnıń tezliginen kishi

bolsa (yağni $n_e < n_0$), onda bir kósherli kristaldı optikalıq jaqtan teris belgige iye dep esaplaymız.

2) Ádettegidey emes tolqinniń terbelisleri túsiwshi tolqinniń tarqalıw baǵıtı hám optikalıq kósher arqalı ótetuǵın tegislikte jatadı (yağni baqlanatuǵın interferenciya figuralarınıń radiusları baǵıtında). Al ádettegi tolqınlardıń terbelis baǵıtları izoxromat saqıynalarǵa túsirilgen urınbalarǵa baǵıtlaş boladı.

Usı ulıwmaliq jaǵdaylar tiykarında joqarıda bayan etilgen bir kósherli kristaldıń optikalıq belgisin aniqlaw qaǵiydasınıń nege tiykarlangan ekenligin ańsat túsiniwge boladı.

4-súwret.



Kvarc plastinkasındaǵı eń úlken tarqalıw tezligine iye jaqtılıq tolqınınınıń (bunday jaǵdayda sínıw kórsetkishi n_p shamasına teń boladı) terbelis baǵıtı menen izernleniwshi kristaldaǵı kishi tezlik penen tarqalatuǵın jaqtılıq terbelisleriniń baǵıtı baǵıtlaş bolsa (oniń ushın sínıw kórsetkishi n_g shamasına teń), onda tolqınlar arasındaǵı júrisler ayırmasınıń shaması kishireyedi hám interferenciyalıq súwrettegi sáykes orınlar qızıl reńge boyaladı. Joqarıda atap ótilgenindey, interferenciyalıq figuraniń radiusunuń baǵıtına ádettegidey emes tolqinniń terbelisleriniń baǵıtı sáykes keledi hám sonlıqtan ádettegidey emes tolqinniń tezligi ádettegidey tolqinniń tezliginen kishi boladı ($n_e > n_0$). Bul optikalıq oń kristal ushın shárt bolıp tabıldadı. Bir biri menen atanaq türde jaylasqan kvadrantlar ushın kvarc plastinkasınıń uzın tárepı menen baǵıtlaş jaqtılıq terbelisleri izertlenip atırǵan plastinkadaǵı ádettegi tolqınlardıń terbelisleri menen baǵıtlaş boladı. Bul jaǵdayda júrisler ayırmasınıń úlkeyiwi orın aladı hám sonlıqtan kórsetilgen kvadrantlar kók reńge boyaladı. Al optikalıq jaqtan teris kristallarda interferenciyalıq reńlerdiń keri türdegi jaylasıwları orın aladı.

2. Optikalıq kósherler arasındaǵı súyır mýyeshtiń bissektrisasına perpendikulyar baǵıttı kesip alıngan optikalıq jaqtan eki kósherli kristallardaǵı qubılıslar. Eger optikalıq kósherler arasındaǵı súyır mýyeshtiń bissektrisasına perpendikulyar baǵıttı (bunday jaǵdayda súyır bissektrisaǵa perpendikulyar dep ataydı) kesip alıngan eki kósherli kristall plastinkanı atanaqlastırılgan nikollerdiń ortasına jaylastırsa, onda parallel nurlarda predmet stolin burǵanda kóriw maydanınıń jaqtılınıwı ózgeredi hám

plastinkanıň tek tórt awhalında kóriw maydanı qarańğı boladı. Bunday qarańğı awhal bas kesimniň tegisligi (optikalıq kósherlerdiň tegisligi) polyarizator menen analizatordıň bas kesimleri menen baǵıtlas bolǵan jaǵdayda júzege keledi.

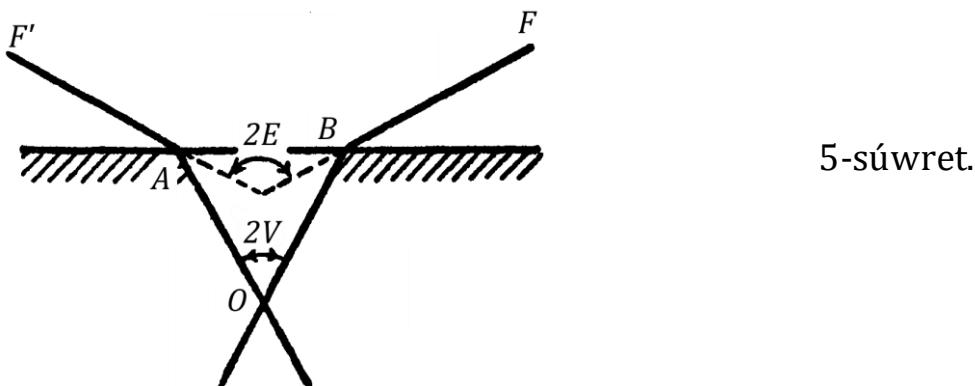
Bunday plastinkanı jiynalıwshı jaqtılıqta izertlegende hár qıylı súwretler baqlanadı. Eger parallel jaqtılıqta kóriw maydanı qarańğı bolsa, onda jiynalıwshı jaqtılıqta eki fokusqa iye qarańğı hám jaqtılıq lemniskat seriyası túrindegi interferenciyalıq súwret payda boladı. Fokuslar optikalıq kósherlerdiň shıǵıw noqatında jaylasqan. Aq jaqtılıq paydalanylǵanda lemniskatlar Nyuton saqıynalarınıň reńlerine bjyalǵan boladı. Lemniskatlar bir biri menen qarańğı atanaq penen kesilisedi. Atanaqtıň shaqaları keń hám teń ólshewli emes túrge iye boladı. Optikalıq kósherlerdiň tegisligi baǵıtında eń ensiz shaqa jatadı. Al oǵan perpendikulyar baǵitta keń hám jayılǵan shaqa ornalasqan boladı. Predmetlik stoli aylandırǵanda atanaqtıň shaqaları giperbolaniň eki shaqasına ayrıladı. Bul shaqalar nikollardıň bas kesimine bas kesim 45° mýyesh jasaǵanda maksimallıq aralıqqa qashiqlasadı. Giperbolaniň tóbeleri optikalıq kósherlerdiň shıǵıwına sáykes keledi.

Eki kósherli kristallarda optikalıq kósherler arasındań súyir mýyeshtiň bissektrisası baǵıtında eń kishi hám ortasha tezliktegi jaqtılıq tolqınları tarqaladı. Olarǵa optikalıq jaqtan teris kristallarda n_g hám n_m sıńıw kórsetkishleri sáykes keledi (al optikalıq jaqtan oń kristallarda bolsa tezligi eń úlken hám ortasha bolǵan jaqtılıq tolqınları sáykes keledi).

Optikalıq belgini aniqlaw ushın izertlenetuń kristaldı eń joqarı jaqtılandırılǵan awhalǵa qoyadı. Bunnan keyin mikroskoptıń tubusına giperbolalar onıň uzın tárepine parallel bolatuǵınday etip kvarc plastinkasın kirgizedi. Eger giperbolaniň shaqaları arasındań keńislik kók reń menen boyalatuǵın bolsa, onda kristall optikalıq jaqtan oń belgige iye boladı. Bunday jaǵdayda bissektrisanıň ushı tárepine ortasha hám minimallıq tezliklerge iye tolqınlar tarqaladı. Optikalıq jaqtan teris kristallarda giperbolaniň shaqalarınıńarası qızıl yamasa sarǵısh-qızıl reń menen boyaladı. Sebebi bul jaǵdayda bissektrisanıň ushı baǵıtında ortasha hám maksimallıq tezliklerdegi jaqtılıq tolqınları tarqaladı (bul jaǵday 4-súwrette kórsetilgen).

Giperbolaniň shaqalarınıń sırtında keri baǵittaǵı boyawlardıň payda bolatuǵınlıǵın atap ótiw kerek. Sebebi giperbolaniň shaqalarınıń sırtında jaylasqan keńislikte terbelislerdiň baǵıtları orın almasadı. Burın maksimallıq tarqalıw tezligine iye bolǵan orınlardı endi minimallıq tarqalıw tezligine iye terbelisler iyeleydi (hám kerisinshe). Bul jaǵday bilayinsha túsindiriledi: giperbolaniň tóbelerinen sırtta jatqan keńislik optikalıq kósherler arasındań doǵal mýyeshke tiyisli bolǵan oblast bolıp tabıladi (yaǵníy doǵal bissektrisanıň oblastı). Al sol orında sharayatlar súyir mýyeshler bissektrisası oblastındańı sharayatlardan pútkilley basqasha. Súyir mýyeshler bissektrisasına perpendikulyar kesilgen plastinkadan paydalanıp optikalıq kósherler

arasındaǵı mýyeshtiń mánisin de aniqlaw mýmkin (eger mýyeshtiń mánisi úlken bolmasa hám obektivtiń aperturası mýmkinshilik beretuǵın bolsa).



5-súwret.

Eger hawada ólshengen optikalıq kósherlerdiń mýyeshi belgili bolsa (hám onıń shaması $2E$ ge teń bolsa, 5-súwret), onda kósherler arasındaǵı haqıyqı mýyeshtiń mánisi bolǵan $2V$ shamasın aniqlawǵa boladı. Meyli kristalda jaqtılıq optikalıq kósherlerdiń baǵıtları menen baǵıtlas OA hám OB baǵıtlarında tarqalatuǵın bolsın (5-súwret). Onda $2K$ shamasına teń AOB mýyeshi optikalıq kósherler arasındaǵı mýyeshtiń ózi bolıp tabıladi. Hawada jaqtılıq BF hám AF' baǵıtlarında tarqaladı hám $2E$ mýyeshi hawada kórinetuǵın optikalıq kósherler arasındaǵı mýyesh bolıp tabıladi. Bul mýyeshlerdiń yarımı sıniw nızamı menen baylanısqan:

$$\sin V = \frac{\sin E}{n_m}.$$

Eger E hám n_m shamaları belgili bolsa, onda V shamasın aniqlaw mýmkin.

Optikalıq kósherler arasındaǵı kózge kórinetuǵın mýyesh $2E$ niń shamasın juwiq túrde aniqlawǵa boladı. Onıń ushın súyır bissektrisaǵa perpendikulyar kesim ushın xarakterli bolǵan interferenciyalıq figuradaǵı giperbolanıń tóbeleri arasındaǵı mýyeshtiń shaması okulyarlıq mikrometrdiń járdeminde ólsheydi. Bul qashıqlıqtıń yarımı bolǵan D shamasın E niń sinusına (optikalıq kósherler arasındaǵı mýyeshtiń sinusına), sıniw kórsetkishi n menen mikroskoptıń optikalıq sistemasinan górezli bolǵan bazi bir K shamasına proporcional dep qabil etiw mýmkin. Bul koefficientti joq etiwge boladı. Onıń ushın D shamasın ólshew kerek. Bunday jaǵdayda

$$\begin{aligned} D &= K \sin E, \\ D' &= K \sin E', \\ \sin E &= \frac{D}{D'} \sin E'. \end{aligned}$$

D menen E arasındaǵı proporcionallıq optikalıq kósherler arasındaǵı mýyeshlerge jaqın mýyeshlerdiń mánislerinde orın aladı.

Solay etip joqarıda gáp etilgen usıldınıń járdeminde optikalıq kósherlerdiń arasındaǵı mýyeshlerdiń mánislerin ólshew ushın optikalıq kósherleri arasındaǵı mýyeshler belgili bolǵan keminde bir etalon plastinka (kristall)

kerek boladı eken. Usınday etalon plastinka sıpatında kóbinese aq slyudaniń (muskovittiń) plastinkası qollanıladı. Bunday kristalda optikalıq kósherler arasındań müyeshlerdiń mánisin dálirek usıllardıń járdeminde ólshew múmkin.

Ólshewler. Mikroskoptıń predmetlik stolınıń ústine bar bolǵan barlıq kristallıq plastinkalardı qoyıw arqalı jiynaliwshı dástede bir kósherli kristallardı eki kósherli kristallardan ayıradı.

Bir kósherli kristallardıń optikalıq belgisin kvarc plastinkasınıń járdeminde anıqlaydı.

Okulyarlıq mikrometrdiń hám etalonlıq plastinkanıń járdeminde optikalıq kósherlerdiń arasındań kózge kórinetuǵın hám haqıyqıy müyeshlerdi anıqlaydı. Optikalıq kósherler arasındań kózge kórinip turǵan 2E müyeshiniń mánislerin 2V müyeshine aylandırıw ushın hár qıylı kristallar ushın ortasha sıniw kórsetkishi n_m shamasınıń kestesinen paydalanadı (keste jumısti orınlaw barısında beriledi).

Dúziliſtiń texnikalıq maǵlıwmatları. Jumıs MP-7 tipindegi polyarizaciyalıq mikroskoptıń járdeminde orınlanańdı. Tájiriybelerdiń barısında immersiyalyq suyuqlıqlardıń jiynaǵı, untalǵan kristallar menen shiysheler, optikalıq kósherlerine parallel hám perpendikulyar kesilgen kristallıq plastinkalar (bir kósherli kristallar ushın), súyır bissektrisasına perpendikulyar kesilgen kristallar (eki kósherli kristallar), biotit kristallınıń plastinkası qollanıladı.

Paydalanylǵan ádebiyatlar dizimi

1. Polarized light microscopy.

https://en.wikipedia.org/wiki/Polarized_light_microscopy

2. <http://polarizingmicroscopes.com/>

3. А.Н.Матвеев. Оптика. Издательство "Высшая школа". Москва. 1985. 351 c.

<http://rgho.st/download/48302963/d7cefda80f8727c6683686d5a8e905f299a242ec/phys111.zip>

II bólím. Atom fizikası

1-laboratoriyalıq jumıs

Fotonlar ushın anıqsızlıq qatnasları

Jumistiń maqseti fotonlar ushın anıqsızlıq qatnaslarının eksperimentlerde tastıyıqlawdan ibarat.

Āsbaplar: geliy-neonlı lazer (LGN-205), keńligi ózgertiletuǵın monoxromatordıń sańlaǵı, ekran, optikalıq otırğısh.

Qısqasha tariyx

Meyli, $\cos(\omega t - kz)$ tegis tolqını keńligi a shamasına teń sańlaqqa kelip tússin. Sańlaqqa kelip túskennen keyin jaqtılıq tolqınları mümkin bolǵan barlıq baǵıtlarǵa tarqaladı. Ótken tolqınnıń energiyasınıń úlken bólimi $0 < \varphi < \varphi_1$ mýyeshlik sektorǵa sáykes keledi. Bul belgilewlerde φ_1 mýyeshi birinshi minimumǵa juwap beredi. Mýyeshtiń bul mánisi

$$a \sin\varphi_1 = \lambda \quad (1)$$

qatnasınıń járdeminde anıqlanadı.

(1)-qatnas sańlaqtan shıqqan orındaǵı tegis tolqınnıń spektriniń $\varphi < \varphi_1$ shártine sáykes keliwshi shártli shegarasın anıqlaydı. Jaqtılıq nurlarınıń φ_1 shamasınan kishi mýyeshlerge de, úlken mýyeshlerge de shashıratuǵınlığın esapqa alıp anıqsızlıqtıń tómendegidey tolqınlıq shártin jazıw mümkin:

$$a \sin\varphi < \lambda \quad (2)$$

Bul shártke sańlaqta shashıraǵan tegis tolqınlardıń basım kóphsiliginin mýyeshleri baǵınadı.

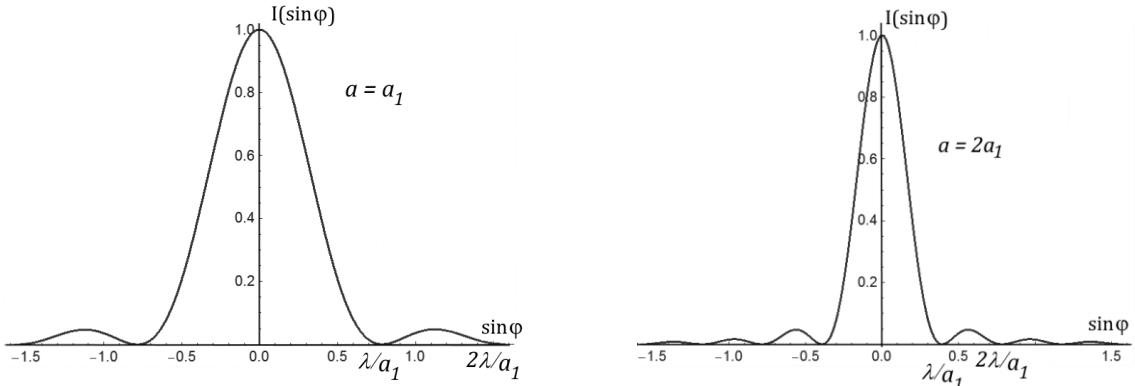
(2)-teńsizlikti qálegen tábiyatqa iye tolqınlar ushın qollanıwǵa boladı hám $a \sin\varphi < \lambda$ ańlatpasınan sańlaqtıń keńligi bolǵan a shamasınıń kishireyiwi menen difrakciyalıq maydandaǵı baǵıtlardıń spektriniń úlkeyiwiniń orm alatuǵınlığı kórinip tur.

Mısal retinde 1-súwrette birdey mýyesh baǵıtında difrakciyaǵa ushıraǵan tolqınlardıń intensivligi I diń hár qanday keńliktegi sańlaqlar ushın hár qıylı bolatuǵınlığı kórsetilgen. Súwrette sańlaqtıń keńligi 2 ese úlkeygende (yaǵnıy $a_2 = 2a_1$ bolǵan jaǵdayda) oraylıq maksimumǵa juwap beretuǵın $\sin\varphi$ lardıń mánisleriniń intervalınıń eki ese kemeyetuǵınlığı kórinip tur.

1-súwrettegi grafiklerdi alganda difrakciyaǵa ushıratuǵın nurlardıń intensivlikleriniń

$$I(\sin\varphi) = I_0 \left[\operatorname{sinc}\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin\varphi\right) \right]^2$$

formulasınıń járdeminde esaplanatuǵınlıǵın atap ótemiz hám bul formulada $\operatorname{sin}c(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$ ekenligin eske salamız.



1-súwret. Sańlaqtıń keńligi 2 ese úlkeygende (yańıy $a_2 = 2a_1$ bolǵan jaǵdayda) oraylıq maksimumǵa juwap beretuǵın $\sin\varphi$ lardıń mánisleriniń intervalınıń eki ese kemeyetuǵınlıǵın kórsetetuǵın grafikler.

Eger biz elektromagnit tolqınların energiyası $E = hc/\lambda$, impulsı $p = h/\lambda$ shamalarına teń bolǵan fotonlardıń aǵısı dep qarasaq, joqarıda keltirgen qatnas tómendegidey türge iye boladı:

$$p_0 = h/\lambda. \quad (3)$$

Sańlaq arqalı ótkennen keyin fotonnıń impulsiniń X kósheri baǵıtındaǵı p_x qurawshısı payda boladı (2-súwret):

$$p_x = (h/\lambda) \sin\varphi.$$

Hár qıylı mýyeshlerge shashıraǵan fotonlar ushin p_x qurawshılarınıń mánisleri hár qıylı. Sonlıqtan (2)-ańlatpaǵa sáykes

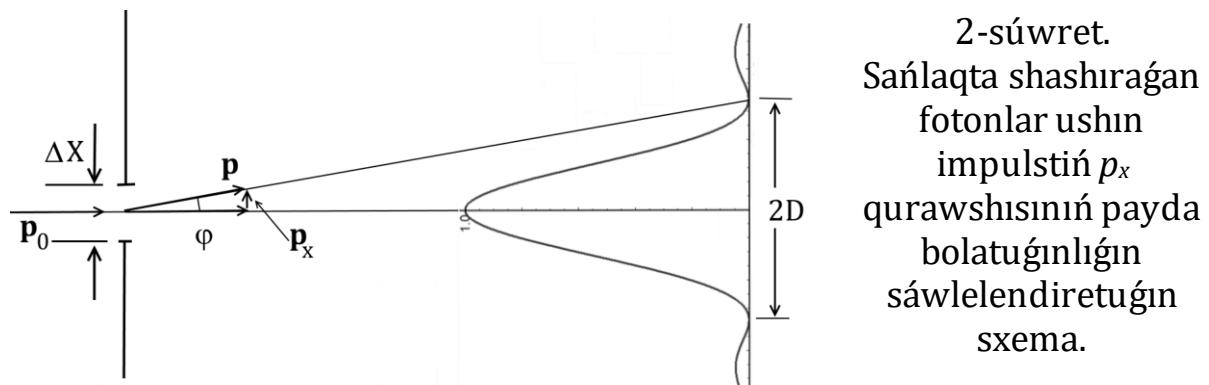
$$ap_x \geq h \quad (4)$$

teńsizligin jaza alamız. Bul teńsizlikti ádette

$$\Delta x \Delta p_x \geq h \quad (5)$$

túrinde jazadı. Bul ańlatpada $\Delta x = a$ arqalı ekran tegisliginde fotonlardı lokalizaciyalaw oblastı (yańıy fotonnıń qaysı orında turǵanlıǵındaǵı anıqsızlıq, biziń belgilewlerimizde sańlaqtıń keńligi) belgilengen. $\Delta p_x = (h/\lambda) \sin\varphi$ shaması

impuls qurawshısınıń mánisin tabıwdaǵı anıqsızlıq bolıp tabıladı.



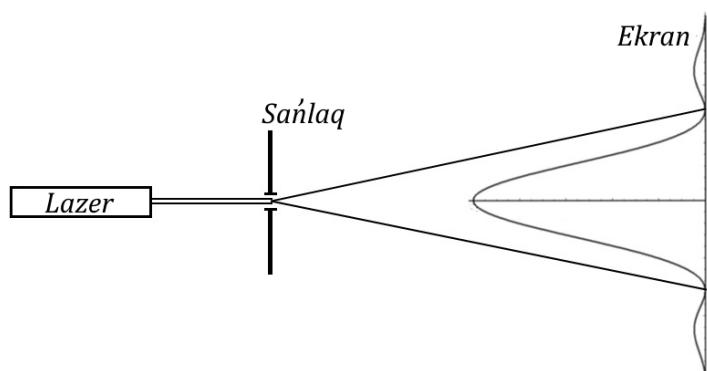
(5)-ańlatpa koordinatadaǵı anıqsızlıq penen impulstiń usı koordinataǵa túsirilgen qurawshısındaǵı anıqsızlıqtıń kóbeymesi shama menen Plank turaqlısınıń mánisine ($h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Dj/s) teń bolatuǵınlıǵı kórinip tur. Usı teńsizlikke kiretuǵın eki shamanıń biri qanshama dál anıqlanǵan bolsa (mísalı sańlaqtıń keńligi júdá kishi bolsa) ekinshisińiń mánisinde úlken anıqsızlıq orın aladı. Kerisinshe, sańlaq qanshama keń bolsa (yaǵníy $\Delta x \rightarrow \infty$), onda impulstiń qurawshısınıń mánisi ushın dál shama alınadı ($\Delta p_x \rightarrow 0$). Demek Δx hám Δp_x shamalarınıń birewiniń mánisi dál anıqlansa, ekinshisińiń mánisi pútkilley belgisiz boladı.

Bul jumısta anıqsızlıq qatnasi bolǵan (5)-qatnastiń durıs ekenligi fotonlar ushın eksperimentallıq jollar menen anıqlanadı. Tájiriybelerdi ótkeriwdiń barısında fotonnıń koordinatasındaǵı anıqsızlıqtı táriyipleytuǵın sańlaqtıń keńligi Δx hám impulstiń Δp_x qurawshısınıń mánisindegi anıqsızlıqtı táriyipleytuǵın difrakciyalıq súwrettiń keńligi ólshenedi.

Ólshewler hám nátiyjelerdi qayta islew

Geliy-neon lazerden shıqqan jaqtılıq dástesi kalibrovkalanǵan (yaǵníy keńligin ólshew múnkin bolǵan) sańlaq arqalı ótedi hám millimetrli qaǵazdan soǵılǵan ekranǵa kelip túsedı (3-súwret).

3-súwret.
Eksperimentallıq dúzilistiń sxeması.



Eń dáslep sańlaqtıń keńligin 0,1 mm shamasına teń etip alamız. Lazer nurınıń sańlaqqa tuwrı kelip túsiwin hám sonıń saldarınan aniq difrakciyalıq súwrettiń payda bolıwına itibar beremiz. Sańlaqtıń keńligi bolǵan Δx shamasın 0,03 mm den 0,10 mm shamasına shekem) 0,05 mm adım menen ózgertip keminde 12 ólshew júrgizemiz. Hár bir ólshew júrgizgende sańlaqtıń keńligi Δx penen ekrandaǵı difrakciyalıq maksimumnıń keńligi bolǵan 2D shamasınıń mánisin jazıp alamız. 2D shamasın ekran sıpatında qollanılıp atırǵan millimetrlerge bóligen qágazdıń járdeminde aniqlaymız.

Ólshewlerdiń dállicityn joqarılıtw maqsetinde kalibrovkalanǵan sańlaq penen ekran arasındaǵı qashiqliqtı keminde 1 m etip alamız. Eksperimenterde bul qashiqliqtıń mánisin sızǵısh penen ólsheydi.

Δx , 2D hám D (bul shamanı bas difrakciyalıq maksimumnıń yarım keńligi dep ataydı) shamalarınıń mánislerin kestege túsiremiz. Bas maksimumnıń shaması D menen sańlaqtıń keńligi bolǵan Δx shaması arasındaǵı baylanısti sáwlelerdinetuǵın grafik dúzemiz. Abscissa kósherine Δx tiń, al ordinata kósherine D niń mánislerin qoyamız.

F shamasın tómendegidey formulaniń járdeminde esaplaymız:

$$F = \frac{\Delta x D}{\lambda L}.$$

Bul formulada $\lambda = 632,8$ nm geliy-neonlıq lazer nurlandıratuǵın jaqtılıqtıń tolqın uzınlığı bolıp tabıladı, al L arqalı sańlaq penen ekran arasındaǵı qashiqliq belgilengen.

Bunnan keyin eksperimentte keste túrinde alıngan $F(\Delta x)$ funkciyasınıń grafigin dúzemiz hám tiyisli juwmaqlar shıǵaramız.

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw ushın arnalǵan sorawlar

1. Jaqtılıqtıń difrakciyası shártinen Geyzenbergtiń aniqsızlıq qatnaslarıń keltirip shıǵarıńız.
2. Qanday fizikalıq shamalar aniqsızlıq qatnasları menen baylanısqan?
3. Aniqsızlıq qatnaslarınıń fizikalıq mánisi neden ibarat?
4. Aniqsızlıq qatnaslarınıń járdeminde atom yadrosında elektronniń bolmaytuǵınlıǵın dálilleńiz.

Ádebiyatlar

1. Uncertainty principle.

https://en.wikipedia.org/wiki/Uncertainty_principle

2. И.В.Савельев. Курс физики. Том 3. Квантовая оптика, атомная физика, физика твердого тела, физика атомного ядра и элементарных частиц. Издательство "Наука". Главная реакция физико-математической

литературы. Москва. 1989. 304 с. п. 18-20.

3. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 3-4. Москва, гл. 37.

4. Э.В.Шпольский. Атомная физика. Том 1. Введение в атомную физику. Издание шестое, исправленное. Издательство "Наука". Москва, 1974. 575 с.

2-laboratoriyalıq jumıs

Vodorodtiń spektrin úyreniw

Jumistiń maqseti vodorod atomınıń spektriniń kózge kórinetuǵın bólümimiń spektrin izertlew hám Ridberg turaqlısınıń mánisin anıqlawdan ibarat.

Nurlanıw spektri zatlardıń áhmiyetli xarakteristikalarınıń biri bolıp tabiladi. Spektr boyınsha zatlardıń quramın, zattıń dúzilisiniń bazı bir xarakteristikaların, atomlar menen molekulalardıń qásiyetlerin anıqlaw mûmkin.

Gaz atomları sızıqlı spektrge iye elektromagnit tolqınların nurlandırıdı. Usı sızıqlı spektr óz gezeginde spektrallıq seriyalar dep atalatuǵın ayırım spektrallıq sızıqlardıń jiynaǵınan ibarat toparlardan turadı. Eń ápiwayı spektrge eń ápiwayı atom bolǵan vodorod iye. Onıń spektrallıq sızıqlarına sáykes keliwshi tolqın uzınlıqların Balmer-Ritc formulasınıń járdeminde anıqlaydı:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right). \quad (1)$$

Bul formulada λ arqalı spektrallıq sızıqtıń tolqın uzınlığı, R arqalı Ridbergi turaqlısı, n_1 menen n_2 arqalı pútin sanlar belgilengen. Bul pútin sanlardıń fizikalıq mánisi minalardan ibarat: n_1 arqalı nurlanıwdıń saldarınan elektron kelip túsetuǵın energiya qáddi ushın jazılǵan qatar sanı, al n_2 arqalı elektromagnit tolqınları nurlanırmastan burın elektron jaylasqan energiya qáddi ushın jazılǵan qatar san belgilengen. Demek elektron qatar sanı n_2 ge teń energiyaniń qáddinen qatar sanı n_1 ge teń energiyaniń qáddine ótkende uzınlığı λ ge teń elektromagnit tolqını nurlanadı eken. Onday bolatuǵın bolsa atomǵa tolqın uzınlığı λ shamasına teń elektromagnit tolqını kelip tússe atomdaǵı elektron qatar sanı n_1 ge teń energiyaniń qáddinen qatar sanı n_2 ge teń energiyaniń qáddine ótedi.

Vodorodtiń spektriniń hár bir seriyası ushın n_1 shamasınıń tek bir mánisi bar. Al n_2 shamasınıń mánisleri $n_1 + 1$ nen $+\infty$ shamasına shekem ózgeredi.

(1)-formulaǵa sáykes vodorod atomı nurlandıratuǵın elektromagnit tolqınlarınıń spektrin tómendegidey seriyalardıń túrinde kórsetiw múmkin:

Layman seriyası ($n_1 = 1$), spektrdiń ultrafiolet bólimi:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

Balmer seriyası ($n_1 = 2$), spektrdiń kózge kórinetuǵın bólimi:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

Pashen seriyası ($n_1 = 3$), spektrdiń infraqızıl bólimi:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

Breket seriyası ($n_1 = 4$), spektrdiń infraqızıl bólimi:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

Pfund seriyası ($n_1 = 5$), spektrdiń infraqızıl bólimi:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

Bul jumısta Balmer seriyasına kiretuǵın birinshi tórt sızıq izertlenedi. Bul sızıqlar tómendegidey belgilewlerge iye:

H_α – qızıl sızıq ($n_2 = 3$);

H_β – jasıl-kók sızıq ($n_2 = 4$);

H_γ – kók sızıq ($n_2 = 5$);

H_γ – fiolet sızıq ($n_2 = 4$).

Bor tálimatı boyınsha elektronlar atom yadrosınıń dögeregide stacionar orbitalar dep atalatuǵın sheńber tárızlı orbitalar boyınsha qozǵaladı. Al sheńber tárızlı qozǵalistıń tezleniwshi qozǵalıs ekenligin bilemiz. Klassikalıq elektrodinamikanıń nızamları boyınsha tezleniw menen qozǵalatuǵın zaryadlangan bólekshe ózinen elektromagnit maydanı túrinde energiyani nurlandırıwı kerek.

Biz klassikalıq elektrodinamikanıń kóz-qaraslarında turıp vodorod atomındaǵı yadronıń dögeregide aylanıp júrgen elektronniń qansha waqıttıń ishinde energiyasın tolıq nurlandıratuǵınlıǵıń esaplaymız. Anıqlıq ushin birinshi stacionar orbitanıń radiusı $r_0 = 0,5 \cdot 10^{-8}$ sm dep esaplaymız.

a tezleniwi menen qozǵalatuǵın elektronniń energiyasınıń jumsalıwı (joǵaliwı)

$$-\frac{dE}{dt} = \frac{2e^2}{3c^3} a^2$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı. Elektronniń traektoriyasın sheńber dep esaplaymız. Sonlıqtan $a = v^2/r$ formulası orınlı boladı. Ekinshi tärepten yadronıń dögeregide aylanatuǵın elektronniń energiyasın

$$E = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{e^2}{r} = -\frac{e^2}{2r}$$

formulasınıń járdeminde esaplaymız. Bul ańlatpalardıń járdeminde

$$\frac{d}{dt} \frac{1}{r} = \frac{4e^4}{3c^3 m_e^2 r^4}$$

teńlemesine iye bolamız. Bunnan

$$r_0^3 - r^3 = \frac{4e^4}{c^3 m_e^2} t$$

teńlemesin alamız. Elektron yadroǵa kelip túskenni momentinde $r = 0$ teńligi orınlanadı. Sonlıqtan

$$t = \frac{m_e^2 c^3 r_0^3}{4e^4} = 1.6 \cdot 10^{-11} s$$

shamasına iye bolamız. Demek klassikalıq fizikanıń (elektrodinamikanıń) kóz-qarasları boyinsha ornıqlı atomnıń, soǵan sáykes stacionar orbitalardıń (hallardıń) boliwınıń múmkinshiligi joq eken. Usı jaǵdaydayǵa baylanıslı atomlarda nızamları pútkilley basqasha bolǵan mexanika – kvantlıq mexanika húkim súredi dep juwmaq shıǵaramız.

Dúzilistiń táriyipi

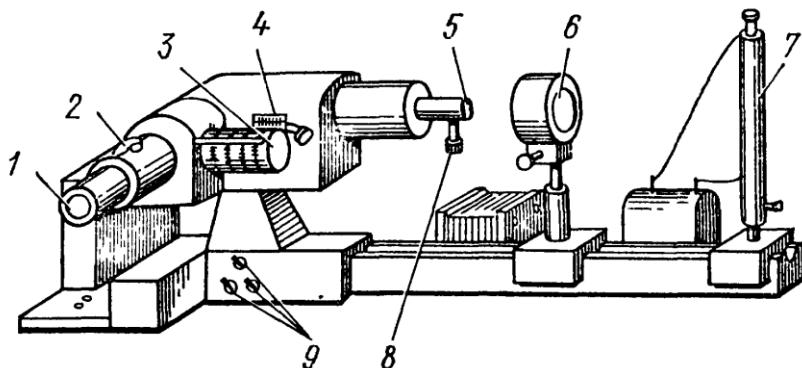
Ásbaplar hám kerekli úskeneler: YM-2 monoxromatorı, geliyi bar gazorazryadlı trubka, vodorodı bar gazorazryadlı trubka, Rumkorf katushkası, tómenletiwshi transformator (elektr energiyası menen támiyinleytuǵın blok).

Spektrallıq sızıqlardı baqlaw hám olardıń iyelegen orınlарın ólshev shiyshe optikaǵa iye YM-2 monoxromatorınıń járdeminde ámelge asırıladı.

Monoxromatordıń sırtqı túri 1-súwrette keltirilgen. Monoxromator relstiń ústinde jaylastırılǵan. Bul relstiń ústinde shtativlerge bekitilgen jaqtılıq kózi (7, gazorazryadlı trubka) hám 6-kondensor jaylastırılǵan. Shtativlerdi jılıstırıwǵa ruqsat etilmeydi!

Kollimatordıń obektivi, dispersiyalawshi prizmalardıń sisteması hám kóriw trubkasınıń obektivi ásbaptıń korpusunuń ishinde jaylastırılǵan. Kiriw sańlaǵı 5 tiń keńligi 8-mikrometrik vinttiń járdeminde ózgertiledi.

Sańlaqtıń keńligi aldın ala ornatılǵan bolǵanlıqtan 8-mikrometrik vintti burıw qadaǵan etiledi.



1-súwret.
YM-2 monoxromatori.

Spektrallıq ásbaplarda kollimatordıń sańlaǵınıń keńligi (yańıy kiriw sańlaǵınıń keńligi) optikada a_n arqalı belgilenetuǵın normal keńlik dep atalatuǵın shamaǵa sáykes keliwi kerek. Bul shama δλ tolqın uzınlıǵın ayıra alıwshi shama bolıp tabıladi hám onıń mánisi

$$a_n = (\lambda/D) f_k$$

ańlatpasınıń járdeminde esaplaydı. Bul ańlatpada λ arqalı paydalanylıp atırǵan sańlaq mólsherlengen tolqın uzınlığı (bul jumısta Balmer seriyasına kiriwshi tórt sızıq ushın tolqın uzınlıqları), D arqalı obektivke kiriwshi dásteniń kollimatronınıń diametri, f_k arqalı kollimatordıń fokuslıq qashıqlığı belgilengen.

YM-2 monochromatorı simmetriyalıq optikalıq sistema bolıp tabıladi. Onıń kollimatorınıń fokuslıq qashıqlığı kóriw trubkasınıń fokuslıq qashıqlığına teń (280 mm).

1-tapsırma. Monoxromatordıń shkalasın graduirovkalaw

Geliyli gazorazryadlı trubkanı ásbaptıń relsindegi shtativke bekitińiz. Trubkanıń klemmaların Rumkorf katushkasına tutastırıp, onı shinjırǵa jalǵastırıladı. Nátiyjede trubkada jiltildap jaqtılıq shıǵadı. Trubkanı jılıjitiw arqalı monoxromatordıń sańlaǵınıń bir tekli jaqtılanıwına tarasıw kerek.

Monoxromatordıń barabanın 2450 jazıwı bar sızıqqa qoyıw kerek. Usınday jaǵdayda spektrdiń sarı sızıǵı kórinedi. Gazorazryadlı trubka durıs ornalastırılgan bolsa sarı sızıq jaqtılı boladı hám onıń barlıq bólimi de birdey bolıp kórinedi. Monoxromatordıń shkalasın jaqtılandıratuǵın lampa elektr tarmaǵına jalǵastırıladı. Indeksti qızıl reńli jaqtılıq penen jaqtılandırıw usınıladı.

Geliydiń spektrallıq sızıqların qızıldan fiolet reńge shekem jılıstırıw arqalı monoxromatordıń barabani boyınsha belgilewler belgilenip alınadi. Barlığı bolıp 11 sızıqtıń baqlanıwı kerek. Bunnan keyin ólshevler keri baǵitta – fiolet reńnen qızıl reńge shekem júrgiziledi.

Alıngan nátiyjeler boyınsha hár bir spektrallıq sızıq ushın esaplawdıń ortasha mánisi anıqlanadı. Baqlawlar menen esaplawlardıń nátiyjelerin keste túrinde jazıw kerek. Usınday jollar menen monoxromatordıń barabani tolqın

uzınlıqları boyınsha graduirovkalanadı. Alınǵan maǵlıwmatlardıń barlıǵı da barabanniń shkalasın tolqın uzınlığına ótkeriw ushın grafik dúziwge mümkinshilik beredi. Al geliydiń spektrallıq sızıqlarına sáykes keliwshi tolqın uzınlıqlarınıń mánisleri tómendegi kesteden alınadı.

Geliydiń sızıqlarınıń tolqın uzınlıqları

Nº	Reńi	λ , nm	Inten-sivligi	Eskertiwler
1	Qızıl	728,1	3 P	P belgisi parageliydiń sızıǵıń ańǵartadı.
2	Qızıl	706,5	5 O	O belgisi ortogeliydi ańǵartadı.
3	Qızıl	667,8	6 P	
4	Sarı	587,6	10 O	
5	Jasıl	501,6	10 P	
6	Jasıl	492,2	4 P	
7	Aspan reń	471,3	3 O	
8	Kók	447,1	6 O	
9	Kók	438,8	3 P	
10	Fiolet	412,1	3 O	
11	Fiolet	402,6	5 O	

2-tapsırma. Ridberg turaqlısın aniqlaw

Geliyli trubkanı vodorodlı trubka menen almastırıw kerek. 1-tapsırmanıń 3-punktinde keltirilgen tapsırmanı vodorodtıń spektriniń Balmer seriyasındaǵı eń kúshli H_α , H_β , H_γ hám H_δ sızıqları ushın qaytalananadı hám graduirovkalawshı grafikiń járdeminde tórt sızıq ushın tolqın uzınlıqları tabıladı. Alınǵan nátiyjeler kestege túsiriledi.

(1)-formulanıń járdeminde Balmer seriyasınıń tórt sızıǵı ushın Ridberg turaqlısınıń tórt mánisi aniqlanadı. Bunnan keyin alınǵan nátiyjelerdiń ortasha mánisi esaplanadı hám jiberilgen qátelerdiń shaması bahalanadı.

Ádebiyat

- И.В.Савельев. Курс физики. Том 3. Квантовая оптика, атомная физика, физика твердого тела, физика атомного ядра и элементарных частиц. Издательство "Наука". Главная реакция физико-математической литературы. Москва. 1989. 304 с.
- Лабораторный практикум по физике. Под редакцией А.С.Ахматова. Издательство "Высшая школа". Москва. 1980. 360 с.

3-laboratoriyalıq jumıs

Elektronniń salıstırmalı zaryadın aniqlaw

Jumıstiń maqseti magnetron usılı menen tanısıw hám elektronniń salıstırmalı zaryadın aniqlawdan ibarat.

Bul jumısta elektronniń zaryadınıń massasına qatnasın aniqlaw ushın elektronniń bir tekli magnit maydanında qozǵalısın izertlewge tiykarlangan eń ápiwayı usillardıń biri paydalanyladi.

Magnit maydanında qozǵalatuǵın elektronrıga Lorenc kúshiniń tásir etetuǵınlığı málim:

$$\mathbf{F} = e[\mathbf{v} \times \mathbf{B}]. \quad (1)$$

Bul ańlatpada \mathbf{v} arqalı elektronniń tezligi, e arqalı elektronniń zaryadı, \mathbf{B} arqalı magnit maydanınıń indukciyası belgilengen.

Eger magnit maydanı bir tekli hám \mathbf{v} menen \mathbf{B} vektorları bir birine salıstırǵanda ortogonallıq bolsa, onda elektron sheńber tárizli orbita boyıńsha qozǵaladı. Bul sheńberdiń radiusı

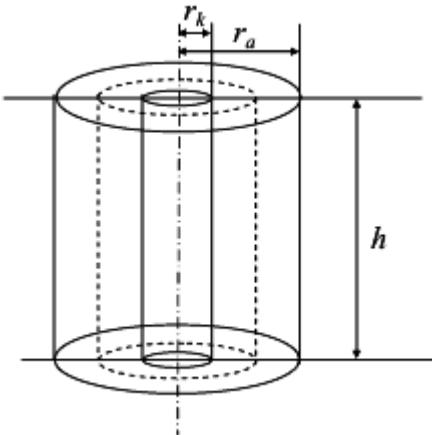
$$e[\mathbf{v}\mathbf{B}] = \frac{mv^2}{R}$$

yamasa

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{BR}$$

formulalarınıń járdeminde aniqlanadı. Bul formulalarda m arqalı elektronniń massası belgilengen.

Elektronniń tap usınday bolıp qozǵalıwı ushın dúzilis bolǵan elektronlıq lampanıń sxeması 1-súwrette keltirilgen. Bunday lampada cilindr tárizli hám bir biriniń ishinde jaylasqan anod penen hám katod bar boladı. Lampanı jetkilikli dárejede uzın bolǵan solenoidtiń ishine onıń kósherine parallel etip jaylastıradı. Bunday jaǵdayda elektronlardıń qozǵalısı K katod penen A anodınıń ortasındaǵı keńislikte júzege keledi. Solenoidtiń magnit maydanı bolsa lampanıń elektrodlarına parallel boladı (1-súwret).



1-súwret.

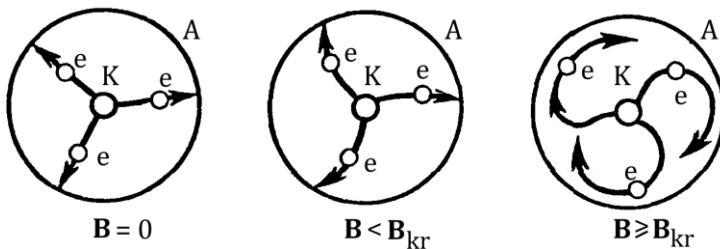
Magnetoroniň sxeması.

r_k hám r_a arqalı sáykes katod penen anodtuň radiusları, al h arqalı olardıň uzınlığı belgilengen.

Usınday dúziliste alıngan elektr hám magnit maydanlarınıň konfiguraciyaları asa joqarı jiyiliklerdegi elektromagnit maydanlarıň generatorları bolǵan magnetronlardaǵı atanaq (bir birine perpendikulyar) maydanlardıň konfiguraciyaların eske túsiredi. Biz paydalanıp atırǵan usıldın ataması da usınnan kelip shıqqan.

Lampadaǵı elektronlardıň qozǵalısınıň xarakterin qarap ótemiz. Magnit maydanı bolmaǵan jaǵdaylarda (yaǵníy $B = 0$ shártı orınlantauǵın bolsa) lampaǵa túsirilgen anodlıq kernew radiallıq baǵittaǵı elektr maydanın payda etedi hám sonlıqtan elektronlar katoldan anodqa qaray radiallıq baǵtlarda qozǵaladi.

Magnit maydanı túsirilgen jaǵdayda ($0 < B < B_{kr}$) elektronlarǵa Lorenc kúshi tásır etedi hám olardıň traektoriyası iymek sıziqlı traektoriyalarǵa aylanadı. (2)-formulalardan magnit maydanınıň indukciyası bolǵan B shamasınıň úlkeyiwi menen elektronlardıň traektoriyalarınıň iymeklik radiusınıň kishireyetuǵınlığı kórinip tur. Al magnit maydanınıň indukciyasınıň shaması qanday da bir kritikalıq B_{kr} shamasına jetkende elektronlar anodqa jete almay qaladı (2-súwret).



2-súwret.

Magnetrondaǵı anod (A) penen katod (K) arasındaǵı elektronlardıň (e) qozǵalısı.

Magnit indukciyasınıň kritikalıq mánisine sáykes keliwshi elektronniň traektoriyasınıň iymeklik radiusı

$$R = \frac{a - b}{2}$$

formulasınıň járdeminde esaplaydı. Bul formulada a menen b arqalı lampanıň anodi menen katodunuň radiusları belgilengen. Lampalardı soqqanda ádette a

>> b teńsizligi (1-súwrette $r_k \ll r_a$ teńsizligi) orinlanatuǵinday halda soǵadı. Sonlıqtan elektronniń traektoriyasınıń iymeklik radiusın jetkilikli dállikte

$$R = a/2 \quad (3)$$

formulasınıń járdeminde esaplaw mümkin.

Eger katodtan ushıp shıǵatúǵın elektronlardıń tezlikler boyinsha tarqalıwın esapqa almasaq hám katodtan ushıp shıǵıp atırǵan elektronlardıń tezligin nolge teń dep boljasaq, onda anodqa jetken elektronlardıń maksimallıq tezligin

$$eU_a = \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad (4)$$

formulasınıń járdeminde esaplawǵa boladı. Bul formulada U_a arqalı anod kernewiniń mánisi, al v_{\max} arqalı elektronniń tezliginiń maksimallıq shaması belgilengen. Elektronlardıń anodtıń qasındaǵı kinetikalıq energiyasınıń mánisi menen elektr maydanınıń jumısı eU_a arasındaǵı qatnastı sáwlelendiretuǵın (4)-formula elektronniń tezligi v niń tek juwıq mánisin beretuǵınlıǵıń ańgarıwımız kerek.

$v = v_{\max}$ teńliginiń $a >> b$ teńsizligine salıstırǵanda joqarı dállikte orinlanatuǵınlıǵın kórsetiwge boladı. Haqıyatında da anod penen katod arasındaǵı potencialdıń túsiwi tiykarınan katodtıń qasında, yaǵníy a shamasına salıstırǵanda kósherden kishi qashıqlıqlarda orın alatuǵınlıǵına ańsat iseniwge boladı.

(2)-, (3)- hám (4)-ańlatpalardı esapqa alıp

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{a^2 B_{kr}^2} \quad (5)$$

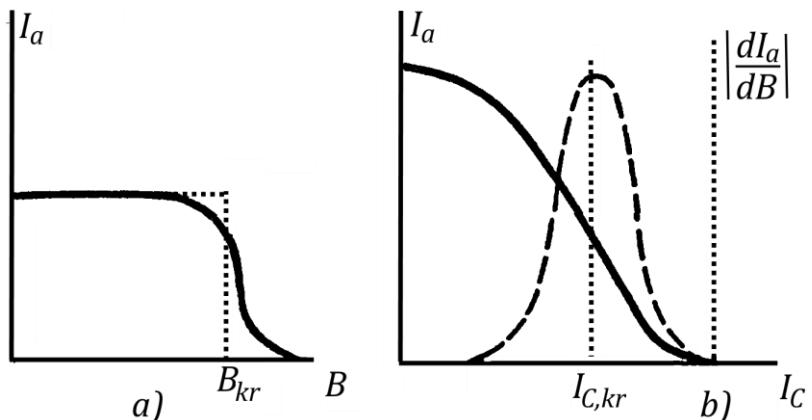
ańlatpasına iye bolamız.

Jetkilikli dárejede uzın bolǵan solenoidtaǵı magnit maydanın birinshi jaqınlasiwda bir tekli dep esaplawǵa boladı hám onıń indukciyasınıń mánisin

$$B = \mu_0 \mu n I_c \quad (6)$$

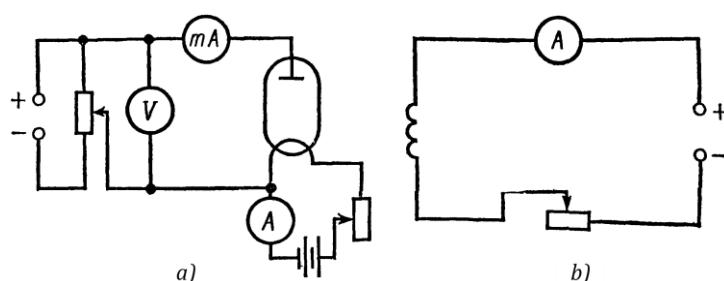
formulasınıń járdeminde esaplaydı. Bul ańlatpada I_c arqalı solenoidtaǵı toqtıń mánisi, al n arqalı solenoidtıń bir birlik uzınlıǵındaǵı oramlar sanı belgilengen. Esaplawlarda $\mu = 1$ teńligi qabil etiledi.

3-súwret.
Magnetorondaǵı toqtıń shamasınıń (I_a) magnit maydanınıń indukciyasınıń (B) shamasına górezliliği.



Eger U_a shamasına teń anod kernewinde hám solenoid B_{kr} shamasına teń magnit maydanın payda etkende katodtan shıqqan elektronlar anodqa barıp jetpeydi dep esaplaytuǵın bolsaq, onda (5)-formulaniń járdeminde e/m qatnasın esaplawǵa boladı dep juwmaq shıgaramız.

Eger lampadaǵı elektronlardıń tezlikleri birdey bolǵanda indukciyanıń ósiwi menen anod toǵınıń shaması 3-a súwrette punktir sıziq penen kórsetilgendey bolıp ózgergen bolar edi. Al haqıyatında anod toǵınıń birden nolge teń boliwı (yaǵníy anod toǵınıń shamasınıń vertikallıq kemeyiwi) orın almaydı. Sebebi katodtuń betinen ushıp shıgıp atırǵan elektronlardıń tezlikleri nolge teń emes hám hár qıylı. Sonlıqtan $I_a = f(B)$ funkciyası (górezliliği) 3-a súwrette tutas sıziqtıń járdeminde kórsetilgendey túrde kemeyedi.



4-súwret.
Ótkeriletuǵın eksperimentlerdiń elektrlik sxemasi.

Jumısta lampadaǵı anodlıq toq I_a menen solenoid arqalı ótiwshi I_c toǵı arasındaǵı baylanıs izertlenedi (indukciya B niń mánisi solenoid arqalı ótiwshi toqtıń shamasına tuwrı proporsional). Usınıń menen birge alıngan iymeklikti grafikalıq jollar menen differentiallaydı (3-b súwret). Bunnan keyin tabılǵan dI_a/dB górezliliği boyınsha solenoidtaǵı $I_{c,kr}$ toǵınıń shaması esaplanadı. Toqtıń bul shamasınıń mánisi indukciyanıń B_{kr} mánisine teń bolatuǵınlıǵıń ańsat túsiniwge boladı.

Dúzilistiń táriyipi

Ásbaplar hám úskenerler: elektronlıq lampa, solenoid, toq kózleri, voltmetr, milliampermestr, ampermestr.

Elektronniń salıstırmalı zaryadınıń shamasın aniqlaw ushın 4-a súwrette keltirilgen elektr sxemasına jalǵanǵan eki elektrodlı lampa qollanıladı. Lampa solenoidtiń oraylıq bólímine ornalaſtırılǵan. Solenoidti turaqlı elektr toǵı tarmaǵına jalǵaw 4-b sxemada keltirilgen.

Tapsırma. Anod toǵınıń shamasınıń solenoidtaǵı toqtıń shamasınan ǵárezligi hám e/m shamasın esaplaw

1. Eki elektrodlı lampaga anodlıq kernew túsiretuǵın hám onıń katodın qızdırıw, solenoidta magnit maydanın payda etiw ushın paydalanılatuǵın toq dereklerin jıynańız
2. Anodlıq kernew U_a niń bir neshe mánisleri ushın anod toǵı I_a menen solenoidtiń shinjırındaǵı I_c toǵı arasındaǵı ǵárezlilikti tabıńız.
3. Alıńǵan maǵlıwmatlar tiykarında $I_a = f(I_c)$ ǵárezliginiń grafigin sızıńız hám grafikalıq differenciallawdı paydalanıp solenoidtaǵı toqtıń kritikalıq mánisin tabıńız.
4. (5)- hám (6)-formulalardan paydalanıp elektron ushın e/m qatnasınıń mánisin esaplańız hám ólshewlerdegi qáteliklerdiń shamaların bahalańız.

Ádebiyat

1. С.Г.Калашников. Электричество. Издание шестое, стереотипное. Издательство "ФИЗМАТЛИТ". Москва. 2003. 624 с.
http://www.ph4s.ru/books/ph_ob/elektro_magn/kalashnikov.rar
2. И.В.Савельев. Курс физики. Том. 2. Электричество и магнетизм, волны, оптика. Издательство "Наука". Главная реакция физико-математической литературы. Москва. 1982. 496 с.
<http://mat.net.ua/mat/biblioteka-fizika/Savelyev-fizika-t2.pdf>
3. И.В.Савельев. Курс физики. Том 3. Квантовая оптика, атомная физика, физика твердого тела, физика атомного ядра и элементарных частиц. Издательство "Наука". Главная реакция физико-математической литературы. Москва. 1989. 304 с.
http://www.ph4s.ru/books/kurs_phys/savelev/saveliev_3.rar

4-laboratoriyalıq jumıs

Plank turaqlısın aniqlaw

Jumistiń maqseti sırtqı fotoelektrlik effekt ushın Eynshteyn teńlemesiniń durıs ekenligin eksperimentte tekseriw hám Plank turaqlısınıń shamasın aniqlawdan ibarat.

Fotoeffekt (fotoelektrlik effekt) jaqtılıqtıń korpuskulalıq qásiyetleri

kórinetuǵın fizikalıq qubılıslardıń qatarına kiredi. Fotonlar menen tásırlesiwdiń saldarınan elektronlar zatlardıń (mísalı metallardıń) betlerinen julıp alınıwı múmkin. Usınday qubılıstı sırtqı fotoeffekt qubılısı dep ataydı hám bul process ushın energiyaniń saqlanıw nızamın Eynshteyn teńlemesi túrinde jazamız:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A. \quad (1)$$

Bul formulada h arqalı Plank turaqlısı, $\frac{mv^2}{2}$ arqalı metaldıń betine shıǵarılǵan elektronniń maksimallıq kinetikalıq energiyası, v arqalı jaqtılıqtnı jiyiligi, A arqalı zattıń betinen (fotokatodtan) elektronrıdı julıp alıw ushın jumsalatuǵın jumıstiń shaması, v arqalı fotoelektronniń tezliginiń maksimallıq mánisi belgilengen.

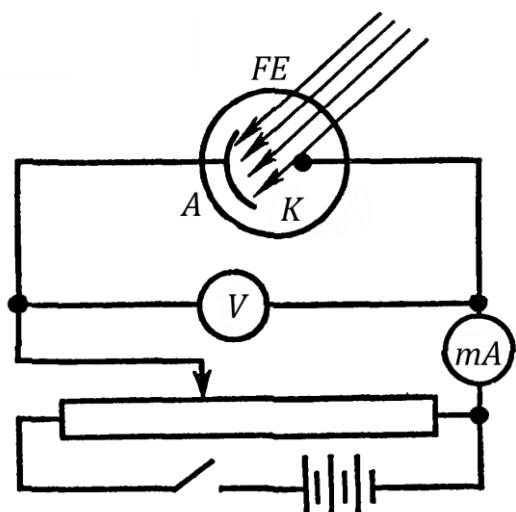
Sırtqı fotoeffektti izertlew ushın ádette СЦВ yamasa ФЕ tipindegi fotoelementler qollanıladı. Bunday fotoelementlerdiń sezgirligi spektrdiń kózge kórinetuǵın bóliminde jaylasqan.

Fotoelementti izertlew ushın jiynalǵan elektr tarmaǵına qosıw sxeması 1-súwrette keltirilgen. FE fotoelementi betine metaldıń juqa qatlamı (K fotokatodı) otırǵızılǵan jáne ishine jiynawshı elektrod (A anodı) ornalastırılgan shiyshe kolbadan turadı.

Fotoelement ushın alınatuǵın ádettegidey volt-amperlik xarakteristika 2-a súwrette keltirilgen.

1-súwret.

Fotoelementti elektr tarmaǵına qosıwdıń sxemasi.



Fototoqtıń shamasın nolge teń bolatuǵın irkiwshi potencial dep atalatuǵın U_{ir} kernewiniń mánisi ayrıqsha qızıǵıwshılıq payda etedi. U_{ir} kernewiniń mánisi boyınscha fotoelektronlardıń maksimallıq energiyasınıń shaması anıqlanadı:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_{ir}. \quad (2)$$

Bul formulada e arqalı elektronniń zaryadı belgilengen.
(2)-ańlatpanı paydalanıp (1)-ańlatpanı

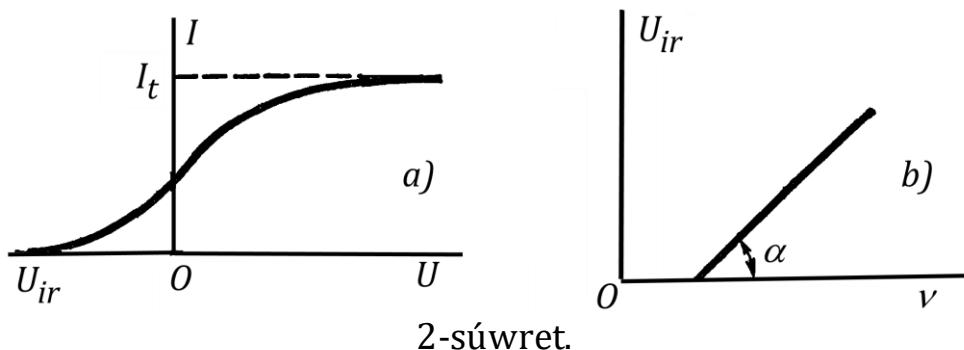
$$U_{ir} = \frac{h}{e}\nu - \frac{A}{e} \quad (3)$$

túrinde kóshirip jaza alamız. Bul ańlatpadan U_{ir} shaması menen jiyilik ν arasında sızıqlı baylanıstiń bar ekenligin kóremiz. Usıǵan baylanıslı Plank turaqlısınıń mánisin (3)-sızıqlı baylanıstiń müyeshlik koefficienti boyınsha tabıw múmkin (2-b súwret):

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta U_{ir}}{\Delta\nu} = \frac{h}{e}. \quad (4)$$

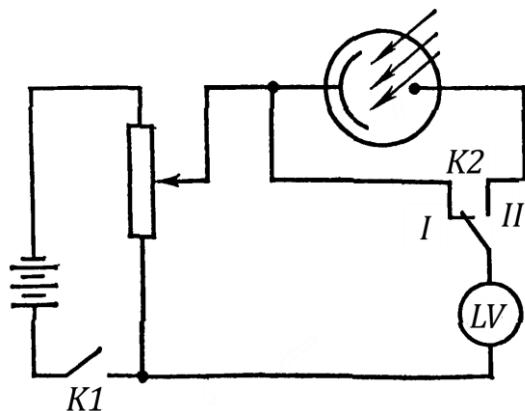
Dúzilstiń táriyipi

Āsbaplar hám úskeneler: fotoelement, lampalıq volmetr, toq kózi, jaqtılıq filtrlериниń jiynaǵına iye jaqtılıqtıń deregi.



Eksperimentallıq dúzilstiń sxeması 3-súwrette berilgen. Irkiwshi potencial U_{ir} diń shamasın ólshew ushın ishki qarsılığı úlken bolǵan *LV* lampalı voltmetr qollanıladı (bunday voltmetrdiń ishki qarsılığın ádette sheksiz úlken dep esaplaydi). Bul voltmetr kernewdiń mánisi U_{ir} shamasına teń bolǵanda fotoelement shınjırındaǵı fototoqtıń joq ekenligin kórsetetuǵın indikatr sıpatında da xızmet etedi.

3-súwret.
Eksperimentallıq düzilistiń sxemasi.



Elektronlardıń fotoemissiyası sinap lampasınan shıqqan jaqtılıqtıń monoxromator járdeminde bólip alıńǵan bólimi menen fotokatodtı nurlandırıw joli menen alındı. Kishi spektrallıq keńlikke iye bolǵan jaqtılıq dástesin alıw ushın interferenciyalıq tar jolaqlı jaqtılıq filtrleri de qollanıladı.

Tapsırma. Irkiwshi potencialdı ólshev hám Plank turaqlısınıń mánisin esaplaw

1. 3-súwretke muwapiq sxemanı jiynańız. Jaqtılıq deregin iske qosıńız hám nurlanıwdıń jiyiliği v ge sáykes keliwshi jaqtılıq filtrin ornalasturińız.

2. K1 bir polyuslik gilttin tuyıqlap hám K2 eki polyuslik giltti II awhalǵa qoyıp fotokatodqa shaması U_{ir} ge teń potencial túsiremiz hám fotoelementtiń shınjırındaǵı toqtıń joq bolıwına jetisemiz. Toq indikatorı sıpatında LV lampalıq voltmetri xızmet etedi.

3. Eki polyusli giltti I awhalǵa qoyıp LV lampalıq voltmetriniń járdeminde irkiwshi potencialdıń mánisin tabamız.

4. Nurlanıw jiyiliği bolǵan v shamasınıń mánisin ózgertip potencialdıń basqa da mánisleri ushın 1-3 punktlerde keltirilgen tájiriyblerdi qaytalańız.

5. Alıńǵan maǵlıwmatlar boyınsha U_{ir} irkiwshi potencialdıń nurlanıw jiyiliği v den górezzliliginıń grafigin dúzińız.

6. Alıńǵan grafiki paydalanıp (4)-formula boyınsha Plank turaqlısı h tuń mánisin esaplańız hám ólshevlerde jiberilgen qátelerdiń shamasın bahalańız.

7. Tájiriyblerdiń barısında tabılǵan $U_{ir}(v)$ funkciyasınıń grafiginiń hám $U_{ir}(0) = A/e$ formulasınıń járdeminde elektronlardıń fotokatodtan shıǵıw jumısınıń mánisin tabıńız.

Ádebiyat

1. Planck constant. https://en.wikipedia.org/wiki/Planck_constant
2. И.В.Савельев. Курс физики. Том 3. Квантовая оптика, атомная физика, физика твердого тела, физика атомного ядра и элементарных частиц. Издательство "Наука". Главная реакция физико-математической

литературы. Москва. 1989. 304 с.

http://www.ph4s.ru/books/kurs_phys/savelev/saveliev_3.rar

5-laboratoriyalıq jumıs

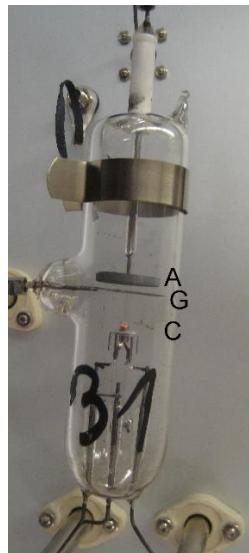
Frank hám Gerc tájiriybesi. Atomní kritikalıq potencialın tabıw

Jumistiń maqseti Frank-Gerc tájiriybesi menen tanısıw hám sınap atomlarınıń kritikalıq potencialın anıqlawdan ibarat.

1913-jılı qoyılǵan Frank hám Gerc tájiriybesi (Frank-Gerc tájiriybesi) tariyxı jaqtan atomlardaǵı energiyaniń qáddileriniń diskretligin dálilleytuǵın eń birinshi eksperimentlerdiń biri bolıp tabıldadı. Ádette Frank-Gerc tájiriybesi emes, al Frank-Gerc tájiriybeleri dep ataydı.

Djeyms Frank (nemisse James Franck, 1882-jılı 26-avgust kúni tuwlıgan hám 1964-jılı 21-may kúni qaytıs bolǵan nemis hám amerikalı fizik) hám Gustav Lyudvig Gerc (nemisse Gustav Ludwig Hertz, 1887-jılı 22-iyun kúni tuwlıgan hám 1975-jılı 21-may kúni qaytıs bolǵan nemis fizigi) 1925-jılı "elektronlardıń atomǵa urlıwınıń nızamların ashqanlıǵına baylanıshı" xalıq aralıq Nobel siylığın alıwǵa miyasar boldı.

Frank-Gerc tájiriybelerdiń mánisi minalardan ibarat: Jetkilikli dárejede siyrekletilgen izertlenetuǵın gazdiń atomları menen molekulaları energiyasınıń muǵdarı belgili bolǵan elektronlar menen bombardirovkalanadı. Elektronlar dástesin alıw ushın olardı elektr maydanında tezlendiredi. Eger elektronlardıń energiyası atomní birinshi qozǵan halǵa ótiwi ushın jetkiliksiz bolsa, onda elektronlardıń atomlardaǵı shashırawında energiya joǵalmaydı. Sebebi elektronlardıń massası atomlardıń massasına salıstırǵanda kóp mívlaǵan ese kishi. Basqa sóz benen aytqanda bunday elektronlardıń atomlardaǵı shashırawı serpimli shashıraw bolıp tabıldadı. Elektronlardıń energiyası atomlardıń birinshi qozǵan qáddine ótkeriwge jetkilikli bolsa, onda elektronlardıń kóphılıgi serpimli emes soqlıǵısıwlarǵa ushıraydı hám usınıń nátiyjesinde olardıń energiyaları kemeyedi. Eger potenciallar ayırması arqalı ótkende elektronniń iye bolatuǵın energiyasınıń shaması atomdı qozdırıw energiyasına teń bolsa, onda sol potenciallar ayırmasınıń shamasın kritikalıq potencial dep ataydı.



1-súwret.

Oqıw laboratoriyalarda Frank-Gerc tájiriybesin úyreniw ushın arnalǵan vakuumlıq trubkaniń (lampanıń) fotosúwreti. Trubkaniń ishinde sınapıń tamshısı boladı (súwrette kórinbeydi). C arqalı katod kórsetilgen. Katod qızdırılıdı, sonlıqtan qızıl reńli jaqtılıq hám termoelektronlardı shıgaradı. Olar G metal tor arqalı ótedi hám A anodına elektr toǵı túrinde kelip túsedı.

Kritikalıq potencialdıń shamasın ádette elektronvoltlerde ańlatıldı. Eger elektronniń energiyasınıń muǵdarı atomniń kritikalıq (yamasa rezonanslıq dep te ataydı) potencialına teń bolsa yaki onnan úlken bolsa, onda bunday elektron menen soqlıǵısqan atom tiykarǵı halınan birinshi qozǵan qáddige ótedi.

Biz inert gazler ushın kritikalıq potenciallardıń mánislerin keltiremiz:

Geliy - 21,6 eV;

Kripton - 9,9 eV;

Neon - 16,6 eV;

Ksenon - 8,3 eV;

Argon - 11,5 eV.

Kritikalıq potencilarıń mánislerin anıqlaw ushın Frank hám Gerc irkiwshi potencial usılıń paydalındı. Onıń fizikalıq mánisi tómendegilerden ibarat:

Erkin elektronniń gaz arqalı ótiwin tallaymız. Elektronniń gaz atomları menen eki túrli soqlıǵısıwınıń orın alıwı mümkin. Bir jaǵdayda elektron energiyasınıń bir bólimin atomǵa beredi, al atomniń potencial energiyası ózgermey qaladı (atomniń kinetikalıq energiyası ózgeredı). Bunday soqlıǵısıwdı serpimli soqlıǵısıw dep ataymız. Ekinshi túrli soqlıǵısıwda atomniń ionizaciyası yamasa qozǵan halǵa ótiwi orın aladı. Bunday jaǵdayda elektron atom menen soqlıǵısıp atomdaǵı elektronǵa óziniń energiyasınıń bir bólimin beredi. Nátiyjede atomdaǵı elektron atomdı pútkilley taslap ketedi yamasa ol energiyaniń joqarǵı qáddine ótedi. Bunday soqlıǵısıwlardı serpimli emes soqlıǵısıwlar dep ataydı. Nátiyjede atomǵa kelip soqlıǵıwshı elektronniń kinetikalıq energiyasınıń bir bólimi potenciallıq energiyaǵa aylanadı.

Serpimli soqlıǵısıwdaǵı energia menen impulstiń saqlanıw nızamın jazamız:

$$E = \frac{m_e v^2}{2} = \frac{m_e v_1^2}{2} + \frac{M v_2^2}{2},$$

$$p = m_e v = -m_e v_1 + M v_2.$$

Bul ańlatpalarda m_e arqalı elektronniń massası, M arqalı atomniń massası, v arqalı atomǵa soqlıǵısıwshı elektronniń tezligi, v_1 arqalı elektronniń soqlıǵısqannan keyingi tezligi, v_2 arqalı elektron menen soqlıǵısıwdıń nátiyjesinde atom alatuǵın tezliktiń mánisi belgilengen.

Elektronniń soqlıǵısıwdan buringı hám soqlıǵısıwdan keyingi energiyalarınıń ayırması

$$\Delta E = E - (m_e v^2) / 2 = (M v_2^2) / 2$$

shamasına teń boladı. Elektronniń energiyasınıń salıstırmalı kemeyiwi

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{M v_2^2}{m_e v^2} = \left(1 - \frac{v_1}{v}\right)^2 \frac{m_e}{M}$$

formulasınıń járdeminde aniqlanadı. Eger $|v| \approx |v_2|$ teńligi orınlanaǵın bolsa, onda $\frac{\Delta E}{E} \approx 4 \frac{m_e}{M}$ teńligi juwiq türde orınlanaǵı.

Endi serpimli emes soqlıǵısıw orın alatuǵın jaǵdaydaǵı elektronniń energiyasınıń salıstırmalı ózgerisin esaplaymız.

$$\begin{aligned} E &= \frac{m_e v^2}{2} = \frac{(m_e + M) v_3^2}{2}, \\ p &= m_e v = (m_e + M) v_3, \\ \frac{\Delta E}{E} &= \frac{v^2 - v_3^2}{v^2}, \\ v &= \frac{m_e + M}{m_e v_3}. \end{aligned}$$

Bul ańlatpalarda v_3 arqalı elektron menen atomniń soqlıǵısıwdan keyingi birgeliktegi tezligi belgilengen. Bul ańlatpalardan

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{(m_e + M)^2 - m_e^2}{(m_e + M)^2}$$

teńligi kelip shıǵadı.

Serpimli hám serpimli emes soqlıǵısıwlardaǵı energiyanıń salıstırmalı joǵalıwlارın salıstırıp

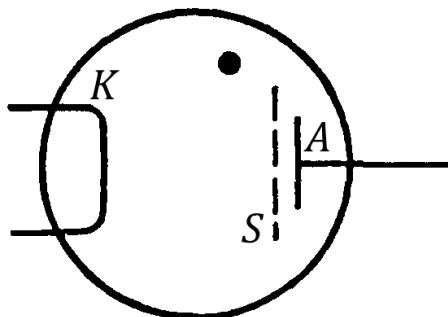
$$\begin{aligned} \frac{(m_e + M)^2 - m_e^2}{(m_e + M)^2} &>> 4 \frac{m_e}{M}, \\ \frac{(m_e + M)^2 - m_e^2}{(m_e + M)^2} &\approx 1 \end{aligned}$$

teńsizliginiń hám teńliginiń orın alatuǵınlıǵıń ańgaramız.

Biz joqarıda elektronlar atom menen serpimli soqlıǵısatıǵın bolǵan jaǵdayda olardıń energiyasınıń ámeliy jaqtan ózgerissiz qalatuǵınlıǵıń kóremiz. Al serpimli emes soqlıǵısıwdıń derlik barlıq energiyası

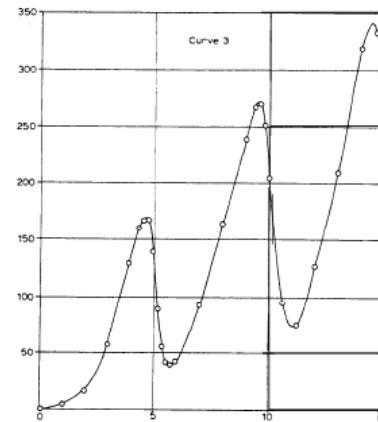
atomlarǵa beriledi. Bul jaǵday tájiriybelerde qanday soqlıǵısıwlardıń orın alıp atırǵanlıǵın anıqlawǵa múmkinshilik beredi.

Bul jumısta sınap, geliy yamasa neon gazleri ushın birinshi hám ekinshi qozıw potencialları anıqlanadı. Basqa sóz benen aytqanda, atomlardıń tez qozǵalıwshı elektronlar menen birinshi hám ekinshi serpimli emes soqlıǵısıwı ushın zárúrli bolǵan energiyalardıń eń kishi mánislerin tabıw talap etiledi.



2-súwret.

Úsh elektrodlı elektronlıq lampanıń sxeması.



3-súwret. Úsh elektronlı elektronlıq lampanıń volt-amperlik xarakteristikası.

Eskertiw: 3-súwrette keltirilgen vol-amperlik xarakteristika Frank hám Gerclerdiń 1925-jılı jarıq kórgen jumısınan alındı.

2-súwrette keltirilgen úsh elektrodlı lampa basımınıń shaması 1 mm sınap basımınıń basımday basımdaǵı sınap puwları menen toltırılǵan. Katod K menen tor S tiń arasına elektronǵa tezleniw beriw ushın potenciallar ayırması túsiriledi. Al tor S penen anod A niń arasına azmaz muǵdardaǵı irkiwshi potencial túsiriledi.

Anod penen tordıń arasındaǵı turaqlı potencialda anod toǵı I_a penen tordıń potencialı U_s arasındaǵı $I_a = f(U_s)$ túrindegi górezlilik tabıladı.

U_s potencialınıń kishi mánislerinde elektronlar atomlardı qozdırıw ushın jetkiliksiz bolǵan energiyalarǵa shekem tezletiledi. Bunday jaǵdayda serpimli soqlıǵısıwlar orın aladı hám U_s shamasınıń ósiwi menen toqtıń shaması I_a áste-aqırınlıq penen bir tegis ósedı.

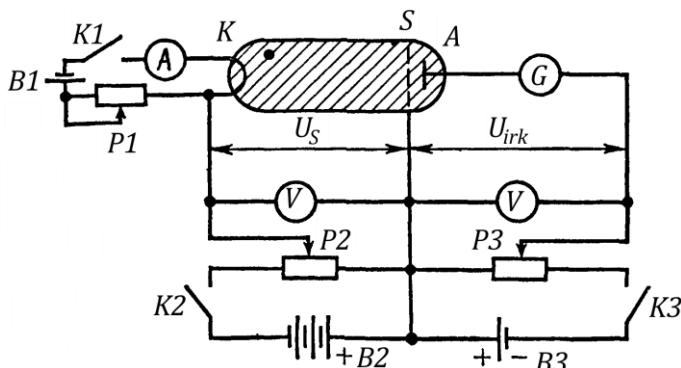
U_s potencialınıń shaması birinshi kritikalıq potencialdıń shamasına jetkende elektronlar serpimli emes soqlıǵısıp óziniń derlik barlıq energiyasın joǵaltadı hám irkiwshi potencialları ayırması arqalı óte almaydı. Bul jaǵday toq kúshiniń keskin türde kishireyiwine alıp keledi (3-súwret).

Úskeneneniń táriyipi

Ásbaplar hám kerek-jaraqlar (buyımlar): sınap puwları, geliy yamasa argon menen toltırılǵan úsh elektrodlı lampa, termometrge iye termostat, shuntlar

jynaǵına iye mikroampermetr, ampermetr, voltmetr.

Dúzilistiń principiallıq sxeması 4-súwrette keltirilgen.



4-suwret.
Ásbaptiń principiallıq
sxeması.

Ásbaptiń principiallıq sxeması 4-súwrette keltirilgen.

Eger úsh elektrodlı lampa sínaptiń puwları menen toltırılgan bolsa, onda onı elektr qızdırğıshınıń ishine jaylastırıw kerek boladı (inert gazler menen toltırılgan lampalar ushın qızdırğıshiń ishine jaylastırıw talap etilmeydi). Lampanıń qızıwı menen onıń ishindegi sínaptiń toyıńǵan puwlarınıń basımı úlkeyedi.

Lampanıń torı S penen katod K nıń arasında B1 toq kóziniń járdeminde tezletiwshi potenciallar ayırması túsiriledi. Jıynawshi elektrod bolıp esaplanatuǵın A anodı menen S torınıń arasına B3 toq deregenen irkiwshi (yaǵníy teris) potenciallar ayırması túsiriledi. Lampada tuwrı nakal (qızatuǵın metall sım) qollanıladı. Lampanıń nakalınıń shınjırı B1 batareyasınan, P1 reostatınan (potenciometrinen) hám ampermetrden turadı.

Tapsırma. $I_a = f(U_s)$ górezligin túsiriw

1. Dúzilisti jynańız.
2. Elektr qızdırğıshın qosıńız hám onıń ishindegi temperaturanı 1200S áa shekem kóterińız (eger lampanıń ishinde sínap puwları bar bolsa).
3. K1 giltin tuyıqlańız hám P1 reostatınıń járdeminde nakaldığı toqtıń shamasın ornatińız (toqtıń shaması lampanıń pasportında jazılǵan boladı).
4. P3 potenciometriniń járdeminde U_{irk} potencialın túsirińız (onıń shaması 0,5 volt).
5. Katod-tor shınjırın qosıńız hám P2 potenciometriniń járdeminde tezletiwshi U_s potencialınıń mánislerin ózgertip anod toǵı menen tezletiwshi potencialdınıń mánisleriniń arasındaǵı górezlilikti anıqlańız (U_{irk} potencialınıń turaqlı mánisinde).
6. $I_a = f(U_s)$ górezliginiń grafigin dúzińız hám sol grafikiń járdeminde kritikalıq potencialdınıń mánisin anıqlańız.
7. Ólshevlerde jiberilgen qátelerdiń shamasın bahalańız.

Ádebiyat

1. Franck-Hertz experiment.

https://en.wikipedia.org/wiki/Franck-Hertz_experiment

2. И.В.Савельев. Курс физики. Том 3. Квантовая оптика, атомная физика, физика твердого тела, физика атомного ядра и элементарных частиц. Издательство "Наука". Главная реакция физико-математической литературы. Москва. 1989. 304 с.

http://www.ph4s.ru/books/kurs_phys/savelev/saveliev_3.rar

6-laboratoriyalıq jumıs

Geliy-neonlı lazerdi úyreniw

Kerekli ásbap-úskeneler: He-Ne lazer, optikalıq otırǵışh, polyaroid, difrakciyalıq pánjere, ekran.

Jumistiń maqseti:

- 1). Geliy-neonlı lazerdiń jumıs islew principin úyreniw.
- 2). Lazer dástesiniń jayılıw müyeshin ólshew.
- 3). Lazer nurınıń polyarizaciyasın úyreniw.
- 4). Lazerden shıqqan jaqtılıqtıń tolqın uzınlığın tabıw.

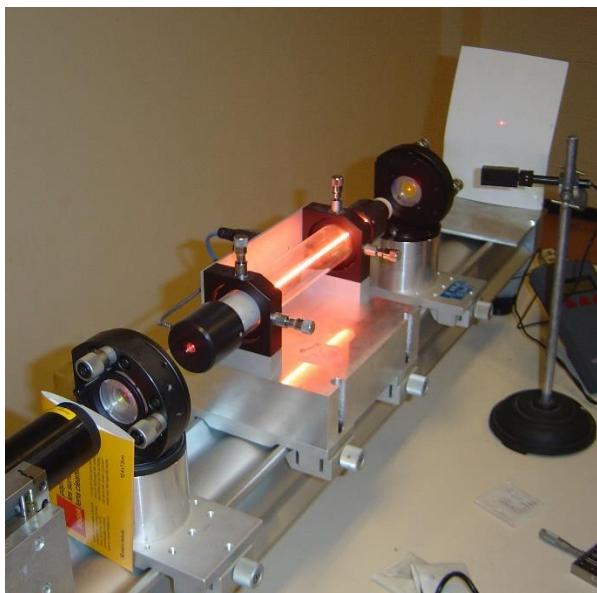
Qısqasha tariyx

Bul laboratoriyalıq jumıs ámelde jiyi qollanılatuǵın geliy-neonlı lazerdiń jumıs islew principin hám xarakteristikaları úyreniw ushin orınlanaǵı.

Qálegen sónbeytuǵın terbelisler generatorındaǵı sıyaqlı optikalıq kvantlıq generatordı (OKG) úyrengende eń dáslep jaqtılıqtı kúsheytiwge múmkinshilik beretuǵın qanday da bir usıldı tabıw kerek boladı. Bunnan keyin unamlı keri baylanısti paydalanıp avtoterbelmeli rejimdi, yaǵníy jaqtılıqtıń generaciyasın alıw kerek boladı.

Bunday múmkinshilkiń bar ekenligin eń birinshi ret 1940-jılı V.A.Fabrikant tárepinen boljap aytıldı. Ol jaqtılıqtı kúsheytiw ushin 1917-jılı A.Eynshteyn tárepinen ashılǵan májbúriy nurlanıw qubilisin paydalaniwdı usındı.

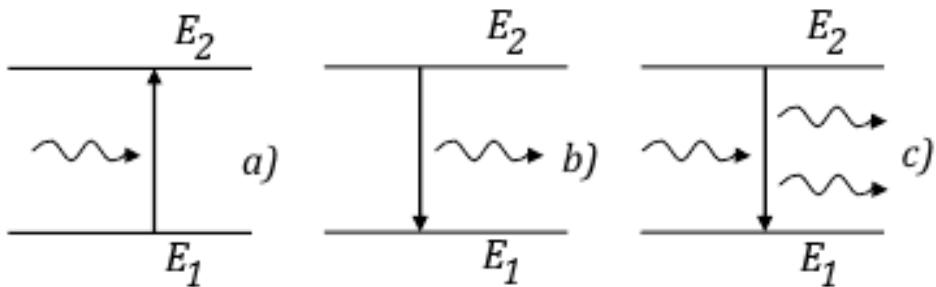
Geliy-neonlı lazerdiń fotosúwreti 1- súwrette berilgen.



1-súwret.
Geliy-neonlı lazerdiń fotosúwreti.
Súwrettiń ortasındaǵı jaqtılı nur elektr razryadı bolıp tabıladi.

Indukciyalanǵan (májbúriy) nurlanıw. Bul qubilistiń mánisin túsiniw ushın elektromagnit nurlanıwdıń atomlıq sistema menen táśirlesiwiniń elementar aktlerin qarap shıǵıw kerek. Ápiwayılıq ushın biz qarap atırǵan kvantlıq sistemani tek eki energiya qáddine iye dep esaplaymız (2-súwret). Absolyut qara dene tárepinen energiyani nurlandırıw máselesin qarap A.Eynshteyn atomlıq sistemaniń kvantlıq ótiwleriniń úsh process penen baylanıslı ekenligin taptı: sistema tárepinen energiyaniń jutliwi (2-a súwret), spontan nurlanıw (2-b súwret) hám májbúriy nurlanıw (2-c súwret).

Indukciyalıq (májbúriy) nurlanıw processiniń mánisi mınadan ibarat: Sırtqı maydan energiyaniń tek nurlanıwına ǵana emes, al keri processti de boldırı aladı. Bul keri process qozǵan atomniń energiya kvantın nurlandırıwı arqalı tiykarǵı halǵa ótiwi bolıp tabıladi. Bul process atomları metastabillik energiya qáddilerine iye bolǵan ortalıqlarda orın aladı. Bunday metastabilli qáddilerdegi atomlardıń jasaw waqıtı qozǵan qáddilerdiń jasaw waqıtınan ($\tau \sim 10^{-8}$ s shamasınan) ádewir úlken. Sırtqı maydanniń jiyiligi menen kvantlıq sistemadaǵı ótiwlerdiń jiyilige teń bolǵan jaǵdayda ótiw processiniń itimallığı joqarı boladı (biraq sırtqı maydanniń fazası menen nurlanıw energiyasınıń fazaları birdey bolǵanda májbúriy nurlanıwdıń itimallığı kishi boladı). Indukciyalıq nurlanıw monoxromat (yamasa monoxromatqa jaqın) boladı. Sonıń menen birge maydanniń intensivligi úlkeygende májbúriy nurlanıwdıń monoxromatlığı joqarılıydı. Májbúriy nurlanıw onı júzege keltirgen nur menen jiyiligi boyınsha da, fazası boyınsha da birdey, yaǵníy bunday nurlanıw kogerentli boladı (dálirek aytqanda kogerentliktiń joqarı dárejesine iye boladı).



2-súwret. Atomlardıń eki qáddili sistemasındaǵı kvantlıq ótiwler. a) – energiyanıń jutlıwı menen bolatuǵın májbúriy ótiw, b) – spontan ótiw, c) nurlanıw menen júretuǵın májbúriy ótiw.

A.Eynshteyn absolyut qara deneniń nurlanıwınıń tiǵızlıǵıń esaplaw ushın Plank formulasın paydalanganǵanda májbúriy nurlanıw túsinigin kirkizdi. Buniń ushın ol joqarida atap ótilgen úsh processtiń waqt birliginde júzege keliwininiń itimallıǵıń xarakterleytuǵın úsh koefficientti usındı. Bul koefficientlerdiń mánisleri mınalardan ibarat: spontan ótiwdıń itimallığı A_{21} , májbúriy ótiwdıń itimallığı $B_{21}\rho(v)$ hám jutlıw itimallığı $B_{12}\rho(v)$. Keyingi ekewi sırtqı maydannıń bar boliwı menen baylanıslı. Bul jaǵdaydıń orın alatuǵınlıǵı $\rho(v)$ kóbeytiwshisi bildiredi. $\rho(v)$ shaması jiyiliklerdiń bir birliginiń intervalındaǵı v jiyiligidegi nurlanıw energiyasınıń tiǵızlıǵı bolıp tabıladı. Bul ańlatpalarda $v = \frac{E_2 - E_1}{h}$ arqalı biz qarap atırǵan eki qáddige iye sistemadaǵı ótiw jiyılıgi belgilengen. Waqıttıń bir birligidegi ótiwler sanı sáykes

$$\begin{aligned} & A_{21}N_2, \\ & B_{21}N_2\rho(v) \\ & B_{12}N_1\rho(v) \end{aligned}$$

shamalarına teń. Bul ańlatpalarda N_2 menen N_1 arqalı joqarı hám tómengi qáddilerdegi bólekshelerdiń sanı belgilengen.

Jıllılıq nurlanıwınıń teń salmaqlıq shártın (yaǵníy waqıttıń bir birligidegi $1 \rightarrow 2$ hám $2 \rightarrow 1$ ótiwleriniń teń ekenligin) esapqa alıp mınaday ańlatpalardı jaza alamız:

$$B_{12}N_1\rho(v) = A_{21}N_2 + B_{21}N_2\rho(v) \quad (1)$$

yamasa

$$(B_{12}N_1 - B_{21}N_2)\rho(v) = A_{21}N_2.$$

Bólekshelerdiń enerjiya qáddileri boyınsha tarqalıwın

$$N_2 = N_1 e^{-\frac{hv}{kT}} \quad (2)$$

Bolcman nızamı boyınsha boladı dep esaplap

$$\rho(\nu) = \frac{\frac{A_{21}}{B_{21}}}{\frac{B_{12}}{B_{21}} e^{-\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (3)$$

ańlatpasına iye bolamız. Bul ańlatpanı absolyut qara deneniń nurlanıwınıń tiǵızlıǵı ushın jazılǵan

$$\rho(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{-\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (4)$$

Plank formulası menen salıstırıp Eynshteyn koefficientleri arasında tómendegidey qatnaslardıń bar ekenligin anıqlaymız:

$$B_{12} = B_{21}, \quad A_{21} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} B_{21}. \quad (5)$$

A_{21} koefficientiniń atomniń qozǵan haldagi jasaw waqıtınıń ortasha mánisine keri shama ekenligin atap ótemiz.

Elektromagnit nurlanıwdıń aktiv ortalıqtaǵı kúsheyowi. Inversiyalıq tolteriwdı payda etiw. Jaqtılıq tolqını zat arqalı ótse ol (jaqtılıqtıń bir bólimi) kóbinese sol zat tárepinen jutiladı hám onıń intensivligi kemeyedi. Biraq eger tolqın atomlarında metastabillik qáddilerdiń inversiyalıq tolteriliwı orın alǵan zat arqalı ótse (bunday zattı ádette aktiv zat dep ataydı), onda ol kúsheyedi.

Intensivligi $J_{0\nu}$ bolǵan tegis monoxromat tolqınnıń kese-kesimi S bolǵan izertleniwhi zattıń kóleminiń bir birligi arqalı ótiwin qaraymız. Tolqınnıń dáslepki energiyası $W_0 = J_{0\nu}S$ shamasına teń. Zat arqalı $dx = c dt$ qatlamin ótkende fotonlardıń jutılıwınıń

$$dN_1 = B_{12} N_1 \rho(\nu) dt = B_{12} N_1 \rho(\nu) \frac{dx}{c} \quad (6)$$

(dana) akti júzege keledi. Bul jutılıw energiyanıń

$$dW_1 = h\nu dN_1 = \frac{h\nu}{c} B_{12} N_1 \rho(\nu) dx \quad (7)$$

shamasına kemeyiwin támiyinleydi.

dW_1 shamasınıń ózi $dW_1 = S dJ_{1\nu}$ formulasınıń járdeminde esaplanatuǵın bolǵanlıqtan $\rho(\nu)$ shamasın $\rho(\nu) = J_{0\nu}/c$ menen almastırıp intensivliktiń spektrallıq tiǵızlıgınıń kemeyiwi ushın jazılǵan ańlatpaǵa iye bolamız:

$$dJ_{1\nu} = \frac{h\nu}{c^2 S} B_{12} N_1 J_{0\nu} dx. \quad (8)$$

Spontan nurlanıwdıń úlesin májbúriy nurlanıwdıń úlesiniń qasında esapqa almay [yaǵníy $A_{21} \ll B_{21}\rho(\nu)$ teńsizligi orın aladı dep esaplasaq], onda tap sonday jollar menen indukciyalanǵan (yaǵníy májbúriy) nurlanıw ushın intensivliktiń spektrallıq tiǵızlıgınıń úlkeyiwi ushın ańlatpa alamız:

$$dJ_{2\nu} = \frac{h\nu}{c^2 S} B_{21} N_2 J_{0\nu} dx. \quad (9)$$

$B_{21} = B_{12}$ teńligi orınlananatuǵın bolǵanlıqtan nurlanıwdıń tiǵızlıgınıń ulıwmalıq ózgerisi ushın jazılǵan ańlatpaǵa iye bolamız:

$$dJ_\nu = dJ_{2\nu} - dJ_{1\nu} = \frac{h\nu}{c^2 S} B_{12} (N_2 - (N_1)) J_{0\nu} dx \quad (10)$$

yamasa

$$dJ_\nu = \alpha(\nu) J_{0\nu} dx.$$

Bul ańlatpada

$$\alpha(\nu) = \frac{h\nu}{c^2 S} B_{12} (N_2 - (N_1)).$$

Integrallap

$$J_\nu = J_{0\nu} e^{\alpha(\nu)x} \quad (11)$$

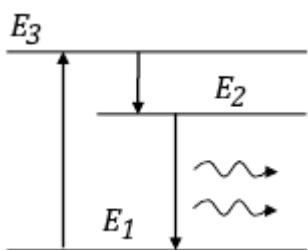
ańlatpasın keltirip shıǵaramız. Al jiyiligi ν_0 bolǵan monoxromat tolqın ushın

$$J = J_0 e^{\alpha(\nu_0)x}$$

ańlatpası orınlı boladı. Eger $N_2 < N_1$ hám $\alpha(\nu) > 0$ shártı orınlananatuǵın bolsa biz teris mánisli jutlıw dep atalatuǵın jutlıwǵa iye bolamız. Bunday jaǵdayda ortalıq jaqtılıqtı kúsheytedi. Jaqtılıqtı kúsheytiw ushın inverslik tarqalıwdı, yaǵníy $N_2 < N_1$ shártın qanaatlandıratuǵın tarqalıwdı payda etiwimiz kerek.

Inverslik toltırlıwdı ámeliy jaqtan júzege keltiriw ushın eki qáddili sistemanı paydalaniwdıń mýmkinshiligi joq. Sebebi bunday sistemadatek $N_2 = N_1$ teńligi orınlananatuǵın jaǵdaydıń orın alıwı mýmkin (bunday sistema barlıq waqıtta da teń salmaqlıq sistema bolıp tabıladı).

Qáddileriniň biri metastabilli bolǵan úsh qáddige iye sistemadaǵı inverslikoltırılıwdı dóretiw máselesin qarap shıǵamız $\tau \sim 10^{-3}$ s). Bunday usıl birinshi ret N.G. Basov, A.M. Proxorov hám Sh. Tauns tárepinen usınılgan edi (bul jumıs ushın 1964-jılı xalıq aralıq Nobel siyliǵı berildi). Dáslep sistemada energiya toplanadı. Buniń ushın sistema energiyası úshinshi hám birinshi qáddilerdegi energiyaniń ayırmasına teń kvantlar menen nurlandırıladı (bunday jaǵdayda kvantlardıń energiyası $h\nu_{21} = W_2 - W_1$ shamasına teń). Atomlıq sistemalardaǵı elektron usınday kvantlardı jutıwdıń saldarınan birinshi qáddiden úshinshi qáddige ótedi. Úshinshi qáddidegi elektronniń jasaw waqıtı $\tau \sim 10^{-8}$ s. Bunnan keyin elektronlar spontan türde metastabilli bolǵan ekinshi qáddige óte baslaydı (3-súwret).



3-súwret.
Úsh qáddige iye sistema.

Usınday jollar menen inversiyalıq toltrılıw payda etedi: ekinshi qáddidegi elektronlardıń sanı birinshi qáddidegi elektronlardıń sanınan kóp. Endi sistemaǵa energiyası $h\nu_{21} = W_2 - W_1$ shamasına teń kvant kelip tússe, onda ol ekinshi hám birinshi qáddiler arasındaǵı indukciyalanǵan ótiwdi payda etedi hám usınıń saldarınan sistemaǵa túsiwshi nurlanıwdıń kúsheywi orın aladı.

Rubinnen soǵılǵan lazerdegi inversiyalıq toltrılıw tap usınday jollar menen ámelge asadı. Xrom atomları qosılǵan rubin bunday lazerdegi aktiv ortalıq bolıp tabıladı. Energianıń toltrılıwı ushın (yaǵníy elektronlardı energiyası E_1 ge teń bolǵan qáddiden energiyası E_3 bolǵan qáddige shıǵarıw ushın) ksenon lampa qollanıladı.

Lazerdiń islew principi. Optikalıq kvantlıq generatordı payda etiw ushın tómendegidey úsh shártnıń orınlanıwı kerek:

1. Atomlarında metastabilli qáddiler bar zattıń boliwı ($\tau > 10^{-8}$ s);
2. Metastabilli qáddilerdiń inversiyalıq toltrılıwıń júzege keltiriw (bul processti toltrıw - nakashka dep ataydı). Bul eki shárt kvantlıq kúsheytkishtiń jumıs islewi ushın jetkilikli. Al qálegen generatordıń jumıs islewi ushın úshinshi shártnıń orınlanıwı kerek.

3. Oń keri baylanıstı payda etiw kerek.

Keri baylanıstı payda etiw ushın optikalıq kvant generatorında ashıq optikalıq rezonatordıń járdeminde ámelge asırıladı. Ashıq optikalıq rezonator aynalar sistemاسınan turadı. Qattı deneli (yaǵníy aktiv ortalıq qattı dene bolǵan lazerde) aktiv elementtiń gúmis penen jalatılǵan qaptalları aynalar xızmetin atqaradı. Gaz lazerde trubka (aktiv element bolıp tabilatuǵın gaz quyılgan trubka) aynalardıń ortasına jaylastırıladı. Bul aynalar ádette Fabri-Pero

interferometrinin xizmetin atqaradı. Lazerdi jumısqa tayarlaw ushin (yustirovkası ushin) aynalardıń biriniń sferalıq formaǵa iye bolıwı qolaylı boladı. Geypara jaǵdaylarda eki sferalıq konfokallıq aynalardan turatuǵın sistema da paydalanyladi.

Optikalıq rezonatorda (qálegen basqa razonatorda) stacionar hal shárti rezonatordıń ishindegi uzınlığı l_r shamasına teń optikalıq jolda pútin san eselengen tolqın uzınlığındaǵı tolqınlar jaylasqan jaǵdayda ǵana orınlanydı. Bunday shártdıń kósherlik dáste hám usı dáste menen júdá kishi mýyesh jasap tarqalatuǵın dásteler ushin orınlaniwı zárúrli. Bunday tolqınlardı (terbelislerdi) rezonatordıń kóldeneń modaları dep te ataydı.

Saylap alıńǵan baǵittiń qálegeni ushin rezonans shártı

$$\nu_n = \frac{nc}{2l_r} \quad (12)$$

teńligi orınlanytuǵın jaǵdayda júzege keledi. Bul ańlatpada n arqalı l_r uzınlığında jaylasatuǵın yarımlı tolqınlar sanı belgilengen.

Solay etip bir boylıq modanıń ishinde bir qatar terbelislerdiń jasay alıwı mümkin eken, onday terbelislerdi boylıq modalar dep ataydı. Vakuumde qońsılas boylıq modalardıń jiyilikleri arasındaǵı ayırma

$$\Delta\nu_p = \nu_{n+1} - \nu_n = \frac{c}{2l_r} \quad (13)$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı. Eger aynalar ortasındaǵı keńislik qanday da bir fizikalıq ortalıq penen toltırılǵan toltırılǵan bolsa, onda

$$\Delta\nu_p = \frac{c_{gr}}{2l_r} \quad (14)$$

formulası orınlı boladı.

Qálegen rezonatorda (ásirese tegis yamasa sferalıq aynalarǵa iye rezonatorlarda) kóldeneń modalar rezonatordıń kósherinen qashıqlaǵan sayın difrakciyanıń esabınan joǵala baslaydı. Usınıń saldarınan generaciya shártı tek kósherdiń qasındaǵı modalar ushin ǵana orınlanydı. Bul jaǵday lazer nurınıń joqarı dárejede baǵıtlanǵanlıǵıń támiyinleydi.

Rezonatordıń aynalarınıń jaylaşıwları ózgertiw hám arnawlı diafragmalardı paydalanylıw arqalı tek tiykargı modadaǵı generaciyanı alıw mümkin. Bunday jaǵdaydı bir modali rejim dep ataydı. Bunday jaǵdayda kese kesimdegi maydanniń amplitudası Gauss nızamı boyınsha ózgeredi (gauslıq dáste).

Ayırımlı jaǵdaylarda rezonatorǵa selektivlik filtrlерди qosıp tek bir boylıq tolqındaǵı generaciyanı alıw mümkinshiligi tuwıladı. Lazerdiń islewiniń tap

usınday rejimin bir jiyilikli rejim dep ataydı. Bunday jaǵdayda lazerdiń nurlanıwınıń maksimallıq monoxromatlıǵı júzege keledi.

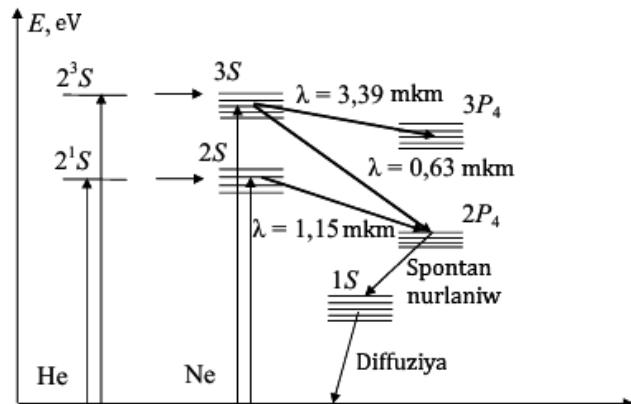
Gaz lazerdiń jumısında energiyanıń joǵalıwınıń tiykarǵı derekleriniń biri rezonatordiń ideal emes shaǵılıstırıw qábiletligi menen baylanıslı boladı.

Geliy-neonlı lazerdiń qurılısı

1. Aktiv ortalıq. Geliy-neonlıq lazerdegi aktiv ortalıq xızmetin geliy menen neon gazleriniń aralaspası atqaradı. Bul aralaspanıń energiya qáddileriniń sxeması 4-súwrette keltirilgen.

2. Inversiyalıq toltrılıwdı payda etiw. Aktiv ortalıqtı qozdırıw ushın (yaǵníy nakashka - toltrıw ushın) bir neshe miń volt bolǵan kernew beriwshi joqarı voltli tuwrılaǵısh paydalanıladı. Gaz aralaspasındaǵı elektr maydanı arnawlı elektrodlardıń járdeminde payda etiledi. Katod penen anod ortasına bir neshe kV bolǵan kernew túsiriledi. Bul sistemadaǵı razryad toǵınıń shaması bir neshe milliamperge teń. Geliy menen neonniń aralaspasındaǵı tiykarǵı jumıs isleytuǵın zat neon bolıp tabıladı. Gaz razryadında Ne atomlarınıń bir bólimi tiykarǵı haldan qozǵan hám uzaqjasaytuǵın 2s yamasa 3s qáddine ótedi. Bul qáddilerdiń ózi bir neshe qáddilerden turadı. Inversiyalıq toltrılıw 2s hám 3s qáddileriniń qısqa jasawshı 2p qáddine salıstırǵanda kóbirek toltrılıwı menen dóretiledi. Biraq taza neonda inversiyalıq toltrılıwǵa 1s metastabilli qáddi kesent jasaydı. Bul qıyıñshılıq neonǵa geliy atomların qosıw menen saplastırıladı. Gelide eki uzaq jasawshı 2^1s hám 2^3s qáddileriniń energiyalarınıń mánisleri neondaǵı 3s hám 2s qáddilerindegi energiyanıń mánisleri menen derlik birdey. Gaz razryadında Ne atomları gazorazryadlı plazmaniń elektronları menen soqlığıswdıń nátiyjesinde qozadı. He atomları menen qozbaǵan Ne atomlarınıń serpimli emes soqlığıswlardıń aqıbetinde qozıwdıń rezonanslıq alıp beriliwiniń ámelge asırılıwı múmkin Usınıń nátiyjesinde neon atomları 2s hám 3s qozǵan halına ótedi, al geliy atomları bolsa tiykarǵı halda qaladı. Solay etip geliy-neonlı lazerde geliy atomları qozıw rezervuarlarınıń xızmetin atqaradı. Ol óziniń energiyasın neon atomlarına rezonanslı túrde beredi. Eger He menen Ne atomlarınıń basımların durıs túrde saylap alsaq (neonnıń basımı 0,1 mm sınap baǵanasınıń basımınday, al gelidiń basımı 1 mm sınap baǵanasınıń basımınday), onda taza neondaǵı qáddilerdiń toltrılıwına salıstırǵanda qozǵan neon atomlarındaǵı 2s hám 3s qáddileriniń ádewir tiǵız toltrılıwın boldırıw múmkin.

4-súwret.
Geliy hám neonniń energiya
qáddileriniń sxeması.



3. Keri baylanıs. Ne-He lazerinde optikalıq keri baylanıs úlken shaǵılıstırıwshılıq qáddilerlikke iye bir tegis hám bir sfera tárizli yamasa eki konfokallıq sferalıq aynalardıń járdeminde júzege keltiriledi: bir táreptegi aynanıń shaǵılıstırıwshılıq koefficienti shama menen 99,8 %, al ekinshi táreptegi aynanıń shaǵılıstırıw koefficienti shama menen 97-98 % bolıwı kerek. Aynalardıń shaǵılıstırıw koefficientin úlkeytiw ushın rezonatordıń aynaların kóp qatlamlı dielektrik penen qaplaydı (cink sulfidi, ftorlı magniya hám basqa da zatlardıń onnan aslam qatlamı).

Lazerdiń nurlanıwı. Metastabilli qáddilerdiń toltrılıwı jetkilikli bolǵan jaǵdayda (neon atomlarınıń $2s$ hám $3s$ qáddileri haqqında gáp etilmekte) indukciyalıq kogerentli nurlanıw payda boladı. $3p$ qáddiniń ózi 10 dana qáddiden turadı. Usınıń menen bir qatarda 18 qáddiden turatuǵın $3p$ qáddi de bar. Demek hár qıylı ótiwleri beredi (tolqın uzınlığı spektrdiń infraqızıl bólümünde 1150 nm). Usınıń menen bir qatarda jetkilikli dárejede intensivli sıziq $3s \rightarrow 3p$ ótiwinde alındı (3390 nm). $2p \rightarrow 1s$ ótiwi spontan ráwishte ámelge asadı (trubkanıń qızıl reńdegi jaqtılıqtı shıǵarıwı). Bunnan keyin qáddiniń elektronlardan bosawı neon atomlarınıń gazorazryadlı trubkanıń diywalları menen soqlıǵısıwlarınıń saldarınan ámelge asadı. Bul processtiń úlken effektivlik penen júriwi ushın trubkanıń diametrin bir neshe mm etip isleydi.

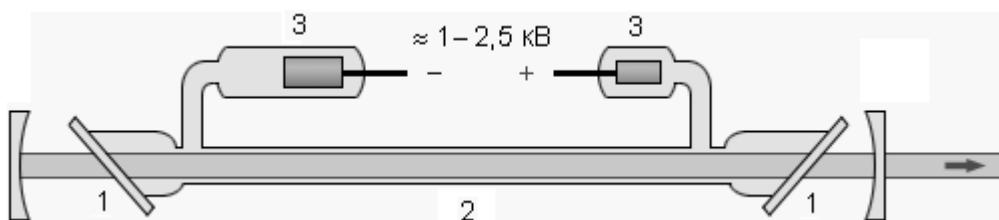
Aktiv elementtiń shegaralarındaǵı shaǵılısıw energiyaniń joǵalıwınıń ekinshi deregi bolıp tabıladı (gaz lazerde trubkanıń shıǵıw aynaları). Bul joǵaltıwdı kishireytiw ushın shıǵıw aynaların optikalıq kósherje salıstırǵanda Bryuster mýyeshine qıyalap qoyadı (5-súwret). Bunday konstrukciya nurdıń tegisligindegi poliarizaciyalanǵan modalardıń selektivlik kúsheyiwine alıp keledi. Túsiw tegisliginde poliarizaciyalanǵan nurları Bryuster mýyeshine teń kıyalıqta túskende trubkanıń kósherine salıstırǵanda qıya etip jaylastırılǵan shettegi qıya túrde jaylastırılǵan plastinkalar arqalı shaǵılısıwsız tolıq ótedi. Hár qıylı konstrukciyalargá iye geliy-neonlı lazerdegi gazorazryadlı trubkanıń uzınlığı 15 sm den 2 m ge shekem baradı. Trubkanıń uzınlığınıń shamasına aktiv elementtiń kúsheytiw koefficientiniń mánisi, demek generaciyalanǵan

nurlanıwdıń quwatu hám lazer nurlarınıń baǵıtlanǵanlıǵı górezli. Nurdıń shashırawshılıǵı (yaǵníy parallellikten awısıwı)

$$\theta \sim \left(\frac{\lambda}{l}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

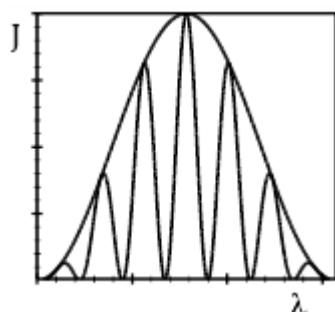
formulasınıń járdeminde beriledi. Bul formulada λ arqalı tolqın uzınlığı belgilengen.

Ádettegi jaǵdaylarda θ niń mánisi 1-2 mýyeshlik minuttan aspaydı.



5-súwret. Ádettegidey gaz lazerdiń gazorazryadlı trubkasınıń kesimi. 1 - trubkanıń kósherine (yaǵníy lazerdiń rezonatorınıń kósherine) Bryuster mýyeshine qıya etip qoyılǵan shetki plastinkalar, 2 - trubkalardıń diywalleri, 3 - elektroodlar.

Joqarı dárejede baǵıtlanǵanlıq penen bir qatarda geliy-neonlıq lazer generaciya jiyiliginin júdá joqarı bolǵan stabilligin de támiyinleydi. Ne atomlarınıń spektrallıq sızıqlarınıń keńligi $\Delta\nu$ toltrılıw inversiyası orın alganda júzege keletüǵın jaqtılıqtıń generaciyasındaǵı jiyiliklerdiń oblastın aniqlaydı. Bul salıstırmalı keń spektrallıq sızıqtan optikalıq rezonator tar sızıqlardı "kesip aladı". Bul sızıq rezonatordıń menshikli jiyilikine sáykes keledi (6-súwret). Eger neondaǵı kúsheytiw jetkilikli dárejede úlken bolsa, onda generaciyada rezonatordıń menshikli jiyilikleriniń bir neshesiniń kúsheyiwi mýmkin. Bunday tolqınlar ushın kúsheytiw jaqtılıqtıń gaz menen aynalarda joǵalıwınan joqarıraq boladı (shashıraw hám jutlıw). Generaciya sızıqları tiykarınan optikalıq rezonatordıń menshikli jiyilikleri boyınsha anıqlanatuǵın bolǵanlıqtan, gaz lazerdiń jiyiliginin stabilligi tiykarınan rezonatordıń aynalarınıń qozǵalmaslıq shártinen górezli boladı.



6-súwret.

Lazer nurlarınıń spektri.

He-Ne lazerdiń spektrdiń kózge kórinetuǵın oblastında islewinde (632,8 nm) infraqızıl diapazondaǵı nurlardı joq etiw ushın aynalardıń shaǵılıstırıw koefficientiniń belgili bir mánisleri saylap alınadı yamasa eki táreptegi (4-súwrettegi 1 arqalı belgilengen aynalar) aynalar usınday tolqınlardı jutatuǵın materiallardan soǵıladı.

Demek lazerdiń nurları mınaday qásiyetlerge iye boladı eken:
 joqarı dárejedegi kogerentlikke;
 joqarı dárejedegi monoxromatlıqqa;
 joqarı dárejedegi polyarizaciyaǵa,
 júdá kishi shashırawǵa;
 quwattıń joqarı spektrallıq tígızlıǵına.

Jumıstı orınlaw tártibi

Laboratoriyalıq dúzilis jaqtılıqtıń deregi geliy-neonlıq lazerden turatuǵın optikalıq sistema bolıp tabıladı. Lazerdiń nuri analizator, difrakciyalıq pánjere, ekran ornalastırılgan optikalıq otırǵısh baǵıtında tarqaladı. Jumısta nurdıń shashırawshılıq múyeshi hám jaqtılıq tolqınıníń uzınlığı anıqlanadı.

1-tapsırma. Jaqtılıq nurınıń tarqalıw múyeshin anıqlaw. Geometriyalıq optikanıń formulaları boyınsha lazer tárepinen shıǵarılatuǵın jaqtılıq konusınıń múyeshi esaplanadı.

1. Lazer iske qosıladı hám nurdıń kese-kesimi dáslep bir qashiqlıqta (lazerden shama menen 6 m qashiqlıqta), bunnan keyin ekinshi qashiqlıqta (shama menen 3-5 m) ólshenedi. Qashiqlıqlardıń mánislerin x_1 hám x_2 arqalı, al daqlardıń diametrlerin d_1 hám d_2 ler arqalı belgileymiz.

2. Ekrandaǵı jaqtılıq daǵınıń maksimallıq diametri sızǵısh yamasa shtangencirkuldiń járdeminde anıqlanadı. Hár bir ólshew keminde 5 ret qaytalanadı.

3. Eki jaqtılıq daǵınıń diametrlerin ólshegennen keyin jaqtılıq dástesiniń ólshemleriniń (diametriniń) úlkeyiwin xarakterleytuǵın shashıraw múyeshin

$$\varphi = \text{ArcTg} \left(-\frac{1}{2} \frac{d_2 - d_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (16)$$

formulasınıń járdeminde esaplaydı.

4. Ólshewlerdiń nátiyjeleri standart kestege túsıriledi. Qashiqlıqlardı, diametrlerdiń úlkenligin ólshewlerde hám φ múyeshin esplaǵanda jiberilgen qátelerdiń mánisleri bahalanadı x shamasın anıqlawda jiberilgen qáteliktiń shaması uzınlıq ólshewshi ásbaptıń shkalasındaǵı eń kishi bólimniń yarımina teń dep alınadı.

2-tapsırma. Lazer nurınıń polyarizaciyasın izertlew. Polyaroidtiń járdeminde laboratoriyalıq sistemadaǵı (yaǵnıy optikalıq otırǵıshqa salıstırǵandaǵı) jaqtılıq nurınıń tegisliginiń múyeshiniń mánisin anıqlaw.

1. Polyaroidti optikalıq otrǵıshqa lazer menen ekranniń arasına jaylastırıramız. Usınıń menen birge lazerdiń nurunuń polyaroidtiń plenkası (kristall) arqalı ótiwin támiyinleymiz. Kristall ózi arqalı óziniń bas optikalıq kósherı tegisliginde polyarizaciyalanǵan nurlarıwdıń qurawshısın ótkizedi.

2. Polyaroidtiń kósherin burıw arqalı ekrandaǵı jaqtılıqtıń intensivligi minimallıq mániske jetkeremiz. Bul jaǵday nurdıń polyarizaciyası polyaroidtiń kósherine perpendikulyar bolǵan waqıtta júzege keledi. Usınday usıldıń járdeminde polyaroidtiń tegisliginiń orientaciyasına salıstırǵandaǵı nurdıń polyarizaciyasınıń tegisligin aniqlaw múmkinshiliği payda boladı:

$$\alpha = \alpha_{min} + \frac{\pi}{2}. \quad (17)$$

Bul ańlatpada α_{min} arqalı (múyeshtiń usınday mánisinde polyaroid arqalı ótken jaqtılıqtıń intensivligi minimallıq mániske iye) vertikal menen polyaroidtiń tegisligi arasındaǵı múyesh belgilengen (múyeshtiń mánisi polyaroidtiń ózindegı múyeshler boyınsha ólshenedi).

3. α múyeshiniń mánisleri kestege túsiriledi hám ólshevlerdegi qátelerdiń mánisleri bahalanadı.

3-tapsırma. Lazerden shıqqan jaqtılıqtıń tolqın uzınlığıń aniqlaw.

1. Difrakciyalıq pánjereni paydalanıp difrakciyalıq maksimumlardıń jaylaşıwları boyınsha tolqın uzınlığı esaplanadı. Usınday maqsette lazer menen ekranniń ortasına lazerdiń nuri ótetüǵınday etip difrakciyalıq pánjereni ornalastırıdı. Ekranda simmetriya túrde jaylasqan bir neshe maksimumlardan turatuǵın difrakciyalıq súwret payda boladı.

2. Nolinshi hám bazı bir difrakciyalıq maksimum arasındaǵı qashıqlıq sızǵıstiń járdeminde ólshenedi (bul shamanı a arqalı belgileymiz). Bunnan keyin difrakciyalıq pánjere menen ekran arasındaǵı qashıqlıq aniqlanadı.

3. Difrakciyalıq maksimum shártın hám maksimum kórinetuǵın múyeshtiń sinusınıń mánisin paydalanıp tolqın uzınlığı λ niń shamasın esaplaw ushın

$$\lambda = \frac{da}{k\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (18)$$

formulasın alamız. Bul formulada d arqalı difrakciyalıq pánjereniń dawiri belgilengen.

Alıngan nátiyjeler kestege túsiriledi hám tolqın uzınlığı λ shamasın aniqlawda jiberilgen qátelerdiń shaması bahalanadı.

Qadaǵalaw ushın sorawlar

1. Optikalıq kvantlıq generatordıń jumıs islewiniń principlerin aytıp berińiz hám olardı túsindirińiz.

2. Májbúriy nurlanıw qubilisin táriyipleńiz. Qáddilerdiń inversiyalıq toltrılıwi.
3. Eynshteyn koefficientleriniń járdeminde absolyut qara deneniń nurlanıw energiyasınıń tiǵızlıǵı ushın formulań alıńız.
4. Optikalıq jaqtan aktiv ortalıq arqalı ótiwshi tegis monoxromat tolqındaǵı intensivliktiń spektrallıq tiǵızlıǵı ushın jazılatuǵın formulań keltirip shıǵarıńız.
5. Geliy-neonlıq lazerdegi toltrıw (nakashka) mexanizmi. Nurlanıwdıń tiykarǵı sıziqları.
6. Geliy menen neonniń aralaspasınıń energiya qáddileriniń diagrammasın sızińız.
7. Lazerden shıqqan jaqtılıqtıń joqarı dárejedegi kogerentligi qanday fizikalıq sebepler menen baylanıslı?
8. Kósher janındaǵı modalar degenimiz ne hám olar qalay payda boladı?
9. Lazerdiń eki shetindegi aynalardaǵı jutiliwdan qalay qutlıwǵa boladı?
10. Qanday faktorlar lazerler nurlarınıń spektrallıq kuramın aniqlaydı? Aralaspadaǵı neon menen geliydiń parciallıq basımlarınıń qatnasları qanday? Qanday shártler tiykarında geliy menen neonniń parciallıq basımlarınıń qatnasların aniqlaydı?
11. Lazer nurınıń shashırawı qanday sebeplerge baylanıslı?
12. Bul jumısta jiberiletuǵın qáteliklerdiń dereklerin tabıńız.

Ádebiyat

И.В.Савельев. Курс физики. Том 3. Квантовая оптика, атомная физика, физика твердого тела, физика атомного ядра и элементарных частиц. Издательство "Наука". Главная реакция физико-математической литературы. Москва. 1989. 304 с.

http://www.ph4s.ru/books/kurs_phys/savelev/saveliev_3.rar
http://www.laservr.ru/laser/he_ne_doc1.html
https://en.wikipedia.org/wiki/Helium%20neon_laser

7-laboratoriyalıq jumıs

Yarım ótkizgishler arasındaǵı kontaktlıq potenciallar ayırmasın ólshev

Jumistiń maqseti hár qıylı temperaturalardaǵı p-n ótkeldiń volt-amperlik xarakteristikaların alıw hám ótkeldiń differentiallıq qarsılığınıń temperaturadan górezligin aniqlaw bolıp tabıladi. Jumısta germaniyeden soǵılǵan diodtaǵı kontaktlıq potenciallar ayırmasınıń shaması ólshenedi.

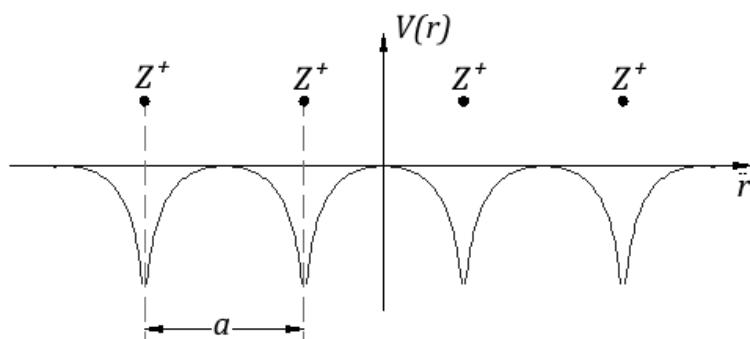
Teoriyalıq maǵlıwmatlar

Qattı denelerde atomlardıń sırtqı elektronlıq qabıqlarında jaylasqan elektronlar yadrolardan ajıralıp, sol qattı deneniń ishinde qozǵalıw mümkinshılıgi tuwıladı. Bunday elektronlardı ádette ótkizgishlik elektronları yamasa erkin elektronlar dep ataydı. Bunday elektronlar menen pútkilley erkin (yaǵníy qanday da bir bos keńislikte erkin qozǵalatuǵın hám basqa da zaryadlanǵan bóleksheler menen tásir etispeytuǵın elektron) elektronlardıń qásiyetlerinde úlken ayırmalar bar. Mısalı qattı denelerdiń ishinde qozǵalatuǵın elektronlardıń massası basqa.

Qattı denelerdegi, ásirese kristallardaǵı elektronlardıń qásiyetleriniń payda bolıwı tómendegidey eki sebepke baylanıslı:

Birinshiden, qattı deneler ótkizgishlik elektronları ushın "potencial qutı" bolıp tabıladı. Usınıń saldarınan elektronlardıń energiyaları menen impulsleri kvantlanadı.

Ekinshiden, ótkizgishlik elektronları qozǵalatuǵın oblasttaǵı ionlardıń potenciallıq relefi tegis emes, al 1-súwrette kórsetilgendey quramalı strukturaǵa iye.



1-súwret. Kristaldaǵı ótkizgishlik elektronı qozǵalatuǵın elektr maydanınıń dáwırıli potencialı. Kórgizbelilik ushın birdey atomlardıń dizbeginen turatuǵın bir ólshemli kristaldıń modeli keltirilgen.

Ótkizgishlik elektronlarınıń kristallıq potencial menen tásir etisiwiniń saldarınan olardıń massaları ózgeredi hám energiya zonaları payda boladı. Energiya zonalarınıń ishindegi qońsılas energiya qáddileriniń arasındaǵı qashiqliq júdá kishi hám shama menen 10^{-12} eV shamasına teń.

Metallarda valentli zona tolıq toltırılmaǵan hám usıǵan baylanıslı bir birine jaqın jaylasqan elektronlar menen tolmaǵan bos qáddiler boladı. Ótkizgishlik elektronları ózleriniń impulslerin ózgertip kristall boyınsha erkin qozǵala aladı. Sonlıqtan metallardıń elektr toǵına qarsılıǵı kishi. Ádette metallardaǵı valentli zonanı ótkizgishlik zonası dep te ataydı.

Yarım ótkizgishlerde bolsa zonalardıń toltırılıwı basqasha tártipte júzege keledi. $T = 0$ K temperaturada valentli zona tolıǵı menen toltırılǵan. Al qońsılas erkin zona menen valentli zona arasında energiyalıq sańlaq dep atalatuǵın

oblast orın aladı. Bul saňlaqtı qadaǵan etilgen zona dep ataydı. Qadaǵan etilgen zonanıń qalınlıǵıń (keńligin) E_c arqalı belgileymiz. $T = 300$ K bolǵan temperaturalarda (ójire temperaturalarında) kremniy ushın $E_c = 1.14$ eV, al germeniy ushın $E_c = 0.67$ eV. Sonlıqtan tómengi temperaturalarda (tómengi temperaturalar dep $E_c < kT$ shárti menen aniqlanatuǵın temperaturalardı aytamız) yarım ótkizgishler elektr toǵın jaman ótkizedi.

Joqarıraq temperaturalarda jilliliqtıń tásirinde qozıwlardıń saldarınan elektronlardıń bir bólimin jaqın jaylasqan erkin zonaǵa (ótkizgishlik zonasına) ótkeredi. Erkin zonaǵa ótken elektronlar kristall boyınsa erkin qozǵaladı hám yarım ótkizgishtiń elektronlıq ótkizgishligi payda boladı. Sonlıqtan yarım ótkizgishlerdegi valentli zonaǵa jaqın jaylasqan erkin zonanı ótkizgishlik zonası dep ataydı.

Taza yarım ótkizgishlerdiń ótkizgishlik qásiyetiniń payda bolıwına jilliliqtıń tásirinde ótkizgishlik zonasına ótken elektronlar da, valentli zonada qalǵan bos orınlar da (bunday orınlardı ádette tesikler dep ataydı) teńdey dárejede úles qosadı. Valentli zonadaǵı tesikiń qozǵaliwı keńisliktegi oń zaryadlı bóleksheniń qozǵaliwına ekvivalent. Bunday ótkizgishlikti tesiklik ótkizgishlik dep ataydı.

Jilliliq teń salmaqliq sharayatunda elektronlardıń energiyalar boyınsa tarqalıwı Fermi-Dirak tarqalıw funkciyasınıń járdeminde beriledi:

$$f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{kT}} + 1}. \quad (1)$$

Bul formulada E arqalı elektronnıń energiyası, k arqalı Boltzman turaqlısı, T arqalı absolyut temperatura, al μ arqalı elektron gazınıń elektroximiyalıq (ximiyalıq) potencialı belgilengen. (1)-funkciya energiyası E shamasına teń qáddiniń elektron menen iyeleniwiniń itimallıǵıń beredi.

Fermi-Dirak bólistiriliwi Pauli principin nolge teń emes temperaturalarǵa ulıwmalastırıdı.

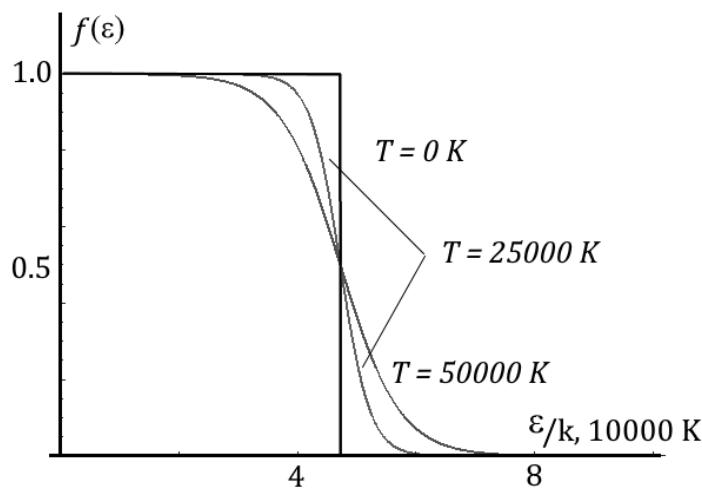
$T = 0$ K temperaturada Fermi-Dirak funkciyasınıń grafigi tuwrı mýyeshli tekshe túrine iye boladı (2-a súwret). Metallarda $T = 0$ K temperaturada elektron iyelegen energiyaniń mánisi eń úlken mániske iye qáddini Fermi qáddi, al onıń energiyasınıń shamasın Fermi energiyası (ε_F) dep ataydı. Kóplegen materiallar ushın ε_F energiyasınıń shaması 1-10 eV ke teń. Energiyanıń usı mánisine teń temperaturanı ($T = \varepsilon_F/k$) Fermi temperaturası dep ataydı hám onıń mánisi onlaǵan miń gradusqa teń.

Fermi energiyasınıń mánisi

$$\varepsilon_F = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{n\pi}{2L} \right)^2.$$

Bul formulada n arqalı pútin san (kvant sanı), L arqalı kristaldıń uzınlığı (potencial shuqırkıń keńligi) belgilengen. Sonıń menen birge ε_F shamasınıń kvant sanı n niń kvadratına proporsional ekenligi kórinip tur.

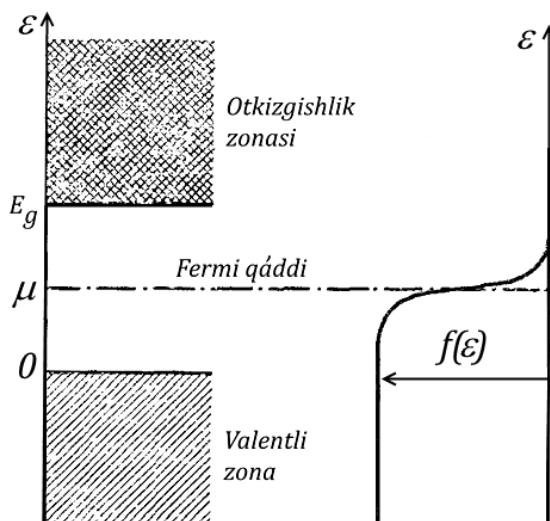
Temperaturanıń ósiwi menen teksheniń shetiniń túri ózgeredi (2-b súwret). Ximiyalıq potencialdıń mánisine teń energiyada Fermi-Dirak funkciyasınıń mánisi 0,5 ge teń. Teksheniń jayılıwınıń keńligi shama menen kT kóbeymesine teń.



2-súwret. Hár qıylı temperaturalardaǵı Fermi-Dirak funkciyaları. Grafikler $T_F \approx 50000$ K bolǵan litiy kristallı ushın Mathematica 10 programmalaw tiliniń járdeminde esaplanǵan.

T_F temperaturasınan (Fermi temperaturasınan) kóp ese kishi Fermi energiyasınıń shamasınıń temperaturadan górezli ekenligin esapqa almawǵa boladı. Bunday jaǵdaylarda tek Fermi qáddine jaqın jaylasqan elektronlar góana jıllılıq terbelislerine qatnasa aladı. T/T_F qatnasına proporsional bolǵan olardıń salıstırmalı muǵdarı júdá kishi hám bunday elektronlıq gazdi azǵıńǵan gaz dep ataydı.

Taza yarım ótkizgishte Fermi energiyasınıń shaması valentli zona menen ótkizgishlik zonasın ayırıp turǵan sańlaqtıń (yaǵníy qadaǵan etilgen zonanıń) ortasında jaylasadı. Usıǵan baylanıslı yarım ótkizgishlerde Fermi qáddı túsinigi tuwrıdan-tuwrı mániske iye emes (metallarda onday emes) hám bólistiriliw funkciyasın energiya kósherindegi ornın belgilew ushın paydalanyladi. YArım ótkizgishlerdegi toqtı tasıwshılardıń energiyasınıń muǵdarın valentli zonanıń eń joqarǵı qáddinen baslap esaplaydı (3-súwret).



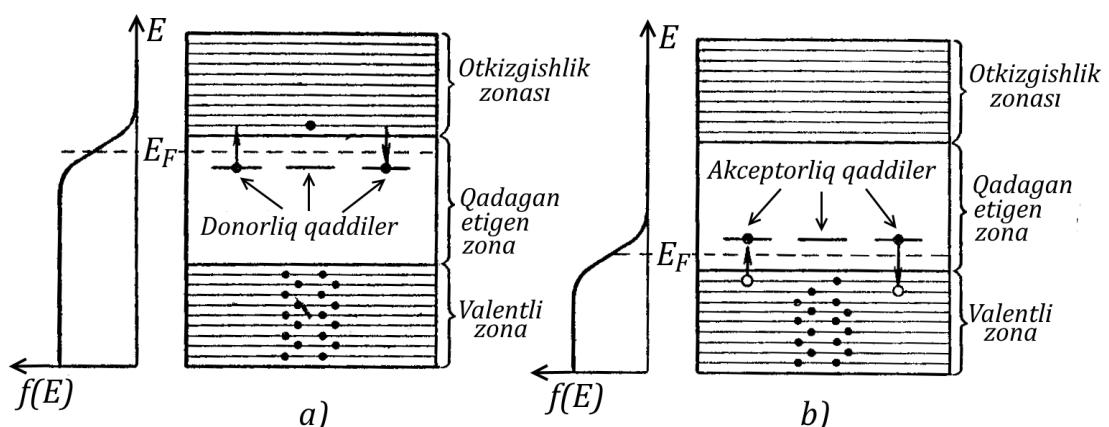
3-súwret.

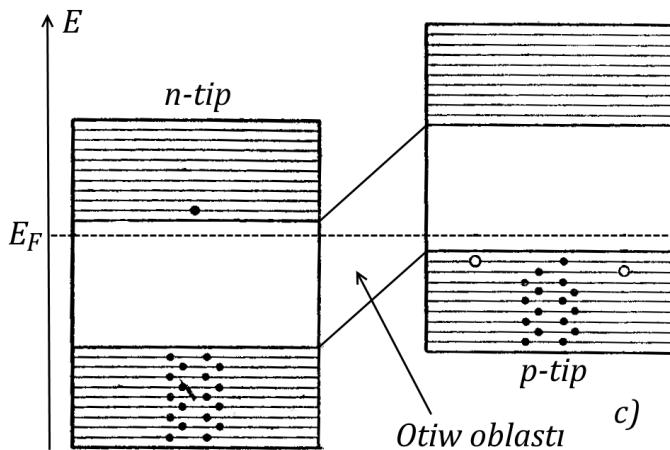
Taza yarım ótkizgishtegi Fermi qádiniń ornı hám elektronlardıń bólistiriliw funkciası $f(\varepsilon)$.

Germaniy kristalları ushın ójire temperaturaları ushın $f(\varepsilon)$ funkciasınıń mánisin esaplaymız. (1)-formulaǵa $E - \mu = 0.5E_g = 0.34$ eV mánisin qoyıp hám $kT \approx \frac{1}{40}$ eV ekenligin názerde tutıp

Kremniyde bolsa $f(E_g)$ funkciasınıń mánisi mińlaǵan ese kishi. Demek, ójire temperaturalarında menshikli yarım ótkizgishlerdegi elektronlardıń menshikli ótkizgishlikke qosatuǵın úlesi júdá kishi eken.

Endi n tipindegi yarım ótkizgishti qaraymız. Bunday yarım ótkizgishke qosımsa atomlar kirgizilgen bolıp, olardı donorlar dep ataydı. Sebebi olar qadaǵan etilgen zonada ótkizgishlik zonasına jaqın orınlarda lokallıq qáddilerdi payda etedi hám sonlıqtan olar ańsat qozadı hám ótkizgishlik zonasındaǵı elektronlardıń sanın kóbeytedi. Germaniy hám kremniy ushın donorlar bolıp dáwirlı sistemanıń besinshi gruppasınıń elementleri xızmet ete aladı.





4-súwret.
Jıllılıq teń salmaqlıǵındaǵı
yarım ótkizgishtiń energiyalıq
sxemasi.

- a) n tipindegi,
- b) p tipindegi,
- c) n-p ótkeli.

Júdá tómengi temperaturalarda lokallıq qáddiler donor atomlarǵa tiyisli bolǵan elektronlar menen tolǵan. Donorlıq qáddilerdiń energiyasınıń shaması ótkizgishlik zonasınıń eń tómengi energiyasınıń shamasınan ayırması kishi. Al bunday ayırma orın alganda ójire temperaturalarında Fermi funkciyasınıń mánisi derlik ózgermeydi. Sonıń menen birge ótkizgishlik zonasındaǵı qáddilerdiń sanı donorlıq qáddilerdiń sanına salıstırǵanda oǵada kóp (energiya qáddileriniń sanlarınıń qatnası tiykarǵı atomlar menen qosımta atomlardıń qatnasınday boladı). Sonlıqtan ójire temperaturalarında donorlıq qáddiler tolığı menen bosaydı, al olardaǵı elektronlardıń barlıǵı ótkizgishlik zonasına ótedi. Usı jaǵdayǵa baylanıslı n tipindegi yarım ótkizgishlerdiń ótkizgishligi elektronlıq ótkizgishlik bolıp tabıladı.

Yarım ótkizgishlerge tek donorlıq emes, al akceptorlıq qosımtalardı qosadı. Bunday qosımtalar dáwirli sistemanıń úshinshi gruppasınıń atomları bolıp tabıladı. Bunday atomlar qadaǵan etilgen zonada valentli zonaniń eń joqarǵı shegarasınıń qasında lokallıq qáddilerdi payda etedi (4-b súwret). Bunday qáddiler júdá tómengi temperaturalarda pútkilley bos boladı. Ójire temperaturalarında bolsa bul qáddiler valentli zonadan ótken elektronlar menen toltırıladı. Usınıń saldarınan valentli zonada tesiklik ótkizgishlik payda boladı. Bunday yarım ótkizgishlerdi n tipindegi yarım ótkizgishler dep ataydı.

Ótkizgishlik zonasındaǵı elektronlardıń teń salmaqlıq koncentraciyasın n , al valentli zonadaǵı tesiklerdiń koncentraciyasın p arqalı belgileymiz. Ójire temperaturalarında germaniy menen kremniyde $E_g \gg kT$ shártı orınlanaǵı. Usı jaǵdayǵa baylanıslı ótkizgishlik zonasındaǵı elektronlardıń koncentraciyası

$$n = 2 \left(\frac{m_e k T}{2\pi\hbar^2} \right)^{3/2} \text{Exp} \left(-\frac{E_g - E_F}{k T} \right), \quad (2)$$

al valentli zonadaǵı tesiklerdiń koncentraciyası

$$p = 2 \left(\frac{m_p kT}{2\pi\hbar^2} \right)^{3/2} \text{Exp} \left(-\frac{E_F}{kT} \right) \quad (3)$$

formulalarınıń járdeminde aniqlanadı. Bul formulalarda m_e hám m_p arqalı sáykes elektronlar menen tesiklerdiń effektivlik massaları belgilengen.

Ótkizgishlik zonasındaǵı elektronlar menen valentli zonadaǵı tesiklerdiń koncentraciyalarınıń kóbeymesin tabamız. (2)- hám (3)- ańlatpalardan

$$n \cdot p = 4 \left(\frac{m_p kT}{2\pi\hbar^2} \right)^3 \left(\frac{m_e}{m_p} \right)^{3/2} \text{Exp} \left(-\frac{E_g}{kT} \right) \quad (4)$$

ańlatpasın alamız $n \cdot p$ kóbeymesiniń Fermi qáddiniń iyelegen ornınán górezli emes ekenligin hám temperatura T dan, toq tasıwshılardıń effektivlik massalarınan hám qadaǵan etilgen zonanıń keńligi E_g dan górezli ekenligin kóremiz. Sonıń menen birge (4)-ańlatpa yarım ótkizgishke qosımtalar kirgizgende de ózgerissiz qaladı hám olardıń muǵdarına baylanıslı emes.

Endi toq tasıwshılardıń koncentraciyalarınıń qatnasın esaplaymız hám nátiyjede

$$\frac{n}{p} = \left(\frac{m_e}{m_p} \right)^{3/2} \text{Exp} \left(\frac{2E_F - E_g}{kT} \right) \quad (5)$$

túrindegi qatnasqa iye bolamız.

Kristalda eń kóp sanlı bolǵan toq tasıwshılardı tiykarǵı toq tasıwshılar, al muǵdarı kem bolǵan toq tasıwshılardı tiykarǵı emes toq tasıwshılar dep ataydı. n tipindegi yarım ótkizgishlerde elektronlar, al p tipindegi yarım ótkizgishlerde tesikler tiykarǵı toq tasıwshılar bolıp tabıladı.

(5)-formulanıń járdeminde n hám p tipindegi yarım ótkizgishlerdegi Fermi qáddiniń ornın aniqlawǵa múmkınhılık beredi. Ápiwayılıq ushin tesikler menen elektronlardıń massaların birdey dep esaplaymız. Usınıń saldarınan (5)-ańlatpadan

$$E_F = \frac{E_g}{2} + kT \cdot \ln \left(\frac{n}{p} \right) \quad (6)$$

formulasın alamız. Bul formuladan $n = p$ shártı orınlıǵanda taza yarım ótkizgishlerde Fermi qáddiniń qadaǵan etilgen zonanıń ortasında jaylasatuǵınlıǵı kórinip tur. n tipindegi yarım ótkizgishlerde elektronlardıń koncentraciyası tesiklerdiń koncentraciyasınan úlken hám sonlıqtan Fermi energiyasınıń mánisi ótkizgishlik zonasına jılısqan ($E_F > E_g/2$). Al tesiklik

ótkizgishlikke iye yarım ótkizgishlerde $p > n$ hám sonlıqtan Fermi energiyası tómenge valentli zonaǵa qaray jılısqan.

Endi n hám p tipindegi yarım ótkizgishlerdi bir birine tiygizemiz. Kontakt payda bolǵan momentten baslap tiykarǵı toq tasıwshılardıń shegaralıq qatlam arqalı qarama-qarsı baǵıttaǵı diffuziyası qubılısı baslanadı. Usınıń nátiyjesinde tesikler menen elektronlar rekombinaciyaǵa ushıraydı.

Ótkel oblastınıń qasındaǵı n oblastta donorlıq qosımtalardıń oń zaryadlı ionları endi elektronlar menen kompensaciyalanbaydı. Sonlıqtan olar oń belgige iye keńisliklik zaryadtı payda etedi. Usıǵan sáykes p oblastta akceptorlıq qosımtalardıń teris belgige iye ionları tesikler menen kompensaciyalanbaydı. Nátiyjede teris zaryad payda boladı. Usınıń saldarınan potenciallardıń kontaktlıq ayırması payda boladı. Bul potenciallar ayırması potencial barer bolıp tabıldı hám ol tiykarǵı toq tasıwshılardıń bunnan bılayǵı diffuziyasına tosqınlıq qıladı.

Eki oblastta Fermi qáddileriniń ornı birdey bolǵan jaǵdaydaǵı potencial barerdiń biyikliginde teń salmaqlıq ornavdı (4-c súwret). $n - p$ oblastında toq tasıwshılardıń kemligi orın alatuǵın qatlam payda boladı.

Toq tasıwshılardıń kemligi orın alatuǵın oblasttıń payda bolıwin bilayinsha túśindiriwge boladı: 4-c súwrettegi n oblastta Fermi qáddiniń valentli zonadan alısta, al ótkizgishlik zonasına jaqan jaylasqanlıǵı kórinip tur. Valentli zonanıń qáddilerin tolrıwdıń itimallığı 1 ge jaqın. Al ótkizgishlik zonasınıń qáddilerin tolrıwdıń itimallığınıń mánisi 1 den ádewir kishi. Bul oblastta elektronlar kóp, biraq tesikler az. Al p oblastta bolsa keri jaǵday orın aladı. $n - p$ ótkeli oblastında Fermi qáddi valentli zonasınan da, ótkizgishlik zonasınan da uzaqta ótedi. Sonlıqtan bul oblast elektronlar boyınsha da, tesikler boyınsha da jarlı hám sonlıqtan elektr toǵına úlken qarsılıqqa iye boladı.

Endi $n - p$ oblastındaǵı potenciallar ayırmasınıń shamasın bahalaymız. Ápiwayılıq ushin n oblasttaǵı donorlardıń koncentraciyası menen p oblasttaǵı akceptorlardıń koncentraciyaların birdey dep esaplaymız (bunday yarım ótkizgishti kompensaciyalanǵan yarım ótkizgish dep ataydı). Akceptorlar menen donorlardıń koncentraciyaları birdey bolǵanda Fermi qáddiniń joqarı hám tómenge qaray (yaǵníy ótkizgishlik zonasına hám valentli elektronlar zonasına qaray) jılıwiların birdey dep esaplawǵa boladı. Bunday jaǵdaydan $n - p$ kontaktındaǵı potenciallar ayırması φ diń shaması

$$e\varphi = 2 \left(E_F - \frac{1}{2} E_g \right) = 2E_F - E_g \quad (7)$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı. Bul formulada qáddilerdiń energiyasınıń mánisi ádettegidey valentli zonanıń joqarǵı shetinen baslap esaplanadı. $0.5E_g$ shaması Fermi qádiniń ózgermegen ornına sáykes keledi.

(7)-ańlatpanı (5)-ańlatpaǵa qoysaq

$$\frac{n}{p} = \left(\frac{m_e}{m_p} \right)^{3/2} \text{Exp} \left(\frac{e\varphi}{kT} \right) \quad (8)$$

formulasına iye bolamız. Al bul formulańı logarifmlesek biz izlep atırǵan potencialdını mánisine iye bolamız:

$$\varphi = kT \ln \left[\frac{n}{p} \left(\frac{m_p}{m_e} \right)^{3/2} \right]. \quad (9)$$

$T = 300\text{K}$ temperaturada germeniyde kontaktlıq potenciallar ayırmasınıń mánisi $0,35 \text{ V}$, al kremniyde $0,7 \text{ V}$ shamasında boladı. Bunday potenciallar ayırması qalınlığı shama menen 10^{-5} sm bolǵan juqa ótkel qatlamǵa túsedı.

Kontaktlıq potenciallar ayırmasın aniqlawdını usıllarınıń biri hár qıylı temperaturalardaǵı volt-amperlik xarakteristikaları izertlewedен ibarat boladı.

Diod arqalı ótip atırǵan elektronlar menen tesikler toqlarınıń qosındısı

$$I = A \text{Exp} \left(-\frac{e\varphi}{kT} \right) \left[\text{Exp} \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (10)$$

shamasına teń. A koefficientiniń temperaturaǵa baylanıslı ózgerisi toqtı tasıwshılardıń jıllılıq tezlikleriniń járdeminde aniqlanadı. Bunday tezliklerdiń shaması absolyut temperaturaniń $\frac{1}{2}$ dárejesine tuwrı proporsional. (10)-ańlatpada V arqalı diodqa túsirlgen kernewdiń mánisi belgilengen.

Mathematica 10 programmalaw tiliniń járdeminde (10)-formula boyınsha volt-amperlik xarakteristikani esaplaw júdá ańsat.

$n - p$ ótiwdiń sızıqlı emes túrdegi volt-amperlik xarakteristikası [sızıqlı emeslik, al eksponenciallıq (10)-ańlatpada kórinip tur] onı ózgermeli toqtı tuwrılaw ushin paydalaniwǵa múmkınhılık beredi.

YArım ótkizgishlerden soǵılǵan diodlar sıpatında n hám p tipindegi yarım ótkizgishlerden yamasa metall menen yarım ótkizgishten turatuǵın kontaktler xızmet etedi. Sońǵı jaǵdayda (metal – yarım ótkizgish kontaktınan turatuǵın diodı Shottki diodı dep te ataydı) ótkel oblastındaǵı kólemlik zaryadtıń barlıǵı da yarım ótkizgishte toplanǵan boladı. (10)-ańlatpa metall – yarım ótkizgish kontaktı ushın da durıs.

Tuwrılawsı diodlar ushin germaniy menen kremniyler xızmet etedi. Arnawlı zavodlar tárepinen bir neshe milliamperden júzlegen amper toqlar ushin soǵılǵan diodlar shıgarılıdı.

Germaniyden soǵılǵan $n - p$ diodi ushin temperaturaniń 75°C qa shekem, al kremniyden soǵılǵan diodlar ushin temperaturaniń 150°C ága shekem kóteriliwi múmkin.

(10)-formulanı kishi kernewler V ushın ápiwayılastırıwǵa boladı. Ańlatpanı V boyinsha Teylor qatarına jayıp

$$I = A \frac{eV}{kT} \operatorname{Exp}\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right)$$

funkciyasına iye bolamız. Bul ańlatpadan úlken emes kernewlerde (V niń shaması bir neshe mV) $n - p$ ótkeli arqalı ótetüǵın toqtıń shaması kernewge tuwrı proporsional ekenligi kelip shıǵadı. Al kernew V ni toqtıń shaması I ge bólip $n - p$ ótkeliniń qarsılıǵı (bunday qarsılıqtı ádette differenciallıq qarsılıq dep ataydı) ushın ańlatpanı alamız:

$$R = \frac{kT}{eA} \operatorname{Exp}\left[\frac{e\varphi}{kT}\right]. \quad (11)$$

(11)-ańlatpanı logarifmlep temperaturadan ayqın túrdegi górezlilikti sáwlelendiretuǵın jańa formulani alamız:

$$\ln(R) = \operatorname{const} + \frac{1}{2} \ln(T) + \frac{e\varphi}{kT}. \quad (12)$$

Solay etip ástelik penen júretüǵın logarifmlik ózgerisler fonında $\ln(R)$ shamasınıń $\frac{1}{T}$ shamasına (temperaturaniń keri mánisine) tuwrı proporsionallıq orın aladı eken. Bul nátiyje eksperimentlerde kontaktlıq potenciallar ayırması φ diń mánisin anıqlaw ushın qollanıladı.

Eksperimentallıq bólím

Dúzilistiń táriyipi

Eksperimentallıq dúzilistiń blok-sxeması 5-súwrette keltirilgen.

E – turaqlı toq deregi;

K_1 – sxemanı elektr tarmaǵına qosatuǵın gilt;

K_2 – izertlenetuǵın diodtaǵı kernewdiń baǵıtın (polyarlıǵın) ózgertetuǵın gilt.

R_1, R_2 ler arqalı D diodqa túsetuǵın kernewdi turpayı hám ástelik penen ózgertetuǵın potensiometrler belgilengen.

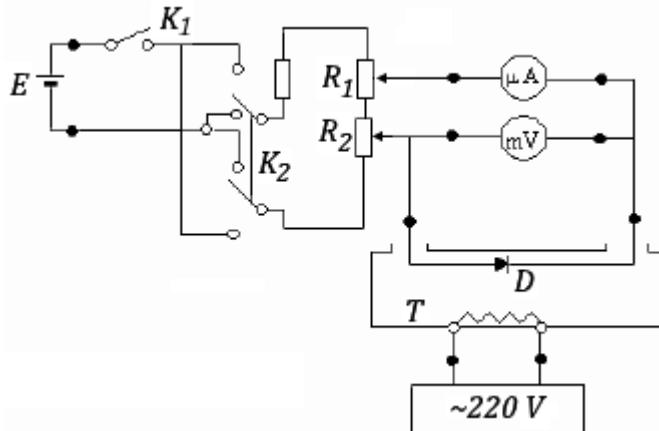
T – termostat.

Jumısti orınlawdınız izbe-izligi

1. Ólshewshi sxemanı jiynańız.

2. 220 voltlik ózgermeli toq kózine turaqlı toq deregin, mikroampermetrdi, sanlı voltmetrди tutastırıңыз.

3. Ójire temperaturasında izertlenip atırған diodtiń volt-amperlik xarakteristikasın 3 ret ólsheńiz. Volt-amperlik xarakteristikanı kernew boyınsha noldiń átirapında -10 mV ten +10 mV kernewler diapazonında túsiriңыз. Noldiń oń hám shep tárepindegi noqatlardıń sanı 5 ten kem emes. Kernew boyınsha noqatlar arasındaǵı interval ólshevshi ásbaptıń shawqımınan keminde 10 ese úlken bolıwı kerek.



5-súwret. Eksperimentallıq dúzilistiń blok-sxeması.

4. Termostattıń qızdıratuǵın elementin toq kózine tutastırıңыз (220 voltlik toq kózine).

5. Noldiń átirapında (kernew boyınsha) diodtiń volt-amperlik xarakteristikasın ójire temperaturasınan 70°S ga shekem 10° liq adımla menen túsiriңыз. Ólshevlerdi diodlardi qızdırıw processinde yamasa salqınlatıw processinde ótkeriңыз. Temperaturaniń hár bir mánisinde volt-amperlik xarakteristikalardı ólshevlerdiń seriyasın orınlaw kerek.

Temperaturaniń ósiwi menen diodtiń qarsılıǵı kemeyedi. Sonlıqtan kernewler boyınsha ólshevlerdiń diapazonı tarayadı.

Jumıstı orınlap bolǵannan keyin:

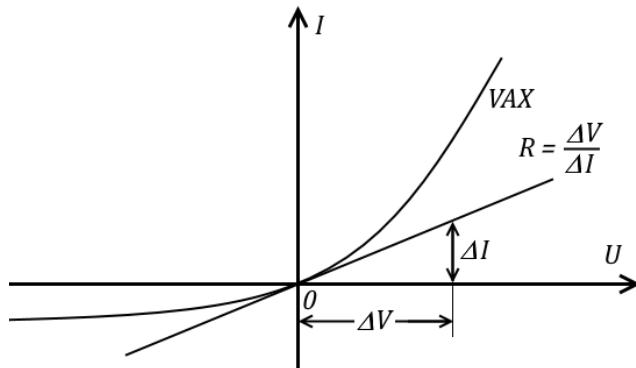
- ólshev ásbapların óshiriңыз;
- termostattıń kızdırğıshın shınjırdan ayırıңыз;
- termostattıń qapısın ashıníz hám onıń ishindеги temperatura 35°S ga shekem tómenlegende jumıs ornınan ketiwge boladı.

Nátiyjelerdi qayta islew

1. Temperaturaniń hár bir mánisi ushın izertlengen diodtiń volt-amperlik xarakteristikasın dúziңыз.

$V = 0$ noqatına jaqın orınlardaǵı diodtiń differenciallıq qarsılıǵı bolǵan R shamasın aniqlaңыз. Buniń ushın $I = 0$ bolǵan noqatta volt-amperlik xarakteristikaniń grafigine urınba júrgiziңыз (6-súwret). Urınbanıń abscissa

kósheriniń oń baǵıtındaǵı qıyalıq mýyeshiniń tangensinsin esaplaǵan siyaqlı differenciallıq qarsılıqtıń shaması $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ esaplanadı.



6-súwret. Differenciallıq karsılıqtıń shamasın anıqlaw usılı.

2. Hár qıylı temperaturalar ushın R hám $\ln(R)$ shamaları jazılǵan kesteni dúzińiz.

3. $y = \ln(R)$ shamasınıń keri temperatura bolǵan $x = \frac{1}{T}$ shamasınan górezlilikiniń grafigin dúzińiz.

En kishi kvadratlar usılınıń járdeminde sızıqlı approksimaciya ushın koefficientlerdi hám jiberilgen qátelerdi anıqlańız. Sızıqlı approksimaciyada

$$y = a + bx$$

túrindegi górezliktiń orın alatuǵınlıǵın eske túsiremiz.

$$\varphi = \frac{k \cdot b}{e} \quad (13)$$

formulası boyınsha kontaktlıq potenciallar ayırmasınıń mánisın anıqlańız hám eksperimentlerde jiberilgen qátelerdi bahalańız. (13)-formulada k arqalı Boltzman turaqlısı, e arqalı elementar zaryad belgilengen.

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw ushın beriletuǵın sorawlar

1. Qattı denelerdiń zonalıq teoriyası (metallar, dielektrikler, yarım ótkizgishler). Zonalardıń sanlıq xarakteristikaları (keńligi, qáddilerdiń tiǵızlıǵı, olardıń sanı). Fermi energiyası, onıń temperaturadan górezlilik, san mánisleri.

2. YArım ótkizgishlerdiń qarsılığı temperaturanıń joqarılıawi menen kishereyedi, al metallardıń qarsılığı artadı. Nelikten?

3. $n - p$ ótkelinde potenciallardıń kontaktlıq ayırmasınıń fizikalıq mexanizmleri nelerden ibarat? Kontaktlik potenciallar ayırmasınıń germaniy hám kremniyden islengen diodlar ushın san mánisleri.

4. Potenciallardıń sırtqı hám ishki kontaktlik ayırmasınıń fizikalıq mánisi neden ibarat?

5. Omlıq hám tuwrılawsı kontaktlar.
6. Kontaktlerdiń qarsılıqlarınıń temperaturadan górezligi.

Ádebiyat

1. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. Издательство "Высшая школа". Москва. 1977, §§ 43-46, 74-75.
2. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков. Издательство "Высшая школа". Москва. 1977. § 29.
3. Шалимова К.В. Физика полупроводников. Издательство "Энергоатомиздат". Москва. 1985. 392 с.
4. Charles Kittel. Introduction to Solid State Physics. Seventh Edition. 1996. 676 p.

8-laboratoriyalıq jumıs

Rezerford tájiriybesi

Kirisiw. Atomniń qurılısı jónindegi házirgi zaman kóz-qaraslarınıń qáliplesiwinde 1909-1911 jılları E.Rezerfordtıń basshılıǵında ótkerilgen izertlewler áhmiyetli hám anıqlawsı orındı iyeleydi. Eksperimentlerdi Gans Geyger hám Ernst Marsdenler orınladı. Sonıń menen bul eksperimentler nıshanalardı bólekshelerdiń aǵısı menen bombalaw (bombalaw sóziniń ornına zondlaw terimini de qollanıladı) yadrolıq hám elementar bóleksheler fizikası ushın úlken perspektivalarǵa iye usıllardıń birine aylandı. Tájiriybelerde paydalanılǵan α bóleksheleriniń energiyası shama menen 5 MeV shamasında edi.

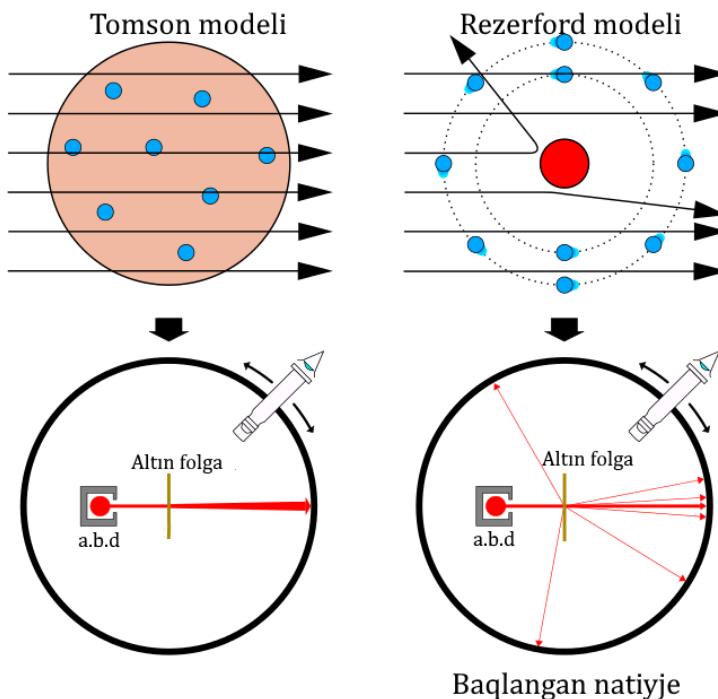
1909-jıllarǵa shekem atomniń qurılısı haqqındaǵı Tomsonniń modeli belgili edi (1-súwret). Bul model boyınsha atom bir tekli oń zaryadlanǵan tamshi sıyaqlı zattan turıp, onda teris zaryadlanǵan elektronlar júzip júredi.

Tomson modeli atomlardıń bir qatar qásiyetlerin túsindirdi (mısali elektromagnit tolqınlardıń atomlardaǵı shashırawın). Biraq qanday sebeplerge baylanıslı atomlardıń sızıqlı spektrge iye bolatuǵınlıǵın túsindire almadı. Sonlıqtan atomniń durıs modelin dúziwdiń zárúrli ekenligi kelip shıqtı.

Tariyxiy maǵlıwmatlarǵa qaraǵanda 1909-jılı Ernest Rezerfordtıń kabinetine onıń assistenti Gans Geyger kelip "Men radioaktivlik qubılısun izertlewdiń usılların úyretip atırǵan jas Marsdenniń ózinshe úlken emes izertlewlerdi baslawına waqt kelgen joq pa?" dep soraw bergen. Rezerford bul usınıs penen kelisken hám oǵan α bóleksheliriniń juqa metall folgalardaǵı úlken mýyeshlerge shashırawın izertlewdi tapsırgan (2-súwret).

1909-1911 jılları ótkerilgen tájiriybelerde júdá juqa altın folgası arqalı ótkende α bóleksheleriniń basım kóphılıgınıń tuwrı ótetüǵınlığı, al ayırm

bólekshelerdiń úlken mýyeshlerge burılatuǵınlıǵın belgili boldı (shama menen 8000 bóleksheniń biri 90° tan úlken mýyeshlerge burıladı eken). Bunday burılıwlardı tosınnan júzege keletuǵın kishi awısıwlardıń qosındısınan turadı dep esaplawdıń mýmkinshiliǵı joq. Statistikaliq esaplawlar usınday jollar menen úlken mýyeshlerge burılatuǵın bólekshelerdiń sanınıń $1/8000$ ǵa salıstırǵanda oǵada kem boliwiniń kerek ekenligin tastiyıqlaydı. Al Tomson modeli boyıńsha α bóleksheleriniń 90° tan úlken mýyeshlerge burılıwınıń itimallıǵı shama menen 10^{-3500} ge teń boladı.



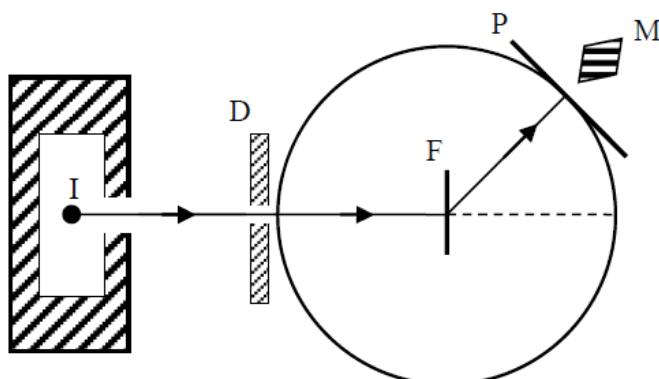
1-súwret. Tomson modeli menen Rezerford modelin salıstırıw ushın arnalǵan sxema. a.b.d arqalı alfa bóleksheleriniń deregi belgilengen. Eger Tomson modeli durıs bolǵanda atomǵa kelip túskен α bóleksheleri atom arqalı derlik tuwrı hám erkin ótken bolar edi.

Alınǵan eksperimentallıq maǵlıwmatlar tiykarında Rezerford tómendegidey nátiyjelerdi shıǵarıdı: Zatlar atomlardan turadı. Atomlardıń qurılısı juwiq türde Quyash sistemasiń qurılısına usaǵan. Atomnıń ortasında oń zaryadqa iye massası atomnıń massasına jaqın bolǵan yadro jaylasqan. Onıń radiusı 10^{-12} sm den úlken emes (eksperimentlerde energiyası ~ 5 Mev bolǵan alfa bóleksheleri yadroǵa usınday qashiqlıqqə shekem jaqın kele alǵan). YAdronıń dögeregide elektrostatikalıq kúshlerdiń tásirinde elektronlar aylanıp júredi. α bóleksheleriniń kóphılıǵı zattıń (altınnıń) juqa qatlamı arqalı erkin óte aladı. Sebebi olardıń elektronlar menen soqlıǵısıwınan α bóleksheleriniń traektoriyası derlik ózgermeydi (α bóleksheleriniń massası elektronnıń massasından 6000 ese dey úlken). Orayda jaylasqan úlken massaǵa hám oń zaryadqa iye yadro menen α bóleksheleriniń soqlıǵısıwınıń itimallıǵı

júdá kishi [sebebi yadroniň betiniň maydanı $\pi(10^{-12})^2 \text{ sm}^2 = 3.14 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^2$ shamasına teň].

Atomniň oň zaryadlanǵan oraylıq bólimin Rezerford atom yadrosı dep atadı. Al usınılgan modeldi planetarlıq model dep atay basladı. Demek atomlarǵa kelip túskenn alfa bóleksheleri atom yadrolarında shashırayıdı eken. YAdro da, alfa bóleksheleri de zaryadlanǵan bolǵanlıqtan shashırawdıń xarakteri Kulon potencialınıń járdeminde táriyipleniwi kerek. Atap aytqanda tap usı jaǵday Rezerford tájiriybelerinde tastiyıqlındı.

2-súwrette Rezerford tájiriybesiniň sxeması berilgen. I deregenen shıqqan α bólekshelerin D diafragması arqalı ótip F folgasına kelip túsedı hám usı folganıň atomlarında shashırayıdı. Shashıraqan α bólekshelerin P ekranına kelip túsedı. Bul ekrannıň betine untalǵan ZnS cink sulfidi kristallarınıň qatlamı otırǵızılǵan. Eger P ekranı shiyshe plastinkadan turatuǵın bolsa, onda untalǵan kristallardıň qatlamı juqa F folgası tárepte jaylaşıwi kerek (sebebi shiyshe plastinka arqalı alfa bóleksheleri ótpeydi). Eger α bólekshesi ZnS kristallarına kelip túskenn jaǵdayda sol orında jaqtılıq shıǵadı. Bunday qubılıstı scintillyaciya dep ataydı (scintillyatorlar dep α bóleksheleri sıyaqlı ionlawshı nurlanıw kelip túskende jaqtılıq shıgaratuǵın zatlarǵa aytadı). Ádettegidey scintillyatorlarda energiyası 1 MeV bolǵan bóleksheshe kelip túskenn waqıtta payda bolǵan fotonlardıń sanı 50-70 mińǵa jetedi. Bul qubılıs jiltildı túrinde baqlanadı. Tájiriybeni ótkeriwshi adam M mikroskopınıň járdeminde P ekranındagi jiltildilardıń sanın esaplaydı.



2-súwret. Rezerford tájiriybesiniň sxemasi. I arqalı alfa bóleksheleriniň deregi, D arqalı diafragma, F arqalı folga, P arqalı ekran, M arqalı mikroskop belgilengen.

Rezerford tárepinen usınılgan model tiykarında alfa bóleksheleri menen metall folganıň atomlarınıň qalayınsha tásirlesetuǵınlıǵı́n qarap shıǵamız (3-súwret).

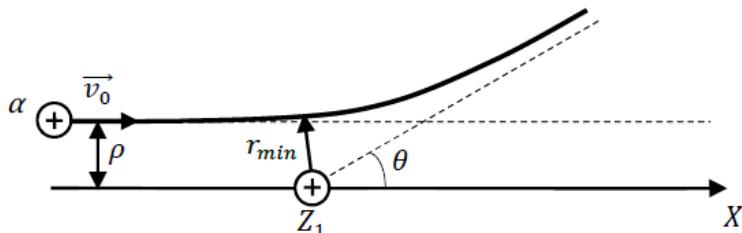
Meyli O noqatında zaryady Z_1 bolǵan shashıratiwshı yadro jaylasqan hám sol yadroǵa kinetikalıq energiyası $\frac{mv_0^2}{2}$ shamasına teň bolǵan alfa bólekshesi jaqınlaytuǵın bolsın.

Tómendegidey boljawlardı qabil etemiz:

1. Tek serpimli soqlıǵısıwlardı esapqa alamız (soqlıǵısıwshı bólekshelerdiń ishki halları ózgermeydi);

Yadronıń massasın α bólekshesiniń massasına salıstırǵanda kóp ese úlken dep esaplaymız (yaǵníy yadronı tınıshlıqta tur dep esaplaymız);

Nıshana yadro hám α bólekshesi arasında iyteriwshi Kulon kúshi tásir etedi (tásirlesiw kúshiniń shaması qashıqlıqtıń kvadratına keri proporsional).



3-súwret. α bólekshesiniń nıshana atomniń yadrosındaǵı shashırawı.

α bóleksheleriniń burılıwları atom yadroları tárepinen tásir etiwge baylanıslı júzege keledi. Bólekshe yadronıń qasınan ushıp ótkende oǵan iyteriwshi Kulon kúshi tásir etedi. Bunday jaǵdayda bóleksheniń traektoriyası giperbolıa tárizli boladı.

Giperbolaniń asimptotaları arasındaǵı mýyeshti θ arqalı belgileymiz. Bul mýyesh bóleksheniń dáslepki baǵıtınan awısızın táriyipleydi hám sonlıqtan onı shashıraw mýyeshi dep ataydı. α bóleksheniń dáslepki traektoriyasınan yadroǵa shekemgi qashıqlıqtı ρ arqalı belgileymiz hám onı nıshanaǵa alıw parametri dep ataydı. Bólekshe yadroǵa qansha jaqın ushıp barsa (yaǵníy ρ shaması kishi bolsa), ol yadrodan sonshama kúshli awısadı (yaǵníy θ mýyeshiniń mánisi úlken boladı).

Koordinataları (φ, r) bolǵan polyar koordinatalar sistemasiń kirgizemiz. Energiyanıń saqlanıw nızamı menen impulstiń saqlanıw nızamı bilayinsha jazıladı:

$$\begin{cases} \frac{m}{2}(\dot{r}^2 + r^2\dot{\varphi}^2) + \frac{Z_1 Z_2}{r} = \frac{mv_0^2}{2}; \\ mr^2\dot{\varphi} = mv_0\rho. \end{cases} \quad (1)$$

Bul ańlatpalarda φ menen r arqalı α bóleksheniń koordinataları, m arqalı olardıń massası, v_0 arqalı alfa bólekshesiniń yadrodan úlken qashıqlıqlardaǵı tezligi, Z_2 arqalı α bólekshesiniń zaryadı (oniń shaması $+2e$ ge teń), Z_1 arqalı yadronıń zaryadı, ρ arqalı nıshanaǵa alıw parametriniń shaması belgilengen.

YAdronıń zaryadı $Z = +eZ_1$ shamasına teń (e arqalı elementar zaryad belgilengen). α bólekshesiniń zaryadı $+2e$ ge teń. Bunnan

$$\rho = \frac{2Ze^2}{mv_0^2} \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} \quad (2)$$

formulasına iye bolamız. Endi α bólekshesiniń yadroǵa qansha ρ qashiqlıqqa shekem jaqınlay alatuǵınlıǵın bahalaymız. Buniń ushın (1)-ańlatpalardaǵı birinshi teńlemeden ϕ shamasın joq etemiz hám $r = r_{min}$ shártı orınlanganǵanda $\dot{r} = 0$ teńliginiń orınlanaǵınlıǵın inabatqa alsaq, onda

$$r_{min} = \frac{2Ze^2}{mv_0^2} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{mv_0^2}{2Ze^2} \right)^2 \rho^2} \right) \quad (3)$$

formulasın alamız. Eger (2)-ańlatpanı (3)-ańlatpaǵa qoysaq

$$r_{min} = \frac{2Ze^2}{mv_0^2} \frac{1 + \sin \frac{\theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} \quad (4)$$

ańlatpasın keltirip shıǵara alamız. Bul ańlatpadan θ múyeshine shashıraǵan α bólekshesiniń yadroǵa qansha aralıqqa jaqın kele alatuǵınlıǵın esaplawǵa boladı. Al eger bólekshe yadroǵa tuwrı kelip urılatuǵın bolsa (bunday soqlıǵısıwdı ádette mańlay soqlıǵısıw dep ataydı hám bul jaǵdayda $\rho = 0$ hám $\theta = 0$), onda minimallıq qashiqlıqtıń shaması ushın

$$r_{min}^{\rho=0} = \frac{4Ze^2}{mv_0^2} \quad (5)$$

ańlatpasın alamız. Bul formulaniń járdeminde biz $r_{min}^{\rho=0}$ shamasınıń mánisın esaplay alamız.

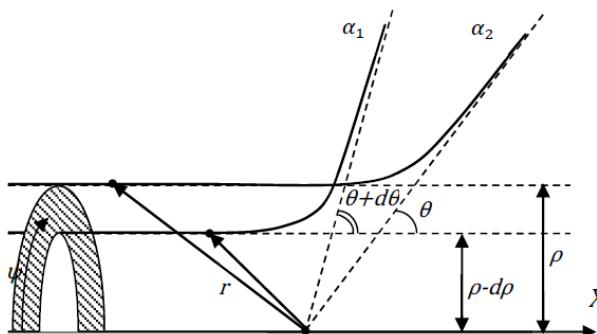
Rezerford tájiriybelerinde paydalanılǵan α bóleksheleriniń energiyası $\frac{mv_0^2}{2} = E \approx 5 \text{ MeV} \approx 8 \cdot 10^{-6} \text{ erg}$ shamasında edi. Altın ushın $Z = 79$ ekenligin itibarǵa alamız. Bunday jaǵdayda $r_{min}^{\rho=0} = 4.55 \cdot 10^{-12} \text{ sm}$ shamasın alamız hám bunnan atom yadrosınıń sızıqlı ólsheminiń (radiusınıń) $4.55 \cdot 10^{-12} \text{ sm}$ den úlken emes ekenligine isenemiz. Sonıń menen birge energiyası úlken bolǵan bólekshelerdiń yadroǵa ádewir jaqınırıaq kele alatuǵınlıǵın ańǵaramız.

(2)-ańlatpa alfa bólekshesiniń shashıraw múyeshi menen nıshanaǵa alıw parametri arasında bir mánisli baylanıstıń bar ekenligin kórsetedi. Biraq bir shashıraw aktin eksperimentte baqlaǵanda (misalı Vilson kamerasında) bul formulaniń durıs ekenligin tekserip kóriwdiń keregi joq. Sebebi formuladaǵı ρ shamasınıń mánisın ólshew múmkın emes. Sonlıqtan (2)-formulani

eksperimentte tekseriw ushın qolaylı bolǵan statistikalıq teoriyanıń tiykarına jatqarılwǵa boladı.

Shashırawdıń differenciallıq kesimi

Alfa bóleksheleriniń aǵımı shashıratiwshi yadroda shashıraqanda ayırım α bóleksheleri hár qıylı nıshanaǵa alıw parametrlerine iye boladı hám hár qıylı mýyeshlerge shashıraydı. 4-súwrette eki bóleksheniń bir yadrodaǵı shashırawı kórsetilgen.



4-súwret. Eki α bóleksheniń yadrodaǵı shashırawı.

Shashıraqan bólekshelerdiń registraciyası $\theta \rightarrow \theta + d\theta$ hám $\psi \rightarrow \psi + d\psi$ oblastları menen sheklengen oblastta ámelge asırılıdı. Bul oblast $d\Omega$ denelik mýyeshiniń elementi bolıp tabıladı (bul elementtiń ishinde shashıratiwshi oraylardan R qashiqlıǵında detektor jaylasqan).

θ mýyeshinde waqt birliginde shashıraqan bólekshelerdiń sanı dJ shamasınıń kelip túskennéne bolǵan elementtiń tıǵızlığı J shamasına qatnası bolǵan

$$d\sigma = \frac{dJ}{J} \quad (6)$$

shaması α bólekshesiniń yadrodaǵı θ mýyeshine $d\Omega$ denelik mýyeshiniń elementi ishinde shashırawdıń itimallığı menen baylanıshı. Bul qatnasti shashırawdıń differenciallıq kesimi dep ataydı hám onıń shamasın eksperimentte anıqlawǵa boladı.

4-súwretten $d\Omega$ denelik mýyeshi boyınsha shashıraqan bóleksheniń saqıynanıń maydanı $\rho d\rho d\psi$ bolǵan elementi arqalı ótetüǵınlığı kórinip tur. Bul element shashıratiwshi oray turǵan kósherden ρ qashiqlıǵında jaylasqan. Bunnan

$$d\sigma = \frac{dJ}{J} = \rho d\rho d\psi \quad (7)$$

ańlatpasına iye bolamız.

(7)-ańlatpa differenciallıq kesim menen nıshanaǵa alıngan qashiqlıq arasındaǵı baylanıstı ornatadı. Ádette kóphilik ádebiyatta qolaylılıq ushın (7)-

ańlatpa ψ ózgeriwshisi boyınsha integrallanǵan halda beriledi (bul mýyeshtiń shaması 0 den 2π ge shekem ózgeredi). Biz dáslep (2)-ańlatpanı kvadratqa kóteremiz. Bunnan keyin onı differenciallap ρ d ρ kóbeymesin alamız hám alıńǵan nátiyjeni (7)-ańlatpaǵa qoyamız. Usınday operaciyalardan keyin

$$d\sigma = \frac{dJ}{J} = \left(\frac{Ze^2}{mv_0^2} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (8)$$

formulasına iye bolamız. Bul ańlatpada $d\Omega = \sin\theta d\theta d\psi = \frac{dS}{R^2}$. Biz S arqalı detektordıń maydanın, al R arqalı detektor menen nishana arasındaǵı qashıqlıq belgilengen.

Rezerford formulası

Eksperimentte α bóleksheleriniń aǵısınıń shashırawi bir orayda emes, al n dana shashıratiwshı oraylarǵa iye nishanada júzege keledi:

$$n = n_0 SL \quad (9)$$

Bul ańlatpada S arqalı nishananıń maydanı, al L arqalı onıń qalińlıǵı, n_0 arqalı shashıratiwshı zattıń kóleminiń bir birligindegi shashıratiwshı oraylardıń sanı belgilengen.

Solay etip eksperimentte

$$dQ = \frac{dJ'}{J} = n_0 SL d\sigma = n d\sigma = n \cdot \left(\frac{Ze^2}{mv_0^2} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (10)$$

túrindegi formulaniń járdeminde anıqlanatuǵın dQ shaması ólshenedi eken. Bul shamanı makroskopiyalyq differenciallıq kesim dep ataydı (al $d\sigma$ shamasın bolsa mikroskopiyalyq differenciallıq kesim dep ataydı).

(8)- yamasa (10)-ańlatpa túrindegi kesim ushın jazılǵan formulalardı paydalaniw qolaylı emes. Sebebi bul formulalarda eksperiment ótkeriwdiń sharayatları menen baylanıslı bolǵan $d\Omega, S, L, n_0$ parametrleri bar. Al $d\Omega$ denelik mýyeshtiń bir birligine tiyisli bolǵan shashirawdiń differenciallıq kesimi bunday qolaysızlıqlarǵa iye emes hám onıń ushın

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{dQ}{n d\Omega} = \frac{dJ'}{n J d\Omega} = \left(\frac{Ze^2}{mv_0^2} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (11)$$

ańlatpasın ańsat keltirip shıǵaramız.

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Ze^2}{mv_0^2} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (12)$$

túrinde jazılǵan ańlatpa fizika iliminde arnawlı atamaǵa iye. Onı **Rezerford formulası** dep ataydı.

Rezerford formulası kóp sanlı tájiriyblerdi, tekseriwlerdi óziniń basınan ótkerdi. Awır yadrolar izertlengende (Z shamasınıń mánisi úlken) eksperimentte alıńǵan maǵlıwmatlar menen teoriyanıń talapları arasında jaqsı sáykeslik orın algan. Biraq α bóleksheleriniń jeńil yadrolardaǵı ($Z \leq 29$) shashırawları izertlengende müyeshlerdiń úlken mánislerinde eksperimentallıq maǵlıwmatlar menen teoriyanıń talapları arasında úlken ayırma baqlanadı hám α bóleksheleriniń anomallıq shashırawı dep atalatuǵın effekt baqlanadı. Bunday anomallıq shashırawdıń mánisi mınadan ibarat: α -bólekshesi jeńil yadrolarda yadrolıq tartılıs kúshleri tásir etetuǵın oblastlarǵa kire aladı. YAdrolıq kúshlerdiń tásir etiw radiusın yadronıń radiusına teń dep esaplap, usınday qashıqlıqlarda α bóleksheleriniń ádettegidey shashırawı anomallıq shashırawǵa ótedi dep juwmaq shıǵara alamız.

Tapsırma

1. Wolfram Mathematica universallıq algebra tilinde jazılǵan rezerfor.nb programmasın qosadı.

2. Z tiń berilgen mánisi ushın R diń $1/E$ shamasınan górezligi grafik túrinde sızıladı.

3. Berilgen E niń mánisinde (shama menen 5 MeV) R diń Z shamasınan górezliginiń grafigi sızıladı.

4. $ctg \frac{\theta}{2}$ shamasınıń ρ dan górezliginiń grafigi alınadı.

Eskertiw: rezerfor.nb programmasınıń qalay jazılǵanlıǵına baylanıslı oqıtıwshınıń kórsetpesi menen joqarıda keltirilgen 1-4 tapsırmalardıń ózgertiliwi múmkin.

Ádebiyat

Э.В.Шпольский. Атомная физика. Том 1. Введение в атомную физику. Издание шестое. Исправленное. Издательство "Наука". Москва. 1974. 575 с. § 25-27.

9-laboratoriyalıq jumıs

Bir ólshemli potencial shuqırdaǵı elektron

Jumistiń maqseti bir ólshemli potencial shuqırdań parametrleriniń elektronniń baylanısqan hali ushın energiyaniń qáddilerine, tolqın funkciyalarına hám elektronlıq tiǵızlıqqqa tásirin úyreniw boyınsha Wolfram Mathematica programmalaw tiliniń járdeminde esaplaw eksperimentlerin ótkiziwden ibarat.

Simmetriyalı potencial shuqırdaǵı baylanısqan hallar.

Biz elektrondı tuwrı mýyeshli (yaǵníy simmetriyalı) bir ólshemli potencial shuqırda jaylasqan dep esaplaymız. Potencial shuqırdań ultanına sáykes keliwshi potencial energiyani U_1 , onıń eń joqarısına sáykes keliwshi potencial energiyani U_2 , elektronniń energiyasın E arqalı belgileymiz. Kópshilik ádebiyatta ápiwayılıq ushın $U_1 = 0$ dep qabil etiledi.

Eger energiyası $U_1 < E < U_2$ sheklerinde ózgeretuǵın bolsa, onda biz izertleytuǵın jaǵdaylardaǵı elektronniń hali baylanısqan hal bolıp tabıladı. Hali tap usınday bolǵan elektron sheksizlikke kete almaydı (1-súwrette kórsetilgen). Ápiwayılıq ushın bizler de potencial shuqırdań ultanındaǵı potencial energiyaniń mánisin $U_1 = 0$ ge teń de alamız. Al $U_2 = U_0$ túrindegi belgilewdi qabil etemiz. Bunday belgilewler alınatuǵın nátiyjelerge hesh qanday tásirin tiygizbeydi.

Másele Shredingerdiń bir ólshemli stacionar teńlemesin sheship, oǵan sáykes keliwshi $\{\psi_n(x)\}$ tolqın funkciyalarınıń jiynaǵın tabıwdan ibarat:

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} [E - U(x)]\psi(x) = 0. \quad (1)$$

Tolqın funkciyası $\psi(x)$ tiń shekliligin, úzliksizligin hám tegis ekenligin $-\infty < x < +\infty$ itnervalında (bir qarap atırǵan jaǵdayda $x = -a$ hám $x = +a$ nıoqatlarında da) támiyinlew (1)-teńlemenıń sheshimleriniń eki tipiniń - jup hám taq tolqın funkciyaları bar sheshimlerdiń bar ekenlige alıp keledi.

Jup tolqın funkciyaları (energiya qáddileriniń taq nomerleri):

$$\psi(x) = \begin{cases} a \cos(k_1 x), & |x| \leq a; \\ Ce^{-k_2 x}, & x \geq a; \\ Ce^{k_2 x}, & x \leq a. \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{Bul formulalarda } k_1 = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}} \text{ hám } k_2 = \sqrt{\frac{2m(U_0 - E)}{\hbar^2}}.$$

Tolqın funkciyasın shuqırdań ishinde hám sırtında tigiw shártı (yaǵníy shegaradaǵı tolqın funkciyalarınıń hám olardıń birinshi tuwindilarınıń mánisleriniń birdey bolıwı) tolqın funkciyasınıń hám onıń birinshi tártipli

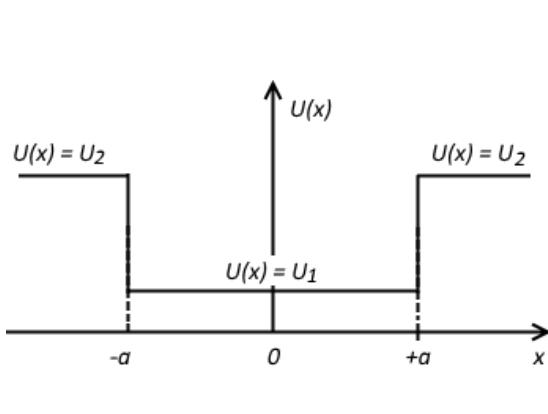
tuwındısınıń úzliksiz ekenliginen, al sol úzliksizliktiń E niń qálegen mánisinde orın alatuǵınlıǵınan emes, al belgili bir E_n shamalarına teń mánislerine iye bolıwınan kelip shıǵadı. Bul ańlatpalarda $n = 1, 3, 5, \dots$ Al jazılǵan shárttıń ózi

$$\operatorname{tg} \xi = \sqrt{\frac{\rho_0^2}{\xi^2} - 1} \quad (3)$$

túrindegi transcendent teńlemeden kelip shıǵadı. Bul ańlatpada

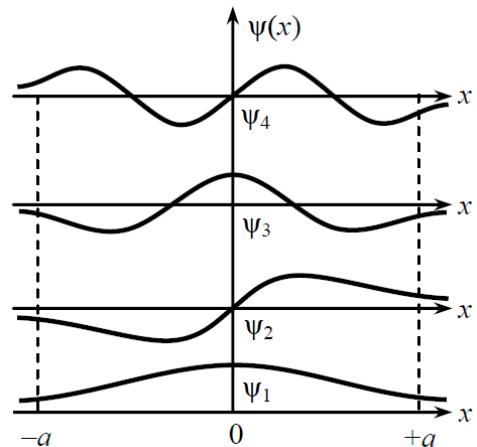
$$\xi = k_1 a = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}} a, \quad \rho_0 = \sqrt{\frac{2mU_0}{\hbar^2}} a \quad (4)$$

belgilewleri paydalanılǵan.



1-súwret.

Potencial shuqırkıń sxeması.



2-súwret.

n sanınıń hár qıylı mánislerine sáykes keletuǵın tolqın funkciyaları.

Taq tolqın funkciyalar (energiya qáddileriniń jup nomerleri):

$$\psi(x) = \begin{cases} a \sin(k_1 x), & |x| \leq a; \\ C e^{-k_2 x}, & x \geq a; \\ C e^{k_2 x}, & x \leq a. \end{cases} \quad (5)$$

Shuqırkıń "ishindegı" hám "sırtındaǵı" tolqın funkciyaları tigiw (bir biri menen tutastırıw) shártı diskret mánislerge iye bolatuǵın E_n energiyaniń $n = 2, 4, 6, \dots$ mánislerinde orınlanaǵdı. Bul talap

$$ctg \xi = \sqrt{\frac{\rho_0^2}{\xi^2} - 1} \quad (6)$$

transcendent teńlemesinen kelip shıǵadı.

Energiyaniń kvantlanıwınıń sebebi mınadan ibarat: potencial shuqırduń diywallarındaǵı tolqın funkciyasınıń óziniń hám onıń birinshi tártipli tuwındısınıń úzliksizligi k_1 menen k_2 shamalarınıń belgili bir mánislerinde ógana júzege keledi. Mısal retinde 2-súwrette bir neshe tolqın funkciyalarınıń grafikleri keltirilgen.

E_n energiyasınıń eń ápiwayı ruqsat etilgen mánisleri sheksız tereń potencial shuqır ushın alındı. Bunday jaǵdayda $U_0 = \infty$ shártı qabil etiledi (yaǵnıy diywallardıń biyikligi sheksız úlken). Bunday jaǵdayda

$$\sqrt{\frac{\rho_0^2}{\xi^2} - 1} \rightarrow \infty$$

hám (3)- hám (6)-transcendent teńlemeler $tg \xi = \infty$ hám $ctg \xi = -\infty$ túrlerine enedi. Olardıń ekewiniń sheshimlerin bir formulaǵa biriktire alamız:

$$\xi = \frac{\pi n}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

Bul ańlatpa óz gezeginde sheksız tereń potencial shuqır ushın energiyaniń kvantlanıw shártın beredi:

$$E_n^\infty = \frac{\pi^2 \hbar^2}{8ma^2} n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

Bunday jaǵdaydataq n ler ($n = 1, 3, 5, \dots$) jup tolqın funkciyalarına, aljupları ($n = 2, 4, 6, \dots$) taq tolqın funkciyalarına sáykes keledi. Bul jaǵdayda $k_2 = 0$ bolǵanlıqtan tolqın funkciyaları tek potencial shuqırduń ishinde ógana nolge teń bolmaydı (potencial shuqırduń diywallarında, sırtlarında tolqın funkciyasınıń mánisleri tek nolge teń). Demek potencial shuqırduń ishindegi bólekshe ushın tolqın funkciyaların bılayınsha jazamız:

$$\psi_n(x) = A \cos\left(\frac{n \pi x}{2a}\right), \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (9)$$

$$\psi_n(x) = A \sin\left(\frac{n \pi x}{2a}\right), \quad n = 2, 4, 6, \dots$$

Asimmetriyalıq potencial shuqır. Biz joqarıda alǵan nátiyjelerdiń bir bólimi asimmetriyalıq shuqırda jaylasqan bóleksheni táriyiplew ushın da jaramlı (3-súwret). Bunday jaǵdayda koordinatası $x = 0$ bolǵan sheksiz biyik diywalda tolqın funkciyası nolge aylanıwı kerek. Sonlıqtan usı noqattaǵı shegaralıq shártlerge taq tolqın funkciyaları ǵana juwap beredi:

$$\psi(x) = \begin{cases} a \sin(k_1 x), & x \leq a; \\ Ce^{-k_2 x}, & x \geq a. \end{cases} \quad (10)$$

Bunday hallarǵa jup nomerge iye energiyalar sáykes keledi (yaǵníy E_2, E_4, E_6, \dots). Asimmetriyalıq qutıda tap usınday hallar payda boladı.

$$\int_0^{\infty} \psi(x) dx = 1$$

normirovka shártiniń túri de azmaz ózgeriske ushıraydı.

Simmetriyalıq shuqırda eń keminde bir baylanısqan hal júzege keledi. Al asimmetriyalıq shuqır bolsa, misali, onıń ρ_0 parametri bazı bir $\rho_0^{min} = \pi/2$ shamasınan kishi hám $(U_0 a^2)_{min} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{8m}$ teńligi orınlantuǵın bolsa bóleksheni uslap tura almaydı. Solay etip bóleksheni baylanısqan halda uslap tura alıwı ushın asimmetriyalıq potencial shuqır sayız yamasa tar bolmawı kerek.

Diywallarınıń biyikligi sheksiz úlken bolǵan asimmetriyalıq potencial shuqırdaǵı bóleksheni úyreniw ámeliy jaqtan úlken áhmiyetke iye. Sebebi bólekshelerdiń úsh ólshemli oraylıq maydandaǵı qozǵalısların izertlew ádette sheksiz tereń potencial shuqırdaǵı bólekshe máselesin sheshiwge alıp kelinedi. Mısal retinde deyteriy haqqındaǵı máseleni kórsetiwge boladı.

Esaplaw eksperimenti

Bir ólshemli potencial shuqırdaǵı bólekshe Shredingerdiń stacionar teńlemesiniń járdeminde táriyiplenedi [(1)-teńleme]. Bul jaǵdayda sırtqı maydanniń potencialı

$$U(x) = \begin{cases} U_0, & |x| \geq a; \\ 0, & |x| \leq a. \end{cases}$$

Másele energiya $\{E\}$ niń mánisleriniń jiynaǵın (E niń mánisleriniń jiynaǵın onıń spektri dep ataymız) hám sol mánislerge sáykes keliwshi tolqın $\{\psi_E(x)\}$ funkciyaların tabıwdan ibarat (figuralıq qawsırmalar olardıń ishinde turǵan shamalardıń jiynaǵın ańǵartadı). Usınıń menen birge joqarıda keltirilgen

shamalar $x \rightarrow \pm\infty$ hám $x \rightarrow \pm a$ noqatlarındań shegaralıq shártlerdi de qanaatlandırıwı kerek.

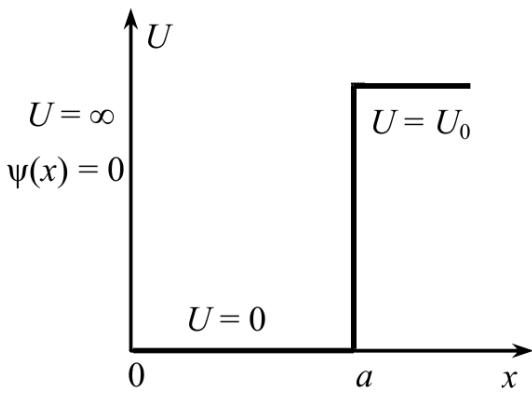
(1)-teńleme 1- hám 3-oblastlarda (4-súwret)

$$\psi'' - \chi^2 \psi = 0, \quad \chi^2 = \frac{2m}{\hbar^2} (U_0 - E), \quad (11)$$

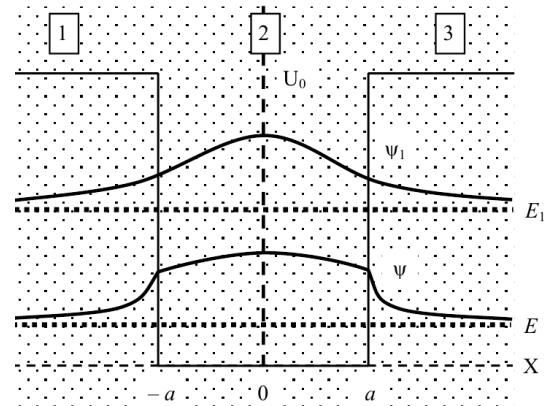
al 2-oblastta

$$\psi'' + \kappa^2 \psi = 0, \quad \kappa^2 = \frac{2m}{\hbar^2} E \quad (12)$$

túrinde jazıldadı.



3-súwret. Asimetriyalıq potencial
shuqır.



4-súwret.

Sáykes funkciyalar shegaralıq shártlerdiń járdeminde anıqlanadı hám olardan energiyalardıń spektri $\{E\}$ anıqlanadı. Bul jaǵdayda shegaralıq shártler mınaday túrge iye:

$x \rightarrow \pm\infty$ sheklerinde $\psi_{1,3} \rightarrow 0$.

Soniń menen birge

$x = -a$ bolǵanda $\psi_1 = \psi_2$ hám $\psi'_1 = \psi'_2$;

$x = a$ bolǵanda $\psi_3 = \psi_2$ hám $\psi'_3 = \psi'_2$.

Tapsırmalar quantum_mechanics.nb programmasında orınlanadı.

Modeldiń táriyipi

Máselede shuqırdıń ishi $|x| < a$ hám sırtı $|x| \geq a$ ushın (11)- hám (12)-teńlemelerdiń sheshimleri tabıladı. Sanlı esaplawlar ushın birliklerdiń atomlıq sisteması qollanıladı hám bul sistemada $m = \hbar = e = 1$ (e arqalı elektronniń zaryadı belgilengen). Bunday jaǵdayda sızıqlı ólshemler Bor

radiusınıń birliklerinde ($r_B = \frac{\hbar^2}{me^2} = 0.5 \cdot 10^{-10}$ m), al enegiya bolsa vodorod atomınıń (ekiletilgen) potencialında ($E_i = \frac{me^4}{\hbar^2} = 27.2$ eV) beriledi.

Eskertiw:

Mathematica programmalaw tilinde (atomlıq birlikler sisteminde) (11)-teńlemeň sheshiw ushın bilayinsha programma jazıladı (shegaralıq shártler jazılmaǵan):

$$\text{DSolve}[\psi''[x] + \chi^2 \psi[x] == 0, \psi[x], x]$$

Bunday teńlemeň sheshimi ushın kompyuter

$$\psi[x] \rightarrow e^{x\chi} C[1] + e^{-x\chi} C[2]$$

funkciyasın beredi. Bul ańlatpada $C[1]$ menen $C[2]$ ler integrallaw turaqlıları bolıp tabıldır. Bul jaǵdayda biz $e^{x\chi}$ hám $e^{-x\chi}$ túrindеги eksponenciallıq funkciyalarǵa iye bolamız.

(12)-teńlemeň sheshiw ushın

$$\text{DSolve}[\psi''[x] + \kappa^2 \psi[x] == 0, \psi[x], x]$$

túrindеги komandanı jazamız. Kompyuter

$$\psi[x] \rightarrow C[1]\text{Cos}[x\kappa] + C[2]\text{Sin}[x\kappa]$$

sheshimin beredi hám biz bul jaǵdayda $\text{Sin}[x\kappa]$ yamasa $\text{Cos}[x\kappa]$ túrindеги taq yamasa jup sheshimlerge iye bolamız.

Biziń wazıypamız shegaralıq shártlerdi paydalaniw arqalı sheshimler ushın haqıyqy funkciyalardı hám energiyaniń mánislerin tabıwdan ibarat.

Eger sheksiz tereń potencial shuqırkı qaraytuǵın bolsaq, onda $\psi(0) = \psi(a) = 0$ shegaralıq shártin ala alamız. Bunday jaǵdayda $C[1]=0$ ekenligine birdey iye bola alamız. Nátiyjede $\psi[x] = C[2]\text{Sin}[x\kappa]$ tolqın funkciyasına iye bolamız. Sonıń menen birge $\psi[a] = C[2]\text{Sin}[a\kappa] = 0$. Bul teńlikten $a\kappa = n\pi$ hám $\kappa = \frac{n\pi}{a}$ ańlatpalarına iye bolamız. Nátiyjede biz izlep atırǵan tolqın funkciyasınıń $\psi[x] = C[2]\text{Sin}\left[\frac{n\pi}{a}x\right]$ túrine iye bolatuǵınlığına isenemiz.

Normirovka shártin

$$\int_0^a |\psi[x]|^2 dx = \int_0^a \left| C[2]\text{Sin}\left[\frac{n\pi}{a}x\right] \right|^2 dx = 1$$

túrindеги integraldı jaza alamız. Mathematica universallıq algebra tili bul integraldı n shamasınıń pútin mánisleri ushın aísat esaplay aladı hám $C[2] =$

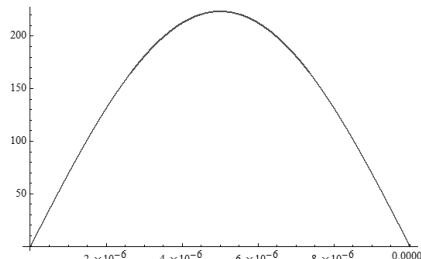
$\sqrt{\frac{2}{a}}$ teńligine iye bolamız. Demek biz

$$\psi[x] = \sqrt{\frac{2}{a}} \text{Sin}\left[\frac{n\pi}{a}x\right]$$

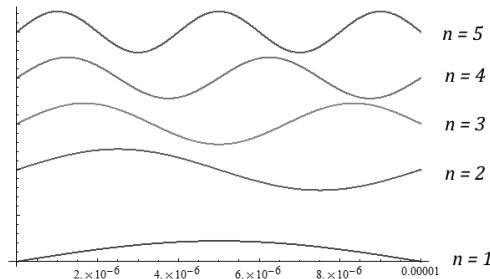
túrindеги tolqın funkciyalarına iye boladı ekenbiz. Bul funkciyalardıń grafiklerin Plot komandasınıń járdeminde düzemiz:

$$a = 10^{-5}; n = 1; \text{Plot} \left[\sqrt{\frac{2}{a}} \sin \left[\frac{n\pi}{a} x \right], \{x, 0, a\} \right]$$

Biz bul programmanıń járdeminde $n = 1$ bolǵan jaǵday ushın ǵana grafik ala alamız. Grafik



túrine iye bolamız. Biz n niń basqa da mánisleri ushın grafiklerdi alıw hám grafiklerdiń bir biriniń ústin baspawı ushın programmanı jetilistiriwimiz kerek. Bunday jaǵdayda mınaday súwretlerdi alamız:



Endi (12)-teńlemedegi $\kappa^2 = \frac{2m}{\hbar^2} E$ teńligine itibar beremiz. $a \kappa = n \pi$ ańlatpasınan $\frac{n^2 \pi^2}{a^2} = \frac{2m}{\hbar^2} E$ ańlatpasına, al bul ańlatpadan

$$\frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2m a^2} = E_n$$

formulasın alamız.

Esaplawlar júrgizemiz:

$a = 10^{-8}$ sm hám $m = 9.1 \cdot 10^{-28}$ gramm bolǵan jaǵdayda (ólshemleri atomniń ólshemindey potencial shuqırdaǵı elektron)

$$E_1 = 33.8 \text{ eV};$$

$$E_2 = 135.4 \text{ eV}.$$

$a = 10^{-13}$ sm hám $m = 1.6 \cdot 10^{-24}$ gramm (yadrodaǵı proton yamasa neytron, bul másele deytron haqqındaǵı másele bolıp tabıladı)

$$E_1 = 1.84 \cdot 10^8 \text{ eV};$$

$$E_2 = 7.36 \cdot 10^8 \text{ eV}.$$

Shama menen 8 eV yadrodaǵı baylanıs energiyasınıń mánisine teń. Sonlıqtan energiyası E_2 bolǵan deytronniń qozǵan halınıń bolıwı múmkın emes degen juwmaq shıǵaramız.

Programmanıń taryipy

Programma Wolfram firması tárepinen dóretilgen Mathematica programmalaw tilinde jazılǵan bolıp, quantum_mechanics.nb atamasına iye.

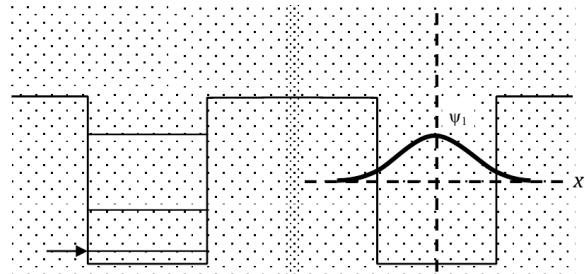
Orınlaw ushın oqtıwshı programmanıń eki túrli variantın usınıwi mümkin. Birinshi variantta potencial shuqırkıń parametrleri beriledi:

1. Tereńligi U_0 ;
2. Keńligi $2a$ yamasa a .

Usınıń menen birge bóleksheniń energiyası bolǵan E shamasınıń mánisi ózgertiledi. Programma E niń hár bir mánisi ushın (11)- hám (12)-teńlemelerdiń shuqırkıń ishindegi hám sırtındaǵı sheshimlerin tabadı. Sheshimler shuqırkıń shegarasında (diyalindá) bir birine teń bolıwı kerek (funkcikalardı shegarada tigiw shártı).

Alınıwi kerek bolǵan grafikler 4-súwrette sxema túrinde berilgen.

5-súwret. Shep táreptegi súwrettegi gorizont baǵıtındaǵı sıziqlar energiyaniń menshikli mánislerin $\{E_n\}$ kórsetedi. Shep tárepte oń táreptegi strelka menen belgilengen energiyaniń mánisi ushın tolqın funkciası súwretlengen.



Ekinshi variantta (5-súwret) student tárepinen berilgen shuqırkıń parametrleri boyınsha programma energiyaniń menshikli mánisleriniń spektri bolǵan $\{E_n\}$ shamaların tabadı hám berilgen shuqırdaǵı bóleksheniń mümkin bolǵan halların tabadı.

Ádebiyat

1. Gerd Baumann. Mathematica for Theoretical Physics. Electrodynamics, Quantum Mechanics, General Relativity and Fractals. Second Edition. Springer. 2005. 942 p.
2. Robert L. Zimmerman, Fredrick I. Onless. Mathematica for Physics. Second Edition. Addison Wesley. 2002. 645 p.
3. Э.В.Шпольский. Атомная физика. Том 1. Введение в атомную физику. Издание шестое, исправленное. Издательство "Наука". Москва, 1974. 575 с.
4. Л.К.Мартинсон, Е.В.Смирнов. Квантовая физика. Издательство МГТУ имени Н.Э.Баумана. Москва. 2006. 528 с.

Paydalanılgan fundamentallıq ádebiyatlar dizimi

1. Francis A. Jenkins, Harvey E. Wite. Fundamentals of Optics. Third Edition. New York, Toronto, London. McGRAW-HELL BOOK Company. 1957.
<https://archive.org/details/FundamentalsOfOptics>
2. Daniel A. Steck. Classical and Modern Optics.
<http://atomoptics-nas.uoregon.edu/~dsteck/teaching/optics/optics-notes.pdf>
3. Benjamin Crowell. Optics.
https://archive.org/download/Optics_Benjamin_Crowell/Optics_Benjamin_Crowell.pdf
4. Christoph Schiller. Motion Mountain. The Adventure of Physics – Vol. III. Light, Charges and Brains. Edition 28.2, available as free pdf with films at
www.motionmountain.net.
<http://www.motionmountain.net/motionmountain-volume3.pdf>
5. Justin Peatross, Michael Ware. Physics of Light and Optics. 2011 c Edition. November. 14, 2012.
https://archive.org/download/Justin_Peatross_Michael_Ware__Physics_of_Light_and_Optics/BYUOpticsBook_2011c.pdf
6. G.S.Landsberg. Optika. Ushebnoe posobie. Dlya vuzov. 6-e izdanie. Moskva. FIZMATLIT. 2003. 848 s.
7. D.V.Sivuxin. Obshiy kurs fiziki. Usheb. posobie: Dlya vuzov. V 5 t. T. IV. Optika. — 3-e izd., stereot. — M.: FIZMATLIT, 2005. - 792 s.
8. Fizisheskiy praktikum. Elektrishestvo i optika. Pod redakciei V.I.Iveronovoy. Izdanie vtoroe, pererabotannoe. Izdatelstvo "Nauka". Moskva. 1968. 816 s.