

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

Berdaq atındaǵı Qaraqalpaq mámleketlik universiteti

**OPTIKA HÁM ATOMLÍQ FIZIKA BOYÍNSHA
LABORATORIYALÍQ JUMÍSLAR**

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

Internettegi adresi

http://www.abdikamalov.narod.ru/abdikamalov/optica_atom_lat.pdf

Nókis – 2016

Oqıw-metodikalıq qollanba ulıwma fizika kursınıń optika hám atomlıq fizika bólimlerindeki fizikalıq praktikumda orınlanatuǵın laboratoriyalıq jumıslardıń bayanlamalarınan hám bul jumıslardı orınlaw ushın zárúrli bolǵan metodikalıq kórsetpelerden ibarat.

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

Oqıw-metodikalıq qollanba universitetiń 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 kandidatu docent U.Nasırov.

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

Mazmunı

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

6-laboratoriyalıq jumıs. Difrakciyalıq pánjereniń járdeminde jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵın anıqlaw.	50
7-laboratoriyalıq jumıs. Nyuton saqıynaları járdeminde jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵın ólshew.	56
8-laboratoriyalıq jumıs. Frenel biprizmasınıń járdeminde jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵın anıqlaw.	66
9-laboratoriyalıq jumıs. Plastinkanıń qalınlıǵın hám linzanıń iymeklik radiusın sferometrdiń járdeminde ólshew.	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 tábiyiy 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 bólim. Atom fizikası.	118
1-laboratoriyalıq jumıs. Fotonlar ushın anıqsızlıq qatnasları.	118
2-laboratoriyalıq jumıs. Vodorodtıń spektrin úyreniw.	122
3-laboratoriyalıq jumıs. Elektronnıń salıstırmalı zaryadın anıqlaw.	127
4-laboratoriyalıq jumıs. Plank turaqlısın anıqlaw.	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 arasındagı kontaktlıq potenciallar ayırmasın ólshew.	152
8-laboratoriyalıq jumıs. Rezerford tájiriybesi.	164
9-laboratoriyalıq jumıs. Bir ólshemli potencial shuqırdaǵı elektron.	172
Paydalanılǵan ádebiyatlar dizimi.	180

I bólim. Optika

1-laboratoriyalıq jumıs

Juqa linzaniń fokushlıq aralıǵın anıqlaw

Jumıstıń maqseti payda etken súwretleri boyınsha juqa linzalardıń bas fokus aralıǵın anıqlawdan ibarat.

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

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

Optikada obekttiń optikalıq súwreti túsiniǵı 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 tarqalıwı túrinde payda etedi. Linzalar bolsa eń ápiwayı optikalıq sistemalar bolıp tabıladı.

Ámelde zárúrligine sáykes súwrettiń masshtabların jiyi túrde ózǵertedi hám onı qanday da bir betke proekciyalaydı.

Súwrettiń obekt penen sáykes keliwi áhmiyetke iye. Bunday jaǵdayda obekttiń hár bir noqatı súwrettiń sol noqatqa juwıq túrde 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 fotomatricada registraciyalawdıń nátiyjesinde alıwǵa boladı.

Haqıyqıy súwretler obektiv (mısalı kinoproektordıń fotoapparatıń obektivi) yamasa bir jıynawshı linzaniń járdeminde payda etiledi. Kópshilik jaǵdaylarda haqıyqıy súwretlerdi jıynawshı 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 nurlardı qarama-qarsı tárepke qaray dawam etsek olar bir noqatta kesilisedi. Usınday noqatlardıń jıynaǵı jormal súwretti payda etedi. Bunday súwretti ekranda yamasa jaqtılıqtı sezgish bette baqlaw múmkin emes. Biraq onday súwretti basqa optikalıq sistemaniń (mısalı jıynawshı linzaniń) járdeminde haqıyqıy súwretke aylandırıw (túrlendiriw) múmkin. Jormal súwretlerdi binokl, mikroskop, shashıratıwshı yamasa jıynawshı linza (lupa), tegis ayna sıyaqlı optikalıq sistemalardıń járdeminde payda etiw múmkin.

Kópshilik jaǵdaylarda linzalar sferalıq betler menen shegaralanǵan móldir bir tekli zat bolıp tabıladı. Linzalardı soǵıw ushın ádette taza optikalıq materiallar paydalanıladı (shiysheler, optikalıq shiysheler, kristallar, optikalıq jaqtan móldir plastmassalar, basqa da materiallar). Qalınlıǵı onı eki tárepten shegaralap turǵan sferalıq betlerdiń radiuslarınan ádewir kishi bolǵan jaǵdayda linzanı juqa linza dep ataydı. Laboratoriyalıq jumıslardı orınlaǵanda ádette juqa linzalardı paydalanadı. Bunday jaǵdaylarda jaqtılıqtıń linzanıń materialındaǵı sınıwı qubılısın úyrengende linzanıń qalınlıǵın esapqa alıw talap etilmeydi.

1-súwrette dóńes linzanıń fotosúwretleri keltirilgen.

2-súwrette dóńes (positive lens, bunday linzalardı jıynawshı 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 baǵıtta tarqalatuǵın jaqtılıq nurlarınıń jolları kórsetilgen. Bul súwrette d arqalı linzanıń qalınlıǵı, f arqalı fokuslıq aralıǵı, al R_1 menen R_2 arqalı linzanı payda etiwshi sferalıq betlerdiń radiusları belgilengen. Sonıń menen birge linzanıń bas optikalıq kósherine parallel bolǵan jaqtılıq dástesiniń linzanıń fokusında jıynaytuǵınlıǵı kórinip tur.

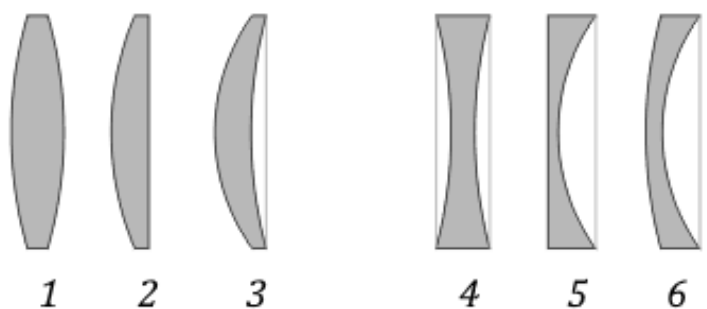
Radiusları R_1 menen R_2 shamalarına teń sferalardıń orayların tutastratuǵın tuwrını linzanıń **bas optikalıq kósheri** dep ataydı. Optikalıq sistemada bas optikalıq kósher **simmetriya kósheri** bolıp tabıladı.

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

Eskertiw: jaqtılıqtıń tegis emes bettegi shashıraw qubılısı menen linzanıń shashıratıwı arasında úlken ayırmanıń bir ekenligin ańǵarıwımız kerek.



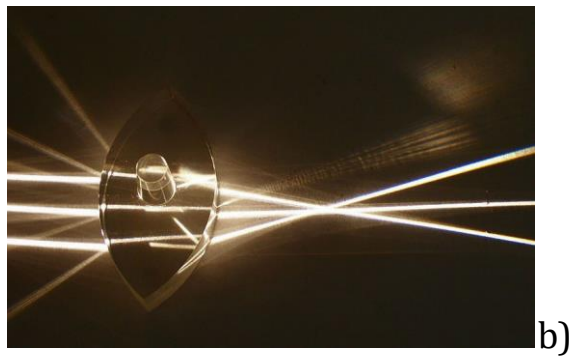
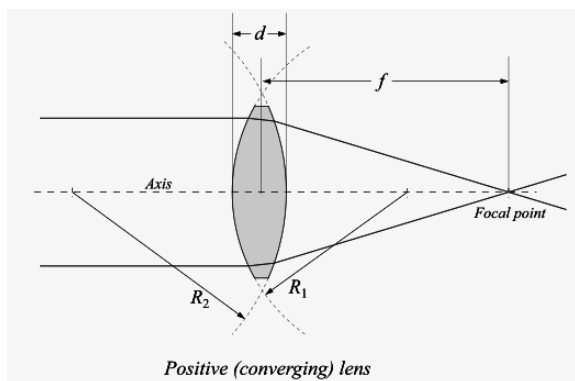
1-súwret. Qos dóńes linza.



2-súwret. Linzalardıń túrleri.

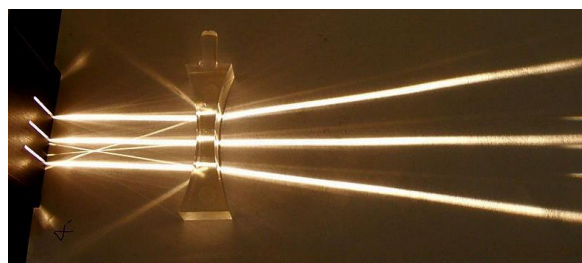
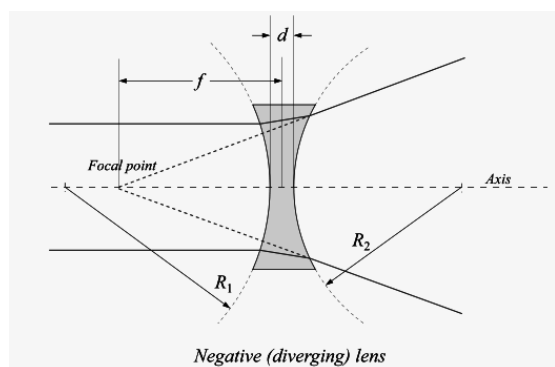
Jıynawshı linzalar: 1 – qos dóńes, 2 – tegis-dóńes, 3 – oyıs-dóńes.

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



a)

3-súwret. Dónes linza hám ondaǵı bas optikalıq kósherge parallel bolǵan jaqtılıq dástesiniń jolı. b). Dónes linzaniń jaqtılıqtı jıynaytuǵınlıǵın kórsetetuǵın fotosúwret.



b).

a)

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

Biz joqarıda 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) qashıqlıq;

d_2 – payda bolǵan súwret penen linzaǵa shekemgi qashıqlıq;

f - linzaniń fokuslıq aralıǵı (qashıqlıǵı).

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

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

Linzaniń fokus aralıǵı onı qorshap turǵan sferalıq betlerdiń radiuslarınan, linza soǵılǵan materialdıń hám qorshap turǵan ortalıqtıń sınıw kórsetkishlerinen ǵárezli hám

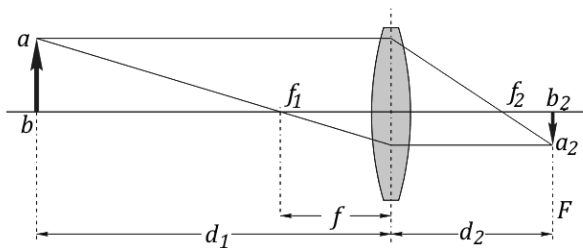
$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n'} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad (2)$$

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 sınırıw kórsetkishleri belgilengen.

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

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

Linzaniń formulasın kórgizbeli túrde túsindiretuǵın sxema 5-súwrette keltirilgen.



5-súwret.
Linzaniń formulasın kórgizbeli
túrde túsindiriw ushın arnalǵan
sxema.

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

- Obektten shıqqan hám linzaniń bas optikalıq kósherine parallel tarqalatuǵın nurdın linzaniń fokusu arqalı ótetuǵınlıǵı;
- Obektten shıqqan hám linzaniń orayı arqalı ótetuǵın nurdın linza arqalı tuwrı ótetuǵınlıǵı.

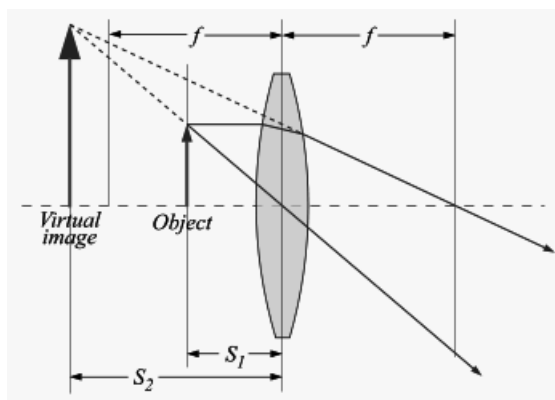
Demek linzadan d_1 qashıqlıqta turǵan ab strelkasınıń súwreti linzaniń ekinshi tárepinde tónkerilgen $a_1 b_1$ strelkası túrinde payda boladı eken. Bunday súwretti ádette haqıyqiy súwret dep ataydı. Biraq obekt penen linza arasındıǵı qashıqlıqlardıń hár qıylı bolıwına baylanıslı hár qıylı nátiyjelerge iye bolamız. Usı jaǵdayǵa baylanıslı dara jaǵdaylardı qarap ótemiz.

Birinshi jaǵday: Súwreti payda etiletuǵın obekt penen linza arasındıǵı qashıqlıq d_1 linzaniń fokushıq qashıqlıǵı f ten kishi (bul jaǵday ádette lupanı paydalanǵanda orın aladı hám obektin úlkeytilgen súwreti kórinedi). Bunday jaǵdayda súwret obekt penen linzaniń aralıǵında payda boladı hám bunday súwretti **jormal súwret (virtual image)** dep ataydı (6-súwret).

Eskertiwler:

- Súwretin haqıyqiy yamasa jormal bolıwı haqqında maǵlıwmattı linzaniń formulasınan alıwǵa boladı [(1)-formula]. Eger f penen d_1 shamalarınıń oń mánislerinde teris mánisli d_2 qashıqlıǵı alınatuǵın bolsa, onda payda bolǵan

súwretti jormal súwret dep ataymız (obektin súwretlinzaniń obekt tárepinde payda boladı).



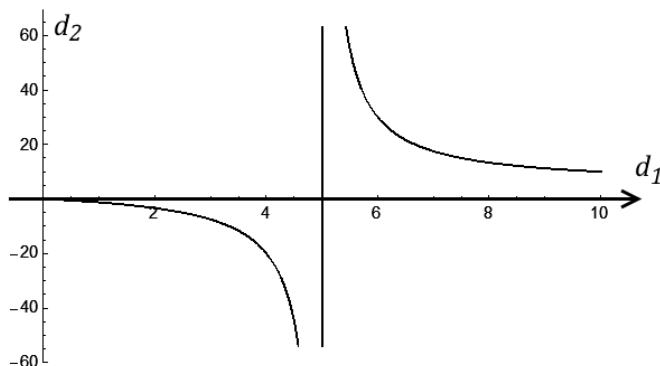
6-súwret.

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

b). Eger $d_1 = f$ shártı orınlanatuǵın bolsa, onda $1/d_2 = 0$ teńligine hám soǵan sáykes $d_1 = \infty$ ańlatpasına iye bolamız. Demek, $d_1 = f$ teńligi orınlanǵanda linza súwretti payda etpeydi (súwretin ornında jaqtılı daq payda boladı). Haqıyqatında da linzaniń formulasınan d_1 hám d_2 shamaları arasındaqı 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 umılatuǵınlıǵın ańsat kóriwge boladı (7-súwret).

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

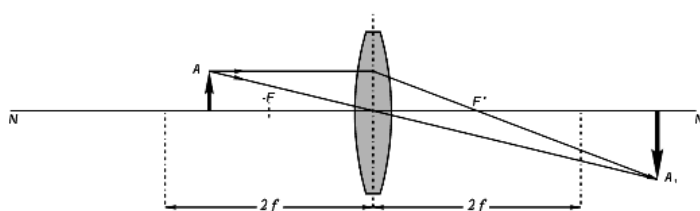
funkciyasınıń grafigi. Bul grafikte $f = 5$ sm. Haqıyqatında da $d_1 \rightarrow 5$ sm sheginde $d_2 \rightarrow \infty$ sheginiń orın alatuǵınlıǵı kórinip tur.



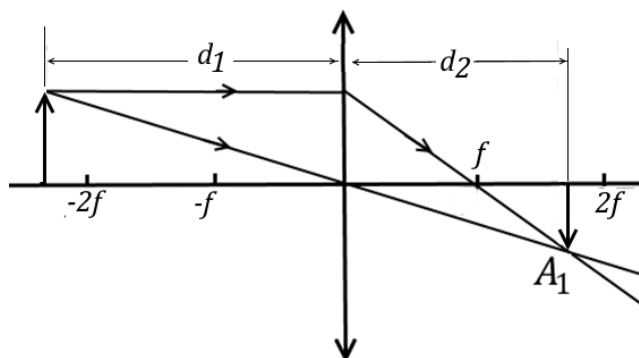
2. Eger obekt linzadan $f < d_1 < 2f$ qashıqlıqta jaylasqan jaǵdayda AB strelkasınıń súwretlinzaniń ekinshi tárepinde tónkerilgen hám úlkeygen túrde payda boladı (A_1B_1 strelkası). Bunday súwretti haqıyqıy súwret dep ataymız. Linzaniń formulası boyınsha $d_2 > 2f$ teńsizligin alamız (8-súwret).

8-súwret.

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



3. Eger obekt linzadan $d_1 > 2f$ qashıqlıqta jaylasqan bolsa obektin tónkerilgen hám haqıyqıy súwreti payda boladı. Ol linzadan f shamasınan úlken, biraq $2f$ shamasınan kishi qashıqlıqta jaylasadı (9-súwret).



9-súwret
 $d < 2f$ bolğan jaǵdaydaǵı
súwretin payda bolıw sxeması

4. Oyıs (shashıratıwshı) linza haqıyqıy súwretleniwdi payda etpeydi. Bunday jaǵdayda payda bolğan súwretti jormal súwret dep ataymız.

Linzalardıń fokus aralıǵın ólshew ushın arnalǵan eń ápiwayı dúzilis súwreti alınatuǵın obekt xızmetin atqarıwshı metall strelkadan, jaqtılıq dereginen, optikalıq otırǵısh boyınsha jıljıytuǵın eki linzadan hám jıljıtuw múmkin bolğan ekrannan turadı.

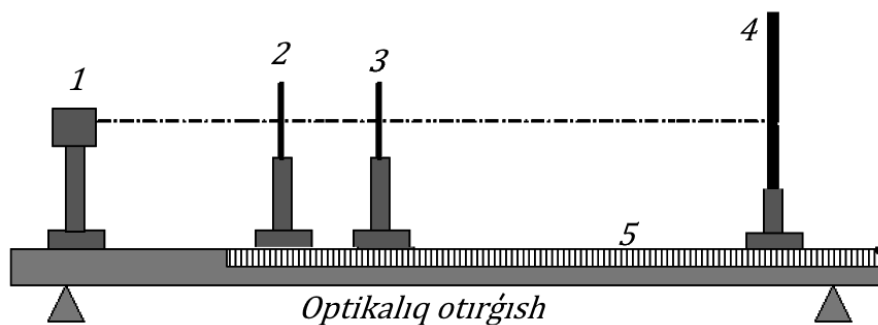
Tájiriybelerdi ótkeriw ushın arnalǵan eksperimentallıq dúzilistiń sxeması 10-súwrette berilgen.

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

Ólshewler

Kerekli bolğan ásbap hám úskeneler: santimetrlerge bólingen bólimleri bar optikalıq otırǵısh, dene (obekt, bul jumısta strelka), jaqtılıq deregi, oyıs hám dónes linzalar, jıljıytuǵın ekran, kóriw trubası, santimetrli sızǵısh.

Dónes linzalıń bas fokus aralıǵı tórt túrli usıldıń járdeminde anıqlanadı.



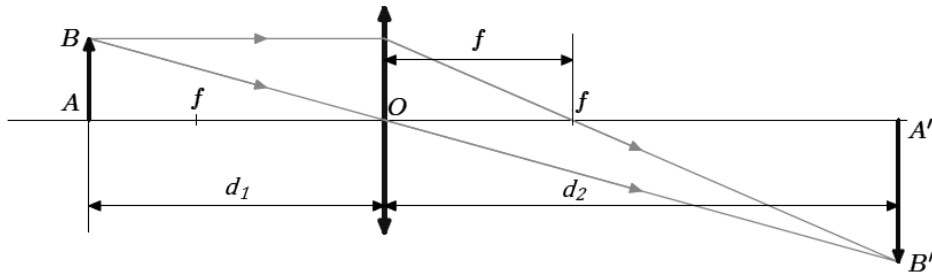
10-súwret. Tájiriybelerdi ótkeriw ushın arnalǵan eksperimentallıq dúzilistiń sxeması. 1 – ózinen jaqtılıq shıǵaratuǵın obekt, 2- hám 3- linzalar, 4 – súwretti baqlaw ushın arnalǵan ekran, 5 - sızǵısh.

1-shınıǵıw. Jıynawshı linzanıń fokus aralıǵın ólshew

1-usıl. Dóńes linzanıń bas fokus aralıǵın d_1 hám d_2 shamaların ólshewdiń nátiyjeleri boyınsha anıqlaw

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

1. Elektr jaqtırtqıshın jaǵıńız.
2. Optikalıq otırǵıshqa dóńes linzanı hám ekrandı jaylastırıńız.
3. Linzanı yamasa ekrandı jılıtıp deneniń (obekttiń) dál súwretin alıńız.



11-súwret. 1-tapsırmanı orınlaw ushın arnalǵan dúzilistiń optikalıq sxeması.

Linza menen obekt arasındadı d_1 qashıqlıqtıń keminde 3 túrli mánisleri ushın anıq súwretler alınadı hám sáykes d_2 shamaları ólshenedi. Linzanıń formulası boyınsha berilgen linza ushın fokuslıq qashıqlıqtıń shaması esaplanadı. Ólshewler sanı 3 ten kem bolmawı kerek hám alınǵan nátiyjeler boyınsha 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 aralıǵın obekttiń úlkenligi menen onıń súwretiniń úlkenligi hám súwret penen obekt arasındaǵı qashıqlıqtıń shaması boyınsha anıqlaw

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

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

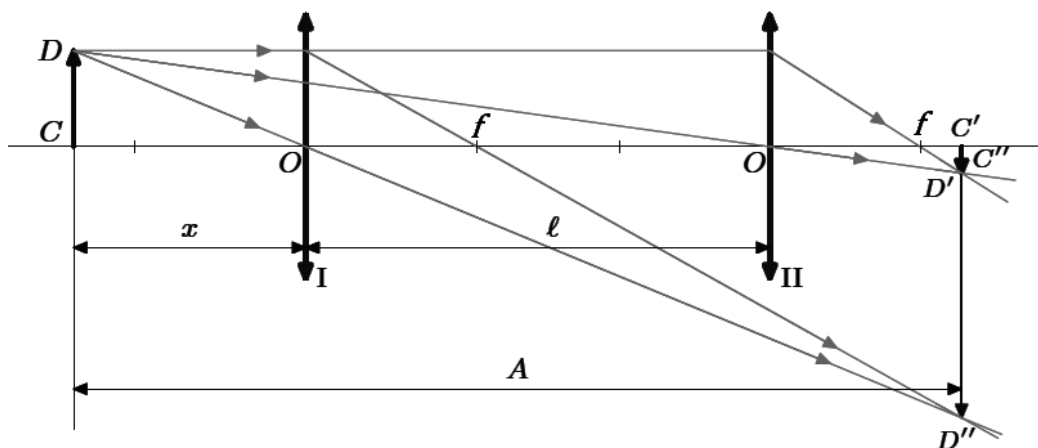
Bul ańlatpanıń járdeminde b shamasın anıqlap (bul shama obekt penen linza arasındaǵı qashıqlıq bolıp tabıladı) hám onı linzaniń formulasına qoysaq, onda f shamasın joqarıdaǵı úsh shama arqalı anıqlay alamız:

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

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

3-usıl. Linzanı jılastırıwdıń shaması boyınsha fokus aralıǵın ólshew (Bessel usılı)

Eger jıynawshı linza ushın obekt penen ekran arasındaǵı qashıqlıq L tórt eselengen fokuslıq aralıqtan úlken bolsa (yaǵnıy $L > 4f$ shárti orınlanatuǵın bolsa), onda ekranda obekttiń anıq súwreti payda bolatuǵın linzanıń keminde eki ornı tabıladı (10-súwret). Bir jaǵdayda obekttiń úlkeytilgen súwreti, al ekinshi jaǵdayda obekttiń kishireytilgen anıq súwreti payda boladı.



12-súwret. Linzanı jılastırıwdıń shaması boyınsha

fokus aralıǵın ólshew ushın arnalǵan optikalıq sxema.

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

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

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

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 arasındadıǵı qashıqlıqtı $A > 4f$ shárti orınlanatuǵınday etip saylap alamız (f tiń mánisin 2-usıl boyınsha orınlanǵan jumıstan alıw kerek). Dáslep obektin ekrandadıǵı úlkeytilgen súwretin payda etemiz. Linzanıń usı awhalın belgilep alıp onı ekran tárepke jılistıramız hám obektin anıq bolǵan kishi súwretin payda etemiz. Bul operaciya ℓ shamasınıń mánisin anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Turaqlı A nıń mánisinde tájiriybeni keminde úsh ret qaytalańız. Nátiyjelerdi tómendegi 2-sanlı kestege túsirińız:

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

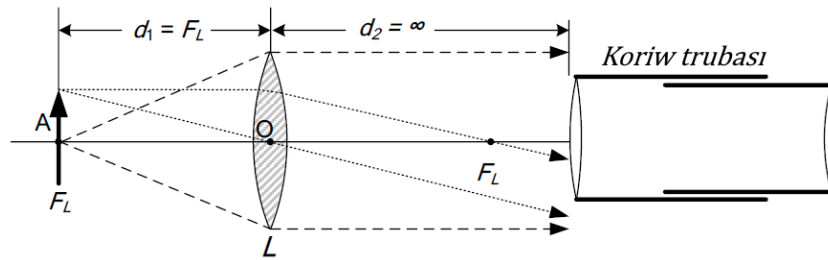
4-usıl. Kóriw trubası járdeminde dóńes linzanıń fokus aralıǵın ólshew

Tómendegidey tapsırmalardı orınlaw talap etiledi:

a). 13-súwrette keltirilgen optikalıq sxemanı jıynap hám yustirovkalap, kóriw trubasın sheksizlikke tuwrılaw kerek ($d_2 = \infty$).

b). Linzanı jılıtıw arqalı onı optikalıq trubada obektin súwreti anıq kórinetuǵınday jaǵdayǵa qoyıw kerek.

c). Obekt penen linza arasındadıǵı qashıqlıqtıń shaması ólshenedi. Bul shama linzanıń bas fokuslıq aralıǵı bolıp tabıladı. Alınǵan maǵlıwmatlar tómendegi 3-sanlı kestege túsiriledi.



13-súwret. Jıynawshı linzaniń fokus aralıǵın kóriw trubasınıń járdeminde anıqlawǵa múmkinshilik beretuǵın optikalıq sxema.

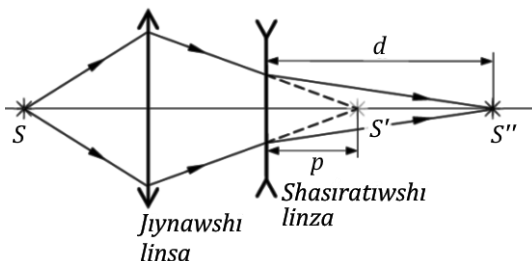
2-keste.

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

2-shınıǵıw. Shashıratıwshı linzaniń fokus aralıǵın ólshew

Shashıratıwshı linzalar tek jormal súwretlerdi beredi. Olardı ekranda alıwǵa bolmaydı hám sonlıqtan linza menen súwret arasındadı qashıqlıqtı ólshewdiń múmkinshiligi bolmaydı. Usıǵan baylanıslı shashıratıwshı linzaniń fokuslıq qashıqlıǵın ekinshi jıynawshı linzani paydalanıp ólshewge boladı.

Jıynawshı linzaniń járdeminde ekranda jaqtılıq dereǵiniń S' haqıyqıy súwretin alıp bolǵannan keyin jıynawshı linza menen ekran aralıǵına shashıratıwshı linzani jaylastırıwǵa boladı. Bunday jaǵdayda haqıyqıy súwret jılıyadı (14-súwret). Súwrettiń jańa ornın (onı S'' arqalı belgileymiz) ekrandı jılistırıw arqalı tabıwǵa boladı.



14-súwret.

Shashıratıwshı linzaniń fokus aralıǵın tabıw ushın dúzilistiń optikalıq sxeması.

Jaqtılıq nurlarınıń qaytımlıǵın paydalanıp jaqtılıq nurların S'' noqatınan shıǵadı, al S' noqatında S'' noqatınıń súwreti (jormal súwret) alınadı dep qabıl etiwge boladı.

S'' hám S' noqatlarınan shashıratıwshı linzaǵa shekemgi qashıqlıqlardı 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 aralıǵı ushın

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

formulasına iye bolamız. Álbette, shashıratıwshı linzaniń fokuslıq aralıǵı teris san bolıp shıǵadı.

Jumislardı orınlaw hám ólshewlerdiń nátiyjelerin qayta islew

1. Jıynawshı linzaniń járdeminde jaqtılıq dereginiń haqıyqıy súwretin alıńız.
2. Jıynawshı linza menen ekranniń aralıǵına shashıratıwshı linzanı ornalastırıńız hám ekran menen shashıratıwshı linza arasındaǵı qashıqlıq p nı ólsheńiz.
3. Ekrandı shashıratıwshı linzadan qashıqlatıp ekranda jaqtılıq dereginiń jáne anıq súwretin alıńız. Ekran menen shashıratıwshı linza arasındaǵı qashıqlıq d nı ólsheńiz.
4. Keyingi $f = \frac{p d}{p - d}$ formulasınıń járdeminde shashıratıwshı linzaniń fokuslıq aralıǵı f tiń mánisin esaplańız.
5. Ólshewler menen esaplawlardıń nátiyjelerin 4-kestegе túsirińiz:

4-keste

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

6. Jaqtılıqtıń deregi menen jıynawshı linzaǵa shekemgi qashıqlıqtı ózgertińiz.
7. 2-4 punktlerde kórsetilgen jumislardı 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, kólemli obektıń súwreti degenimiz ne? Haqıyqıy hám jormal súwretler arasında qanday ayırma bar?
4. Haqıyqıy súwretti qalay kóre alamız? Jormal súwretti she?
5. Shashıratıwshı linzanı suwǵa batırǵan jaǵdayda onıń fokus aralıǵı ózgereme?
6. Jaqtı noqat shashıratıwshı linzaniń fokusında tur. Usı noqattıń súwreti linzadan qanday aralıqta payda boladı? Nurlardıń jolın sızıńız.
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. <http://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-arphh81ii9w.pdf

<http://rgo.st/download/48302746/b7ce903fa62699dcfb60178ab548e0b7e0081db7/phys106.zip>

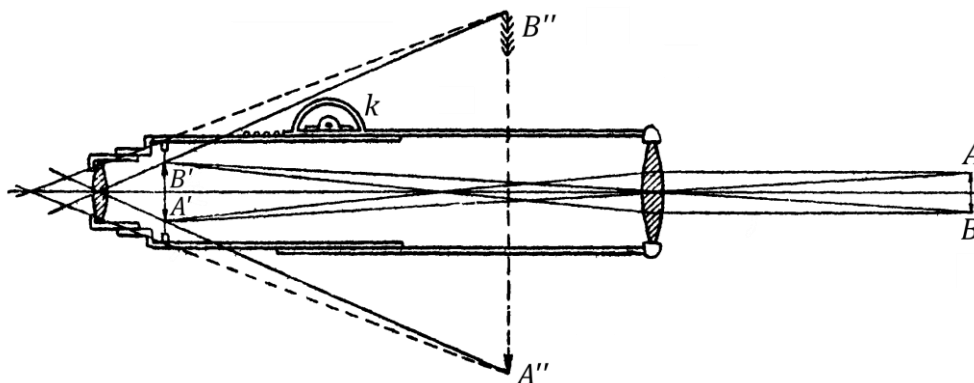
2-laboratoriyalıq jumıs

Optikalıq truba menen mikroskoptıń úlkeytiwin anıqlaw

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

Kirisiw

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

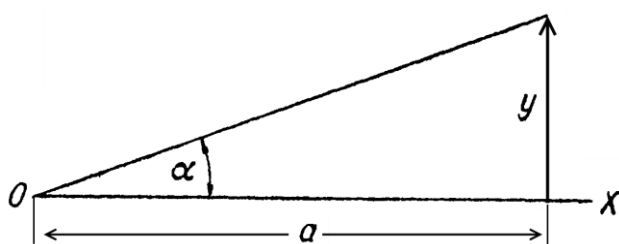


1-súwret. Obektivtiń AB predmetiniń haqıyqıy (biraq keri) A'B' súwretin payda etetuǵınlıǵın túsindiretuǵın sxema.

Bul súwret óz gezeginde ekinshi linzaǵa (bunday linzanı okulyar dep ataydı) qatnası boyınsha obekt bolıp tabıladı. Okulyar lupa sıpatında xızmet etip A'B' súwretine salıstırǵanda hám baqlawshı ushın anıq kóretuǵın qashıqlıqta A''B'' jormal súwretti payda etedi.

Júdá mayda obektlerdi kóriw ushın kishi qashıqlıqlarǵa mólsherlengen mikroskoptıń obektivi qısqa fokuslıq aralıqqa iye boladı. Baqlanatuǵın obekt obektivtiń aldında fokuslıq aralıqtan úlkenirek qashıqlıqta jaylastırıladı. Usınıń nátiyjesinde A'B' súwreti ádewir úlkeygen boladı. Al salıstırmalı uzaq qashıqlıqlardaǵı obektlerdi baqlaw ushın mólsherlengen mikroskoptıń obektiviniń fokuslıq aralıǵı úlken boladı (ádette obektivtiń fokuslıq aralıǵınıń eki eselengen mánisinen de úlken). Sonlıqtan onıń beretuǵın A'B' súwreti kishirek boladı.

Optikalıq sistema beretuǵın úlkeytiwdiń xarakteristikası ushın kóriniw múyeshi túsiniǵı qollanıladı.



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

O noqatında jaylasqan kóz OX kósherine perpendikulyar bolǵan y obektin kórgende kózden obektiniń bası menen ushına qaray baǵıtlanǵan tuwrılar arasındǵı payda bolatuǵın múyeshi kóriw múyeshi dep ataydı (2-súwret). Ilimniń bir qatar tarawlarında (ásirese astronomiyada) kóriw múyeshin obektiniń múyeshlik ólshemi dep te ataydı.

α múyeshiniń mánisin $tg\alpha = \frac{y}{a}$ qatnasınıń járdeminde anıqlaw kerek. Bul ańlatpada a arqalı kóz benen obekt arasındǵı qashıqlıq belgilengen.

Optikalıq sistemaniń járdeminde baqlanǵanda obektiniń kóriniw múyeshiniń mánisi α_1 ge, al optikalıq sistemanı paydalanbay kóz benen

qaraǵanda obektin kóriniv mýyeshinin mánisi α_2 ge teń bolsın. Bunday jaǵdayda $\frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2}$ qatnasın sistemaniń mýyeshlik úlkeytiwi dep ataydı. Tórende optikalıq truba menen mikroskoptıń mýyeshlik úlkeytiwi haqqında gáp etiledi.

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

Ólshewler ushın optikalıq qurallardı paydalanıwdıń 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 orınlanadı. Bunday ólshewlerge termometrdiń kórsetiwin kóriw trubasınıń járdeminde ólshew kiredi.

Ólshew ásbaplarınıń biri sıpatında kóriw trubası menen mikroskop basqasharaq túrde qollanıladı. Bul jaǵdayda okulyarlarǵa esaplaw ushın arnalǵan atanaq ornatıladı. Atanaq okulyardıń fokallıq tegisligindegi shiyshe plastinkaǵa bir birine perpendikulyar sızılǵan jıńışke eki sızıqtan turadı. Optikalıq ásbaptı ornınan jılıtıw barısında (yaǵnıy mikroskoptı yamasa kóriw trubasını) obektin súwretiniń qálegen noqatın atanaqtı payda etiwshi sızıqlardıń kesiliskeń noqatına alıp kelip qoyıw múmkin. Bunday jılıwların shamasın sáykes shkala boyınsha ólshep obektin qálegen noqatları arasındaqı qashılıqtı ólshew múmkin.

Kópshilik jaǵdaylarda kóriw trubası menen mikroskopqa okulyarlıq mikrometr dep atalatuǵın mikrometr ornatıladı. Bunday jaǵdayda optikalıq sistema úlken emes qashılıqlardı ólshew múmkinshiligine iye boladı. Okulyarlıq mikrometr millimetrlik bólimlerge iye tegis shiyshe plastinkadan turadı. Hár bir millimetrlik bólim san menen belgilengen hám 10 bólimge bólingen. Bunday mikrometr ádette okulyardıń fokallıq tegisligine sáykes keliwshi diafragmanıń tegisliginde jılısatuǵın boladı. Usı tegislikke obektiv tárepinen payda etiletuǵın súwret proekciyalanadı.

Obekttegi shamanı ólshew ushın mikrometrdiń bólimleriniń bahaların, yaǵnıy mikrometrdiń bir birine jaqın jaylasqan eki shtrixı (sızıǵı) arasındaqı qashılıqtı hám ásbaptıń obektivi beretuǵın úlkeytiwdiń shamasın biliw kerek. Biraq, eger kóriw trubası yamasa mikroskop beretuǵın úlkeytiw ózgerissiz qalatuǵın bolsa, onda obektiv tárepinen beriletuǵın úlkeytiwdi esapqa alǵan halda mikrometrdiń bólimleriniń effektivlik bahasın tabıw maqsetke muwapıq keledi. Bunday effektivlik bahanı bılayınsha anıqlaydı: ásbap onıń kósherine qatań túrde perpendikulyar qoyılǵan bólimleriniń bahası belgili l shamasına teń bolǵan shkalaǵa qaratıladı. Shkalanıń baqlanatuǵın obekt turatuǵın orında jaylasqan bolıwı shárt. Shkalanıń qanday da eki sızıǵı arasındaqı qashılıqtay

sızıqlı ólshemge iye mikrometrдің eki sızıǵın tabadı. Meyli usı bólimler arasında mikrometrдің n bólimi hám shkalanıń m bólimi jaylasqan bolsın. Bunday jaǵdayda $nl' = ml$ teńligi orınlanadı dep tastıyıqlaw múmkin. Usıǵan sáykes mikrometrдің bóliminiń bahası

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

formulasınıń járdeminde esaplanadı. Ásbaptı basqa sharayatlarda paydalanǵanda mikrometrдің bóliminiń bahasın qaytadan tabadı yamasa ásbaptıń obektivi tárepinen beriletuǵın úlkeytiw esapqa alınadı.

Okulyarlıq mikrometrge iye ásbaplardı paydalanǵanda obektinń súwretin kórmesten burın okulyardıń kóz linzasın jılastırıp ásbaptıń ishinde qozǵalmaytuǵınday etip ornalaştırılǵan mikrometrдің ózin kórip alıw kerek.

Vintlik okulyarlıq mikrometrde kóz linzanıń fokallıq tegisliginde shiyshe plastinkaǵa túsirilgen eki sızıqtıń qıya kesilisiwine iye úlken emes ramka jaylasqan boladı. Ol kóriw maydanında mikrometrlik vintke iye barabannıń járdeminde jılastırıladı. Ádette barabannıń tolıq bir aylanıwı atanaqtıń orayınıń 1 mm ge jıljıwına sáykes keledi. Bunday jaǵdayda atanaqtıń orın almasıwıwın 0,01 mm ge shekemgi dállikte anıqlaw múmkinshiligi payda boladı. Álbette, bul mikrometr menen ólshewler ótkergende de obektinń súwretiniń obektiv tárepinen mikrometrдің atanaǵınıń tegisligine qanday úlkeytiw menen proekciyalanatuǵınıń bilıw kerek (vintlik mikrometrdi mikroskop penen qalay paydalanıwdıń jolları haqqında usı máseleńiń aqırǵı shınıǵıwında gáp etiledi)

1-shınıǵıw

Optikalıq trubanıń úlkeytiwin anıqlaw

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

Biz baqlanatuǵın obekt hám baqlanatuǵın predmet túsinińler birdey mániste qollanamız.

Birinshi usıl. Meyli O arqalı belgilengen kózden d_0 qashıqlıǵında turǵan uzınlıǵı l_0 ge teń predmet bar bolsın (3-súwret). l arqalı O kózden d qashıqlıǵında turǵan truba arqalı kórinetuǵın súwrettiń sızıqlı ólshemin belgileyik. α_0 menen menen α shamaları kóriw múyeshlerine sáykes keletuǵın bolsın.

Anıqlaması boyınsha úlkeytiw

$$D = \frac{tg\alpha}{tg\alpha_0} = \frac{l}{d} \cdot \frac{l_0}{d_0} = \frac{ld_0}{l_0d}$$

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 múyeshiniń 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 anıqlanadı.

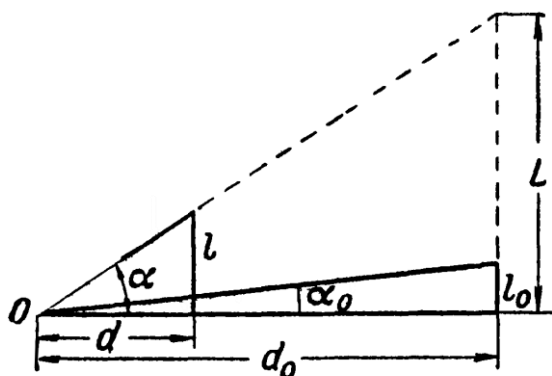
Eger biz baqlap atırǵan predmettiń ózi bóliminiń bahası l_0 ge teń shkala bolıp tabılatuǵın bolsa, onda onıń súwretin sol shkalaǵa proekciyalap bóliminiń bahası L ge teń súwretti alamız. Sonıń menen birge $L > l_0$. Eger endi predmettiń n bólimi hám súwrettiń N bólimi jaylasatuǵın kesindini saylap alsaq (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 ótetuǵın bolsa, onda (1)-formula ózgeriske ushıramaydı. Sáykes geometriyalıq sxemanı sıızıp usı ǵáptiń durıs ekenligine iseniwge boladı.

Ólshewler. Birinshi usıl. Kóriw trubasın bir neshe metr qashıqlıqta ornatılǵan sızǵıshtıń bólimlerin anıq túrde kórinetuǵınday etip ornalastradı. Bunnan keyin bir kóz benen truba arqalı sızǵıshtıń súwretine, al ekinshi kóz benen tuwrıdan-tuwrı sızǵıshtıń ózine qaraw kerek. Kóriw trubasın qurallanbaǵan kóz benen kórinip turǵan sızǵıshtıń ústine truba arqalı kórinip turǵan súwrettiń ústine túsetuǵınday etip ornalastradı. Usınıń nátiyjesinde sızǵıshtıń shkalasınıń n bóliminiń ishinde truba arqalı kórinetuǵın neshe dana N bólimniń jaylasatuǵınlıǵı esaplanadı. Úlkeytiwdiń mánisin (1)-formulanıń járdeminde anıqlanadı.

Ekinshi usıl. Optikalıq trubanıń úlkeytiwi menen onıń quramındaǵı linzalardıń fokuslıq aralıqları arasında $D = \frac{f_1}{f_2}$ túrindegi qatnastıń bar ekenligi belgili. Bul formulada f_1 arqalı obektivtiń hám f_2 arqalı okulyardıń bas fokuslıq aralıqları belgilengen. Sonıń menen birge sheksizlikke tuwrılǵan (yaǵnıy alıstaǵı jaylarǵa yamasa tereklerge tuwrılǵan) trubanıń uzınlıǵı 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 tuwrılǵan trubanıń obektivin alıp taslap, onıń ornına uzınlıǵı L ge teń predmetti ornalastırsaq (bunday predmet sıpatında kesilgen kesimge iye diafragma xızmet ete aladı), onda okulyardıń ekinshi tárepinde onnan b qashılıǵında sol predmettiń okulyar tárepinen payda etilgen haqıyqıy súwreti payda boladı.

Linzanıń 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 trubasını sheksizlikke tuwrılaymız. Bul operaciyanı orınlaw ushın trubanıń járdeminde alıstaǵı jaylardı yamasa basqa da úlken predmetlerdi anıq kórinetuǵında halǵa qoyıw kerek.

Trubanıń obektivi ornınan alınadı hám onıń ornına romb túrinde kesilgen kesimi bar diafragmanı ornalastıradı. Bunnan keyin trubanı qanday da bir jaqtılandırılǵan obektke qaratadı (mısalı birinshi usılda paydalanılǵan shkalaǵa qaratıwǵa boladı).

Shtativke bekitilgen lupanı mikrometrdiń shkalası anıq kórinetuǵında etip fokuslaydı. Bunnan keyin lupanı trubanıń okulyarına jaqınlatıp mikrometrdiń shkalasında rombanıń súwreti anıq kórinetuǵında etip qoyıladı. Rombanıń diagonalında mikrometrdiń neshe bóliminiń jaylasatuǵınlıǵı anıqlanadı. Sızǵısh yamasa shtangen-cirkuldiń járdeminde diafragmaǵa rombanıń diagonalınıń uzınlıǵı aldın-ala anıqlanǵan bolıwı kerek.

Eger rombanıń diagonallarınıń uzınlıǵı L_1 menen L_2 , al mikrometrdiń járdeminde ólshengen olardıń súwrettegi uzınlıqları sıykes 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 bólimleri bar sıǵıshqa fokuslaydı hám trubanıń neshe bólimdi kóretuǵınlıǵın sanaydı. Bunnan keyin ruletkanıń járdeminde trubanıń obektivi menen sıǵısh arasındadıǵı qashıqlıqtı ólsheydi.

Truba arqalı kórinetuǵın sıǵıstıń bólimleriniń sanı n , al ruletka menen ólshengen trubadan sıǵıshqa 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 bólimler mexanikalıq hám optikalıq bólimler dep ataladı (4-súwret).

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

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

Házirgi zaman mikroskoplarında jaqtılandırıwshı sistema bar boladı (mısalı 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.

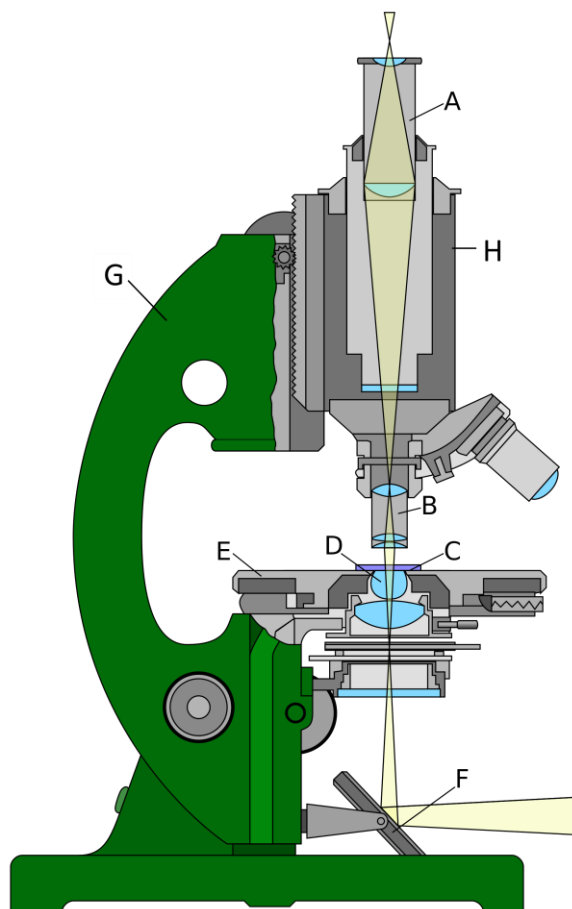
Predmet qoyılatuǵın tekshe kópshilik jaǵdaylarda dóńgelek formaǵa iye bolıp izertleniwshı predmetti uslap turıw ushın xızmet etedi. Onıń joqarǵı tegisliginde eki tesik bolıp, olarǵa predmetti tekshege qısıp uslap turatuǵın

shtifler bekitiledi. Usınday ilajlardıń saldarınan baqlawlar waqıtında izertleniwshi predmet qozǵalmaytuǵınday halda turadı.

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

Mikroskoptıń tubusı cilindr tárizli metall (kópshilik jaǵdayda polat) truba túrinde soǵıladı hám onıń uzınlıǵı qaptalında jaylastırılǵan shkala boyınsha ózgeriliwi múmkin.

Tubus ádette eki túrli vinttiń járdeminde qozǵaltıladı. Birinshi vinttiń járdeminde tubustıń úlken aralıqlarǵa qozǵaltılıwı múmkin. Ekinshi vint mikrometrlik vint bolıp, onıń járdeminde tubus kishi aralıqlarǵa áste-aqırınlıq penen jılastırıladı.



4-súwret.

Optikalıq mikroskoptıń dúzilisi.

A – okulyar,

B – obektiv,

C – obekt (predmet),

D – kondensor,

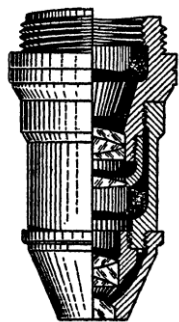
E – predmet qoyılatuǵın tekshe,

F – ayna,

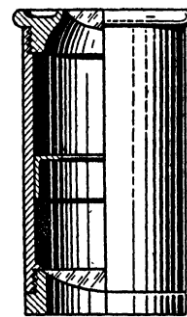
G – shtativ,

H – tubus.

Obektiv (5-súwret) mikroskoptıń eń áhmiyetli bólimi bolıp tabıladı. Ol bir qasnaqqa jıynalǵan linzalardıń sistemasınan turadı. Frotnallıq linza dep atalatuǵın aldınǵı 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 tabıladı. Ádette ol eki linzadan turadı: joqarǵı linzanı (baqlawshınıń kózi tárepindegi linzanı) kóz linzası dep ataydı. Tómengi linzanı jıynawshı linza dep ataydı. Olar bir birinen fokuslıq aralıqlarınıń qosındısınıń yarımına teń qashıqlıqta jaylastırıladı. Eki linza da bir metall cilinderde ornalaştırılǵan bolıp, bul cilindr tubustıń joqarǵı tesiginde ornalaştırıladı.

Obektivler de, okulyarlar da ózleriniń úlkeytiwi boyınsha nomerlenedi.

Mikroskoptıń teoriiyası. Nurlardıń jolı.

Lampadan shıqqan jaqtılıq nurları S aynasına kelip túsedı hám sol aynada shaǵılısıp I diafragmasınıń sańlaǵı arqalı K kondensorına, al onnan shıqqan jıynalıwshı dáste tegis parallel shiyshe plastinkanıń ústinde turǵan obektke kelip túsedı. Obekt obektivtiń astında hám kondensordıń fokusında jaylastırılǵan bolıwı kerek. Obektiv arqalı ótip nurlar jıynalıwshı dáste túrinde okulyarǵa kelip jetedi hám obektin tegisligine túyinles bolǵan L_1 tegisliginde N_1M_1 haqıyqıy kerı súwretti payda etiwı kerek. Biraq sol dásteniń jolında okulyar jaylastırılǵan bolǵanlıqtan onda dásteler sıñıp obektivke biraz jaqın bolǵan L_2 tegisliginde N_2M_2 súwretin beredi.

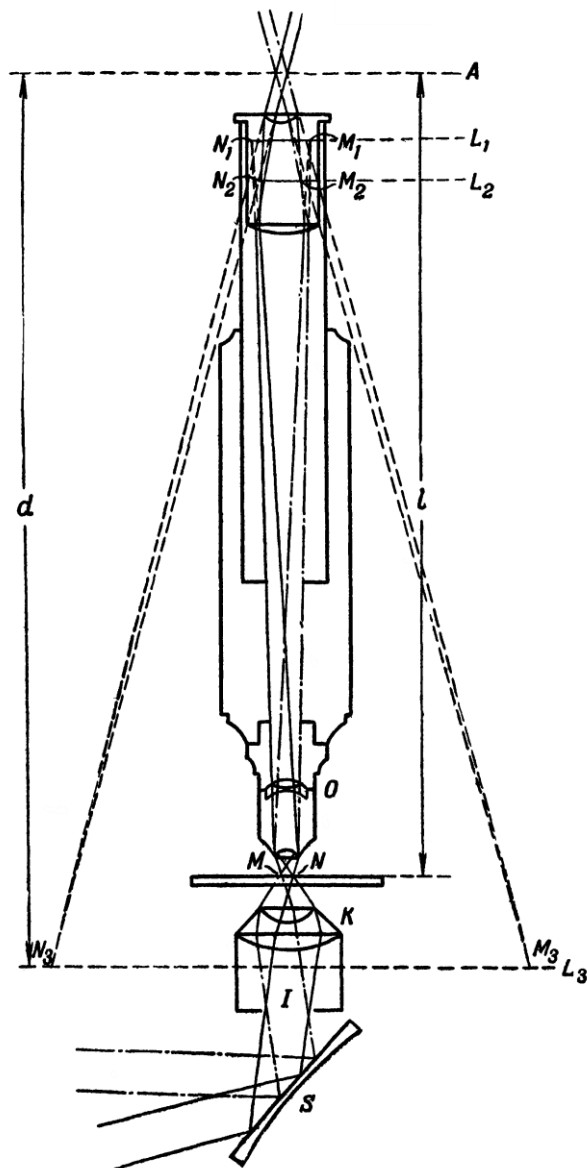
Ornı berilgen mikroskop ushın tubustıń uzınlıǵı menen anıqlanatuǵın bul tegislikte diafragma ornatılǵan boladı. Bul diafragma shetki dástelerdi ótkermeydi hám sonlıqtan kóriw maydanın shekleydi. Sonlıqtan bul diafragma kóriw maydanınıń diafragması bolıp tabıladı. Kópshilik mikroskoplarda onıń ornı uzınlıǵı 160 mm bolǵan tubusqa sáykes keledi.

L_2 tegisligi okulyardıń fokusına qaraǵanda kóz linzasınıń orayında jaqınaraq jaylasqanlıqtan bul linzanıń tásiрі ápiwayı lupanıń tásirindey boladı. Demek N_2M_2 súwretiniń ornına L_2 tegisliginde jatatuǵın jormal, obektke salıstırǵanda kerı hám kóbirek úlkeytilgen N_3M_3 súwretin alamız. Ádette bul tegislik baqlawshı tárepinen onıń kózi anıq kóretuǵın qashıqlıqta ornalaştırıladı.

Mikroskoptıń úlkeytiwi obektiv penen okulyardıń úlkeytiwleriniń kóbeymesine teń. Eger obektivti proekciyalıq ásbap túrinde qarasaq, onda N_1M_1 súwretiniń úlkenligi tómendegi formulanıń járdeminde beriledi:

$$N_1M_1 = \frac{NM \cdot \delta}{f_1}. \quad (5)$$

Bul a'latpada f_1 arqali obektivtiń fokuslıq aralıǵı, al δ arqalı obektivtiń orayı menen súwret arasındaqı qashıqlıq belgilengen.



7-súwret.

Mikroskoptıń optikalıq sxeması.

Okulyardıń eki linzasınıń tásirin oǵan ekvivalent jáne fokuslıq aralıǵı f_2 shamasına teń bolǵan lupa sıpatında paydalanılatuǵın linzaniń táhiri menen almasıruǵa boladı. Lupanıń 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 aralıǵınıń kishi ekenliginen δ shamasın obektivtiń artqı fokusu menen okulyardıń aldınǵı fokusu arasındaqı qashıqlıqqa teń dep joqarı dárejedegi dállikte ayta alamız. Bul qashıqlıqtı mikroskoptıń optikalıq uzınlıǵı dep ataydı.

Mikroskoptıń múyeshlik úlkeytiwi tómendegi formulanıń járdeminde anıqlanadı:

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

Bul formuladaǵı α menen α_0 múyeshleri sáykes $N_3 M_3$ súwretiniń hám NM predmetiniń kóriniw múyeshleri 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 kózi jaylasqan A tegisligine shekemgi qashıqlıqqa teń (3-súwret). Demek

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

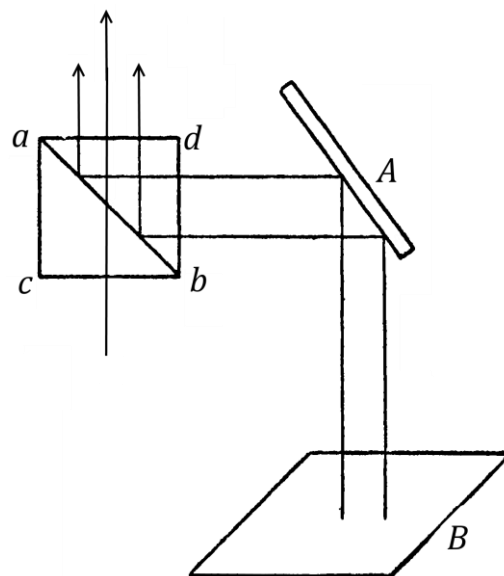
Ólshewler. Mikroskoptıń úlkeytiwi bolǵan D shamasın anıqlaw ushın obekt penen onıń kózden hár qıylı qashıqlıqlarda turǵan súwretin salıstırıp otırıwdıń zárúrliǵı joq. Onıń ushın súwrettiń shamasın qanday da bir basqa predmet penen salıstırıw kerek. Biraq usı predmettiń ólsheminiń baqlanatuǵın obektiniń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

Tubustıń uzınlıǵın 160 mm etip mikroskoptıń predmetlik tekshesine obektlik mikrometrdi ornalastıradı. 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 baǵıtta 1 mm lik bólimlerge iye shkalanı ornalastıradı (8-súwret). Mikroskoptıń okulyarına mikroskoptıń kósherine

450 lıq kıyalıqtağı yarım ótkiziwshi (yamasa boylıq bağıttağı tesigi bar) aynanı ornalaştıradı. Sonıń menen birge aynanı mikrometrdiń súwreti menen vertikalıq shkalanı bir waqıtta kóretuǵınday etip ornalaştıradı. Bunday jaǵdayda eki shkalanıń jaqtılıǵın teńlestiriw ushın kondensordıń diafragmasıń paydalanıw usınıladı.

8-súwret.
Mikroskoptıń úlkeytiwin anıqlawdı
túsindiretuǵın sxema.



Bir birine sáykes keliwshi vertikalıq shkaladağı bólimler sanı N_1 menen mikrometrdiń shkalalar sanı N_2 ni sanaymız. Shkalanıń bólimleriniń uzınlıǵınıń mikrometrdiń bólimleriniń uzınlıǵınıń qatnası 100 ge teń bolǵanlıqtan

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

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

Paydalanılǵan 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.Ивероной. Издание второе. Издательство "Наука". Москва. 1968. 816 с.

3-laboratoriyalıq jumıs

Shiyshe plastinkanıń sınıw kórsetkishin mikroskoptıń járdeminde ólshew

Jumıstıń maqseti shiyshe plastinkalardıń sınıw kórsetkishin mikroskoptıń járdeminde hár qıylı usıllardıń járdeminde anıqlawdan ibarat.

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

Kirisiw

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

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

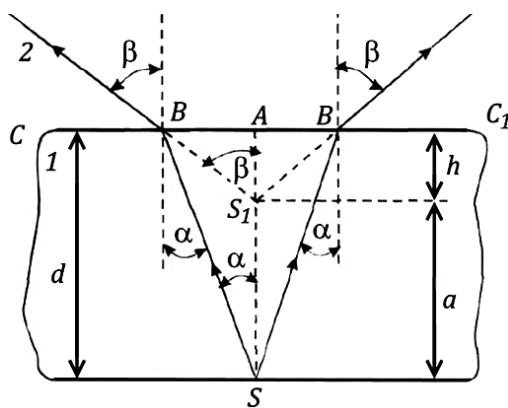
formulasınıń járdeminde anıqlanatuǵınlıǵı kelip shıǵadı. Bul ańlatpada μ menen ε arqalı zattıń magnitlik hám dielektriklik sińirgishlikleri bolıp tabıladı.

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

Sınıw kórsetkishin anıqlawdıń kóp sanlı usılları bar. Solardıń ishinde sınıw 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 jıńışke jaqtılıq dástesi tarqalatuǵın sızıq boyınsha tarqalatuǵın bolsın (1-súwret).



1-súwret.
Jaqtılıqtıń sınıw nızamın
paydalanıwǵa arnalǵan sxema.

CC_1 betine α múyeshi 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 ańlatpadaǵı α túsiw, al β sınıw múyeshi bolıp tabıladı. n_{21} arqalı ekinshi ortalıqtıń birinshi ortalıqqa salıstırǵandaǵı sınıw kórsetkishi belgilengen. Onıń mánisi bilayınsha anıqlanadı:

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

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

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

Jaqtılıq optikalıq jaqtan tıǵızraq ortalıqtan (shiyshe) optikalıq jaqtan kishi tıǵızlıqqa iye ortalıqqa 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:

$$SS_1 = a = SA - S_1A, \quad tg\alpha = \frac{AB}{d}, \quad tg\beta = \frac{AB}{d-a}. \quad (4)$$

Bul ańlatpalarda d arqalı shiyshe plastinkanıń qalıńlıǵı belgilengen. Óz gezeginde (4)-ańlatpadan

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

ańlatpasın alamız. α hám β múyeshleri kishi bolǵanda (tek usınday nurlar ǵana S noqatınan shıqqan nurlar mikroskoptıń obektivine kelip túsedı) tengenslerdiń qatnasın sinuslardıń qatnası menen almastırwǵa boladı

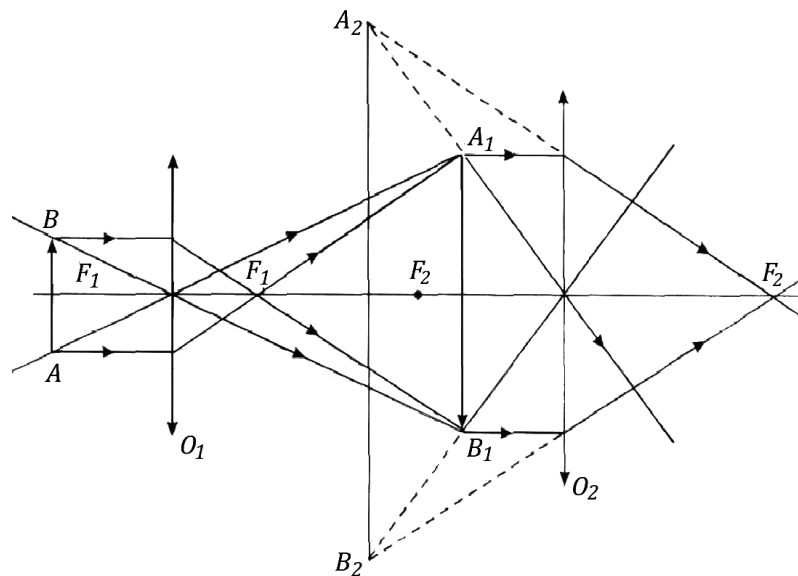
$$\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{d}{d-a}.$$

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

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

Shiyshe plastinkanıń qalıńlıǵı d nı mikrometr menen, al a qashıqlıǵın yamasa $d - a$ qashıqlıǵın mikroskoptıń járdeminde ólsheydi.

2-súwrette mikroskoptaǵı nurlardıń jolı kórsetilgen. 2-laboratoriyalıq jumıstı gáp etilgenindey, mikroskoptıń optikalıq sisteması 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 haqıyqıy 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

Shiysheńiń sınıw kórsetkishin anıqlawdıń birinshi usılı.

1. Mikroskoptıń predmet turatuǵın tekshesine tegis-parallel, móldir shiysheńi orналаstıradı. Shiyshe plastinkanıń betinde qara noqat túsirilgen bolıwı kerek.

2. Jaqtılandıratuǵın lamposhka iske qosıladı hám onı qozǵaw arqalı onnan shıqqan jaqtılıqtıń mikroskoptıń okulyarınıń astına kelip jetiwi támiyinlenedi.

3. Mikroskoptıń predmetlik tekshesindegi shiysheńiń jaqsı jaqtılandırılıwına jetisiw talap etiledi.

4. Mikroskoptıń mikrometrlik vinti aqırına shekem tawlanadı. Okulyar arqalı qarap qara noqattıń anıq kóringenishe tubus jılıstırıladı. Usı awhaldaǵı mikrometrlik vinttiń kórsetiwi ($N_1 = 0$ bolıwı kerek) 1-kestege jazıp alınadı.

5. Qara noqat bar plastinkanıń ústine sınıw kórsetkishin anıqlaw kerek bolǵan shiyshe plastinka orналаstırıladı.

6. Mikrometrlik vinttiń járdeminde tubus qara noqat qaytadan anıq kóringenshe kóteriledi. Tubustı kótergende mikrometrlik vinttiń shkalasındaǵı bólimler sanın (N_2 ni) sanaw kerek.

N_2 sanınıń mánislerin 1-kestege túsiredi. N_1 menen N_2 sanlarınıń ayırması a shamasına teń, yaǵnıy

$$a = N_2 - N_1.$$

7. Tájiriye keminde 5 ret qaytalanadı.

8. Mikrometrдің járdeminde plastinkanıń kalınlıǵı 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.					

Shiysheńiń sınw kórsetkishin anıqlawdıń ekinshi usılı

1. Endi shiyshe plastinka alıp onıń eki betin de tırnaymız. Baqlawdıń qolaylı bolıwı ushın eki táreptegi tırnawdıń saldarınan payda bolǵan sıızıqlardıń bir birine perpendikulyar bolıwın támiyinleymiz.

2. Mikroskoptı jaqtırtıwshı sistema elektr tarmaǵına 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. Mikrometrik vint aqırına shekem tawlanadı. Mikroskoptıń tubusı tómengi sıızıq anıq kórinetuǵınday awhalǵa alıp kelinedi. N_1 shamasınıń mánisi 2-kestege túsiriledi.

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

5. Tájiriybeni keminde 5 ret qaytalaw kerek.

6. Mikrometrдің járdeminde plastinkanıń qalınlıǵı ólshenedi. Ólshewlerdiń sanı 3 ten kem bolmawı kerek. Nátiyjelerdi 2-kestege jazadı.

Shiysheńiń sınw kórsetikishin anıqlawdıń úshinshi usılı (ayna - zerkalo bar bolǵan jaǵdayda).

1. Mikroskoptıń predmetlik tekshesine ayna plastinkanı jaylastıramız. Aynanıń betine qara belgi qoyılǵan (qara sıziq sızilǵan) bolıwı kerek.

2. Jaqtılandırıwshı lampa toqtıń dereğine qosıladı. Eger plastinkanıń qalınlıǵı d ǵa teń bolsa, onda belginiń jormal súwreti aynanıń arǵı tárepinde d qashıqlıǵında jaylasqan boladı. Demek belgi menen onıń súwreti arasındǵı qashıqlıq $2d$ shamasına teń boladı. Qoyılǵan ayna plastinka jaqtılandırıladı.

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 tıń ortasha mánisi esaplanıladı.

4. Belginiń aynalıq súwretin kóriw ushın mikroskoptıń tubusı mikrometrlik vinttiń járdeminde túsiriledi. Alınǵan nátiyje N_2 3-kestege túsiriledi. Belgi menen onıń aynalıq súwreti arasındǵı kózge kórinetuǵın qashıqlıq $N_2 - N_1 = h$ qa teń.

5. Tájiriybe 5 ret qaytalanadı.

6. Planstinkanıń qalınlıǵı mikrometrdiń járdeminde 3 ret ólshenedi hám nátiyje 3-kestege jazıladı.

Ólshewlerdiń nátiyjelerin qayta islew

1-usıl.

1. 1-kestege plastinkanıń kalınlıǵı bolǵan d shamasınıń ortasha arifmetikalıq mánisi jazıladı.

2. Barlıq 5 tájiriybe ushın $b = N_2 - N_1$ shaması esaplanadı hám nátiyje 1-kestege jazıladı. 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 kalınlıǵı bolǵan d shamasınıń ortasha arifmetikalıq mánisi 2-kestege jazıladı.

2. Barlıq 5 tájiriye ushın $h = N_2 - N_1$ shamaların mánisleri anıqlanadı. h tıń 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 usılınıń járdeminde plastinkanıń qalınlıǵı d nıń ortasha arifmetikalıq mánisin 3-kestege jazadı.

2. Ólshewlerdiń barlıǵı ushın $h = N_2 - N_1$ shamaların mánisleri esaplanadı hám 2-kestege túsiriledi. h tıń 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 kórsetkishi anıqlawdıń úsh usılında paydalanılǵan plastinkalardı tayarlawda shiysheniń hár qıylı sortların paydalanılıwı múmkin. Sonlıqtan esaplawlardıń aqırında hár qıylı usıllar menen alıńǵan sınıw kórsetkishleri n lerdiń ortasha mánisin tabıwdıń keregi joq.

Jumıstıń orınlanıwı boyınsha esap tómendegidey izbe-izlikte tayarlanadı: jumıstıń maqseti, qısqasha tariyx, ásbaplar hám úskeneler, ólshewler kesteleri, sınıw kórsetkishlerin anıqlawda jiberilgen absolyut hám salıstırmalı qátelerdiń esaplanıwı, jumıs boyınsha juwmaqlar.

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw boyınsha tayarlanǵan 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 alǵan?
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 bolıwı ushın predmet dónes linzaǵa salıstırǵanda qanday orınlarda turıwı kerek?

9. Mikroskoptağı linza menen okulyar qanday qásiyetleri menen ayrıladı?

Paydalanılğan 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

Jumıstıń maqseti: refraktometrdiń islew principi menen tanısw; Abbe refraktometrinde sınıw kórsetkishin ólshewdiń usılların úyreniw; laboratoriyada bar bolğan bazı bir suyıqlıqlardıń sınıw kórsetkishin ólshew.

Teoriyalıq bólim

Eki móldir hám bir tekli ortalıqlar arasındağı shegarağa kelip túsken jaqtılıq dástesiniń bir bólimi shegaralıq bette shaǵılısadı, ekinshi bólimi óziniń taralıw baǵıtın ózgartip ekinshi móldir ortalıqqa ótedi. Biz sol eki ortalıqlardı 1- hám 2-ortalıqlar dep belgileymiz. Sol ortalıqlardaǵı jaqtılıq nurınıń tarqalıw baǵıtı Snellius tárepinen ashılğan sınıw nızamınıń járdeminde anıqlanadı. Bul nızam boyınsha sınan nur, kelip túsken nur hám nur kelip túsken shegarağa túsirilgen normal bir tegislikte jatadı, al berilgen eki ortalıq ushın túsiv múyeshiniń (i_1) sinusınıń sınıw múyeshiniń (i_2) sinusına qatnası turaqlı shama bolıp tabıladı:

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

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

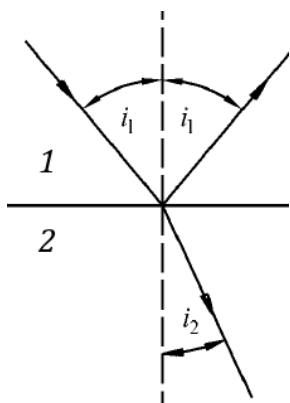
Maksvelldiń elektromagnitlik teoriiyası sınıw kórsetkishiniń ápiwayı fizikalıq mánisiniń bar ekenligin anıqladı hám onıń shamasınıń zattıń ishindegi (ortalıqlardıń ishindegi) jaqtılıqtıń tarqalıw tezligine baylanıslı ekenligin taptı:

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

Bul ańlatpada v_1 hám v_2 arqalı 1- hám 2-ortalıqlardaǵı jaqtılıqtıń tezlikleri belgilengen. Zattıń "boslıqqa" (yaǵnıy vakuumge) salıstırǵandaǵı sınw kórsetkishin absolyut sınw kórsetkishi yamasa qısqasha túrde "sınw kórsetkishi" dep ataydı. (2)-ańlatpadan zattıń absolyut sınw kórsetkishiniń

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

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



1-súwret. Eki ortalıqtıń shegarasındaǵı jaqtılıq nurınıń shaǵılısıwı menen sınıwı.

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

Absolyut sınw kórsetkishlerin paydalanǵanda (1)-ańlatpanı bılayınsha kóshirip jazıwǵa boladı:

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

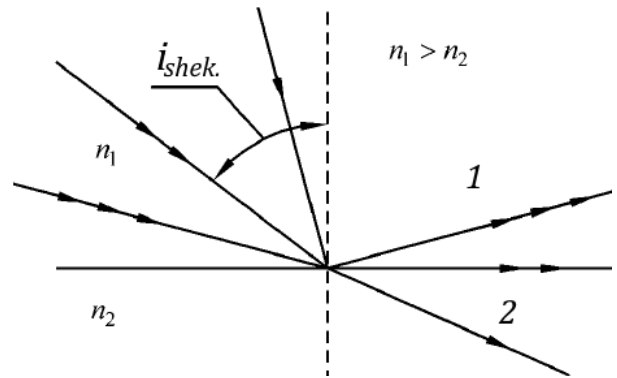
(3)-ańlatpadan ortalıqtıń absolyut sınw kórsetkishiniń betke túsirilgen normal menen nur arasındaǵı múyeshtiń sinusına kóbeymesiniń turaqlı shama bolıp tabılatuǵınlıǵı kelip shıǵadı. Usı jaǵdayǵa baylanıslı $n_1 \sin i_1$ túrindegi kóbeymeni optikalıq invariant dep ataydı.

Toliq ishki shağılısıw

(3)-ańlatpadan eger jaqtılıq nurı optikalıq jaqtan tıǵızlıǵı kishi ortalıqtan tıǵızlıǵı úlken ortalıqqa ótkende (yaǵnıy $n_2 > n_1$) sınıw múyeshi (i_2) túsiw múyeshinen (i_1) kishi bolatuǵınlıǵı kórinip tur. Biraq ortalıqlar ushın $n_2 < n_1$ shártı orınlanatuǵın bolsa sınıw hám túsiw múyeshleri ushın $i_2 > i_1$ teńsizligi orınlı boladı (sınıw múyeshiniń mánisi túsiw múyeshiniń mánisinen úlken). Bunday jaǵdayda túsiw múyeshi úlkeygende sınıw múyeshiniń mánisi 90° qa teń bolıwı múmkin. Usınday sınıw múyeshine sáykes keliwshi túsiw múyeshin tolıq ishki shağılısıwdıń shekli múyeshi dep ataydı ($i_{shek.}$ arqalı belgileymiz). Jaqtılıq nurları eki ortalıq arasındaqı shegaraǵa $i_1 > i_{shek.}$ múyeshi menen kelip túskende sınǵan nur bolmaydı, jaqtılıq 1-ortalıqtan sırtqa shıqpaydı hám tolıq ishki shağılısıw qubılısı orın aladı. 2-súwrette usı qubılıs illyustraciyalanǵan (sáwlelendirilgen).

2-súwret.

Optikalıq jaqtan tıǵızraq ortalıq penen tıǵızlıǵı kem ortalıqqa ótkende tolıq ishki shağılısıwdıń payda bolıwı.



Múyeshtiń sheklik mánisi (eń úlken mánisi)

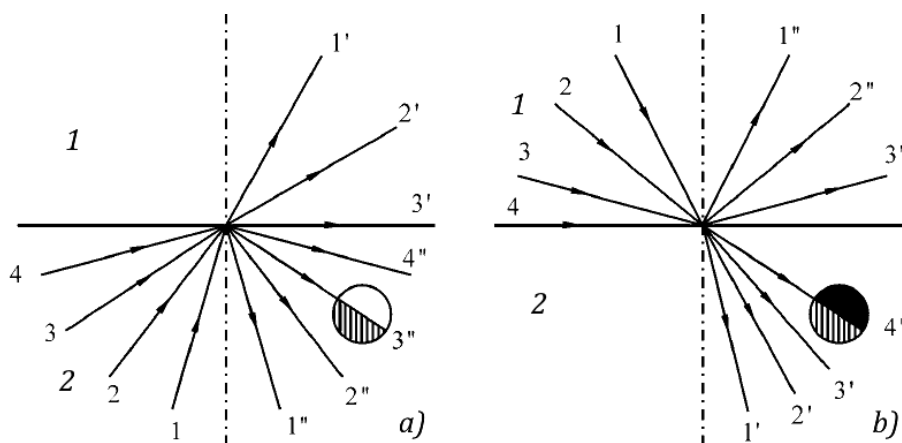
$$\sin i_{shek.} = \frac{n_2}{n_1}, \quad n_1 > n_2 \quad (4)$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı.

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

Eki ortalıq arasındaqı shegaradaǵı múyeshtiń sheklik mánisi tek bul ortalıqlardıń sınıw kórsetkishlerinen ǵana ǵárezli boladı. Olay bolatuǵın bolsa, sheklik múyeshtiń mánisin eger bir ortalıqtıń sınıw kórsetkishiniń mánisi belgili bolsa ekinshi ortalıqtıń sınıw kórsetkishin anıqlaw ushın paydalanıwǵa boladı eken dep juwmaq shıǵarıwǵa boladı.

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



3-сúwret. Kóriw maydanınıń jaqtılanıwın shaǵılısqan (a) hám sınǵan nurlarda (b) baqlaw.

Eger eki ortalıq arasındaǵı shegaraǵa jaqtılıq nurın optikalıq jaqtan tıǵızıraq ortalıq tárepten 0 gradustan tan 90 gradusqa shekemgi múyeshlerde túsiretuǵın bolsaq hám shaǵılısqan nurlarda súwretti baqlasaq, onda kóriw maydanınıń hár qıylı jaqtılandırılǵan eki bólimge bólingenin ańǵarıwǵa boladı. Shegarada bir bólimi sınǵan, al ekinshi bólimi shashıraǵan nurlar menen jaqtılandırılǵan kóriw maydanınıń bólimi kemirek jaqtılandırılǵan 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 baqlaǵanda shegara kishi sınıw kórsetkishine iye ortalıqtan ótken nurdıń járdeminde jaqtılandırıladı (3-*b* súwrettegi 1-, 2-, 3- hám 4-nurlar). Sınǵan nurlar dástesinde 4' nurdıń eń shetkisi bolatuǵınlıǵı túsiniikli. Kóriw maydanı pútkilliy qarańǵı hám jaqtılı bólimlerden turadı. Bul usıl júdá ayqın túrdegi shegaranı beredi. Biraq onı tek móldir ortalıqlar ushın paydalanıw múmkin. Al birinshi usıldı kishi sınıw kórsetkishine iye ortalıq onsha móldir emes bolǵan jaǵdayda da paydalanıw mumkin. Biraq, bul jaǵdayda eki bólimniń jaqtılanıwınıń ayırmasınıń kishi bolıwına baylanıslı shegaranı baqlaw qıyınraq boladı.

Jaqtılıqtıń dispersiyası

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

Jaqtılıqtıń dispersiyası dep sınǵanda, difrakciyada yamasa interferenciya jaqtılıqtıń spektrge jikleniwine (ayırılıwına, bóliniwine) aytamız. Bul jumısta jaqtılıqtıń dispersiyası zatlardıń sınıw kórsetkishiniń jiyilikke ǵárezli bolıwınıń saldarınan júzege keledi. Móldir, reńi joq zatlar ushın $n = f(\nu)$ ǵárezlilikinde

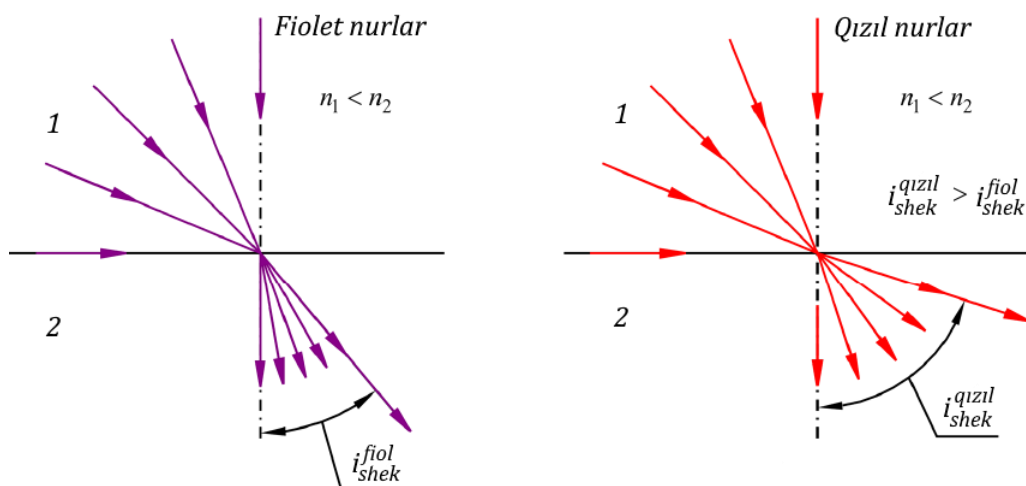
jiyilik kishireygende sınıw kórsetkishi de kishireydi. dn/dv tuwındısın zattıń dispersiyası dep ataydı.

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 baqlanatuǵın ásbaplardıń xarakteristikası ushın dispersiyanıń ólshemi sıpatında múyeshlik hám sızıqlıq dispersiya shamaları kirgiziledi.

Múyeshlik dispersiya dep $\theta = \frac{d\varphi}{d\lambda}$ shamasın túsinemiz. Bul ańlatpada tolqın uzınlıǵı $d\lambda$ shamasına ayırılatuǵın dásteler arasındaǵı múyeshler ayırması bolıp tabıladı.

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



4-súwret. Sheklik sınıw múyeshiniń mánisine dispersiyanıń tásiri.

Sınıw qubılısında dispersiyanıń bar bolıwınıń saldarınan biz joqarıda qarap ótken tolıq ishki shaǵılıswdıń sheklik múyeshin baqlaw quramalasadı. Kórgizbeli túrdegi kóz-qaraslarǵa iye bolıw ushın hár qıylı monoxromat nurlardıń hár qıylı túsiw múyeshleri menen kemirek optikalıq tıǵızlıqqa iye ortalıq penen úlkenirek optikalıq tıǵızlıqqa iye ortalıq arasındaǵı shegaraǵa túsiwin qaraymız. Shetki tolqın uzınlıqları ushın súwrettiń kóriniw spektri sheklerinde súwretler bir birinen sheklik sınıw múyeshi boyınsha ayırıladı.

Eger túsiwshi jaqtılıq aq jaqtılıq bolsa, onda hár qıylı tolqın uzınlıqlarında alınǵan súwretlerdiń bir biriniń ústine túsiwi júzege keledi. Nátiyjede normaldıń qasında (yaǵnıy kishi sınıw múyeshlerinde) sınǵan jaqtılıq aq bolıp qala beredi. Nor maldan qashıqlaǵan sayın (yaǵnıy sınıw múyeshiniń úlkeyiwinde) sınǵan dáste fiolet nurlar menen birlesedi (eń dáslep fiolet nurlar ushın sheklik múyeshiniń 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 jaqtılıqtıń quramında 7 reń emes, al oǵada kóp reńler bar). Jaqtılıqtıń quramında hár qıylı tolqın uzınlıqları bar bolǵan jaǵdayda reńlerdiń ózgerisleri júdá ástelik penen júzege keledi.

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

Solay etip eki ortalıqtıń arasındaǵı shegara boyalǵan boladı. Usınıń menen birge sheklik múyeshti ólshegende anıqsızlıq payda boladı. Sebebi hár qıylı tolqın uzınlıqları ushın sheklik múyeshtiń mánisi hár qıylı boladı.

Joqarıda ayılǵanlardan berilgen ortalıq ushın sınıw kórsetkishiniń tek jaqtılıqtıń belgili bir tolqın uzınlıǵı ushın konstanta bolatuǵınlıǵı kelip shıǵadı. Sonıń menen birge sheklik múyeshtiń mánisi monoxromat nurlardı paydalanǵanda ózgeriwi kerek. Ortalıqlardıń xarakteristikası sıpatında natriy gorelkadan jaqtılıq (Na atomlarınıń D sarı jaqtılıǵı, tolqın uzınlıǵı $\lambda_D = 5893 \text{ \AA}$) sınıw kórsetkishi paydalanıladı. Sınıw kórsetkishiniń belgileniwi bolǵan n_D^{20} shamasında D indeksi spektrallıq sızıqqa tiyisli, al 20 usı sınıw kórsetkishine sáykes keletuǵın temperaturanı ańlatadı.

Geypara jaǵdaylarda sınıw kórsetkishin basqa da spektrallıq sızıqlar ushın anıqlaydı.

Biz joqarıda gáp etken sınıw 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 suyıqlıqlar menen qattı denelerdiń sınıw kórsetkishin anıqlaydı.

Abbe refraktometriniń islew principi

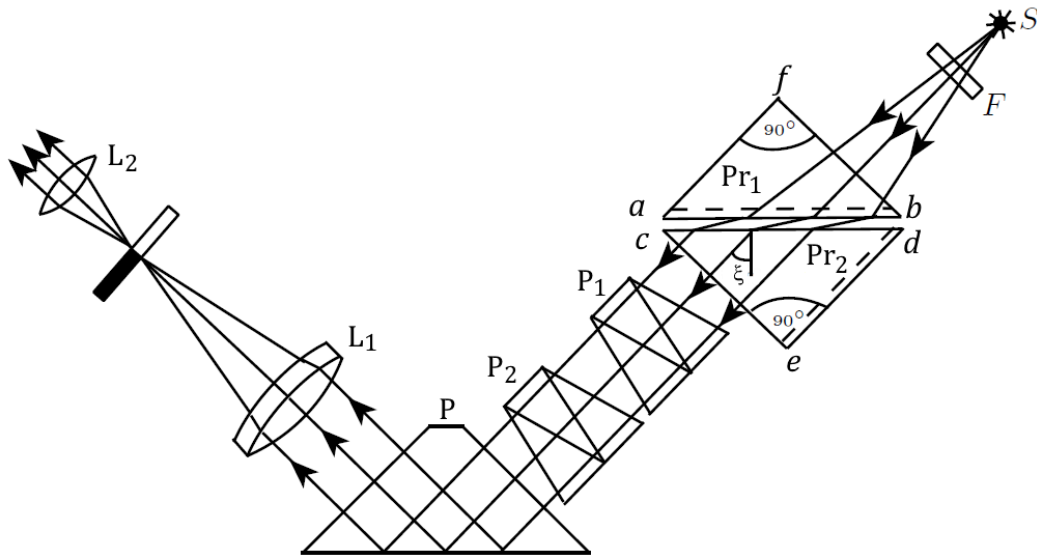
Abbeniń texnikalıq refraktometri suyıq hám qattı denelerdiń sınıw kórsetkishin tez (biraq salıstırmalı turpayı) anıqlawǵa mumkinshilik beredi. Abbe refraktometriniń dúzilisi tolıq ishki shaǵılısıw qubılısına tiykarlangan. Biraq refraktometrdi paydalanǵanda tolıq ishki shaǵılısıw usılın da, jılıp tarqalatuǵın nur usılın da paydalanıwǵa boladı.

Abbe refraktometriniń optikalıq sxeması hám jılıp tarqalatuǵın usıl boyınsha sınıw kórsetkishin ólshew 5-súwrette keltirilgen.

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

prizması arqalı túsedí. Gúńgirt bet arqalı ótkén jaqtılıq suyıqlıqtıń qatlamı arqalı ótedi hám Pr_2 prizmasınıń cd qaptalına kelip túsedí.

Suyıqlıqta jılıp tarqalatuǵın nurǵa ($i = 90^\circ$) ξ shekli sınıw kórsetkishi sáykes keledi. ξ shamasınıń úlken múyeshlerde sınǵan nurlar payda bolmaydı. Usı jaǵdayǵa baylanıslı ce qaptalınan nurlardıń shıǵıw múyeshi tek bazı bir intervalda ǵana ózgere aladı.



5-súwret. Sınıw kórsetkishi jılıp tarqalatuǵın usıldıń járdeminde ólshenetuǵın jaǵdaydaǵı refraktometrdegi nurlardıń jolı.

Eger ce qaptalınan shıǵatuǵın jaqtılıqtı L_1 jıynawshı linzası arqalı ótkersek, onda onıń fokallıq tegisliginde jaqtılıq penen qarańǵılıq 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 sınıw kórsetishiniń shamasına sáykes shkala jáne kórsetkish (jıńishke sızıq) ornalastırılǵan boladı. L_2 okulyarınıń kóriw maydanında shkalanıń maydanınıń tek bir bólimin jáne Pr_2 prizmadan shıqqan hám fokuslangan nurlardıń jaqtı maydanınıń bir bólimi ǵana kóriw múmkin. Pr_1 hám Pr_2 prizmalarınıń sistemasın aylandırıp, usıǵan sáykes kóriw trubasına salıstırǵandaǵı nurlardıń sheklik múyeshleriniń qıyalıǵın ózgertip orınlar menen qarańǵı oblast arasındaǵı shegaranıń L_2 okulyarınıń kóriw maydanına túsiwine hám ásbaptıń kórsetkishine sáykes orınǵa túsiwine erisiwge boladı. Sistema aylanǵanda Pr_1 hám Pr_2 prizmaları sisteması menen bekkem baylanıstırılǵan plastinkada ornalastırılǵan kórsetkishler shkalası da burıladı (2-súwrette shkala kórsetilmegen). Suyıqlıqtıń sınıw kórsetkishiniń mánisi shkaladaǵı jaqtılı orın menen qarańǵı orın arasındaǵı shegaraǵa sáykes keliwshi mánis alınadı.

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

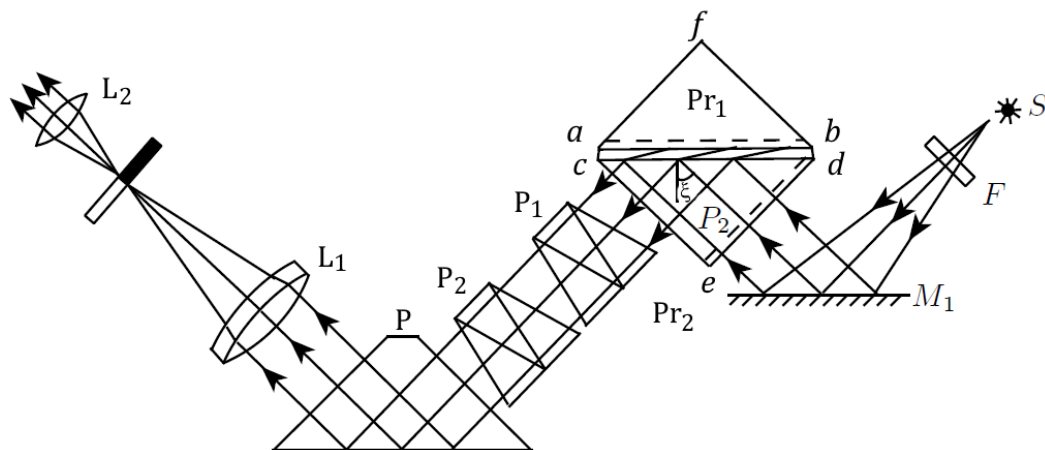
tolqın uzınlıǵına baylanıslı bolıwınıń) saldarınan hár qıylı reńlerge boyalǵan boladı. Bunday jaǵdayda shegaranıń anıq súwretin alıw ushın Pr_2 prizmasınan shıqqan nurlardıń jolına ózgermeli dispersiyaǵa iye kompensator ornalaştırıladı. Kompensator óz ishine birdey bolǵan eki Amishi dispersiyalıq prizmaların aladı (2-súwrette P_1 hám P_2 prizmaları). Al sol prizmalardıń hár qaysısı hár qıylı sınıw kórsetkishine hám hár qıylı dispersiyaǵa iye bir birine jelimlengen úsh prizmadan turadı. Prizmalar tolqın uzınlıǵı $\lambda_D = 589,3$ nm bolǵan (natriydiń sarı dubletine sáykes keliwshi eki tolqın uzınlıqlarınıń ortasha mánisi) monoxromatlıq nurǵa esaplanǵan. Bunday nur hesh tárepke qaray jılımaydı. Basqa tolqın uzınlıqlarına iye tolqınlar shep yamasa oń tárepke qaray jılıyadı. Eger prizmalardıń iyelegen ornı 2-súwretke sáykes keletuǵın bolsa, onda eki prizmanıń 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 prizmanıń dispersiyasın ekinshi prizmanıń dispersiyası tolıq kompensaciyalaydı). Bir prizmanıń ekinshisine salıstırǵandaǵı orientaciyasına baylanıslı kompensatordıń dispersiyası nolden baslap bir prizmanıń dispersiyasınıń eki eselengen mánisine shekem ózgeredi.

Prizmalardı bir birine salıstırǵanda burıw ushın arnawlı tutqa hám konuslıq tisli dóńgelekler ornatılǵan. Olardıń járdeminde prizmalar bir waqıtta qarama-qarsı baǵıtlarda burıladı (aylandırıladı). Kompensatordıń tutqasın aylandırıp kóriw maydanında jaqtılıq penen qarańǵı orınlar arasındaǵı shegaranıń jetkilikli dárejede anıq kóriniwine erisiwge boladı. Bunday jaǵdayda shegaranıń orna λ_D tolqın uzınlıǵına sáykes keledi. Tap usınday λ_D tolqın uzınlıǵına sáykes keletuǵın sınıw kórsetkishiniń mánisi beriledi.

Eger dispersiyası júdá úlken bolǵan zat izertlense kompensatordıń diapazonı jetkiliksiz bolıwı hám sonıń saldarınan anıq shegaranıń kórinbewi múmkin. Bunday jaǵdayda jaqtılandırǵıstıń aldına sarı reńli jaqtılıq filtrin ornalaştırıw 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 dereginen shıqqan jaqtılıq M_1 aynasında shaǵılısqannan keyin Pr_2 prizmasınıń gúńgirt cd qaptalına kelip túsedi (jılıp tarqalıwshı nur usılında bul bet metall perde menen jabıladı). Usı cd qaptalında shashıraǵannan keyin jaqtılıq múmkin bolǵan barlıq jollar menen shiyshe menen suyıqlıqtı ayırıp turǵan shegaraǵa kelip túsedi. $r > r_s$ teńsizligi orınlanǵanda tolıq ishki shaǵılısıw orın aladı. Biraq $r < r_s$ shárti orınlanǵanda jaqtılıqtıń bir bólegi shashıraydı. Trubanıń kóriw maydanında jaqtılıq penen yarım sayanıń shegarasınıń súwreti baqlanadı.



6-súwret. Toliq ishki shaǵılısıw usılı menen suyıqlıqtıń sınıw kórsetkishin ólshegende refraktometrdiń ishindegi nurlardıń júrisi.

Jılıp tarqalatuǵın usılda da, tolıq ishki shaǵılısıw usılında da sheklik múyeshti anıqlaytuǵın sharayatlar birdey bolǵanlıqtan, eki usılda da kóriw trubasında kórinetuǵın bólip turıwshı sızıqtıń iyelegen orınları da birdey boladı.

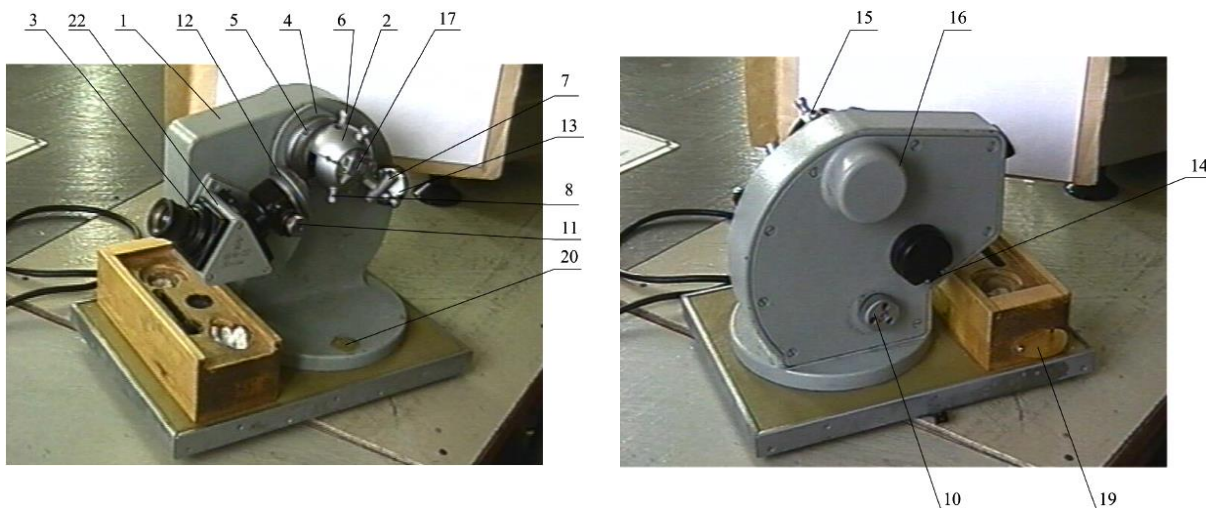
Toliq ishki shaǵılısıw usılında móldir emes zatlardıń da sınıw kórsetkishleri anıqlanadı. Biraq jılıp tarqalıwshı nurlar usılında móldir emes zatlardıń sınıw kórsetkishin anıqlaw múmkin emes.

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

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

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

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



ИРФ-22 типіндегі Abbe рефрактометрінің сыртқы көрінісі.

Solay etip trubanıń kóriw maydanında bir waqıtta shegara sızıq, sızıqlar atanaǵı, shkalanıń bólimlerin hám shkalanıń fizirlik shtrixları bir waqıtta kórinedi. Qarańǵı hám jaqtılı maydanları bólip turǵan shegaranı tabıw hám onı atanaqtı payda etiwshi eki sızıqtıń kesilisiw noqatına alıp barıp qoyıw ushın 10-maxovikti aylandırıw jolı menen ólsheuwshi dúzilisti qıyalatıw kerek. Baqlanıp atırǵan shegaranıń reńliligin joǵaltıw 11-maxovikti burıw arqalı ámelge asırıladı. Kompensator menen bir waqıtta 12-baraban da aylandırıladı. Bul barabannıń járdeminde zárúrli bolǵan jaǵdaylarda zattıń dispersiyasın da ólsheuw múmkin. Izertlenetuǵın zattı jaqtılandırıw ushın 13-aynanıń járdeminde ádettegi jaqtılıq (Quyashtıń jaqtılıǵı) yamasa arnawlı elektr lampasınıń jaqtılıǵı paydalanıladı.

Эксперименталлқ бóлим

Bul laboratoriyalıq jumıs eki tapsırmadan turadı. Eki tapsırmanı da orınlawdıń aldında рефрактометрдің durıs yustirovkalanganlıǵı puqtalıq penen tekseriledi.

Birinshi tapsırmada bir qansha suyıqlıqlardıń sınıw kórsetkishleri ólshenedi. Sınıw kórsetkishleriniń ólshengen mánisleri menen belgili kestelerдеги mánisleri salıstırılıp, suyıqlıqlardıń ximiyalıq jaqtan tazalıǵınıń dárejesi anıqlanadı. Eger alınǵan nátiyje menen kestelik mánis arasındaqı ayırma 0,0005 yamasa onnan da úlkenirek ayırmaǵa iye bolsa, onda izertlenip atırǵan suyıqlıqtı ximiyalıq jaqtan taza dep esaplawǵa bolmaydı. Mısalı taza xloroform (yamasa piridin) waqıttıń ótiwi menen jaqtılıqtıń tásirinde okislenedi hám sonıń nátiyjesinde sınıw kórsetkishiniń mánisi ózgeredi. Sonlıqtan 1-kesteniń eń aqırǵı baǵanasına suyıqlıqtıń ximiyalıq tazalıǵınıń mánisin jazıw kerek.

Екинshi tapsırmada орташа дисперсия hám Abbe санı anıqlanadı. Орташа дисперсияның mánisi spektrdіń kók reńli sızıǵına ($\lambda = 488,1 \text{ nm}$) sáykes keliwshi sınıw kórsetkishi (onı n_F arqalı belgileyemiz) menen qızıl reńli sızıǵına

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

Laboratoriyalıq jumıslardı orınlaǵanda ortasha dispersiyanı tómendegi formulanıń 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 sınıw 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 refraktometrdiń pasportında berilgen kestden 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 móldir ortalıqlardaǵı jaqtılıqtıń dispersiyasınıń ólshemi bolıp tabıladı, kúshli dispersiyaǵa V nıń kishi mánisi sáykes keledi).

ИРФ-22 refraktometriniń járdeminde móldir suyıqlıqlardıń sınıw kórsetkishin ólshew

Ólshewshi prizmanıń betine izertleniletuǵın suyıqlıqtıń bir neshe tamshısı tamızıladı hám prizma ásbaptaǵı ornına ornatılǵannan keyin jabıladı. Bunnan keyin suyıqlıqtıń ólshewshi hám jaqtılandırıwshı prizmalar arasındaqı keńislikti tolıq toltırǵanın 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 aynadıruw arqalı kóriw maydanındaǵı jaqtı menen sayanıń arasındaqı shegaranı tabadı. Al 11-maxoviktiń járdeminde onıń reńleri joq etiledi. Kóringen súwrettegi bólip turǵan shegaranı tordaqı atanaq penen bir orınǵa alıp kelip sınıw kórsetkishi shkalasındaǵı kóringen nátiyje jazıp alınadı. Esap ushın indeks sıpatında tordıń vizirlik shtrixi xızmet etedi. Sınıw kórsetkishiniń mánisiniń pútin, onlıq, júzlik hám mınlıq bólimleri shkala boyınsha anıqlanadı, al on mınnan bir bólegi kóz benen bahalanadı. Refraktometrdiń shkalası 20°C temperaturaǵa graduırovkalanǵan. Sınıw kórsetkishiniń mánisi temperaturadan gárezli bolǵanlıqtan ásbaptaǵı prizmalıq bloktıń temperaturasını termostattan shıqqan suw ótip turǵan kameranıń járdeminde stabillestiriw názerde tutılǵan. Oqıw maqsetlerinde joqarı dálilik talap etilmeydi. Sonlıqtan ólshewler barısında temperaturanı turaqlı etip uslap turıwshı qosımsha dúzilisler paydalanılmaydı.

Eskertiwler: Ólshewler tamamlanǵannan keyin Abbe blogınıń betleri jumsaq gezlemenıń qıyındısı yamasa filtrlik qaǵaz benen puqtalıq penen tazalanadı. Ólshewshi prizmanıń polirovkalanǵan qaptalın polirovkanıń buzıp

almaw maqsetinde oǵada abaylap sıırıw kerek. Bunnan keyin prizmalar spirt yamasa efir menen juwıladı hám kebiwi ushın blok ashıq 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 yustirovkalangan refraktometrdiń járdeminde distillyaciyalangan suw ushın $n_D = 1,33299$ mánisiniń alınıwı kerek.

Hár bir suyıqlıq ushın alınǵan nátiyjeler 1-kestege kirgiziledi.

1-keste

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

ИРФ-22 refraktometriniń járdeminde eritpedegi qanttıń procentlik muǵdarın anıqlaw

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

2-keste

Qanttıń koncentraciyası, %	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 sınıw nızamın keltirip shıǵarıńız hám absolyut, salıstırmalı sınıw kórsetkishleriniń fizikalıq mánislerin túsindirizińiz.

2. Toliq ishki shaǵılısıw orın alatuǵın sharayatlardı tabıńız. Toliq ishki shaǵılısıw ushın sheklik múyeshtiń mánisin esaplaytuǵın formulanı, sheklik sınıw múyeshiniń shamasınıń tolqın uzınlıǵınan gárezziligin keltirip shıǵarıńız.

3. Monoxromatlıq nur menen jaqtılandırǵandaǵı ИРФ-22 refraktometrindgi nurlardıń jolların kórsetińiz. Ásbaptaǵı dispersiya kompensatorı 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.Ивероной. 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 sınıw kórsetkishin paydalanıw arqalı eritpelerdiń koncentraciyasın ólshew

Jumıstıń maqseti ИРФ-22 refraktometriniń járdeminde ólshengen sınıw kórsetkishiniń mánisin (yaǵnıy koncentraciyası belgili bolǵan eritpeniń yamasa distillyaciyalanǵan suwdıń sınıw kórsetkishiniń mánisin) paydalanıp eritpeniń koncentraciyasın anıqlawdan ibarat. Sınıw kórsetkishi n menen eritpeniń koncentraciyası C arasında tuwrı sıızqlı baylanıstıń orın alıwı talap etiledi.

Jumısta tómendegidey máseleler sheshiledi:

1. Refraktometrdiń islew principin ámeliy jaqtan úyreniw;
2. Abbe refraktometrinde suyıqlıqtıń sınıw kórsetkishin ólshew usılların úyreniw;
3. Koncentraciyası belgili eritpelerdiń yamasa taza eritkishlerdiń sınıw korsetkishlerin refraktometrdiń járdeminde ólshew;

4. Eksperimentlerde alınğan suyıqlıqlardıń sınıw kórsetkishleri tiykarında berilgen eritpeniń koncentraciyasın anıqlaw.

Eskertiw: jumıstıń teoriyalıq bólimi 4-laboratoriyalıq jumısta berilgen.

Jumıstı orınlaw tártibi:

1. Abbe refraktometriniń optikalıq sxeması hám dúzilisi menen tanısw.

2. Ásbaptıń durıs isleytuǵınlıǵın tekserip kóriw. Bul operaciyanı orınlaw ushın sınıw kórsetkishi belgili bolǵan suyıqlıq alınadı. Mısalı distillyaciyalanǵan suwdıń ójire temperaturasındaǵı sınıw kórsetkishi $n = 1,33291$ ge teń. Tekseriwdi jılıp tarqalatuǵın nur usılınıń járdeminde ótkeredi.

3. Derekten shıqqan jaqtılıqtıń jaqtılandırıwshı prizmaǵa túsiwine hám kóriw maydanın bir tekli jaqtılandırıwına 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 orınǵa alıp kelip) okulyardıń shkalasınıń járdeminde suwdıń yamasa eritpeniń sınıw kórsetkishin mıńnan birge shekemgi dállikte anıqlaw.

5. Koncentraciyası hár qıylı bolǵan eritpelerdiń sınıw kórsetkishleri ólshenedi. Ólshewler keminde 3 ret qaytalanadı. Kelesi suyıqlıqtıń sınıw kórsetkishin anıqlaw ushın refraktometrdiń prizması suw menen juwıladı hám keptiriledi.

6. Sınıw kórsetkishleriniń mánisleri boyınsha eritpeniń koncentraciyası anıqlanadı.

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

1-tapsırma.

1. As dúziniń taza suwdaǵı eritpesin derlik toyınǵan tayarlańız hám eriw sheginiń $C = 200$ g/litr ekenligin esapqa alıńız.

2. Alınǵan eritpeniń sınıw kórsetkishin ólsheńiz. Ólshew keminde 3 ret qaytalanadı hám hár bir eritpe ushın sınıw kórsetkishiniń ortasha mánisi esaplanadı.

3. Taza suw quyıw jolı menen eritpeniń koncentraciyasın pútin san ese ózgertip sınıw kórsetkishiniń koncentraciyadan ǵárezligin tabıńız hám 1-kesteni toltırıńız. 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 shınıǵıw: Eritpegen suwdı aralastırıw jolı menen koncentraciyanı dáslepki C_1 shamasınıń $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{4}$ hám basqa da shamalarına alıp keliwge boladı?

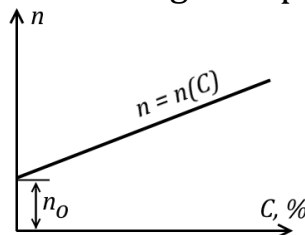
2-tapsırma. $n = n(C)$ ǵárezliginiń grafigin dúzińiz. Grafikte koncentraciya C nıń mánisleri abscissa kósherine, al sınıw kórsetkishi n nıń mánisleri ordinata kósherine túsiriledi.

Tájiriybelerde alınǵan nátiyjelerdi qayta islew

Eritpeniń koncentraciyası kishi bolǵan jaǵdaylarda basım kópshilik jaǵdaylarda

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

túrindegi teńlik orın aladı. Bul teńlikte C_x arqalı eritpeniń koncentraciyası, n_k arqalı eritpeniń sınıw kórsetkishi, n_D arqalı taza eritkishtiń sınıw kórsetkishi, K arqalı eksperimentte alınǵan maǵlıwmatlar tiykarında esaplanǵan koefficient belgilengen (eksperimentallıq dúziliske hám eksperiment ótkerilgen sharayatlarga baylanıslı bolǵan koefficient). Joqarıdaǵı teńlikten biz koncentraciya menen sınıw kórsetkishi arasında sızıqlı baylanıstıń orın alatuǵınlıǵın kóremiz ($K = const$ ekenligin esapqa alamız). Nátiyjede



túrindegi grafikke iye bolmız.

Ádette C hám n arasındaǵı sızıqlı baylanıs kópshilik suyıq eritpelerde koncentraciyanıń muǵdarı salıstırmalı kishi bolǵan jaǵdaylarda orınlanadı (ádette toyınǵan yamasa toyınıwǵa jaqın eritpelerde sızıqlı baylanıs buzıladı).

a) Grafikalıq usıl.

1. Alınǵan grafikten múyeshlik koefficient bolǵan $\xi = tg\alpha = \frac{\Delta C}{\Delta n}$ shamasın alıńız. Bul shama eksperiment sharayatlarındǵı erigen zat penen eritkishti xarakterleydi.

2. Grafiktiń járdeminde oqıtıwshı tárepinen berilgen eritpeniń koncentraciyasın (mısalı $NaCl$ eritpesiniń) $C = \frac{n - n_0}{\xi}$ formulasınıń járdeminde anıqlaydı.

b) Analitikalıq usıl.

Eń dáslep koncentraciyanıń muǵdarı C menen sınıw kórsetkishi n arasında sızıqlı baylanıstıń bar ekenligine tolıq isenimniń bolıwı kerek. Usıǵan sáykes izertlenip atırǵan suyıqlıq ushın eksperimentte alınǵan joqarıda kórsetilgendey grafiktiń bolıwı shárt. Bul grafik $n = \xi \cdot C + n_0$ funkciyasınıń grafigi bolıp tabıladı. Bul formulada $\xi = tg\alpha = \frac{\Delta n}{\Delta C}$ múyeshlik koefficienttiń mánisi

eksperimentallıq maǵlıwmatlar (alıńǵan grafik) boyınsha esaplanadı. n_0 koncentraciyasınıń shaması eritkishtiń sınıw kórsetkishi bolıp tabıladı. Nátiyjede koncentraciyanı

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

formulasınıń járdeminde esaplaw múmkin.

Sızıqlı baylanıstıń orın alıwı alıńǵan nátiyjelerdi qayta islegende jiberilgen eksperimentallıq qátelikti bahalaw ushın eń kishi kvadratlar usılın paydalanıwǵa múmkinshilik beredi.

Alıńǵan 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

1. Optikadaǵı refraktometriyanıń mánisi nelerden ibarat? Refraktometriyalıq usıllar qanday fizikalıq máselelerdi sheshiw ushın qollanıladı?

2. Jaqtılıqtıń dispersiyası. Normal dispersiya menen anomal dispersiyanıń ayırması neden ibarat?

3. Tolıq ishki shaǵılısıw nızamınıń fizikalıq mánisi nelerden ibarat?

4. Jumıstı orınlaǵanda aq jaqtılıq paydalanıladı. Usı jaǵdayda qanday sınıw kórsetkish ólshenedi?

5. Abbe refraktometrlerinde sınıw kórsetkishi refraktometrdiń prizmasınıń sınıw kórsetkishinen úlken bolǵan suyıqlıqlardı izertlewge bolmaydı. Nelikten?

6. Suyıqlıqlardıń konsentraciyanı anıqlawda qollanılatuǵın grafikalıq hám analitikalıq usıllardıń ayırmashılıǵı nelerden ibarat?

Paydalanılǵan ádebiyatlar dizimi

1. Dr. J. B. Tatum. Geometric Optics.

<http://www.astro.uvic.ca/~tatum/goptics.html>

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

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

6-laboratoriyalıq jumıs

Difrakciyalıq pánjereniń járdeminde jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵın anıqlaw

Kerekli ásbaplar hám úskeneler: Difrakciyalıq pánjere, optikalıq otırǵısh, jaqtılıq derekleri.

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

Qısqasha tariyx

Jaqtılıqtıń difrakciyası baqlanǵanda geometriyalıq optikanıń nızamları orınlanbaydı hám jaqtılıqtıń tuwrı sıızıqlı tarqalıw haqqında ayqın túrdegi gúmán payda boladı. Jaqtılıq tolqınları sıızıqlı ólshemleri usı tolqınlardıń tolqın uzınlıǵı menen barabar bolǵan móldir emes tosqınlıqlar arqalı ótkende difrakciya baqlanadı. Geometriyalıq jaqtan qanday nurlardıń paydalanılıwına baylanıslı (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 sistemasınıń (yaǵnıy tolqın frontı tegis bolǵan nurlardıń) difrakciyası baqlanadı. Bunday jaǵdayda qarańǵı hám jaqtılı jolaqlardan turatuǵın difrakciyalıq súwretti fokallıq tegisliginde nurlardı jıynawshı linzaniń járdeminde baqlaydı.

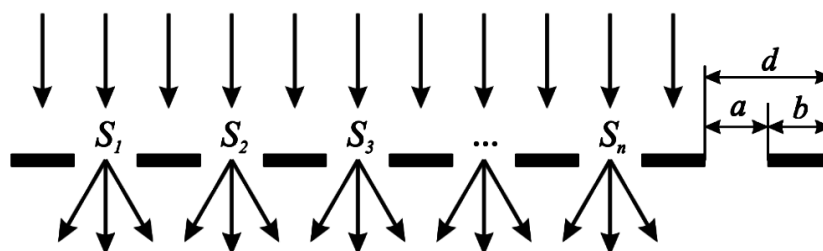
Difrakciyalıq pánjeredegi Fraunhofer difrakciyasın qaraymız.

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.



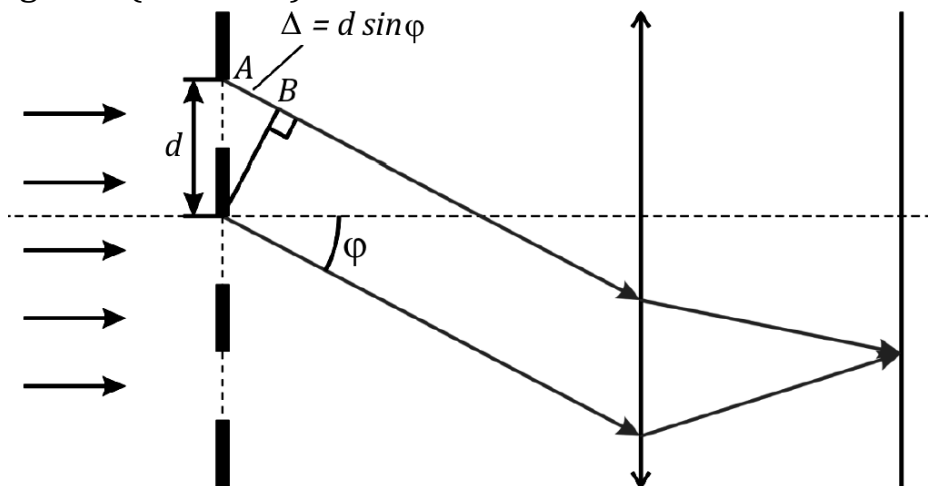
1-súwret. Difrakciyalıq pánjere.

Difrakciyalıq pánjereniń elementar teoriyasın qaraq ótemiz.

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

Eger pánjereniń sańlaǵınıń sıızıqlı ólshemi tolqın uzınlıǵınan kishi bolsa, onda hár bir sańlaqtı tolqınıń 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 strukturasını ózǵertedi. Pánjereden keyin nurlardıń dáslepki baǵıttan burılıwı múyeshi φ diń shaması oń hám shep táreplerge qaray 0° tan 90° qa shekem ózǵeredi (2-súwret).



2-súwret. Qońsıl asañlaqlardan shıqqan nurlardıń júrisler ayırmasın esaplawǵa arnalǵan sxema.

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

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

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

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

Qońsıl asañlaqlardan bir baǵıtta shıqqan nurlardıń júrisler ayırması Δ jaqtılıq tolqınıń uzınlıǵınıń pútın san eselengen kóbeymesina teń bolǵan

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

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

Demek usı baǵıtta tarqalatuǵın qálegen nurlar arasındaqı 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 sanǵa teń boladı). Onday bolatuǵın bolsa qońsılas sańlaqlardan φ múyeshinde shıqqan barlıq nurlar

$$d \sin \varphi = k\lambda \quad (1)$$

shártin qanaatlandıradı eken. Kristallar rentgenografiyasında (1)-teńleme túrindegi formula júdá keńnen paydalanıladı hám onı Breggler teńlemesi (Bragg's law) dep ataydı (rus tilindegi ádebiyatlarda Vulf-Bregg shárti yamasa Vulf-Bregg teńlemesi dep ataydı).

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

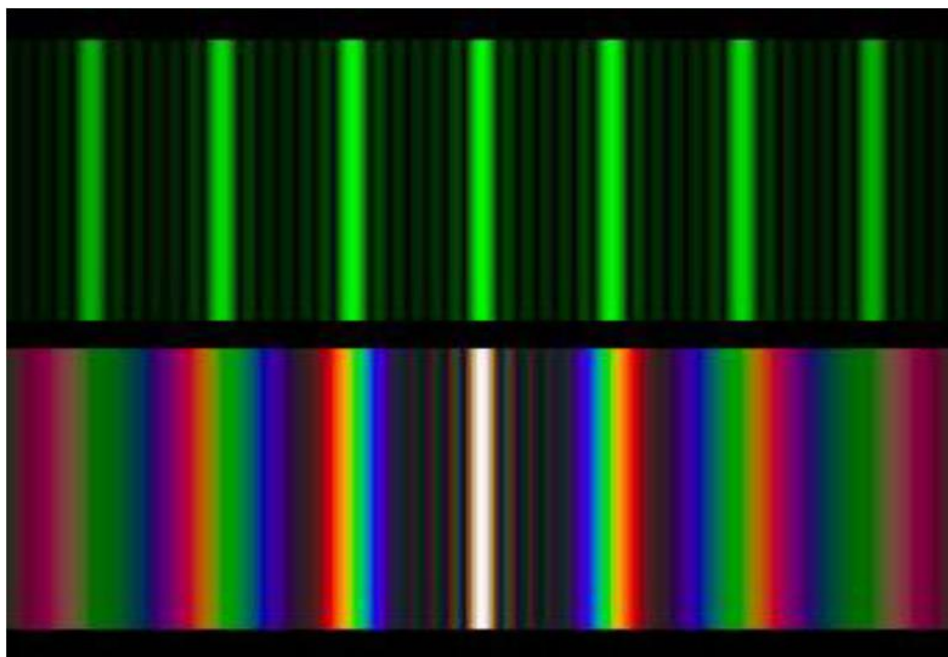
Difrakciyalıq pánjerelerdi paydalanǵanda (1)-teńleme tiykarǵı teńleme bolıp tabıladı. Difrakciyalıq maksimumlar payda bolǵan orınlar boyınsha φ di ólshep hám jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵı λ ni bilip pánjereniń turaqlısı d ni tabıw múmkin. Tap sol sıyaqlı, eger pánjere turaqlısı d berilgen bolsa, onda ólsheplerde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

Oraylıq jaqtılıq jolaǵındaǵı súwret (onı **oraylıq maksimum** dep ataymız) tolqın uzınlıǵınıń shamasınan ǵárezsiz 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 uzınlıǵı λ niń hár qıylı mánislerine sáykes hár qıylı φ ler sáykes keledi (yaǵnıy bir tártiptegi difrakciyalıq maksimumnıń ishinde). Sonlıqtan pánjere aq jaqtılıq penen jaqtılandırılatuǵın bolsa, onda linzaniń 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.

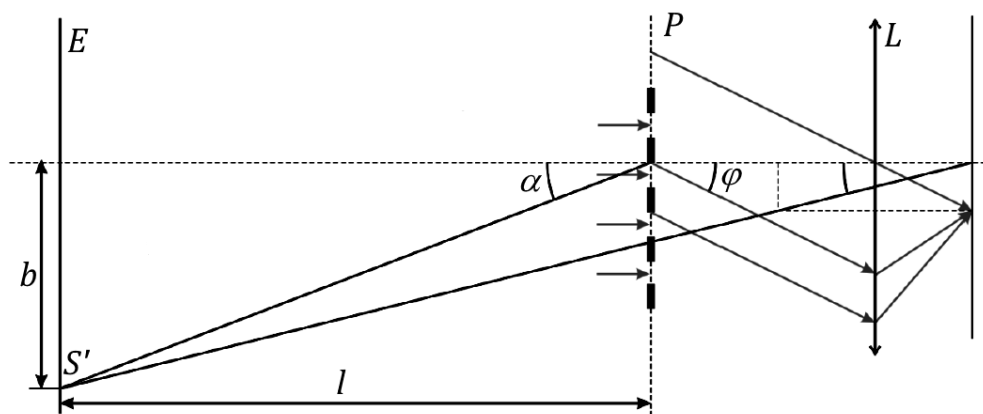
(1)-teńlemeneni tolqın uzınlıǵı λ ge qarata sheshsek, onda

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

ańlatpasına iye bolamız. Bul formula jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵın esaplaw ushın arnalǵan tiykarǵı formula bolıp tabıladı. Bul laboratoriyalıq jumısta tolqın uzınlıǵınıń shamasın optikalıq goniometrdiń hám sıızıqlı dúzilistiń járdeminde ólsheydi.

Eksperimentallıq úskene

Ekperimentallıq úskene (optikalıq otırǵısh) tuwrı múyeshli formaǵa iye aǵashtıń kesindisinen turadı. Onıń joqarǵı betine millimetrlik shkala jabıstırılǵan. Aǵashtıń ústindegi pazalarda E ekranı qozǵalısqı keltiriliwi múmkin (4-súwret). Ekranniń betine millimetrovkalıq shkala jelimlengen. Shkalanıń noli sańlaǵı bar ekranniń ortasında jaylastırılǵan. Kóz E ekranına proekciyalanǵan difrakciyalıq spektrlerdi kóredi.



4-súwret.

Difrakciyalıq maksimum kórinetuǵın múyeshtiń mánisi φ kishkene bolsa, onda

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

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

(3)-teńlikti (2)-ańlatpaǵa qoyıp

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

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

Jumıstıń barısı

1. Elektr lamposhkasın shınjırǵa tutastırıńız (jaǵıńız). Ásbaptı gorizont baǵıtındaǵı joqarǵı tárepi kózdiń qáddinde jaylasatuǵınday etip bekitińız.

2. Úskenegе difrakciyalıq pánjereni ornalastırıńız. Difrakciyalıq pánjereniń dáwiri bolǵan d shamasın anıqlańız (pánjereniń ózine jazıp qoyılǵan).

3. $l_1 = 20$ sm qashıqlıqta jılıyтуǵın ekrandı ornalastırıńız.

4. Ekrandaǵı sańlaq arqalı jaqtılıq dereginiń jaqtılıq shıǵarıp turǵan sabaǵı 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 ushın da, oń táreptegi maksimumlar ushın da islew kerek.

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

							Keste
Ornı	k	d , sm	b_q , sm	b_f , sm	l , sm	λ_q , nm	λ_f , nm
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 qubılısınıń fizikalıq mánisi nelerden ibarat?
4. Bir qatar qánigeler "difrakciya jaqtılıqtıń tosqınlıqlardı aylanıp ótiwi" dep ataydı. Neniń saldarınan jaqtılıq tosqınlıqlardı "ayanıp ótiwi" múmkin?
5. Qanday jaǵdaylarda difrakciya baqlanadı?
6. Difrakciyalıq súwrettiń alınıwındaǵı linzanıń tutqan ornı neden ibarat?
7. Difrakciyalıq pánjere ushın maksimumlar shárti nelerden ibarat?
8. Difrakciyalıq spektrlerdegi reńlerdiń ózgeriw tártibi qanday?

Paydalanılǵan 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-arphh81ii9w.pdf

<http://rgo.st/download/48302746/b7ce903fa62699dcfb60178ab548e0b7e0081db7/phys106.zip>

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

7-laboratoriyalıq jumıs

Nyuton saqıynaları járdeminde jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵın ólshew

Teoriyalıq bólim

Nyuton saqıynaları (Newton's rings) dep jaqtılıq dóńes linza arqalı ótkende usı linza menen tegis-parallel plastinkanıń bir biri menen tiyisip turǵan noqattıń dógeriginde 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 jiyiligi 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 tolqınnıń jiyiligi, al δ_1 arqalı birinshi terbelistiń dáslepki fazası belgilengen.

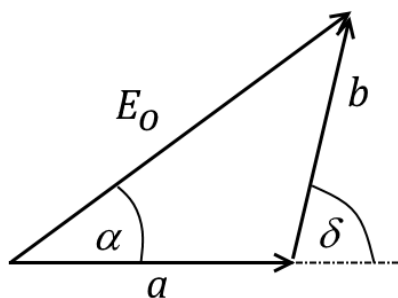
Qosındı terbelistiń amplitudası E_0 diń mánisin tabıwdıń hár qıylı jolları bar. Solardıń biri terbelislerdi vektorlıq qosıw usılı bolıp tabıladı:

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

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

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

shamasına teń bolǵanda alınatuǵınlıǵı kórinip tur. Bul ańlatpada $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ δ nıń 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

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

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

Terbelislerdi usınday etip qosıw monoxromat tolqınlardıń interferenciyasına sáykes keledi. Tolqınlardı monoxromatlıq emesliginiń xarakteristikası ushın kogerentlik uzınlıǵı ($\tilde{l}$) hám kogerentlik waqıtı (τ) túsinikleri paydalanıladı. 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 waqıtı nurlanıw spektriniń keńligi $\Delta\nu$ menen ápiwayı túrde baylanısqa

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

$\nu = \frac{c}{\lambda_0}$ teńliginiń orın alatuǵınlıǵın 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 ($\Delta\nu = 0$), yaǵnıy monoxromatlıq tolqın orın alǵan jaǵdayda kogerentlik uzınlıǵınıń 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 uzınlıqtaǵı tolqınlardıń jaynaǵın nurlandıradı. Bunday jaǵdayda sol shekli

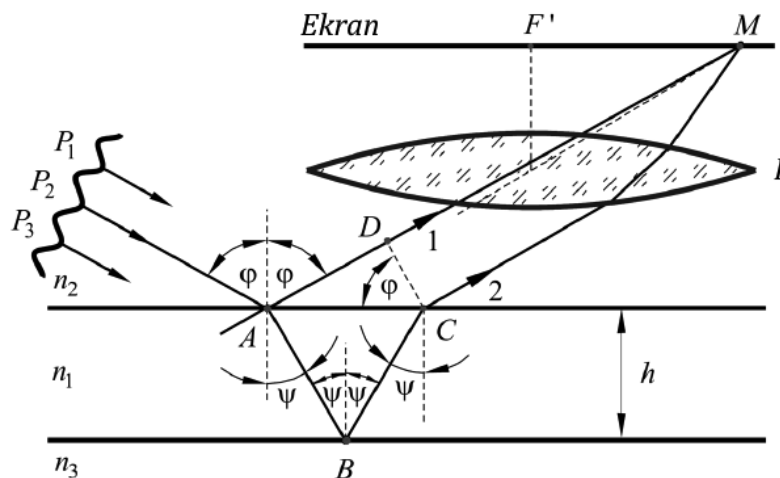
waqıtlıq uzınlıqtaǵı tolqınlardıń jıynaǵı ushın kogerentlik uzınlıqtıń shaması (7)-formulanıń járdeminde esaplanadı.

Biz tómende ápiwayılıq ushın "shekli waqıtlıq uzınlıqtaǵı tolqınlardıń jıynaǵı" túsiniǵiniń ornına rus tilindegi "tolqınlardıń cugı" túsiniǵin paydalanamız.

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

Joqarıda keltirilgen maǵlıwmatlar derekten shıqqan nurlardıń quramında hár qıylı jiyilikke, dáslepki fazaǵa hám tarqalıw baǵıtı hár qıylı bolǵan kóp sanlı tolqınlardıń cuglarınıń bolatuǵınlıǵın bildiredi. Al jaqtılıqtıń ádettegi deregin paydalanǵanda interferenciyanı baqlaw ushın nurdı qanday da bir jollar menen eki dástege ayırıw kerek boladı. Dástelerdiń biri waqıt boyınsha keshigiwge iye boladı (yaǵnıy biri ekinshisine salıstırǵanda artta qaladı). Onıń shaması kogerentlik uzınlıǵınan úlken bolmawı kerek. Bunnan keyin eki dásteni ekranniń bir noqatında jıynaydı. 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 qalınlıǵı h shamasına teń tegis-parallel plastinkaǵa túsetuǵın bolsın (2-súwret). Absolyut sınırıw kórsetishleriniń mánisleri n_1 hám n_2 shamalarına teń bolǵan bir tekli eki móldir zattı ayırıp turǵan birinshi shegaradaǵı A noqatında jaqtılıqtıń sınırıw menen shaǵılısıwı qubılısları baqlanadı. Al sınǵan nurdıń bir bólimi B noqatında shaǵılısıp, usı shaǵılısqan nurdıń bir bólimi C noqatında qaytadan birinshi ortalıqta sınadı.



2-súwret. Teńdey qıyalıqtaǵı interferenciyalıq jolaqlardı baqlaw sxemasındaǵı nurlardıń jolı.

Linzanın tautaxronlıq sistema ekenligi belgili. Bunday sistema mınaday qásiyetke iye: 2-nurdıń D noqatınan M noqatına baraman degenshe ketken waqıttıń shaması 1-nurdıń C noqatınan 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 sınıw 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-nurlardıń jollarınıń optikalıq uzınlıqlarınıń ayırmasınan ibarat. Δ shamasın júrislerdiń optikalıq ayırması dep ataydı. $AC = 2AB \sin\psi$, al φ menen ψ shamaları bolsa bir biri menen sınıw nızamı boyınsha baylanısqa 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 nıń

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

añlatpası arqalı baylanısқан 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 shárti bolıp tabıladı. Intensivliktiń minimumı

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

túrine iye boladı.

Monoxromat jaqtılandırıw orın alǵanda, yaǵnıy 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, yaǵnıy turaqlı jaqtılandırıw sáykes keledi. Sonlıqtan berilgen λ_0 ushın (belgili reń ushın degen sóz) ekranda baqlanatuǵın súwret koncentrik sheńberler túrindegi jaqtılı hám qarańǵı jolaqlardan turadı. Ekrandaǵı sáykes jolaqlardı **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. Alınǵan súwret hár qıylı reńlerdegi jolaqlardıń qosındısınan turadı. Hár qıylı reńlerdiń intensivlikleriniń maksimumları hár qanday múyeshlerde baqlanadı (sabınnıń kóbigi, suwdıń betindegi maydıń plenkası hám t.b.). Bunday jaǵdayda júrisler ayırmasın esaplaytuǵın formulaǵa kiretuǵın qatlamnıń qalınlıǵı

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

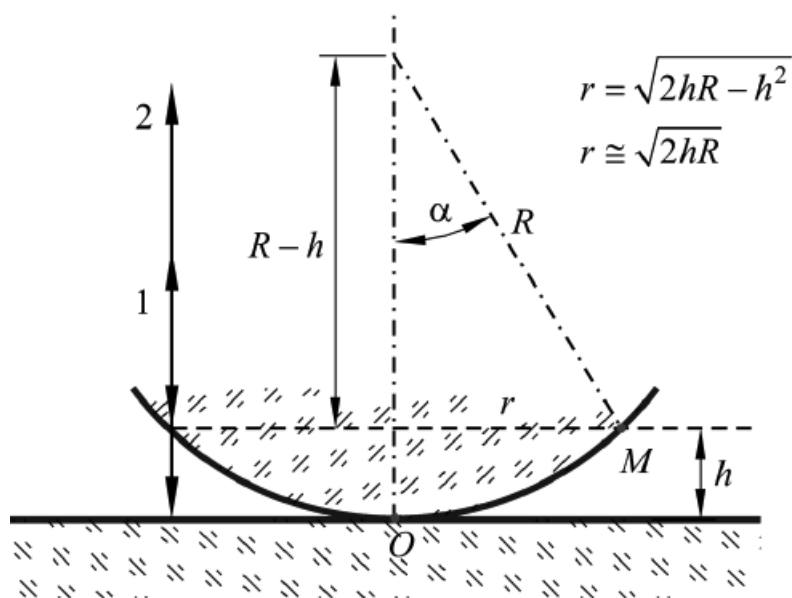
shártin qanaatlandırıwı kerek.

Kogerentlik uzınlıǵı 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 túrde alatuǵınlıǵın paydalanıwǵa boladı [adamnıń kózi úsh reńge seziwi joqarı bolǵan kóriw receptorlarınıń úsh sortına iye boladı

(qızıl, jasil, kók)]. Sonlıqtan juwıq túrde reńi boyınsha kózdiń ajratıwı qıyın bolatuǵın intervaldıń keńligi ushın $\Delta\lambda_0 = 0,1$ mkm shamasına teń intervaldı ala alamız. Bunday jaǵdayda kogerentlik uzınlıǵınıń shaması $(5 \div 6) \lambda_0$, yaǵnıy $2 \div 3$ mkm shamasına teń boladı. Bunnan biz qanday sebeplerge baylanıslı ójirelerdiń tegis aynalarında interferenciyalıq súwrettiń baqlanbaytuǵınlıǵın ayqın túrde túsine alamız.

Teńdey qalıńlıqlar jolaqları. Nyuton saqıynaları

Biz joqarıda birdey qıyalıqlar jolaqlarınıń payda bolıwınıń fizikalıq tiykarları menen tanıstıq. Bunday jolaqlar qalıńlıǵı $2 \div 3$ mkm shamasınan úlken bolmaǵan tegis parallel plastinkalarda baqlanadı eken (mısalı suwdıń betindegi juqa may plenkasında). Al teńdey qalıńlıqlar menen baylanıslı bolǵan interferenciyalıq jolaqlar qalıńlıǵı ózgermeli bolǵan zatlardıń qatlamında baqlanadı. Aq jaqtılıqtı paydalanǵanda plastinkanıń qalıńlıǵı h shamasınıń (16)-shártti qanaatlardıwı shárt bolǵanlıqtan h tıń mánisi júdá kishi bolıwı kerek hám zattıń qatlamın hár bir noqatta lokallıq jaqtan tegis hám parallel dep qarawǵa boladı. Bunday jaǵdayda qatlamnıń sına tárizlilik múyeshin júdá kishi dep esaplap, júrisler ayırmasın esaplaǵanda onı itibarǵa almawǵa boladı. Bunday jaǵdayda joqarıda alınǵan nátiyjelerdi paydalanıw múmkin [(12)-formulaǵa qarańız].



3-súwret. Shiyshe plastinkanıń tegis beti menen sferalıq bettiń arasındadı boslıqta payda bolatuǵın optikalıq sına.

Eger interferenciyalıq jolaqlardı baqlaǵanda φ múyeshiniń turaqlılıǵı támiyinlengen bolsa (ózgermeli qalıńlıqqa iye qatlamǵa jaqtılıq usınday múyesh penen túsedi), onda turaqlı λ_0 orın alǵanda qatlamnıń qalıńlıǵı h birden

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

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

Ámelde ózgermeli qalıńlıqqa iye sınanı payda etiw ushın jıynawshı linzanıń dóńes tárepin shiyshe plastinkanıń tegis betine qoyıw kerek (3-súwret).

Linzanıń beti menen plastinka tiyisip turǵan orında (0 noqatında) jetkilikli dárejede kishi qalıńlıqqa iye hawa sina payda boladı. h tiń turaqlı mánisine O noqatınan teńdey qashıqlıqta 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 sina tárizligi júdá kishi shamaǵa teń boladı: $\alpha \cong \frac{r}{R} \cong 4,8'$.

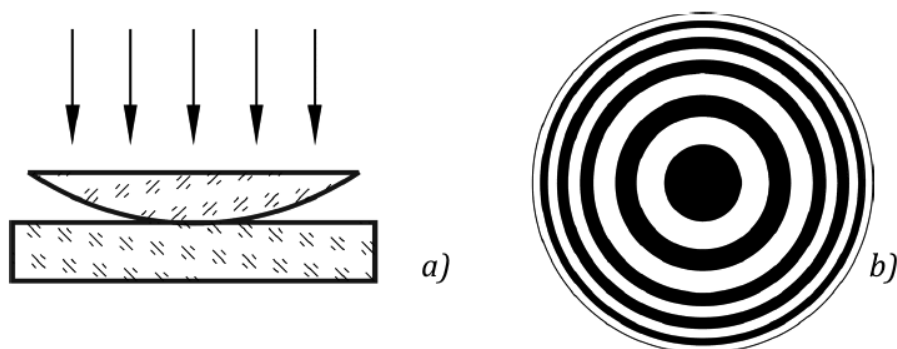
Sonlıqtan eger derekten shıqqan jaqtılıq vertikal baǵıtta túsetuǵın bolsa, onda sınıwdı esapqa almawǵa boladı hám juwıq túrde shaǵılısqan 1- hám 2-nurlar joqarı tárepke qaray bir sızıq boyınsha, biraq bir birine salıstırǵanda keshigip júredi dep esaplawǵa boladı. (12)-formulada júrisler ayırmasın esaplaw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

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

shamasına teń boladı.

(17)-formuladan baqlanatuǵın difrakciyalıq súwrettiń ortasında (yaǵnıy O noqatında) barlıq tolqın uzınlıqları ushın qarańǵı daqtıń alınatuǵınlıǵı 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 juwıq túrde bir birine teń boladı. Sebebi biz qarap atırǵan jaǵdayda shiyshe-hawa hám hawa-shiyshe shegaralarında túsiwshi jaqtılıq aǵımınıń tek kishi ǵana bólimi shaǵılısadı ($n_2 = 1.5, n_1 = 1$ hám $n_3 = 1.5$ bolǵan jaǵdaylarda jaqtılıq normal baǵıttaǵı túskende shaǵılıstırıw koefficientiniń mánisi tek 4 procentti quraydı). Sonlıqtan sina 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 arasındǵı optikalıq sına hám tájiriybelerde baqlanatuǵın Nyutonniń interferenciyalıq saqıynalarınıń túri.

Birinshi jaqtılı interferenciyalıq jolaq $h = \frac{\lambda_0}{4}$ shártine sáykes noqatlarda alınadı. 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 jıynaǵınan – 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 uzınlıǵı tabılatuǵın formula alınadı:

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

d_m hám d_k arqalı m – hám k – Nyuton saqıynalarınıń diametrleri belgilengen.

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

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

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

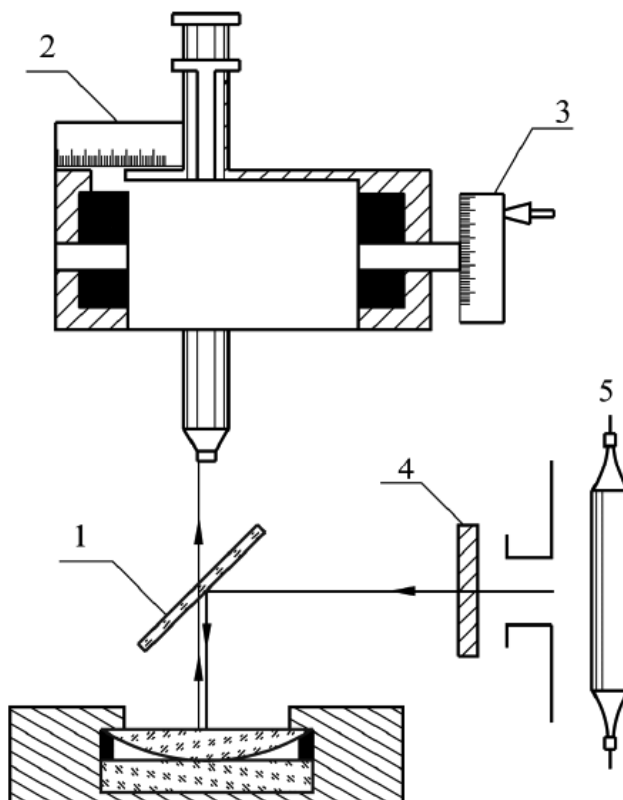
Jaqtılıqtıń sınaptan soǵılǵan deregin paydalanǵanda spektrdiń keńligin jáne de kishireytiwge hám usıǵan sáykes baqlanatuǵın saqıynalardıń sanın úlkeytiwge boladı.

Eksperimentallıq bólim

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

Tegis-parallel shiyshe plastinka (1) mikroskoptıń tubusına 45° lıq kıyalıqta qoyılǵan hám "dóńeslinza-tegis plastinka" sistemasın jaqtılandırıw hám usınıń menen birge Nyuton saqıynaların baqlawǵa kesent etpew ushın jaylastırıladı.

Mikroskoptıń tubusı mikrometrlik vinttiń járdeminde gorizont baǵıtında qozǵala aladı hám onıń iyelegen ornı 2-shkala hám 3-barabannıń járdeminde millimetrdiń júzden bir úlesindey dálilikte ólshenedi.



5-súwret. Nyuton saqıynaların baqlaw hám onıń diametrlerin ólsheuw ushın arnalǵan úskeneniń sxeması.

1-sanlı shınıǵıwlar. Linzaniń iymeklik radiusın tabıw

1. Jaqtılıq deregin qosıńız. Mikroskoptıń okulyarına ótkeriw jolaǵı belgili bolǵan jaqtılıq filtrin ornalastırıńız.

2. Derekten shıqqan jaqtılıqtıń tegis-parallel plastinkaǵa túskenligine hám onıń mikroskoptıń kósherine 45^0 qıya etip jaylastırılǵanına tolıq isenim payda bolǵannan keyin mikroskoptı saqıynalar anıq kórinetuǵınday etip fokuslańız.

3. Ólshewshi mikroskoptıń qozǵalıwshı karetkasınıń barabanın aylandırıw arqalı sızıqlardıń kesilisiw noqatın oraydan qashıqlasqan (mısalı shep tárepten altınshı jolaq) qarańǵı yamasa jaqtılı saqıynaǵa alıp kelip ólshew júrgizińız. Bunnan keyin usınday ólshewlerdi 5-, 4-, 3- hám basqa da saqıynalar ushın ótkerińız. Oraylıq daqtan ótip oń táreptegi saqıynalar ushın da (altınshı saqıynaǵa shekem) ólshewler júrgizińız.

4. Ólshewlerdiń nátiyjeleri boyınsha saqıynalardıń diametrleriniń shamaların anıqlańız. Linzaniń iymekliginiń radiusı (20)-formulanıń járdeminde alınadı. Nátiyjelerdiń dáligin joqarılátıw 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 uzınlıǵın anıqlaw

1. Zárúrli bolǵan jaqtılıq filtrin ornalastırıńız (1-sanlı tájiriybelerde paydalanǵan jaqtılıq filtrlerinen basqa).

2. 1-sanlı tájiriybelerdegi barlıq ólshewlerdi qaytalańız.

(20)-formulaǵa linzaniń anıqlanǵan iymeklik radiusın qoyıp tolqın uzınlıǵınıń mánisin tabıńız.

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw ushın arnalǵan sorawlar

1. Terbelisler menen tolqınlardıń tiykargı xarakteristikaları hám olardıń fizikalıq mánisi (jiyilik, dáwir, cikllıq jiyilik, tolqın sanı, tolqınnıń tarqalıw tezligi, tolqınnıń uzınlıǵı, amplituda, faza).

2. Garmonikalıq terbelislerdi qosıw. Qosındı terbelistiń energiyasınıń maksimumı menen minimumı shártleri.

3. Fazalar ayırması menen júrisler ayırmasın baylanıstıratuǵın formulanı keltirip shıǵarıw.

4. Nyuton saqıynaların baqlaw sxemasındaǵı interferenciyalanıwshı nurlardıń júrisler ayırması ushın formulanı keltirip shıǵarıw.

5. Baqlanatuǵın interferenciyalıq jolaqlardıń forması hám olardıń reńlerin túsindiriw.

Paydalanılğan 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-arphh81ii9w.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

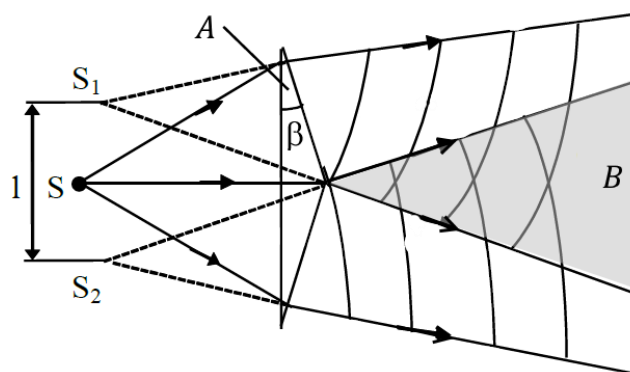
8-laboratoriyalıq jumıs

Frenel biprizmasınıń járdeminde jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵın anıqlaw

Jumıstıń maqseti: biprizmanıń járdeminde jaqtılıqtıń interferenciyası qubılısı menen tanısw hám tolqın uzınlıǵın ólshew.

Ólshewler usılları

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



1-súwret.

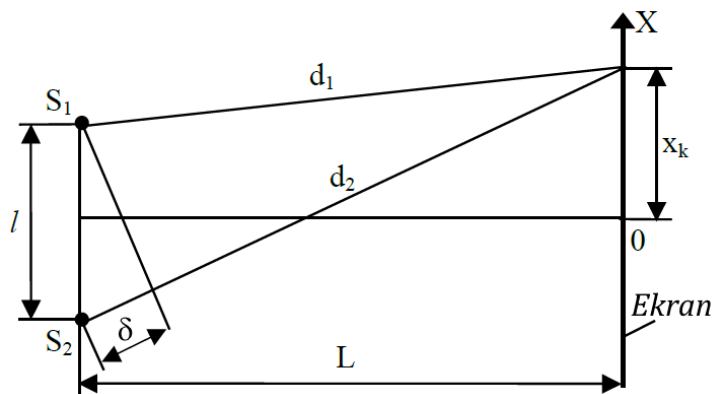
Frenel biprizması hám ondaǵı nurlardıń jolı.

A – biprizma.

B – interferenciya baqlanatuǵın oblast.

Eger S tiń ornına sıızıqlı jaqtılıq deregin (monoxromat nurlar menen jaqtılandırılǵan sańlaqtı) kóz aldımızǵa keltirsek, onda S_1 menen S_2 ler sıızıqlı jormal kogerent derekler bolıp tabıladı. Olardıń aldına L qashıqlıqta ekran jaylastıramız (2-súwret).

2-súwret.



Súwrette mınaday belgilewler paydalanılǵan: x_k – ekranniń orayınan k-tártipli maksimumǵa shekemgi qashıqlıq, $\delta = d_2 - d_1$ eki nur arasındaǵı júrisler ayırması, l – jormal kogerentli derekler arasındaǵı qashıqlıq, L – jormal dereklerden ekranǵa shekemgi qashıqlıq.

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

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

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

2-súwrettegi úsh múyeshlerdiń 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

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

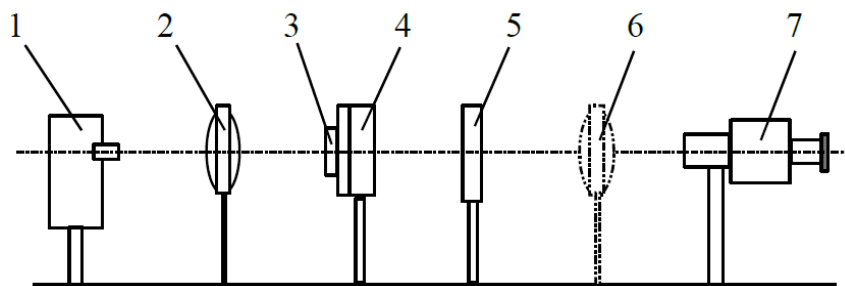
formulasınıń járdeminde esaplanadı. Bunnan

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

formulasına iye bolamız. Demek ásbaptıń ólshengen parametrleri boyınsha (l menen L) jaqtılıqtıń tolqın uzunlıǵı bolǵan λ shamasın anıqlaw múmkin eken.

Eksperimentallıq dúzilis

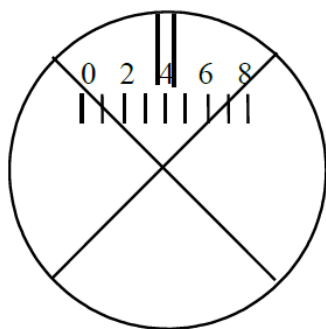
Frenel biprizmasınıń járdeminde interferenciya qubılısın izetlew ushın arnalǵan dúzilistiń sxeması 3-súwrette keltirilgen.



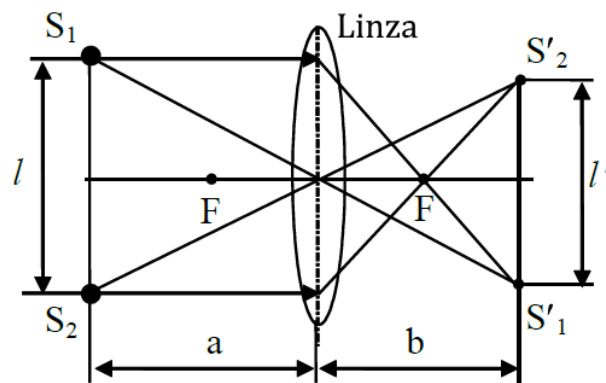
3-súwret.

Optikalıq otırǵısha izbe-iz túrde mınaday dúzilisler menen ásbaplar ornalaştırıladı: jaqtılıq deregi (qızdırıw lampası) 1, kondensor 2, jaqtılıq filtri 3, sańlaq 4, Frenel biprizması 5, okulyarlıq mikrometr 7. Ásbaplar arasındaqı qashıqlıq optikalıq otırǵıshtıń shkalası boyınsha anıqlanadı.

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



4-súwret.



5-súwret.

Okulyarlıq mikrometrdiń shkalası 4-súwrette kórsetilgen. Qozǵalmaytuǵın torda bahası 1 mm ge teń bólimler bólingen. Qozǵalatuǵın torda eki qozǵalatuǵın sızıq hám atanaq bar. Tordı mikrometrdiń vintin buraw arqalı jılıtadı. Mikrometrdiń bólimleriniń bahası 0,01 mm.

Atanaq tı mikrometrdiń barabanın aylandırıp dáslepki ólshenetuǵın kesindiniń baslanǵısh noqatı, al onnan keyin eń aqırǵı noqatı menen úylestiredi hám okulyarlıq mikrometrdiń shkalasındaqı hám barabandaqı kórsetkishler jazıp alınadı (sızıqlardıń iyelegen orınları boyınsha).

Mısalı, eger eki sıızıq arasındadı mikrometrдің shkalasında 4 sanı turğan (4-súwretke qarańız), al mikrometrlik vinttiń barabanında 29 bólim belgilengen bolsa, onda ólshew $1,29 \text{ mm}$, yaǵnıy $4,29 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ shamasın beredi.

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

Jormal jaqtılıq derekleri bolǵan S_1 hám S_2 derekleriniń arasındadı qashılıq l di anıqlaw ushın (2-súwret) optikalıq otırǵısha biprizma menen okulyardıń ortasına (6) jıynawshı linzanı ornalastradı (3-súwret). Jormal derekler arasındadı qashılıqtı 5-súwrette kórsetilgen linzadı jaqtılıq nurlarınıń júriw jollarınıń sxeması boyınsha tabıwǵa boladı.

5-súwrette l' arqalı okulyardıadı mikrometrдің járdeminde anıqlanǵan jormal derekler arasındadı qashılıq, b arqalı linza menen okulyarlıq mikrometr (7) arasındadı aralıq, a arqalı (4) sańlaq hám (6) linza arasındadı qashılıq belgilengen. Sol 5-súwrettegi úsh múyeshliklerдің uqsaslıǵınan

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

anılatpasın alamız. Usı jaǵdayǵa baylanıslı tolqın uzınlıǵı ushın eń aqırında

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

formulasın alamız. Prizmanıń sındırıwshı múyeshiniń mánisin

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

formulasınıń járdeminde anıqlaw múmkin. Bul formulada d arqalı (4) sańlaq penen (5) biprizma arasındadı qashılıq hám $n = 1,5$ shaması shiysheniń sınıw kórsetkishi bolıp tabıladı.

Jumıstı orınlaw tártibi

1. Optikalıq otırǵısha 3-súwrette kórsetilgendey tártipte ásbaplardı ornalastrıńız (6-linzadan basqaların).

2. Qızdırıw lampasın elektr tarmaǵına jalǵańız.

3. Jaqtılıq filtrin ornalastrıńız hám mikrometrlik vinttiń járdeminde bir neshe interferenciyalıq jolaqlar arasındadı qashılıqlardı ólsheńiz (qatar sanları $N = 3, 5, 7$, qashılıqlar $N \cdot \Delta x$). Hár bir ólshew ushın qońsılas jolaqlar arasındadı qashılıq Δx hám olardıń ortasha mánisin

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

túrindegi formulanıń járdeminde esaplańız. Ólsheńlerdiń nátiyjelerin hám jaqtılıq filtriniń reńin 1-kestege jazıńız.

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

1-keste.

Jaqtılıq filtri _____.

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

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

2-keste.

Jaqtılıq filtri _____.

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

6. Optikalıq otırғыsh boyınsha (4) sańlaq penen (7) okulyarlıq mikrometr arasındaqı L aralıqtı hám (4) sańlaq penen (5) biprizma arasındaqı aralıq d nı ólsheńiz.

7. Optikalıq otırғыshqa (6) linzanı ornalastırıp hám onı jılastırıp jolı menen dereklerdiń (ańlaqlardıń) eki súwretiniń okulyarlıq mikrometrdegi anıq súwretiniń payda bolıyana erisińiz. Mikrometrdiń járdeminde olar arasındaqı qashıqlıq l' tıń mánisin ólsheńiz. Optikalıq sıızgıshtıń shkalası boyınsha a menen b arasındaqı qashıqlıqtı ólsheńiz (5-súwret).

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

9. (7)-formula boyınsha hár bir jaqtılıq filtri ushın tolqın uzınlıǵı λ nı anıqlańız.

10. (8)-formula boyınsha prizmanıń sındırırwshı múyeshi β nı anıqlańız.

11. Ásbaplardı tarmaqtan ajratıńız.

Qadaǵalaw ushın arnalǵan sorawlar

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

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

3. Usı jumıstı orınlaǵanda qanday maqsetlerde linzanı sańlaq penen okulyarlıq mikrometr arasına ornalastradı?

Paydalanılǵan 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://fileskachat.com/getfile/25872_d0cbd07ad96bb8aa5a77eed0913a4c2f

3. А.Н.Матвеев. Оптика. Издательство "Высшая школа". Москва. 1985.

351 с. <http://rgo.st/download/48302963/d7cefd80f8727c6683686d5a8e905f299a242ec/phys111.zip>

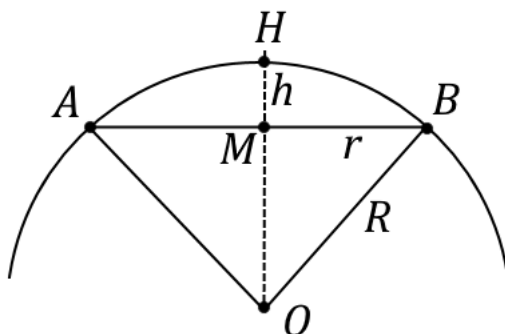
9-laboratoriyalıq jumıs

Plastinkanıń qalınlıǵın hám linzanıń iymeklik radiusın sferometrdiń járdeminde ólshew

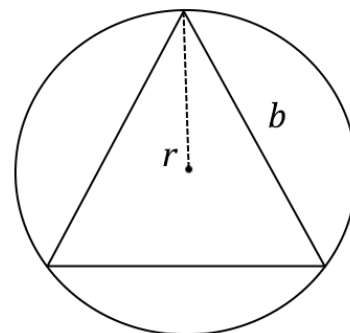
Ásbaplar hám úskeneler: sferometr, ayna shiyshe, shiyshe plastinka, tegis linza, shtangencirkul.

1. Teoriyalıq kirisiw

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



1-súwret.



2-súwret.

Tikkeley ólshenetuǵın shamalar menen linzaniń iymeklik radiusın baylanıstıratuǵın formulanı keltirip shıǵaramız. Belgilewler qabıl 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 múyeshli úsh múyeshlikten

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

teńliginiń orın alatuǵınlıǵı kórinip tur. Bunnan

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

formulasına iye bolamız.

Biraq r shaması úsh múyeshliktiń sırtınan sızılǵan úsh múyeshliktiń radiusı bolıp tabıladı. Bul úsh múyeshliktiń tóbeleri sferometrdiń ayaqlarınıń ushı bolıp tabıladı. Usı r shaması teń qaptalı úsh múyeshliktiń qaptalı b menen ápiwayı túrde baylanısqa (2-súwret):

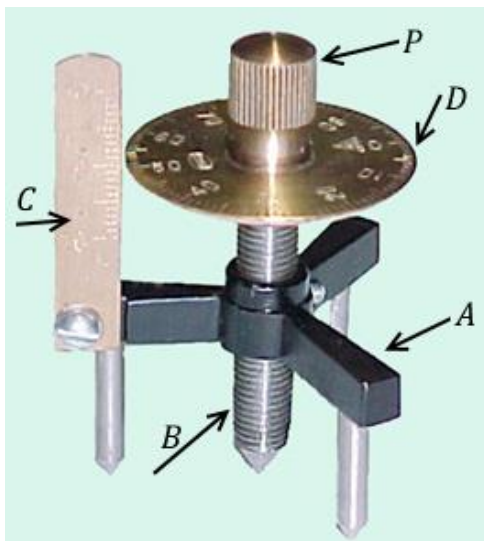
$$r = b \frac{\sqrt{3}}{3}. \quad (2)$$

Alınǵan nátiyjeni (1)-formulaǵa qoysaq tek ólshenetuǵın 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 vertikalıq mikrometrlik vint qozǵaladı. Onıń adımı 1 mm ge yamasa 0,5 mm ge teń boladı. Tómeni tárepte vinttiń ushı shıǵarılǵan, al joqarǵı tárepte D diski bekitilgen. Bul disk 100, 500 yamasa 1000 bólimge bólingen. Qaptal tárepte C vertikalıq sızǵıshı bekitilgen bolıp, usı sızǵısh boyınsha vinttiń tolıq aylanıslar sanı esaplanadı. Aylanıslar sanınıń yarım, onnan bir h.t.b úlesleri D diski boyınsha anıqlanadı.



3-súwret.
Sferometrдің sırtqı
kórinisi.

Sferometrдің ayaqları ushlı etip islengen, olar arasındaqı qashıqlıqlar birdey.

B vintiniń obektke tiygenin seziw ushın P sezgir rıshagı xızmet etedi. Onıń iyinine mikrometrlik vinttiń joqarǵı ushın tireledi. Vinttiń ushı izertlenetuǵın betke tiygende P rıshagınıń ushı joqarıǵa qaray jılısadı.

3. Jumıstı orınlaw tártibi

1-tapsırma. Plastinkanıń qalınlıǵın ólshew.

1. Sferometrdi aynalıq shiysheniń (yaǵnıy 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 baǵıtta burap onıń ushın plastinkaǵa tiyetuǵınday jaǵdayǵa alıp kelińız hám esaplawdı júrgizińız.

Plastinkanıń múyeshlerine jaqın eki noqat ushın da tap sonday ólshewlerdi júrgizińız. Alınǵan nátiyjelerdi tómendegi kestege túsirińız:

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 Student koefficientin tabıńız.

2-tapsırma. Linzanıń iymeklik radiusın ólsheń.

Linzanıń iymeklik radiusınıń mánisi 3-formula boyınsha esaplanadı.

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

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

Sferometrди jılıstırıp ólsheńlerdi qaytadan ótkerińiz (keminde 3 ret).

Sferometrди bir bet qağazdıń ústine qoyıńız, ásbaptı qağazǵa ástelik penen basınız hám sferometrдиń ayaqlarınıń qağazda qaldırǵan izleri arasındaǵı aralıqlardı shtangencirkuldiń járdeminde ólsheńiz.

Nátıyjelerdi 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 alıw usınıladı. Iymeklilik 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 Student koefficienti bolıp tabıladı (onıń mánisleri kestelerden alınadı). Eń aqırǵı nátıyjeler:

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

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

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 anıqlaǵanda jiberiletuǵın qátelerdiń xarakteri nelerden ibarat?

Paydalanılǵan 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

Prizmanı goniometrdiń járdeminde úyreniw

Jumıstıń maqseti: Optikalıq goniometrdiń (optical goniometer) jumısı menen tanısw, shiyshe prizmanıń dispersiyasın izertlew hám spektrallıq ásbap sıpatındaǵı prizmanıń xarakteristikaların anıqlaw.

Jumısta tómendegidey ásbap hám úskeneler paydalanıladı: goniometr, sınap lampası, prizma, shiyshe tegis-parallel plastinka, prizmalı múyeshlik shaǵılıstırǵısh.

Goniometr dep múyeshlerdiń mánisin dál ólsheytuǵın ólsheuwshi ásbaplardıń klassına aytadı. Optikalıq laboratoriyalarda goniometrler keńnen qollanıladı. Olardıń járdeminde prizmalar menen kristallardıń sınw kórsetkishlerin hám sındırıwshı múyeshlerin anıqlaw, difrakciyalıq pánjerelerdiń parametrlerin izertlew, spektrallıq sızıqlardıń tolqın uzınlıqların ólsheuw múmkin. Goniometrlerdiń járdeminde basqa da kóp sanlı izertlewler ótkeriledi. Bul jumısta ásbap shiyshe plastinkalardıń dispersiyasın (yaǵnıy sınw kórsetkishiniń tolqın uzınlıǵınan gárezligin) izertlew ushın qollanıladı.

Prizmanıń materialınıń sınw kórsetkishin eń kishi awısıw múyeshiniń mánisi boyınsha anıqlaw qolaylı. Prizmada sınǵan nurdıń minimallıq awısıwınıń (yaǵnıy prizmaǵa kelip túsken hám prizmada sınǵan nurlar arasındaǵı múyesh haqqında gáp etilip atır) nurdıń simmetriyalıq júrisinde alınatuǵınlıǵı belgili (prizmada nur sındırıw múyeshiniń bissektrisasına perpendikulyar baǵıtta tarqaladı). Minimallıq awısıw múyeshi δ , sındırıwshı múyesh α (1-súwrettegi prizmanıń tóbesindegi múyesh) hám sınw kórsetkishiniń shamaları arasında tómendegidey baylanıs bar:

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

Bul formulanı keltirip shıǵarıw studentlerdiń ózlerine tapsırıladı.

Goniometrdiń járdeminde sındırıwshı múyeshtiń hám hár qıylı tolqın uzınlıqları ushın eń kishi awısıw múyeshiniń mánislerin ólshep n shamasınıń mánisin esaplawǵa jáne dispersiyalıq iymeklikti $n(\lambda)$ ǵárezliginiń grafigin dúziw múmkin.

Dispersiyalıq iymeklik boyınsha optikalıq shiysheleardiń sonday áhmiyetli xarakteristikalarınıń biri bolǵan ortasha dispersiyanı

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

hám dispersiya koefficientin (Abbe koefficientin)

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

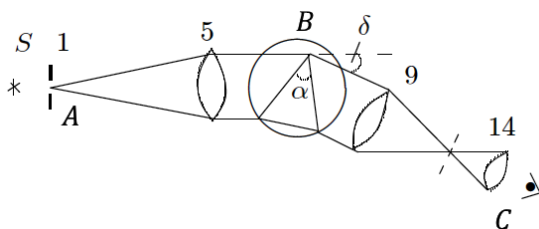
anıqlaw múmkin.

Bul ańlatpalarda n_D, n_F hám n_C arqalı $\lambda_D = 589,3 \text{ nm}$ (natriydiń sarı dubleti ushın ortasha tolqın uzınlıǵı), $\lambda_F = 486,1 \text{ nm}$ (vodorodtıń kók reńli sızıǵı) hám $\lambda_C = 656,3 \text{ nm}$ (vodorodtıń qızıl sızıǵı) tolqınları ushın sınıw kórsetkishleri belgilengen.

Dispersiyalıq iymekliktiń qıyalıǵı boyınsha prizmanıń ajırata alıwshılıq uqıplıǵın tabıw múmkin:

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

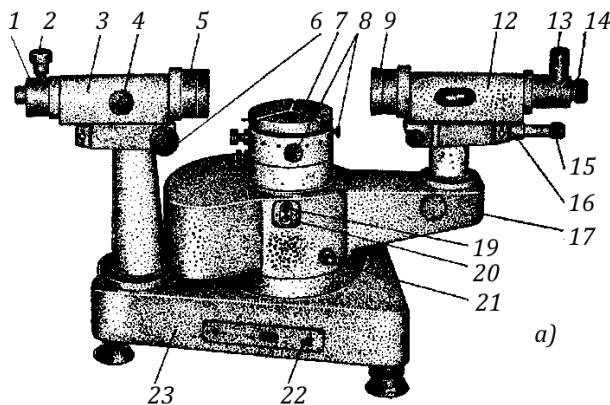
Bul formulada $\delta\lambda$ arqalı Reley kriteriyi boyınsha ruqsat etiletuǵın tolqınlardıń minimallıq intervalı, b arqalı prizmanıń ultanınıń ólshemi (eger prizmanıń qaptalı parallel dáste menen jaqtılandırılǵan bolsa) belgilengen.



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

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

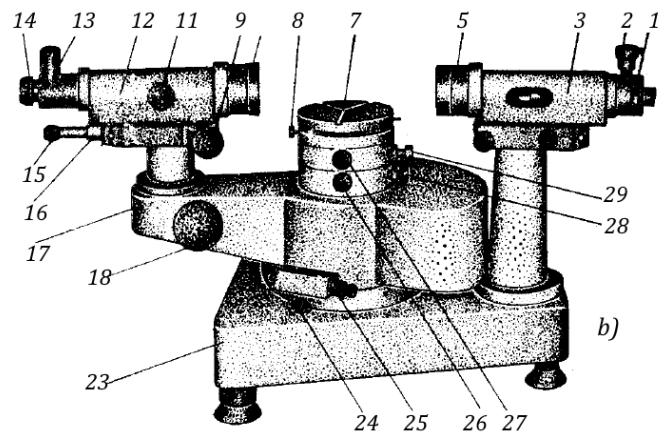
5-obektivten turatuǵın parallel dásteni beretuǵın dúziliske aytamız) ótedi hám prizma yamasa pánjere tárepinen parallel dástelerdiń jıynaǵına túrlendiriledi. Sol dástelerdiń hár qaysısı belgili bir tolqın uzınlıǵındaǵı jaqtılıq penen qalıpleseı. Parallel dásteler kóriw trubasınıń 9-obektiviniń fokallıq tegisliginde jıynaladı hám kóz benen kóriw trubasınıń 14-okulyarı arqalı baqlanadı. Sınap quyılǵan lampanıń jaqtısı menen sańlaq jaqtılandırılǵanda (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.
ΓC-5 tipindegi optikalıq
goniometrdiń sırtqı túri (bir
tárepten qaraǵanda).

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

2-b súwret.
ΓC-5 tipindegi optikalıq
goniometrdiń sırtqı túri
(ekinshi tárepten qaraǵanda).



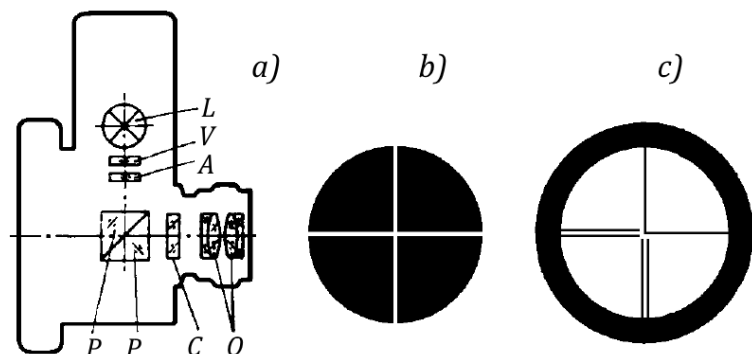
Kollimatorlıq sańlaqtıń keńligin 0 den 2 mm ge shekem 2-mikrometrlik vinttiń járdeminde ózgertiw múmkin. Al sańlaqtıń biyikligi de 0 den 2 sm ge shekem sańlaqqa kiygizilgen úsh múyeshli kesigi bar diafragmanıń járdeminde ózgertedi. 4-vint 5-obektivti jılıtıw ushın paydalanıladı.

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 bağıtındaǵı kósherge salıstırǵandaǵı kollimator menen kóriw trubasınıń qıyalıǵı sáykes 6-hám 10-vintlerdiń járdeminde ózǵertiledi.

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 múyeshli P prizmaǵa kelip túsedı hám gipotenuza qaptalında shaǵılısadı. Al gipotenuza qaptalına shaǵılıstırıw koefficienti 50 % bolǵan yarım móldir qatlam jaǵılǵan. Goniometrdi yustirovkalaw ushın kishi stolǵa tegis shaǵılıstırıwshı betke iye predmet qoyıladı. Onda shashıraǵannan keyin parallel dáste kóriw trubasına qaytadı hám obektivtiń fokallıq tegisliginde jaynaladı. Bunday jaǵdayda jaqtılıq shıǵarıp turǵan atanaqtı kóriw trubasınıń okulyarı arqalı kóriwge boladı. Sonıń menen okulyarda jáne bir C torı bar bolıp, onıń betine anıq kórinip turatuǵın atanaq túsirilgen (3-c súwret). Eki atanaqtıń da bir biriniń ústine túsirilgen súwreti O okulyarlıq linza tárepinen baqlanadı. Esaplawshı atanaqtıń kózge kórinetuǵın súwretiniń anıqlıǵı okulyardıń 14-oprawasın aylandırıw menen júzege keltiriledi.

3-súwret.
Avtokollimaciyalıq
dúzilis.

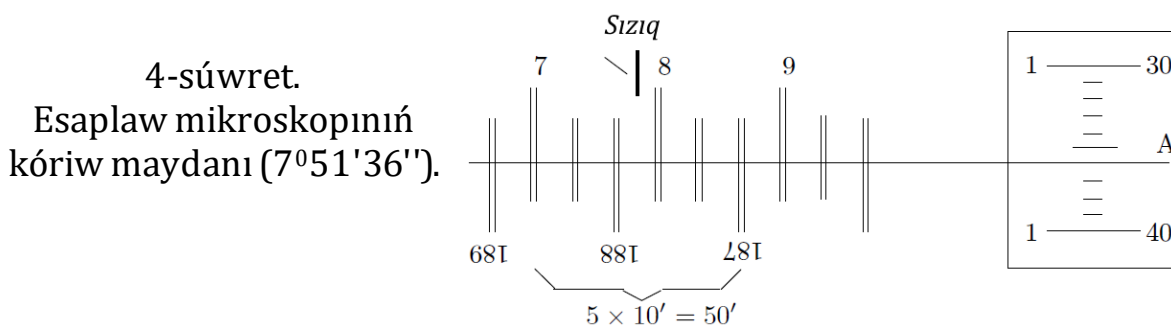


Okulyardıń eki torı da (A hám C lar, 3-a súwret) P prizmasınıń gipotenuza qaptallarınan birdey qashıqlıqta jaylasqan. Sonlıqtan olardıń ekewin de tek bir waqıtta – obektiv penen okulyardıń fokallıq tegislikleri bir biriniń ústine túskende baqlaw múmkin (truba sheksizlikti kóriwge tuwrılanǵan).

Kishi stoldıń orayı arqalı ótetuǵın vertikalıq kósherdiń dógeregindegi kóriw trubasınıń burılıwın kórsetetuǵın dúzilis goniometrdiń eń áhmiyetli bólimleriniń biri bolıp tabıladı. Usı kósherge ásbaptıń korpusında jaylasqan móldir saqıyna (limb) bекitiledi. Limbtiń betine bólimlerge iye shkala jaylastırılǵan. Limb $3 \times 360 = 1080$ dana bólimge bólingen. Hár bir bólimniń bahası $20'$ qa teń. Bólimler hám 1° tan cıfırlanǵan (cifra jazılǵan). Eger jaqtılandırılǵan bolsa (22-tumbler), esaplaytuǵın dúzilis 16 nıń okulyarı arqalı limbtiń shkalasın baqlaw múmkin. Shkalanıń súwretiniń anıqlıǵı okulyardıń oprawası (15) ti buraw arqalı ámelge asırıladı.

Esaplawshı dúzilistiń optikalıq sisteması bilayınsha jıynalǵan: 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 jılistıra aladı. Bunday jaǵdayda limb yamasa kóriw trubası bekitilgen alidada qozǵalıssız orınlarında qaladı.

Shtrixlardıń bul orın almasıwları optikalıq mikrometrdiń járdeminde ólshenedi. Mikrometrdiń shkalası 600 bólekke jıjıǵanda 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 limbniń diametrallıq qarama-karsı ushastkalarınıń súwretleri hám graduslardı belgileytuǵın vertikalıq 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 orналаstırılǵan alidadanıń hám limbniń bir birine salıstırǵandaǵı qozǵalıslarınıń bir neshe variantları názerde tutilǵan.

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

- kóriw trubası sheksizlikke qoyıladı;
- kishi stoldıń beti hám trubanıń optikalıq kósheri ásbaptıń aylanıw kósherine perpendikulyar etip qoyıladı;
- kollimator túsiwshi nurlardıń baǵıtına perpendikulyar orналаstırıladı;
- kollimatordıń optikalıq kósheri ásbaptıń kósherine perpendikulyar orналаstırılǵan bolıwı shárt.

Jumıstı orınlaw barısında hár bir student goniometrde jumıs islewdiń qaǵıydaları menen tolıq tanısadı.

Tapsırmalar

Jumısta goniometrdi yustirovkalaw, prizmanıń sındırıwshı múyeshin anıqlaw, sınaptıń bir neshe spektrallıq sızıqları ushın eń kishi awısıw

múyeshiniń mánisin ólshew hám prizmanıń spektrallıq xarakteristikaların bahalaw názerde tutiladı.

1. Goniometrdi yustirovkalaw

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

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

2. Kishi stoldıń tómengi bóliminiń shkala menen birgelikte erkin aylanıwı ushın 26-vint, stoldıń joqarǵı bóliminiń erkin aylanıwı ushın 27-vint bosatılǵan bolıwı kerek. Stoldı qol menen aylandırıp 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 arasındaqı sańlaqtıń shamasına da itibar beriledi).

Kóriw trubasın sheksizlikke tuwrılaw.

3. 14-tutqanı aylandırıw arqalı kóriw trubasınıń okulyarın qara reńli esaplawdıń bası xızmetin atqaratuǵın qara atanaqtı anıq kórinetuǵınday etip qoyadı (krestti stol lampasınıń shashıraǵan nurı menen jaqtılandırıwǵa boladı).

4. 22-tumblerdi elektr tarmaǵına qosıńız (bul jaqtılandırǵısh). Bunday jaǵdayda obektiv tárepten trubaqı qaraǵanda avtokollimaciyalıq tordaqı jaqtılıq shıǵarıp turǵan krestti kóriwge boladı.

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

Kishi stoldıń betin ásbaptıń aylanıw kósherine perpendikulyar etip qoyıńız.

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

Kishi stoldıń ústine múyeshlik shaǵılastırıwshını (tóbesindegi múyesh 90° qa teń bolǵan prizmanı) mına shártlerdi qanaatlandıratuǵınday etip qoyıńız: 8-vintlerdiń biri prizmanıń gipotenuzalıq qaptalına perpendikulyar, al gipotenuzalıq qaptal kóriw trubasınıń kósherine perpendikulyar bolsın. Bunday prizmadaqı kiriwshı hám shıǵıwshı nurlar barlıq waqıtta da bir birine parallel.

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

6. Shağılistırǵıshtı kóterińiz, kishi stoldı 180 gradusqa burıńız hám shağılistırǵıshtı stoldıń ústine qoyıńız. Avtokollimaciyalıq atanaqtıń orayın jáne de esaplawdıń bası orın iyeleytuǵın shtrix penen úylestiremiz. Biraq bul jaǵdayda yarım aralıqtı truba menen parallel bolǵan 8-vint penen, al qalǵan yarımın 10 vinttiń (trubanıń qıyalıǵı vinti) járdeminde ótiw kerek. Stoldı dáslepki awhalına alıp kelińiz hám alıp kelingen (tuwrılǵan) awhaldıń shamasın anıqlańız. 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 sańlaqqa jaqın jaylastırıńız. Kollimatordıń obektiviniń artına aq qaǵazdı qoyıńız hám kollimatordıń kósherine perpendikulyar baǵıtta jaqtılıqtıń deregin qozǵap qaǵazdaǵı jaqtılıq daǵınıń oraylıq bóliminiń maksimallıq jaqtılanıwına erisińiz.

2. Alidadanı bolsatıńız (24-vint) hám sheksizlikke tuwrılǵan kóriw trubasını kollimatordıń qarsısına ornalastırıńız. Tap usınday tuwrılawdı 24-vint bektilgen jaǵdayda 25-vintti aylandırıw jolı menen orınlańız. Kóriw trubası arqalı sańlaqtıń súwretin baqlap hám usınıń menen birge 4-vintti buraw arqalı (yaǵnıy kollimatordıń obektivin qozǵaw arqalı) sańlaqtıń anıq súwretiniń payda bolıwına erisińiz.

3. Sańlaqtıń kózge kórinip turǵan biyikliginiń shamasın bir neshe millimetrge shekem kishireytińiz.

4. 6-vinttiń járdeminde kollimatordıń qıyalıǵın ózgartip anıq súwretti okulyardıń kóriw maydanınıń orayına alıp kelińiz.

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

3. Múyeshlerdi ólshew

15-okulyarǵa qarap hám onıń tutqasın buraw arqalı limbtıń hám libtıń oń tárepindegi vertikalıq shkalanıń anıq kóriniwine erisińiz.

18-optikalıq mikrometrdiń maxovigin burap esaplawdıń bası bolıp tabılatuǵın eń jaqın sıızıqqa tómengi shkalanıń shep táreptegi cifrlanǵan shtrixın alıp kelińiz (eger shtrixlardı bir orınǵa alıp keliwdiń sáti túspese 18-maxovikti basqa tárepke qaray burıńız hám qońsılas tómengi shtrix penen betlestirińiz); múyeshti graduslarda ólsheńiz (4-súwrette 7°).

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

Minutlar sanı vertikalıq shkaladaǵı A sıızıǵınıń ústindegi shep táreptegi san bolıp tabıladı (4-súwrette 1'). Sekundlar sanı vertikalıq shkalanıń oń tárepi

boyınsha esaplaw bolıp tabıladı (4-súwrette gorizont bağıtındağı A sızıǵınıń 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 pasporti boyınsha).

I. Esaplaw ushın baslanǵısh noqattıń (esaplaw basınıń) anıqlanıwı

1. Trubanı kollimatordıń qarsısına qoyıńız. 25-mikrometrlik vintti buraw arqalı (24-vint qatırılǵan bolıwı kerek) esaplaw bası bolǵan qos shtrixtı kiriw sańlaǵınıń axromatiklik súwreti menen betlestirińız.

2. Esaptı júrgiziw ushın eń qolaylı bolǵan baslanǵısh múyesh sıpatında $\approx 180^{\circ}$ awhalın saylap alıwǵa boladı. Usınday jaǵdayǵa keliw ushın 18-maxovikti aylandırıw arqalı gorizont bağıtındağı esaplaw júrgiziletuǵın A sızıǵın $1'00''$ awhalına alıp kelińız. Usınday qosımsha minuttıń alınıwınıń sebebi bar (dál $0'0''$ ge tuwrılǵanda kópshilik jaǵdaylarda 18-maxovik isten shıǵadı).

Dáslap erkin qoyılǵan 26-vintte stoldıń tómengi bólimin qol menen aylandırıp, bunnan keyin 26-vintti qatırıp 28-mikrometrlik vintti aylandırıw arqalı joqarǵı shtrixtı 180° qa, al tómengisin 0° qa alıp kelińız. Ásbaptı tap usınday etip jumısqa tayarlaǵanda spektrallıq sızıqlar kórinetuǵın barlıq múyeshler $0^{\circ}1'0''$ tan baslap ólshenedi. Bul nurdıń túsiw múyeshi bolıp tabıladı.

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

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

Jumıs processı barısında esaplawdıń basınıń ózgermegenligin tekserip turıw usınıs etiledi.

II. Prizmanı ornalastırıw

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

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

tabıńız hám onı 8-vinttiń járdeminde shaǵılastırwshı qaptaldıń orayına alıp kelińiz. Trubanıń qıyalıǵın ózgertiwge bolmaydı.

3. Prizmanıń paydalanılatuǵın qaptalın 8-vintlerdiń ekinshisine perpendikulyar etip jaylastırıńız hám shaǵılısqan atanaqtı jáne de tabıńız. Eger atanaq jılıǵan bolsa, onda shaǵılastırwshı qaptalǵa perpendikulyar bolǵan vinttiń járdeminde qaytadan orayǵa alıp kelińiz. Prizma ornalaştırılǵan stoldı burıńız hám ekinshi qaptaldan shaǵılısqıwdı tekserip kórińiz. Usınday operaciyanı atanaq kóriw maydanınıń radiusınıń úshten birinen de úlken qashıqlıqqa jılıǵansha dawam etińiz.

III. Sındırwshı múyeshti ólshew

Prizmanıń sındırwshı múyeshin ólshew ushın kóriw trubasın onıń (prizmanıń) shaǵılastırwshı qaptallarınıń birine perpendikulyar etip qoyıńız hám limbniń kórsetiwin jazıp alıńız (limbda múyeshlerdiń mánisi tolıq dóńgelek boyınsha jazılǵan boladı). Bunnan keyin prizma menen stoldı qozǵamay alıdadanı burıw jolı menen trubanı prizmanıń ekinshi qaptalına perpendikulyar etip qoyamız. Limbniń ekinshi kórsetiwin jazıp alamız. Sol kórsetiwlerdiń ayırması sındırwshı múyeshtiń shaması bolıp tabıladı.

IV. Awısıwdıń minimallıq múyeshi

1. Minimallıq awısıw múyeshin anıqlaw ushın prizmanı stoldıń ústine ultanı kollimatordıń kósherine parallel etip qoyamız (bul operaciya qurallanbaǵan kózdiń járdeminde ámelge asırıladı). Prizmanıń artına qaǵazdı qoyıp hám stoldı qol menen aylandırıp (qaǵazdıń betindegi) spektrdi tabamız. Stoldı burıwdı dawam etip hám spektrdiń orın almaştırıwın baqlap minimallıq awısıw múyeshine sáykes keliwshi prizma ornalaştırılǵan stoldıń awhalın anıqlańız.



1-keste.

ДПИИ-250 синапlı lampanıń spektriniń xarakteristikaları

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

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

Ólshewdiń qolaylı júrgiziliwi ushın kiriw sańlaǵınıń biyikligin úlkeytiwge boladı. Eger sızıq anıq kórinbese trubanıń 11-vintin aylandırıw arqalı anıq sızıqtıń payda bolıwın támiyinlew múmkin. Bunnan keyin dáslep alıdadanı qol menen, keyin 25-vinttiń járdeminde burıp ólshew torınıń qos shtriǵın saylap alıńǵan sızıq penen betlestirińız hám limb boyınsha kórsetiwdi jazıp alıńız.

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

V. Ajırata alıw qábiletligi

Prizmanıń ajırata alıw qábiletligin bahalaw ushın kiriw sańlaǵınıń keńliginiń múmkin bolǵan minimallıq shamasın anıqlap alǵannan keyin dublettiń qızıl sızıqlarınıń birewiniń múyeshlik keńligin ólsheńiz. Eger dál ólshewlerdi ótkeriwdiń múmkinshiligi bolmasa dublettiń qurawshılarınıń arasındaqı qashılıqtıń bir sızıqtıń keńliginen shama menen neshe ese úlken ekenligin kóz benen anıqlańız. Prizmanıń ultanınıń uzınlıǵı bolǵan b shamasın sızǵıshtıń járdeminde ólsheńiz.

VI. Nátiyjelerdi qayta islew

1. (1)-formulanıń járdeminde awısıwdıń minimallıq múyeshi $\delta(\lambda)$ ni hám sınıw kórsetkishi $n(\alpha, \delta)$ nı 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 sinaplı lampanıń spektri boyınsha anıqlaǵanda dispersiyalıq iymeklikti uzın tolqınlar tárepke qaray ekstrapolyaciyalawǵa tuwrı keledi. Abbe sanın (3)-formulanıń járdeminde esaplańız hám kesteler tiykarında paydalanılǵan shiysheniń sortın tabıńız.

3. $dn/d\lambda$ iymekliginiń kıyalıǵı boyınsha (4)-formula boyınsha prizmanıń maksimallıq ajırata alıwshılıq uqıplılıǵın esaplańız.

Sarı dubletti ólshewdiń nátiyjeleri boyınsha eksperimentallıq R shamasın anıqlańız hám prizmanıń ultanınıń ólshemin bahalańız.

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

Sarı dubletti ólshewler boyınsha $d\varphi/d\lambda$ múyeshlik dispersiyasınıń mánisin esaplańız hám alıńan nátiyjelerdi 100 sıızıq/mm bolǵan difrakciyalıq pánjereniń ajırata alıwshılıq qábiletligi menen birinshi tártipte salıstırıńız.

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw boyınsha sorawlar

1. (1)-formulanı keltirip shıǵarıńız.
2. Avtokollimaciyalıq dúzilistiń qurılısın hám jumısın táriyipleńiz.
3. Dispersiya qubılısınıń fizikalıq mánisi nelerden ibarat?
4. Sınıw kórsetkishi menen tolqın uzınlıǵınıń 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/download/cvz9lmsiktksbmr6ygtxc8wl455j8mko/landsberg_g_s_optika_\(2003\).djvu](http://d.theupload.info/download/cvz9lmsiktksbmr6ygtxc8wl455j8mko/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-arphh81ii9w.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/d7cefd80f8727c6683686d5a8e905f299a242ec/phys111.zip>

11-laboratoriyalıq jumıs

Jaqtılıqtıń polyarizaciyasın úyreniw hám Malyus nızamın eksperimentte tekseriw

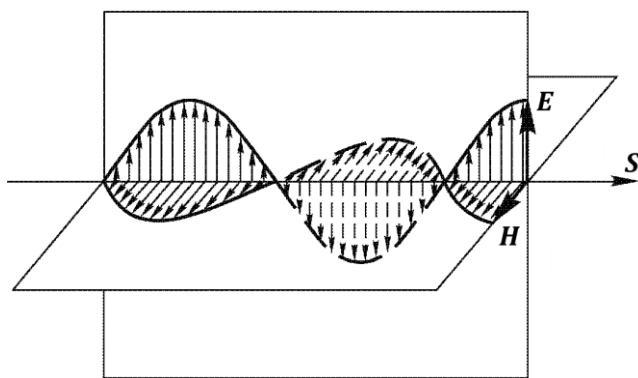
Jumıstıń maqseti: tájiriybede Malyus nızamın tekserip kóriw hám jaqtılıqtıń polyarizaciyası qubılısı menen tanısw.

Qisqasha teoriya

1. Tiykargı túsınıklar

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 qubılısın úyrengende jaqtılıqtıń tek tolqınlıq qásiyetleri haqqında gáp etiledi.

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



1-súwret.
Elektromagnit tolqınınıń
strukturası. Juwırıwshı 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 tolqınını (jaqtılıq nurını) tarqalıw bağıtın táriyipleydi. Jaqtılıq zatlar menen tásir etiskende (tásirleskende) 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 tiykargı orındı iyeleydi.

Qızdırılğan 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 baylanıslı emes. Sonlıqtan tábiyiy jaqtılıqtıń tolqınında E vektorı tolqınını tarqalıw bağıtına perpendikulyar bette jatadı hám onıń bağıtı barlıq waqıtta sol tegisliktiń betine parallel qalğan halda ózgeriske ushıraydı.

Tábiyiy jaqtılıqtı polyarizaciyalanğan jaqtılıqqa túrlendiriw múmkin. Al polyarizaciyalanğan jaqtılıqta bolsa E vektorı tek bir tegisliktiń betinde terbeledi. Polyarizaciya qubılısınıń ózi jaqtılıq tolqınlarınıń kóldeneń tolqınlar ekenligin dálilleydi. Sebebi boylıq tolqınlarda terbelislerdiń bağıtı tolqınını tarqalıw bağıtına parallel hám sonlıqtan olar polyarizaciyalanbaydı. Eger E vektorınıń terbelisleri nur arqalı ótetuǵın tegislikte júzege keletuǵın bolsa, onda jaqtılıqtı tegis (yamasa sıızqlı) polyarizaciyalanğan dep ataymız (1-

súwrette kórsetilgen). Sonday-aq, E vektorınıń baǵıtı nurdıń dógeresinde aylanadı hám sonıń menen birge onıń shaması da ózgeriske ushıraydı. Usınıń nátiyjesinde vektordıń ushı ellipsti sızadı. Bunday jaqtılıqtı **ellipslik polyarizaciyalanǵan** dep ataydı. Eger 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. E vektorı terbeletuǵın tegislikti **terbelisler tegisligi**, al B vektorı terbeletuǵın tegislikti **polyarizaciya tegisligi** dep ataydı. Sol tegisliklerdiń kesilisiw sızıǵında 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 shiyshe plastinkalardıń jıynaǵı jaqtılıq tolqınları ushın polyarizatorlar hám analizatorlardıń xızmetin atqara aladı.

2. Qos nur sındırıwdaqı polyarizaciya

Kublıq sistemaǵa kirmeytuǵın móldir kristallar arqalı ótkende qos nur sındırıw qubılısı baqlanadı. Bul qubılıstıń fizikalıq mánisi mınalardan 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 ayrılmaytuǵın bir baǵıt orın aladı. Kristaldaǵı bunday baǵıttı ádette kristaldıń optikalıq kósheri dep ataydı. Kristaldıń optikalıq kósheri arqalı ótetuǵın qálegen tegislikti kristaldıń bas kesimi dep ataydı.

Sınǵan eki nurdıń biri barlıq baǵıtta da birdey tezlik penen tarqaladı, ádettegi sınıw nızamına baǵınadı hám sonlıqtan onı **ádettegi nur** dep ataydı. Ekinshi nurdı **ádettegidey emes nur** dep ataydı. Ol kristaldaǵı tarqalıw baǵıtına baylanıslı hár qıylı tezlik penen tarqaladı hám onıń ushın ádettegi sınıw nızamı orınlanbaydı (túsiw múyeshiniń sinusınıń sınıw múyeshiniń sinusına qatnası túsiw múyeshiniń mánisi ózgergende ózgeriske ushıraydı). Kristaldıń betine ádettegidey emes nur perpendikulyar túsken jaǵdayda da (yaǵnıy túsiw múyeshiniń mánisi 0 ge teń) sınıw múyeshiniń shaması 0 gradusqa teń bolmaydı.

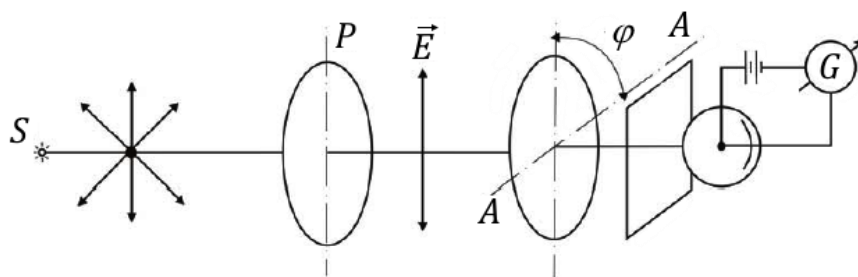
Ádettegidey hám ádettegidey emes nurlar bir birine perpendikulyar baǵıtlarda sızıqlı polyarizaciyalanǵan nurlar bolıp tabıladı. E vektorı barlıq waqıtta da kristaldıń bas kesimine perpendikulyar baǵıtlanǵan.

Ádettegidey emes nurda E vektorınıń terbelisleri kristaldıń bas kesimi tegisliginde júredi. Eki nurdı bir birinen bılayınsha ayırıwǵa boladı: eger kristaldı ádettegi nurdıń dógeresinde aylandırısa, onda ádettegidey emes nur kristal menen birge aylanıp sheńberli sızadı. Bar qansha kristallarda nurlardıń

biri ekinshisine salıstırǵanda kúshlirek jutıladı. Bunday qubılıstı optıkada dixroizm dep ataydı. Kózge kórinetuǵın nurlar diapazonında júdá kúshli dixroizmge turmalin kristallı [ayırım turmalin kristallınıń formulası $\text{Na}(\text{Li}_{1.5}, \text{Al}_{1.5})\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$ túrinde jazıladı] iye. Bunday kristalda ádetteǵidey nur 1 mm aralıqta derlik tolıǵı menen jutıladı. Bul jaǵdaydı polyaroid dep atalatuǵın polyarizaciyalıq dúzilisti soǵıw ushın paydalanadı. Dixroizmnıń orın alıwına baylanıslı polyaroid ózi arqalı belgili bir tegislikte polyarizaciyalanǵan bir nurdı ótkeredi.

3. Malyus nazamı

Eki jaqtılıq dereginen, P hám A polyaroidlarınan hám fotoelementten turatuǵın dúzilistiń principiallıq sxemasın qarap shıǵamız (2-súwret). Birinshi polyaroid (polyarizator xızmetin atqaradı) arqalı ótiwdiń barısında jaqtılıq tegis polyarizaciyalanǵan jaqtılıqqa aylanadı. 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 (yaǵnıy 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.

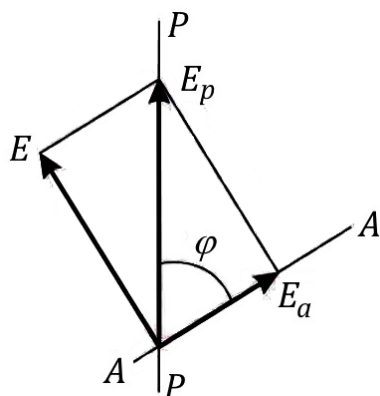


2-súwret.
Dúzilistiń
principiallıq
sxeması.

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

Intensivlik I menen φ múyeshi 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 múmkin. 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.

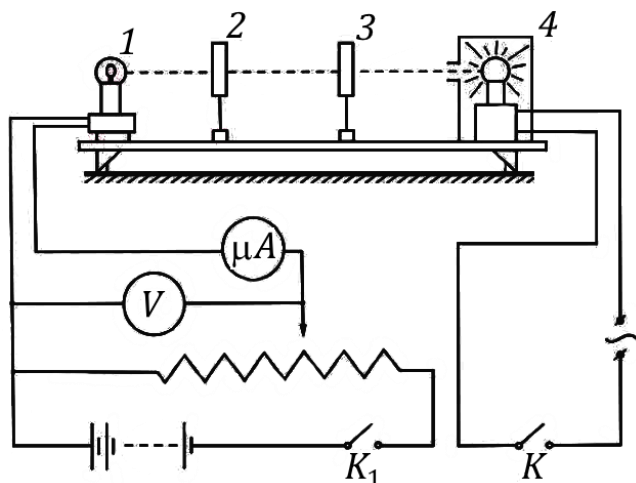
3-súwrette analizatordan shıqqan jaqtılıqtıń amplitudasınıń $E = E_a \cos \varphi$ shamasına teń ekenligi kórinip tur. Intensivlik I діń amplitudanıń kvadratına tuwrı proporcional ekenligin esapqa alsaq, onda

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

ańlatpasına iye bolamız. Bul teńleme Malyus nızamın ańǵartadı. Malyus nızamı boyınsha analizator boyınsha ótken nurdın intensivligi analizatorǵa kelip túsip atırǵan nurdın intensivligi menen túsiwshi nurdın polyarizaciya tegisligi menen analizatordın polyarizaciya tegisligi arasındǵı múyeshtiń kosinusınıń kvadratınıń kóbeymesine teń.

Ásbaptıń táriyipi

Ersperimentallıq dúzilis (4-súwret) tiykarınan optikalıq otırǵısthan turadı. Onıń ústine parallel nurlı beretuǵın jaqtılıq deregi 4, polyarizator, analizator hám fotoelement orналаstırılǵan. Fotoelementtiń járdeminde analizatordan ótken jaqtılıqtıń intensivligi ólshenedi. Polyarizator (3) penen analizator (2) polyaroidlar túrinde soǵılǵan. Olar kelip túsiwshi nurdın baǵıtı menen baǵıtlas bolǵan kósheriniń dógereginde aylanıwı kerek. Sonıń menen birge polyarizator menen analizatordın qansha múyeshke burılǵanlıǵın ólshew múmkinshiliginiń orın alıwı talap etiledi. Sonlıqtan múyeshtiń mánisin ólshew ushın analizatordın korpusında graduslarǵa bólingen shkala boladı.



4-súwret.
Eksperimentallıq dúzilistiń
sxeması.

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

Jumıstı orınlaw tártibi

1. Sxeması 4-súwrette kórsetilgendey dúzilis jıynaladı.
 2. Jıynalǵan sxema oqıtıwshı tárepinen tekserilgenнен keyin jaqtılıq deregi hám fotoelement shınjırı elektr tarmaǵına qosıladı.
 3. Analizatordı 90° múyeshke burıp qoyadı hám polyarizatordı ástelik penen aylandırıw jolı menen fotoelementtiń eń minimallıq jaqtılanıwına alıp kelinedi. Bul jaǵdaydı mikroampermetrdiń strelkasınıń minimallıq awısıwı arqalı kóredi. Minimallıq fototoqtıń shaması i_{min} jazıp alınadı. Toqtıń bul minimallıq shaması jaqtılıqtıń polyaroidlar tárepinen ótkeriliwi hám fotoelementke basqa táreplerden kelgen jaqtılıqtıń tásirinde payda boladı.
 4. Analizatordı buradı hám onı 0° awhalına alıp keledi. Fototoqtıń maksimallıq shamasınıń ornawı kútiledi hám onıń mánisi i_{max} jazıp alınadı. i_{max} toǵına jaqtılıqtıń analizatorınan ótken jaqtılıqtıń 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 múyeshlerge burıp qoyadı hám múyeshtiń hár bir mánisi ushın fototoqtıń shaması ólshenedi. Alınǵan nátiyjelerdi 1-kestegе kirgizedi.

1-keste.

Fotoelementke túsken kernew $U =$ volt.Minimallıq fototoq $i_{min} = \dots$

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

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

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

formulasınıń járdeminde esaplanadı.

7. $i_0 = i_{max} - i_{min}$ shamasın anıqlap analizatordıń hár bir burılıw múyeshi ushın fototoqtıń mánisin Malyus nızamı boyınsha esaplaydı.

8. Millimetrli qağazda Malyus nızamınıń grafigin sızadı (abscissa kóshetine múyeshtiń, al ordinata kóshetine $i_0 \cos^2 \varphi$ shamasınıń sáykes mánisi qoyıladı).

9. Tap usı grafigtiń ózine basqa reńli noqatlar menen múyeshtiń 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.

Paydalanılǵan ádebiyatlar dizimi

1. Benjamin Crowell. Optics. Book 5 in the Light and Matter series of free introductory physics textbooks [www.lightandmatter.com](http://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://fileskachat.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-arphh81ii9w.pdf

12-laboratoriyalıq jumıs

Jaqtılıqtıń polyarizaciya tegisliginiń tábiyiy túrde aylanıwı qubılısın úyreniw

Jumısta yarım sayalı saxarimetrdiń járdeminde belgili koncentraciyaǵa iye qanttıń eritpesi tárepinen polyarizaciya tegisliginiń salıstırmalı aylandırılıwın hám izertlenip atırǵan eritpelerdegi qanttıń procentlik muǵdarı anıqlanadı. Usınday usıl ximiyalıq, azıq-awqat hám neft sanaatı laboratoriyalarında keńnen qollanıladı.

Eger atanaqlastırılǵan (yaǵnıy bir birine perpendikulyar qoyılǵan) eki nikoldiń arasındadı keńislikke qanttıń eritpesi quyılǵan ıdıstı qoysa, onda monoxromat jaqtılıqta maydannıń jaqtılanıwı orın aladı. Analizatordı shep yamasa oń tárepke qaray bazı bir múyeshke burıw arqalı bunday jaqtı maydandı óshiriwge (joq etiwge) boladı. Bul qubılıs qanttıń eritpesiniń polyarizaciya tegisligin aylandıra alıw qábiletligi menen túsindiriledi hám optikada onı polyarizaciya tegisliginiń aylanıwı 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 sıyaqlı kristallar kiredi.

Polyarizaciya tegisliginiń baǵıtı ońǵa yamasa shep tárepke qaray aylanıwı múmkin. Ońǵa qaray aylanıwda baqlawshınıń kózine túsiwshi nur ushın aylanıw saat strelkasınıń qozǵalı baǵıtında aylanadı. Qattı denelerde aylanıw múyeshiniń shaması jaqtılıq ótetuǵın qatlamnıń qalıńlıǵına proporcional. Al eritpede qalıńlıq penen birge eritpedegi aktiv zattıń koncentraciyasına da baylanıslı. Sonıń menen birge aylanıw (burılıw) múyeshiniń shaması túsiwshi nurdıń tolqın uzınlıǵınan da gárezli.

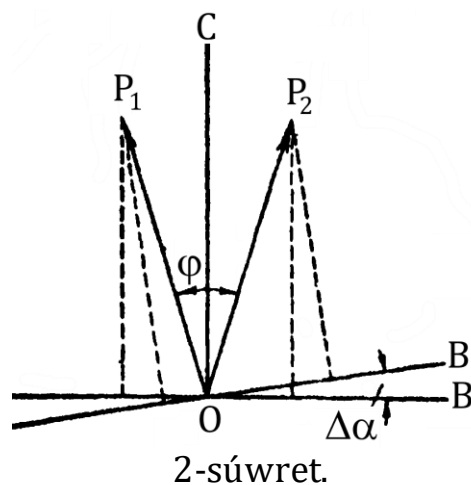
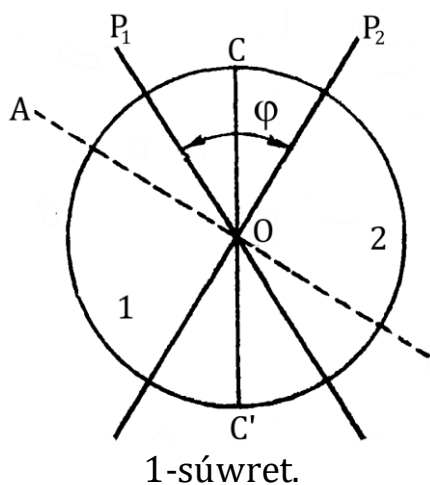
Eritpe jaǵdayında

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

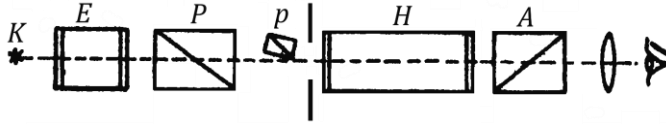
formulasına iye bolamız. Bul formulada α arqalı burılıw múyeshiniń mánisi, l arqalı qatlamnıń qalıńlıǵı, al c arqalı eritpeniń koncentraciyası belgilengen. $[\alpha]$ arqalı proporcionallıq koefficient belgilengen. Onıń san mánisi berilgen zat ushın salıstırmalı aylanıwǵa (burılıwǵa) teń (ádette qalıńlıǵı $l = 10$ sm, koncentraciyası $c = 1$ mol/litr bolǵan eritpe ushın polyarizaciya tegisliginiń burılıwı). Aylanıw turaqlısı $[\alpha]$ nıń shaması tolqın uzınlıǵına shama menen keri proporcional ($[\alpha] \sim \frac{1}{\lambda^2}$).

Nikol-polyarizatordıń eki awhalı ushın optikalıq aktiv zat bolǵanda da, bolmaǵanda da polyarizaciya tegisliginiń burılıwın ólshew juwıq túrde ámelge asırıladı. Sebebi analizatordıń tolıq qarańǵılatıw awhalına qoyılǵanın adamnıń kózi dál anıqlay almaydı. Sonlıqtan ólshewlerde **yarım sayalıq polyarimetrler**

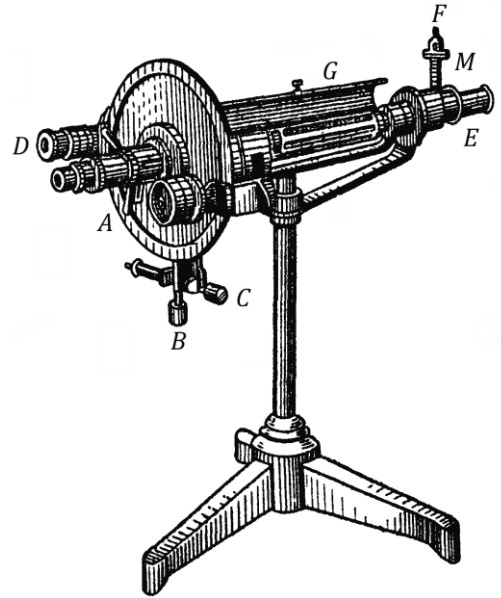
qollaniladı. Olar kóriw maydanınıń qarańǵı awhalına emes, al kóriw maydanınıń eki yarımınıń teńdey jaqtılanıwına tiykarlangan. Yarım sayalıq polyarimetrler menen bir qatarda bikvarc hám kompensator menen támiyinlengen polyarimetrler de paydalanıladı. Bunday polyarimetrlerde kóriw maydanınıń eki yarımınıń reńleriniń birdey bolıwı bassılıqqa alınadı. Reńniń birdey bolıwın bahalaw jetkilikli dárejede obektiv ólshew qatarına kirmeydi (hár baqlawshınıń kózleriniń reńlerdi ajırata alıwshılıq qábiletligi hár qıylı). Sonlıqtan házirgi waqıtları polyarizaciya tegisliginiń burılıwın $0,01^\circ$ qa shekemgi ólshewge múmkinshilik beretuǵın yarım sayalıq polyarimetrler paydalanıladı.



Ásbaptıń qısqaşa teoriiyası. Yarım sayalı polyarimetrde CC' diametri kóriw maydanın eki yarımǵa bóledi (1-súwret). Bir yarımında jaqtılıq terbelisleri P_1 tegisliginde, al ekinshi yarımında P_2 tegisliginde terbeledi. Sol eki tegislik arasındǵı múyesh φ ge teń. Eger eki jaqtılıq dástesin A terbelis tegisligi P_2 tegisligine perpendikulyar analizator arqalı ótkerse, onda 2-yarımınıń jaqtılıq dástesi sóndiriledi hám usı yarım qarańǵı boladı. Al usı jaǵdayda jaqtılıqtıń bir bólimi analizator tárepinen ótkeriledi hám sonlıqtan bul yarımınıń maydanı jaqtıraq boladı. Eger analizatorda terbelis tegisligi P_1 tegisligine perpendikulyar bolsa, onda keri qubılıs baqlanadı. Eki maydannıń birdey jaqtılanıwınıń tek $A \perp OC$ hám $A \parallel OC$ shártleri qanaatlanatuǵın jaǵdayda orın alatuǵınlıǵı túsinikli (2-súwret). OC sızıǵı OP_1 hám OP_2 sızıqları teńdey ekige bóledi (OP_1 hám OP_2 vektorları kóriw maydanınıń eki yarımınıń terbelis amplitudaların sáwlelendiredi). Analizatrdıń iyelegen jaǵdaylardı dáslep hawa arqalı ótetuǵın jaqtılıqqa, bunnan keyin optikalıq aktiv ortalıq arqalı ótetuǵın jaqtılıqqa qoyıw jolı menen optikalıq aktiv ortalıqtıń polyarizaciya tegisligin qanday shamaǵa buratuǵınlıǵın anıqlawǵa 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 arasındaqı φ múyeshtiń shaması qanshama kishi bolsa analizatordı eki maydannıń da teńdey jaqtılanıwına tuwrılawdı joqarı dálilikte ámelge asırıwǵa boladı. Usı aytılganlardıń durıslıǵına iseniw ushın 2-súwretke itibar beremiz. Kóriw maydanınıń eki yarımınıń intensivliklerin teńlestiriw ushın analizatorlı $OB \perp OC$ awhalına qoyıw kerek boladı. Al haqıyqatında bazı bir qátelik jiberiledi hám ásbaptı OB' awhalına qoydıq dep juwmaq shıǵarıladı. Bul qátelik $\Delta\alpha$ kishi múyeshi menen xarakterlenedi. Ásbap durıs tuwrılanganda intensivliklerdiń qatnası ushın

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

teńliginiń alınıwı kerek. Al qátelik penen tuwrılaw orın alǵanda

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

teńlikleri orınlı boladı. $\Delta\alpha$ shamasın júdá kishi dep esaplap juwıq túrde

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

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 $\Delta\alpha$ múyeshi radianlarda alınadı. Graduslarǵa aylandırǵanda graduslardaǵı múyeshlik qáteliktiń mánisi

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

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

$$\varphi = 1^\circ, \Delta\alpha = 0,0025^\circ;$$

$$\varphi = 2^\circ, \Delta\alpha = 0,005^\circ;$$

$$\varphi = 8^\circ, \Delta\alpha = 0,02^\circ.$$

Bul teńliklerden jetkilikli dárejedegi φ múyeshlerinde α shamasın joqarı dállikte ólshewdiń múmkinshiliginiń tuwılatuǵınlıǵı kelip shıǵadı. Demek tájiriybelerde de múyeshtiń mánisin gradustiń júzden bir úlesine shekemgi dállikte ólshewge bolatuǵınlıǵın kóremiz.

φ múyeshiniń shamasınıń kishireyiwi menen jaqtılanıwdıń da hálsireytuǵınlıǵın umıtpaw kerek. Sonlıqtan kúshli jaqtılıq derekлерinen paydalanıwǵa tuwrı keledi. Eger kúshli jaqtılıq deregin paydalanıwdıń múmkinshiligi bolmasa yamasa izertlenip atırǵan eritpe jaqtılıqtı kúshli jutatuǵın bolsa, onda φ múyeshiniń shamasın úlkeytiwge tuwrı keledi (biraq bunday jaǵdayda ólshewdiń dáliliginiń tómewiniń orın alatuǵınlıǵın umıtpaymız).

Ásbaptıń táriypi. Qálegen polyarizaciyalıq ásbap sıpatında yarım sayalıq polyarimetr eki tiykarǵı bólim bolǵan polyarizator hám analizatorдан 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 múyeshke burılǵan. K dereginen shıǵıwshı jaqtılıq E trubası arqalı ótip P nikoli arqalı tarqaladı. Belgili bir tegislikte polyarizaciyalanǵan jaqtılıq nurınıń bir bólimi H saxarimetrlik trubası kelip túsedı. Bul trubanıń ishinde izertlenip atırǵan qanttıń eritpesi quyılǵan. Bunnan keyin jaqtılıq A analizatorǵa kelip túsedı. Jaqtılıqtıń ekinshi bólimi usı trubası kelip jetpesten burın p nikoli arqalı ótedı. Usınıń nátiyjesinde onıń polyarizaciya tegisligi bir qansha ózgeriske ushıraydı. Solay etip eger analizator bir jaqtılıq nurı ushın tolıq qarańǵılatıw halına qoyılǵan bolıwı múmkin. Bunday jaǵdayda ekinshi dásteniń bir bólimi sol analizator arqalı óte aladı. Usınday jaǵdayda diafragma menen sheklengen kóriw maydanı eki yarımǵa ajıraladı. Olar arasındaqı ayırıp turıw sızıǵı p prizmasınıń qabırǵası bolıp tabıladı.

Analizator H trubkadağı polyarizaciya tegisligin buriwshı zat joq bolğan jaǵdayǵa ornalaştırıladı. Onnan keyin polyarizaciya tegisligin buratuǵın zat ornalaştırılǵannan keyin buriw arqalı hám eń dáslepki payda bolǵanday jaqtılı kóriw maydanı izlenedi. Bunday jaǵdayda kóriw maydanınıń eki yarımın jaqtılandırıp turǵan jaqtılıq vektorınıń terbelisler tegisligi α múyeshine burıladı. Tap usınday múyeshke analizatordı buriwǵa tuwrı keledi.

Ásbaptıń aldınıǵı bóliminde jaylasqan analizatordı (4-súwret) B vintin bosatqannan keyin A tutqasınıń járdeminde qálegen múyeshke buriwǵa boladı. Onıń ástelik penen aylanıwı B vintin qatırǵannan keyin C mikrometrlik vinttiń járdeminde ámelge asırıladı. Múyeshtiń mánisleri D lupasınıń járdeminde usı lupa menen baylanısqan eki noniuslar boyınsha anıqlanadı. Noniuslar múyeshlerdiń mánislerin gradustıń júzden bir úlesine shekemgi dállikte ólshewge múmkinshilik beredi. Analizator menen polyarizatordıń ortasındaǵı saxarimetrlik trubka ayrıqsha G kamerasında ornalasqan boladı. P hám p prizmaları arasındaǵı múyeshti p prizmasın úlken emes múyeshke burıp ayrıqsha rıshag F tiń járdeminde ólsheydi. Rıshagtıń 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 ótkeriwshı jaqtılıq filtri paydalanıladı.

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

Múyeshlerge bólingen dóńgelek boyınsha múyeshtiń mánisin jazıp alıp analizatordı jáne de bir tárepke buradı hám qaytadan dáslepki awhalǵa (kóriw maydanınıń eki yarımınıń da birdey jaqtılıqqa iye bolıwına) alıp kelip múyeshtiń mánisi qaytadan jazıp alınadı. Bul operaciyanı bir neshe ret qaytalaydı hám analizatordıń dóńgelek boyınsha tabılǵan nollik awhalı ushın múyeshtiń ortasha mánisi tabıladı.

G kamerasına koncentraciyasınıń shaması belgili bolǵan qanttıń eritpesin quyadı (koncentraciya $C = \text{qanttıń massası} / 100 \text{ sm}^3$ túrinde anıqlanadı). Bunnan keyin maydanniń eki bóliminiń de birdey jaqtılıqqa iye bolǵanınsha buraydı hám dóńgelektegi múyeshtiń mánisi jazıp alınadı. Bul operaciyanı da bir neshe ret qaytalaw kerek. Ólshegen múyeshlerdiń ortasha arifmetikalıq mánisin esaplap qanttıń eritpesiniń polyarizaciya tegisligin qanday múyeshke buratuǵınlıǵı anıqlanadı.

Esaplawlar. Alınǵan nátiyjeler boyınsha qanttıń salıstırmalı aylandırıwı esaplanadı. Qant eritpesiniń qalınlıǵı l di ádette dicimetrlerde, al c koncentraciyanı 1 cm^3 eritpedegi grammlarda ólsheydi. Kópshilik jaǵdaylarda

c niń ornına 100 sm^3 eritpedegi zattıń muǵdarı paydalanıladı (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 shamalarınıń belgili mánislerindegi eritpedegi qanttıń salıstırmalı aylanıwın anıqlaw ushın xızmet etedi. Geyde C koncentraciyanıń ornına eritpeniń tıǵızlıǵı bolǵan d da jáne eritpedegi erigen zattıń procentlik muǵdarı da paydalanıladı. Bunday jaǵdayda

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

formulası orınlı boladı. Nátiyjede

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

ańlatpasına iye bolamız.

Tap usınday ólshewler koncentraciyası belgisiz bolǵan qanttıń eritpeleri ushın da júrgiziledi hám baqlawlarda alınǵan nátiyjeler boyınsha hár bir eritpedegi qanttıń muǵdarın (2)-formulanıń járdeminde esaplaydı.

Joqarıda bayanlanǵan usıldıń járdeminde kristallıq kvarctan kesip alınǵan plastinkadaǵı polyarizaciya tegisliginiń burılıw qubılısın da ólsheydi. Bul plastinkalar kristaldıń optikalıq kósherine perpendikulyar baǵıtta kesilgen bolıwı kerek.

Paydalanılǵan 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/d7cefd80f8727c6683686d5a8e905f299a242ec/phys111.zip>
3. Г.С.Ландсберг. Оптика. Учебное пособие. Для вузов. 6-е издание. Москва. ФИЗМАТЛИТ. 2003. 848 с.
[http://d.theupload.info/down/cvz9lmsiktksbmr6ygtxc8wl455j8mko/landberg_g_s_optika_\(2003\).djvu](http://d.theupload.info/down/cvz9lmsiktksbmr6ygtxc8wl455j8mko/landberg_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 goniometrдің járdeminde jıllılıq nurlanıwı nızamların úyreniw

Jumıstıń maqseti: Stefan-Bolcman nızamınıń durıs ekenligin eksperimentte tekseriw, Stefan-Bolcman hám Plank turaqlılarınıń mánislerin anıqlaw.

Ásbap-úskenerler: optikalıq pirometr, qızdıraw lampası, ózgermeli toqtı tuwrılawshı, voltmetr, ampermetr.

1. Qısqasha tariyx

Qálegen qızdırılğan dene ózinen elektromagnit tolqınlar túrinde energiyanı nurlandıradı. Qızdırılğan denelerdiń elektromagnit tolqınları túrinde energiyanı nurlandırawın jıllılıq nurlanıwı (yamasa temperaturalıq nurlanıw) dep ataydı. Jıllılıq nurlanıwı atomlar menen molekulalardıń tutası menen qozǵalıwınıń saldarınan qozdırıladı.

Jıllılıq nurlanıwı nurlanıwdıń basqa túrлерinen (mısalı lyuminescenciya) tek nurlanıwshı sistemalardıń qozǵan halǵa ótiwiniń usılı menen ǵana ayrıladı. Jıllılıq nurlanıwı qubılıslarında usınday ótiwler atomlar menen molekulalardıń jıllılıq qozǵalısları nátiyjesinde júzege keledi.

Jıllılıq nurlanıwı teń salmaqlıq qubılıs bolıp tabıladı. Demek ol barlıq waqıtta da termodinamikalıq teń salmaqlıqqa ótiwge tırısadı. Termodinamikalıq teń salmaqlıq halında qálegen waqıt ishinde nurlandırılğan energiyanıń ortasha muǵdarı jutılğan energiyanıń ortasha muǵdarına teń boladı.

Jıllılıq nurlanıwı nurlandıraw hám jutıw qábiletlikleri menen xarakterleniwı múmkin. Qızdırılğan deneniń betiniń bir birliginen waqıt birliginde uzınlıqları λ menen $\lambda + d\lambda$ shamaları arasında bolǵan elektromagnitlik tolqınlar túrinde nurlanǵan energiyanıń shaması deneniń spektrallıq nurlandıraw qábiletligi dep ataladı hám onıń shaması

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

formulasınıń járdeminde esaplanadı.

Bettiń bir birliginen tolqın uzınlıǵı 0 den ∞ ke shekemgi elektromagnitlik tolqınlar túrinde nurlanatuǵın jıllılıq nurlanıwınıń tolıq quwatı deneniń integrallıq nurlandıraw qábiletligi yamasa deneniń energiyalıq jarqınlıǵı dep ataladı:

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

Eger deneye nurlanıw aǵısı kelip túsetuǵın bolsa, onda sol aǵıstıń bir bólimi shaǵılısadı, al ekinshi bólimi jutıladı. Deneniń jutıwshılıq 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 jutılatuǵınlıǵın kórsetetuǵın shama bolıp tabıladı.

Jiyiliginen yamasa tolqın uzınlıǵınan ǵárezsiz betine túsken energiyanıń 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 qaplangan ayırım denelerdiń jutıw koefficienti tolqın uzınlıqlarınıń sheklengen intervalında 1 ge jaqınlasadı. $A_{\lambda_T} < 1$ teńsizligi orınlanatuǵın denelerdi kóbinese sur deneler dep ataydı.

Denelerdiń nurlandıırıwshı hám jutıwshı qásiyetleri arasındaqı baylanıs tábiyatınan ǵárezsiz Kirxgof nızamınıń járdeminde ańlatıladı:

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

Nurlandıırıwshılıq qábiletliginiń jutıwshılıq qábiletligine qatnası deneniń tábiyatınan ǵárezsiz shama bolıp tabıladı hám onıń mánisi absolyut qara deneniń nurlandıırıwshılıq qábiletligine teń (onı r_{λ_T} arqalı belgiledik).

Qara deneniń nurlandıırıwshılıq 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 energiyanı porciyalar túrinde shıǵaradı hám jutadı dep boljadı. Sol energiya porciyasınıń muǵdarı $E = h\nu$ shamasına teń. Bul ańlatpada h arqalı Plank turaqlısı, ν arqalı elektromagnit tolqınıń jiyiligi belgilengen. Demek, energiya porciyasınıń muǵdarı tolqınıń jiyiligine tuwrı proporcional 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 uzınlıǵı arasındaqı $\nu = \frac{c}{\lambda}$ 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 uzınlıǵı,

ν – nurlanıw jiyiligi,

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.

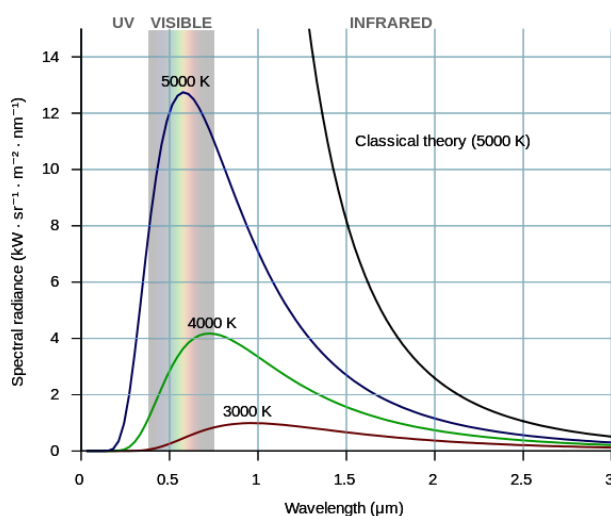
r_{λ_T} shamasın bilsek, onda absolyut qara deneniń integrallıq nurlandıırıwshılıq (shıǵarıwshılıq) qábiletligin taba alamız:

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

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

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

Bul formulada σ arqalı Stefan-Bolcman turaqlısı belgilengen.



1-súwret.

Plank formulası boyınsha [(4)-formula] absolyut qara deneniń nurlanıwı. Abscissa kósherine tolqın uzınlıǵı 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

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

añlatpasına iye bolamız. Bul añlatpada $\lambda = \text{const}$ bolğan jaǵdayda $A_T = A_{\lambda T}$.

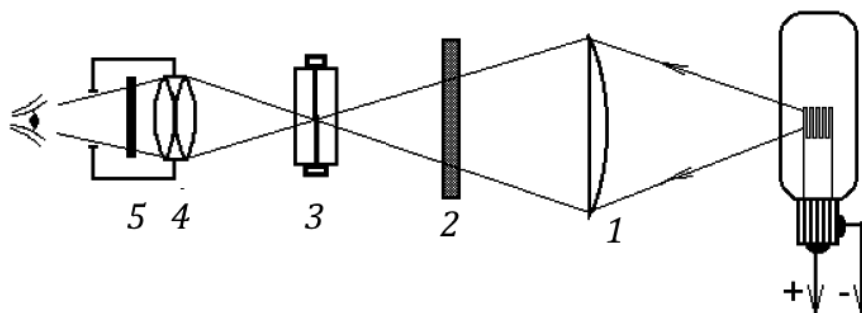
Eger temperaturası T ǵa teń bolğan deneniń betiniń maydanı S bolsa hám bul dene temperaturası T_0 bolğan ortalıqta jaylasqan bolsa, onda usı dene tárepinen nurlandıratuǵın quwat

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

shamasına teń boladı.

2. Dúzilistiń táriyipi

Qızdırılğan deneniń temperaturasını anıqlaw ushın **pirometr** dep atalatuǵın optikalıq ásbap qullanıladı. Bunday ásbapta temperaturası ólshenetuǵın deneniń shıǵarıp turğan jaqtılıǵı pirometrdiń ishindegi qızdırılğan sım shıǵarıp turğan jaqtılıq penen salıstırıladı. Pirometrdiń ishinde ádette volfram sım qullanıladı. Deneniń temperaturası menen sımniń temperaturası teńleskende olardıń jariqlıǵı da teńlesedi. Sonlıqtan deneniń súwretiniń fonında sım kórinbey qaladı. Usı jaǵdayǵa baylanıslı pirometrdi "joǵalatuǵın sımǵa iye" optikalıq ásbap dep te ataydı.



2-súwret. Pirometrdiń optikalıq sxeması.

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

Pirometrdiń optikalıq sxeması 2-súwrette berilgen. 1-obektiv nurlanıw dereǵına tuwrılanadı hám onıń ishindegi linza 3-etalonlıq pirometrlik 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 pirometrlik lampadaǵı toqtıń shamasın ózgertip izertlenip atırğan volfram sımniń fonında pirometrlik lampanıń etalonlıq sımınıń joǵalıwı ámelge asırıladı. Joǵalıw saylap alınğan spektrallıq intervalda

pirometrlik hám izertleniwshi lampanıń jarıqlılıqları birdey bolǵan jaǵdayda júzege keledi. Bul jaǵday olardıń tolqın uzınlılıqlarınıń usı intervalında nur shıǵarıwshılıq uqıplılıqlarınıń birdey ekenligin ańǵartadı. Pirometr aldın ala absolyut qara deneniń nurlanıwı boyınsha graduırovkalanǵan boladı. Sonlıqtan onıń shkalasına temperaturasınıń usı mánisinde jarıqlıǵı izertlenip atırǵan deneniń jarıqlılıǵında absolyut qara deneniń temperaturasınıń mánisleri qoyılǵan boladı (onı T_q arqalı belgileyміz). Bunday temperaturanı **jarıqlıq temperaturası** dep ataydı. Jarıqlıq temperaturasınıń haqıyqıy temperaturadan tómén bolatuǵınlıǵı belgili.

Pirometrdiń graduırovkasınıń 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.

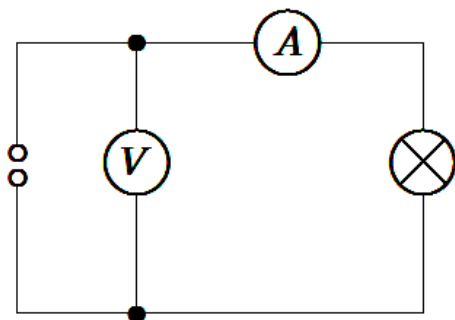
Volfram sımı bar qızdırıw lampası 3-súwrette keltirilgen sxema boyınsha ózgermeli kernewdi tuwrılaǵıshqa jalǵanǵan. Lampadaǵı toqtıń kúshiniń shamasın ózertip lampanıń sımınıń hár qıylı temperaturalarǵa shekem qızıwın ámelge asıra alamız. Shınjırdaǵı toqtıń kúshin hám lampaqǵa túsken kernewdi bilip (olardıń shaması ampermetr hám voltmetrdiń járdeminde ólshenedi) lampanıń sımın qızdırıw ushın sarıplanıp atırǵan quwattıń shamasın biliwge boladı. Sol quwat $P = UI$ nı lampanıń sımı arqalı waqıt birliginde nurlanıw túrinde joǵaltıp atırǵan energiyaǵa teńep

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

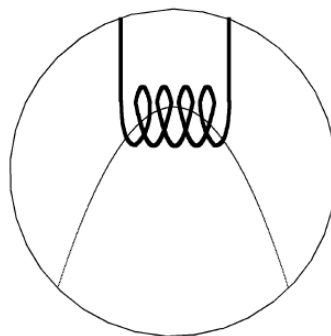
ańlatpasına iye bolamız. Bul ańlatpada U arqalı lampaqǵa túsken kernew, I arqalı lampanıń shınjırındaǵı toqtıń kúshi belgilengen.

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

k koefficientiniń mánisin eksperimentallıq maǵlıwmatlar tiykarında grafikalıq yamasa analitikalıq usıllardıń járdeminde tabıwǵa boladı. k nıń mánisin maydan S ke bólip Stefan-Bolcman turaqlısınıń mánisin tabıw múmkin.



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



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

3. Jumıstı orınlaw tártibi

1. Optikalıq pirometrdi ólshewler júrgiziw ushın tayarlańız. Onıń ushın pirometrdi tarmaqqa arnawlı blok arqalı tutastırıńız. Regulyatorın saat strelkasınıń qozǵalıǵı baǵıtında burap okulyar arqalı etalon sım kórinetuǵınday awhalǵa alıp kelińiz. Okulyardıń tubusın qozǵap sımınıń súwretin anıq bolıwına erisińiz.

Qızdırıw lampasınıń tarmaǵındaǵı tuwrılaǵıshtı qosıńız hám lampa arqalı ótip atırǵan toqtıń shamasın 4 amperge teń etip alıńız. Pirometrdiń obektivin izertlenip atırǵan lampanıń jaqtılıq shıǵarıp turǵan sımına 4-súwrette kórsetilgendey awhaldıń alınatuǵınday etip qaratıńız. Obektivtiń tubusın qozǵaw arqalı sol sımınıń anıq kóriniwine erisińiz. Arnawlı uslaǵıshtıń járdeminde kóriw maydanına qızıl jaqtılıq filtrin jaylastırıńız.

2. Izertlenip atırǵan lampanıń nakalın ózǵertip qızǵan sımınıń temperaturasını pirometrdiń járdeminde ólshenińiz. Lampadaǵı toqtıń mánisin 0,5 A adım menen 4 A den 6,6 A ge shekem ózǵertińiz. Hár ólshewdiń barısında toqtıń, kernewdiń hám temperaturanıń mánisleri jazıp alınadı.

Eskertiwler:

a) laboratoriyalıq jumıstı orınlawda qızdırıw lampalarınıń hár qıylı markalarınıń paydalanılıwı múmkin. Sonlıqtan joqarıda keltirilgen toqtıń mánisleri ózgerislerge ushıraydı.

b) pirometrlerdiń shkalaları ádette Celsiya shkalasındaǵı temperaturalarda graduırovkalanǵan boladı.

Pirometrdiń járdeminde temperaturanı anıqlaǵanda piometrlik lampanıń qızatuǵın sımınıń ortasındaǵı ushastkanıń jarıqlıǵın izertlenip atırǵan lampanıń qızıwshı sımınıń ortasındaǵı jarıqlıq penen teńleskenshe ózǵertedi. Jarıqlıqlar teńlesken waqıtta piometrlik lampanıń sımı kórinbey qaladı. Tap usı waqıtta pirometrdiń shkalası boyınsha temperaturanıń mánisi jazıp alınadı. Pirometrlerde ólshewler diapazonlarınıń bar ekenligine, diapazonlardıń ózǵertiletuǵınlıǵına itibar beriw kerek. Toqtıń hár bir mánisi ushın temperaturanıń mánisi keminde úsh ret ólshenedi. Usınday ólshewlerde

priometrdiń sımınıń temperaturasını joqarı temperaturalardan baslap ta, tómengi temperaturalardan baslap ta ózgertiw talap etiledi. Toqtıń hár bir mánisi ushın temperaturanıń ortasha mánisi qabıl etiledi.

3. $P = kT^4$ tuwrısınıń qıyalıǵınan k koefficientiniń mánisin anıqlańız.

4. Tuwrınıń qıyalıǵınıń koefficientin anıqlaǵanda jiberilgen tolıq qáteni anıqlańız. Qátelikti anıqlaǵanda $\Delta T = 20 \text{ K}$, $\Delta I = 0,05 \text{ A}$, $\Delta U = 0,05 \text{ V}$ shamaların qabıl etińiz.

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

6. Alınǵan nátiyjelerdi ádebiyatta bar nátiyjeler menen salıstırıńız.

Sorawlar

1. Jıllılıq nurlanıwınıń basqa da nurlanıwılardan ayırması nelerden ibarat?

2. Jıllılıq nurlanıwın táriyipleytuǵın fizikalıq shamalardı atap aytıńız hám olar arasındaǵı baylanıslardı kórsetińiz. Hár bir shamaǵa anıqlama berińiz.

3. Jıllılıq nurlanıwı 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-Bolcmanınıń, Vinniń, Reley-Djinstiń nızamların keltirip shıǵarıńız.

7. Temperaturanıń hár qıylı mánisleri ushın $r_{\lambda T}$ funkciyasınıń grafiklerin dúzińiz. Sol grafiklerdiń bir birinen ayırmasın kórsetińiz hám sol ayırmanıń fizikalıq mánisin túsindirińiz.

8. Bul jumısta Stefan-Bolcman hám Plank turaqlılarınıń mánisin anıqlawǵa múmkinshilik beretuǵın formulanı keltirip shıǵarıńız.

9. Optikalıq piometrdiń islewiniń principin túsindirińiz. Deneniń qanday temperaturasını jarıqlıq temperaturası dep ataydı? Optikalıq piometrdiń 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/download/cvz9lmsiktksbmr6ygtxc8wl455j8mko/land_sberg_g_s_optika_\(2003\).djvu](http://d.theupload.info/download/cvz9lmsiktksbmr6ygtxc8wl455j8mko/land_sberg_g_s_optika_(2003).djvu)

14-laboratoriyalıq jumıs

Polarizatsiyalıq mikroskoptıń járdeminde kristallooptikalıq qubılıslardı úyreniw

Jumıstıń maqseti polarizatsiyalıq mikroskoptı qattı denelerdiń sınaw kórsetkishin, bir kósherli hám eki kósherli kristallardıń hár qıylı optikalıq konstantaların anıqlawdan ibarat.

Kerekli ásbap hám úskeneler: МП tipindegi polarizatsiyalıq mikroskop, móldir qattı denelerdiń jıynaǵı, bir kósherli hám eki kósherli kristallar jıynaǵı.

Ásbaptıń táriyipi. Polarizatsiyalıq mikroskop tiykarınan A shtativten, B tubustan turadı (1-súwret). Tubusta joqargı nikol-analizator C hám G linzası ornalaştırılǵan bolıp, olar qosılıwshı jaqtılıqta polarizatsiya qubılısın baqlaw ushın qollanıladı. G linzasın ádette Bertran linzası dep ataydı.

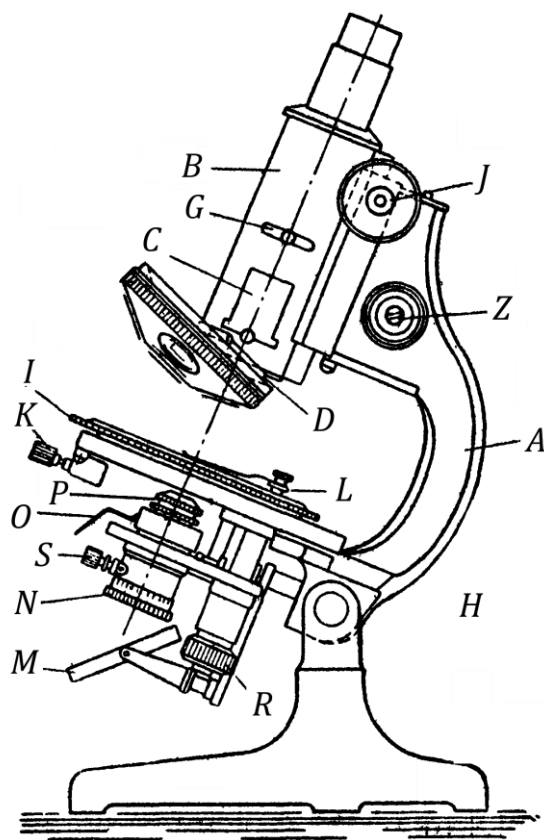
Bertran linzası polarizatsiyalıq mikroskoptıń áhmiyetli bólimleriniń biri bolıp tabıladı. Okulyar menen analizatordıń ortasında jaylasqan. Úlken kóriw maydanına iye ázzi obektiv. Konoskoptıq figuranı úlkeytilgen túrde baqlaw ushın paydalanıladı.

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

Tubusta úshinshi kesim de boladı (D). Ol mikroskoptıń optikalıq sistemasına kompensatorlardı kirgiziw ushın arnalǵan. Tubustı J vintiniń hám C mikrometrlik vinttiń járdeminde joqarı yamasa tómenge qaray túsiriwge 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 múmkin.

Obektiv tubusqa qısqushlardıń járdeminde qısılǵan halda ornalaştırıladı. Sonıń menen birge obektivtiń optikalıq kósheri menen tubustıń kósherin betlestiriwdiń múmkinshiligi 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 múyeshiniń shaması stoldıń shetindegi limb boyınsha anıqlanadı. Limbnıń aylanıwında 1° lıq dálilik tolıq jetkilikli dep esaplanadı. Qaptalda predmetlik stoldı qozǵalmaytuǵın awhalǵa alıp keletuǵın K vinti bar. Stoldıń ústinde izertlenetuǵın predmetti stoldıń betine qısıp uslap turatuǵın serpimli metallardan 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 almasıratıluǵın P kondensorınan turadı. Kúshli qosılıwshı dásteni alıw ushın P kondensorınıń joqarısına qosımsha kondensor bolǵan Lazo linzası ornalasırılǵan (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 shıǵarıladı.

Mikroskoptı jumısqa tayarlaw. Izertleniwshi obektı jaqtılandırıw ushın arnawlı jaqtırtqısh yamasa shashıraǵan nurlardı alıw ushın gúńgirt shiyshege iye kúshli elektr lampası paydalanıladı. Shama menen 8,8 úlkeytiwge iye obektiv qısqushlardıń járdeminde tubustıń tómene ornalasırıladı. G

analizatorı hám linza tubustan shıǵarıladı. Okulyardı tubusqa ornalastırmaı turıp hám aynanı jılastırıp arqalı kóriw maydanınıń eń jaqsı jaqtılandırılıwına erisiledi. Usınday jaǵdayda jaqtılandırılıwshı sistemadaǵı diafragma tolıq ashıq turǵan bolıwı kerek. Bunnan keyin tubusqa atanaqqa iye okulyar ornatıladı. Analizatordı tubusqa kirgizedi, S vintin tómenge túsiredi hám kóriw maydanı tolıq qarańǵı bolǵanınsha polyarizatordı aylandıradı. Kóriw maydanınıń maksimallıq qarańǵı bolıwı nikollerdiń bir birine perpendikulyar turǵanlıǵın bildiredi ("ayqastırıp qoyılǵanlıǵın bildiredi" túsiniǵi de qollanıladı).

Bunnan keyin polyarizator ótkergen jaqtılıq terbelisleriniń baǵıtın anıqlaw kerek boladı. Bunıń ushın tubusqa bekitiwshi vintti bosatıp analizatordı shıǵarıp aladı. Analizatordı kózge jaqınlatıp qanday da bir jıltıraq betten shaǵılısqan nurlardı baqlaydı. Nikoldi burıp arqalı ótiwshi nurdıń intensivligindegi ayırmanı belgileydi. Usınday jollar menen shaǵılısqan nurlardıń terbelisiniń baǵıtın analizatordıń járdeminde bilip analizator tárepinen (sonıń menen birge polyarizator tárepinen) ótkeriletuǵın terbelislerdiń baǵıtın bile aladı.

Jumıstı orınlaw barısında nikollar tárepinen ótkeriletuǵın jaqtılıqtıń terbelis baǵıtın barlıq waqıtta bilip otırıp 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 túrde ayrıladı. Analizatordı tubustan alıp predmetlik stoldı aylandıradı hám sańlaqlardıń baǵıtı okulyardaǵı atanaqtıń bir sızıǵına parallel etip qoyadı. Bunnan keyin analizatordı ornına qoyadı. Bunday jaǵdayda kristaldıń tolıq qarańǵılawı kútiledi. Sebebi biotittiń jarıqlarǵa parallel bolǵan tegisligi sınıp kórsetkishiniń ellipsoidiniń bas kesimleriniń birine sáykes keledi. Eger tolıq qarańǵılaw orın almaytuǵın bolsa, onda okulyardıń atanaǵınıń nikollar tárepinen ótkeriletuǵın jaqtılıqtıń terbelisleriniń baǵıtı menen sáykes kelmeytuǵanlıǵın kórsetedi. Mikroskoptaǵı tap usınday effektjúdá áhmiyetli efektlerdiń biri bolıp tabıladı hám onıń ońlaw ushın optik qánige shaqırıladı.

Obektivti oraylastırıp. Eger obektiv oraylastırılmaǵan bolsa, onda predmetli stoldı aylandırǵanda obektitiń barlıq noqatları sheńber boyınsha aylanadı. Olardıń orayı okulyardıń kóriw maydanındaǵı atanaqtıń orayı menen sáykes kelmeydi. Oraylastırıp alda turǵan másele kóriw maydanınıń orayın okulyardıń atanaǵınıń orayı menen betlestiriw bolıp tabıladı. Stoldı eki tárepke de tez aylandırıp arqalı kóz benen onıń aylanıp orayın belgileydi. Bunnan keyin obektivtiń qasnaǵında bir birine perpendikulyar jaylasqan eki oraylastırıp vintiniń járdeminde kóriw maydanınıń aylanıp orayın atanaqtıń orayı menen betlestiriwge háreket etedi. Bunday háreketlerdi bir neshe ret qaytalap oraylastırılǵanlıqtıń dálligin joqarılataı hám usınday jollar menen obektivtiń kósherin stoldıń aylanıp kósheri menen betlestiredi.

Ólshewler. Polyarizatsiyalıq mikroskopty jumısqa tayarlap bolǵannan keyin ólshewlerge kirisedi.

1-shınıǵıw

Untalǵan kristallardıń sınıw kórsetkishin jaqtılıq jolaǵı usılı menen anıqlaw (immersiyalıq usıl)

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

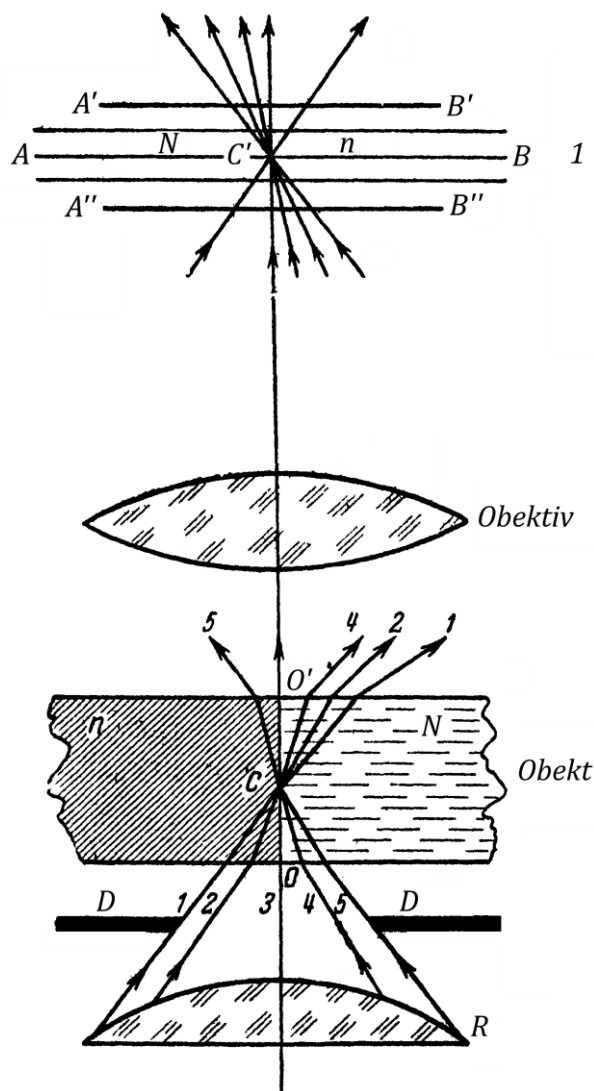
Sınıw kórsetkishin anıqlaw hár qıylı sınıw kórsetkishine iye eki ortalıq arasındaq shegarada jaqtılıq jolaǵınıń jılıswına tiykarlangan. Eger sol eki ortalıqtıń sınıw kórsetkishleriniń shaması 0,002—0,003 shamasına ayrılatuǵın bolsa, onda sınıw kórsetkishiniń mánisin ólshewge boladı. Jaqtılıq jolaǵınıń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

Eger kondensordan shıqqan 1-, 2-, 3-, 4- hám 5-nurlar sınıw kórsetkishleri n hám N ($N > n$) bolǵan eki ortalıq arasındaq shegaraǵa qosılıwshı nurlar túrinde túsetuǵın bolsa, onda 3-nur shegaraǵa túsirilgen urınba baǵıtında júredi, 1- hám 2-nurlar OO' shegarasında sınadı hám sınıw kórsetkishi N bolǵan ortalıqqa ótedi. 5-nur OO' shegarasında sınadı hám sınıw kórsetkishi n bolǵan ortalıqqa ótedi. Al 4-nur bolsa shegarada tolıq ishki shaǵılısadı hám shep táreptegi ortalıqqa bara almaydı. Usı jaǵdaylarǵa baylanıslı sınıw kórsetkishi úlken hám N shamasına teń bolǵan ortalıq kishirek sınıw kórsetkishine iye ortalıqqa (biz qarap atırǵan jaǵdayda sınıw kórsetkishi n ge teń ortalıq) qaraǵanda kúshlirek jaqtılǵan boladı. DD diafragması shetki nurlardı ótkermeydi, shep tárepten (5-nur) shıǵatuǵın nurdıń intensivligin kemeytedi. Nátiyjede shegaranıń kontrastlıǵı joqarılaydı. Obektiv preparat (predmet) arqalı ótken jaqtılıqtı súwrettiń tegisligine alıp keledi hám keri haqıyqıy súwretti beredi. Usı súwret okulyar arqalı kórinedi. Dál fokuslanganda okulyardıń predmetiniń AB tegisligi (obektiv payda etken súwrettiń tegisligi) C' noqatı arqalı ótedi. Eger mikroskoptıń tubusın kóterse obektivtiń súwretiniń tegisligi tómenge túsedi hám okulyardıń predmetiniń tegisligi obektiv tárepinen C' noqatınan joqarıda $A'B'$ sızıǵı boyınsha jıynalǵan jaqtılıqtı kesedi. Baqlawshıǵa úlken sınıw kórsetkishine iye ortalıqta aq jolaq bar bolǵanday bolıp kórinedi. Bul aq jolaq mikroskoptıń tubusın kótergen sayın úlken sınıw 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 sınıw kórsetkishi kishi bolǵan

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

2-súwret.

Hár qıylı sınw kórsetkishlerine iye ortalıqlar arasında ótetuǵın qubılıslardıń ózgesheligin túsindiretuǵın sxema.



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

Sınw kórsetkishin ólshew ushın izertleniwshi untaq kristaldı (poroshoktı) predmetlik shiysheniń ústine saladı. Poroshoktı jıyñaqta bar suyıqlıqlardıń biriniń 1-2 tamshısı menen ıǵallaydı. Usınıń menen birge sol suyıqlıqtıń nomeri hám onıń sınw kórsetkishi jazıp alınadı. Tamshınıń ústin jabıwshı shiyshe plastinkanıń járdeminde jabadı hám preparattıń barlıǵın mikroskoptıń predmetlik stolınıń ústine qoyadı. Dispersiya qubılısın boldırmaw ushın

preparattı monoxromat jaqtılıq penen jaqtılandıradı. Bul jaǵday ólshewlerdiń dáligin joqarılatağı. Aq jaqtılıqtı paydalanǵanda jolaq suyıqlıq penen zattıń dispersiyaları birdey bolǵanda ǵana joǵaladı. Ámelde bunday jaǵday júdá siyrek ushırasadı. Mikroskop zat penen suyıqlıqtıń shegarasına tuwrılanadı. Bunnan keyin tubustı kóterip jaqtılı jolaqtıń qay tárepke qaray jılıyıtıǵınlıǵı anıqlanadı.

Preparattı basqa suyıqlıq penen tayarlaydı hám baqlaw qaytalanadı. Suyıqlıqlardı tańlap alıw jolı menen jaqtılı jolaqtıń joǵalıwına erisiw kerek. Suyıqlıqtıń baqlaw ótkerilgen sharayatlardaǵı sınıw kórsetkishin bilip (temperatura hám tolqın uzınlıǵı) izertlenip atırǵan zattıń sınıw kórsetkishi anıqlanadı.

Obektivtiń frontallıq linzasın (yaǵnıy izertleniwshi denegge qarap turǵan linzasın) búldirip almaw maqsetinde baqlawlardı preparattı jabıwshı (ústine qoyıwshı) plastinka menen jawıp ótkeredi.

Joqarıda táriyiplengen usıldıń (immersiyalıq usıldıń) járdeminde ólshewler ótkergende izotrop ortalıqlarda sınıw kórsetkishiniń qálegen baǵıtta turaqlı bolatuǵınlıǵın, al anizotroplıq kristallıq ortalıqta sınıw kórsetkishiniń kristallografiyalıq baǵıttan ǵárezli bolatuǵınlıǵın názerde tutıw kerek. Eger mikroskopta kóp sanlı sınıqlar (túyirtpekler) baqlanatuǵın bolsa, onda hár bir túyirtpekte eki sınıw kórsetkishi baqlanadı (bul polyarizatoran shıqqan tolqınınıń jaqtılıq terbelisleriniń qaysı baǵıtta ekenliginen ǵárezli). Eger ólshewlerden aldın kristal atanaqlastırılǵan (bir birine perpendikulyar qoyılǵan) nikollerdegi qarańǵı awhalǵa qoyılatuǵın bolsa, onda olar bir birinen keskin túrdegi ayırmaǵa iye boladı.

Bunday jaǵdaylarda mikroskoptıń stolın bir birinen 90^0 qa ayrılatuǵın jaǵdaylarǵa qoyıw arqalı eki sınıw kórsetkishi ólshenedi. Ulıwma jaǵdayda maksimallıq hám minimallıq sınıw kórsetkishleriniń mánislerin anıqlaw ushın izertlenip atırǵan bir kristallıq zattıń hár qıylı orientirovkalarında múmkin bolǵanınsha kóbirek ólshewler ótkeriledi.

2-shınıǵıw

Kvarc kristallarınıń qalıńlıǵın hám kristallardıń qos nur sındırıw shamaların ólshew

Tolqınlardıń júrisler ayırması R menen plastinkanıń qalıńlıǵı d hám qos nur sındırıwdıń shaması $(n_g - n_p)$ arasında

$$R = d(n_2 - n_1)$$

túrindegi qatnas orın aladı.

Mikroskoptıń predmetlik stolınıń ústine atanaqlastırılǵan nikollardıń arasına kvarc plastinkasın ornalastradı. Onıń intensivli boyawǵa (okraskaǵa) iye bolıwın támiyinlew kerek boladı. Bunıń ushın plastinka qoyılǵan predmetlik stoldı aylandırıw arqalı kóriw maydanınıń eń qarańǵı bolǵan awhalı tabıladı.

Onnan keyin mikroskoptıń stolı saat strelkasınıń qozǵalıw baǵıtına qarama-qarsı baǵıtta 45° qa burıladı (1-súwret). D kesimine kvarc sına ornatıladı hám sınıń 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 (qarańǵınıń alınıwı) ańsat ámelge asırıladı. Sáykes tártiptiń boyawı ushın sınıń qalınlıǵın bilip, kelesi kesteniń járdeminde ólsheniwi kerek bolǵan plastinkanıń qalınlıǵı anıqlanadı.

Keste

Atanaqlastırılǵan hám parallel nikollerdegi kvarc sınıń interferenciyalıq reńleri

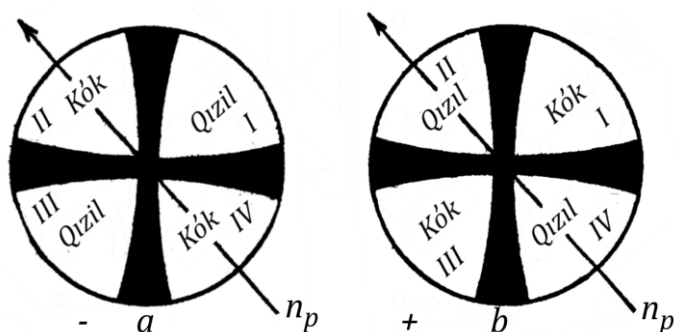
Sınanıń qalınlıǵı, mm	Atanaqlastırılǵan nikollerde	Parallel nikollerde	
0,15	Qızıl	Jasıl	Úshinshi tártip
0,14	Sarı	Sur-kók	
0,13	Jasıl	Qızıl	
0,12	Kók	Sarı	
0,11	Qoyıw qızıl	Jasıl	
0,10	Qızıl	Kók-jasıl	Ekinshi tártip
0,09	Qızǵılt-sarı	Qarańǵı kók	
0,08	Jasıl	Qoyıw qızıl	
0.07	Aspan-kók	Altın-sarı	
0.06	Kók	Sarı	
0,05	Qoyıw qızıl	Jasıl	
	Qızıl		
0,04	Qızǵılt sarı	Kók	Birinshi tártip
0,03	Sarı	Aspan kók	
0,02	Jasıl	Qońır	
0,01	Qara	Aq	

Atanaqlastırılǵan nikollardıń arasına qalınlıǵı belgili bolǵan kristallıq plastinkanı orналаstıradı. Joqarıda táriyiplengendey izbe-izlikte kvarc sınısı kirgiziledi hám kóriw maydanınıń qarańǵı bolıwına erisiledi. Sına ushın kóriw maydanınıń qarańǵılanıwına sáykes keliwshi interferenciyalıq boyawdıń tártibin bilip qos nur sındırıwdıń reńli nomogramması boyınsha izertlenip atırǵan plastinka ushın qos nur sındırıwdıń shamasın anıqlaydı (qarańız: Fizisheskiy plaktikum. Elektrishestvo i optika. Pod redakciey prof. V.I.Iveronovoy. Izdanie vtoroe. Izdatelstvo "Nauka". Moskva. 1968. 19-reńli keste).

3-shınıǵıw

Jıynalıwshı nurlarda bir kósherli kristallardıń optikalıq belgisin, eki kósherli kristallardıń optikalıq belgisin hám optikalıq kósherleriniń múyeshin anıqlaw

Kúshli jıynalıwshı jaqtılıq dástesin alıw ushın mikroskoptıń jaqtılandıratuǵın sistemasına qosımsha kondensor ornatadı. Bunday kondensordı Lazo linzası dep te ataydı. Aperturanı úlkeytiw jáne kristaldan tarqalıwshı jaqtılıq nurların maksimalıq paydalanıw ushın maksimalıq úlkeytiwge iye obektiv qollanıladı (60×). Usınday obektiv orналаstırılǵannan keyin oraylastırıw procedurası puqtalıq penen ótkeriledi.



3-súwret.

Úlken sınıw kórsetkishine iye qalıń kristallardı izertlegende 40× yamasa 20× ese úlkeytetuǵın obektivlerdi de paydalanıw múmkin. Sebebi usınday obektivler optikalıq kósherge kishi múyeshler boyınsha tarqalatuǵın tolqınlar ushın sezilerliktey júrisler ayırmasın bere aladı (yamasa optikalıq kósherler arasındaǵı súyir múyeshtiń bissektrisasına iye eki kósherli kristallarda).

Alınatuǵın interferenciyalıq súwret okulyar mikroskopqa orналаstırılmaǵan jaǵdayda tikkeley kórinedi yamasa qosımsha G linzası orналаstırılǵan jaǵdayda obektiv arqalı da kórinedi. Okulyar linza menen birgelikte interferenciyalıq súwretti 2-3 ese úlkeytip kórsete alatuǵın optikalıq sistemanı payda etedi. Fokusirowka bolsa kóziniń kóriwi hár qıylı bolǵan baqlawshınıń izertlew júrgiziwine múmkinshilik 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 múmkinshiligi tuwıladı. 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 kóteri w jolı menen ámelge asıradı.

Bir kósherdi kristallardı qosılıwshı jaqtılıq dástesinde (tarqalıwshı emes) izertlegende olardıń optikalıq kósherine perpendikulyar etip kesilgen

plastinkaları (shlifleri) paydalanıladı. Al eki kósherli kristallar izertlengende optikalıq kósherleri menen súyir múyesh jasaytuǵın bissektrisasına perpendikulyar plastinkalar qollanıladı.

Qısqasha teoriya

1. Optikalıq kósherine perpendikulyar baǵıtta kesip alınǵan bir kósherli (yaǵnıy tetragonallıq, trigonallıq, geksagonallıq singoniyaga kiriwshi) kristallarda orın alatuǵın qubılısı. Parallel nurlarda bunday plastinka izotrop dene qásiyetine iye boladı hám qos nur sıdırıw qubılısınıń belgileri baqlanbaydı. Qosılıwshı jaqtılıq nurlarında ol interferenciyanıń ózine tán figuraların beredi. Eger qubılıstı atanaqlastırılǵan nikollerde monoxromat jaqtılıqta baqlasa, onda mikroskopta koncentrlık 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 arasındaqı qashılıq kók saqıynalar arasındaqı qashılıqtan 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 túsiniqli. Eger nikollerdiń birin 90° qa bursa izoxromat sızıqlar ózleriniń reńin ózgertedi, al qara atanaq aq atanaqqa aylanadı. Plastinkanıń kalınlıǵı qanshama úlken bolsa hám onıń qos nur sıdırıwınıń shaması úlken bolsa, onda izoxromat sızıqlar biri birine jaqın jaylasadı.

Bir kósherli kristaldıń optikalıq belgisin anıqlaw ushın sezgir túske iye kvarc plastinka qollanıladı. Usınday plastinkada tolqında terbelislerdiń baǵıtı plastinkanıń uzın tárepine parallel etip alınadı. Usı baǵıtta jaqtılıq úlken tarqalıw tezligine, yaǵnıy kishi sınıw 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 tárepi penen kesiletuǵın kvadrantlardıń ekewinde qızıl (yamasa qızǵılt sarı), al qalǵan ekewinde kók jaqtılıq payda bolsa, onda kristaldıń optikalıq belgisi oń boladı (3-súwret). Kúshli qos nur sıdıratuǵın yamasa qalıń kristallarda bolsa atanaqtıń orayına jaqın ushastkalarda boyalıw ádewir kúshli seziledi.

Bul qaǵıydanı túsindiriw ushın eki jaǵdaydı eske túsiriwge tuwrı keledi:

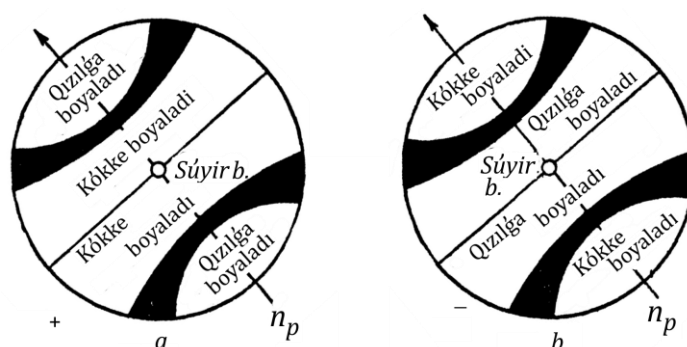
1) eger ádettegidey emes tolqınnıń tezligi ádettegidey tolqınnıń tezliginen kishi bolsa (yaǵnıy $n_e < n_0$) bir kósherli kristaldı oń belgige iye dep esaplaymız, eger ádettegidey tolqınnıń tezligi ádettegidey emes tolqınnıń tezliginen kishi

bolsa (yaғnıy $n_e < n_0$), onda bir kósherli kristaldı optikalıq jaqtan teris belgige iye dep esaplaymız.

2) Ádettegidey emes tolqınnıń terbelisleri túsiwshi tolqınnıń tarqalıw bağıtı hám optikalıq kósher arqalı ótetuǵın tegislikte jatadı (yaғnıy baqlanatuǵın interferenciya figuralarınıń radiusları bağıtında). Al ádettegi tolqınlardıń terbelis bağıtları izoxromat saqıynalarǵa túsirilgen urınbalarǵa bağıtlas boladı.

Usı ulıwmalıq jaǵdaylar tiykarında joqarıda bayan etilgen bir kósherli kristaldıń optikalıq belgisin anıqlaw qaǵıydasınıń nege tiykarlanǵan ekenligin ańsat túsiniwge boladı.

4-súwret.



Kvarc plastinkasındaǵı eń úlken tarqalıw tezligine iye jaqtılıq tolqınıń (bunday jaǵdayda sınıw kórsetkishi n_p shamasına teń boladı) terbelis bağıtı menen izernleniwshi kristaldaǵı kishi tezlik penen tarqalatuǵın jaqtılıq terbelisleriniń bağıtı bağıtlas bolsa (onıń ushın sınıw kórsetkishi n_g shamasına teń), onda tolqınlar arasındaǵı júrisler ayırmasınıń shaması kishireyedi hám interferenciyalıq súwrettegi sáykes orınlar qızıl reńge boyaladı. Joqarıda atap ótilgenindey, interferenciyalıq figuranıń radiusınıń bağıtına ádettegidey emes tolqınıń terbelisleriniń bağıtı sáykes keledi hám sonlıqtan ádettegidey emes tolqınıń tezligi ádettegidey tolqınıń tezliginen kishi boladı ($n_e > n_0$). Bul optikalıq oń kristal ushın shárt bolıp tabıladı. Bir biri menen atanaq túrde jaylasqan kvadrantlar ushın kvarc plastinkasınıń uzın tárepi menen bağıtlas jaqtılıq terbelisleri izertlenip atırǵan plastinkadaǵı ádettegi tolqınlardıń terbelisleri menen bağıtlas boladı. Bul jaǵdayda júrisler ayırmasınıń úlkeyiwi orın aladı hám sonlıqtan kórsetilgen kvadrantlar kók reńge boyaladı. Al optikalıq jaqtan teris kristallarda interferenciyalıq reńlerdiń keri túrdegi jaylasıwları orın aladı.

2. Optikalıq kósherler arasındaǵı súyir múyeshtiń bissektrisasına perpendikulyar bağıtta kesip alınǵan optikalıq jaqtan eki kósherli kristallardaǵı qubılıs. Eger optikalıq kósherler arasındaǵı súyir múyeshtiń bissektrisasına perpendikulyar bağıtta (bunday jaǵdayda súyir bissektrisaǵa perpendikulyar dep ataydı) kesip alınǵan eki kósherli kristall plastinkanı atanaqlastırılǵan nikollerdiń ortasına jaylastırsa, onda parallel nurlarda predmet stolın burǵanda kóriw maydanınıń jaqtılanıwı ózgeredi hám

plastinkanıń tek tórt awhalında kóriw maydanı qarańǵı boladı. Bunday qarańǵı awhal bas kesimniń tegisligi (optikalıq kósherlerdiń tegisligi) polyarizator menen analizatordıń bas kesimleri menen baǵıtlas bolǵan jaǵdayda júzege keledi.

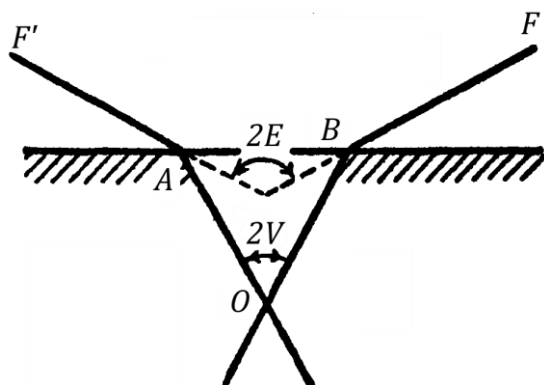
Bunday plastinkanı jıynalıwshı jaqtılıqta izertlegende hár qıylı súwretler baqlanadı. Eger parallel jaqtılıqta kóriw maydanı qarańǵı bolsa, onda jıynalıwshı jaqtılıqta eki fokusqa iye qarańǵı hám jaqtılıq lemniskat seriyası túrindegi interferenciyalıq súwret payda boladı. Fokuslar optikalıq kósherlerdiń shıǵıw noqatında jaylasqan. Aq jaqtılıq paydalanılǵanda lemniskatlar Nyuton saqıynalarınıń reńlerine bjyalǵan boladı. Lemniskatlar bir biri menen qarańǵı atanaq penen kesilisedi. Atanaqtıń shaqaları keń hám teń ólshewli emes túrge iye boladı. Optikalıq kósherlerdiń tegisligi baǵıtında eń ensiz shaqa jatadı. Al oǵan perpendikulyar baǵıtta keń hám jayılǵan shaqa ornasqan boladı. Predmetlik stolı aylandırǵanda atanaqtıń shaqaları giperbolanıń eki shaqasına ayrıladı. Bul shaqalar nikollardıń bas kesimine bas kesim 45° múyesh jasaǵanda maksimallıq aralıqqa qashıqlasadı. Giperbolanıń tóbeleri optikalıq kósherlerdiń shıǵıwına sáykes keledi.

Eki kósherli kristallarda optikalıq kósherler arasındaǵı súyir múyeshtiń bissektrisası baǵıtında eń kishi hám ortasha tezliktegi jaqtılıq tolqınları tarqaladı. Olarǵa optikalıq jaqtan teris kristallarda n_g hám n_m sınıw kórsetkishleri sáykes keledi (al optikalıq jaqtan oń kristallarda bolsa tezligi eń úlken hám ortasha bolǵan jaqtılıq tolqınları sáykes keledi).

Optikalıq belgini anıqlaw ushın izertlenetuǵın kristaldı eń joqarı jaqtılandırılǵan awhalǵa qoyadı. Bunnan keyin mikroskoptıń tubusına giperbolalar onıń uzın tárepine parallel bolatuǵınday etip kvarc plastinkasını kirgizedi. Eger giperbolanıń shaqaları arasındaǵı keńislik kók reń menen boyalatuǵın bolsa, onda kristall optikalıq jaqtan oń belgige iye boladı. Bunday jaǵdayda bissektrisanıń ushı tárepine ortasha hám minimallıq tezliklerge iye tolqınlar tarqaladı. Optikalıq jaqtan teris kristallarda giperbolanıń shaqalarınıń arası qızıl yamasa sarǵısh-qızıl reń menen boyaladı. Sebebi bul jaǵdayda bissektrisanıń ushı baǵıtında ortasha hám maksimallıq tezliklerdegi jaqtılıq tolqınları tarqaladı (bul jaǵday 4-súwrette kórsetilgen).

Giperbolanıń shaqalarınıń sırtında kerı baǵıttaǵı boyawlardıń payda bolatuǵınlıǵın atap ótiw kerek. Sebebi giperbolanıń shaqalarınıń sırtında jaylasqan keńislikte terbelislerdiń baǵıtları orın almasadı. Burın maksimallıq tarqalıw tezligine iye bolǵan orınlardı endi minimallıq tarqalıw tezligine iye terbelisler iyeleydi (hám kerisinshe). Bul jaǵday bılayınsha túsindiriledi: giperbolanıń tóbelerinen sırtta jatqan keńislik optikalıq kósherler arasındaǵı doǵal múyeshke tiyisli bolǵan oblast bolıp tabıladı (yaǵnıy doǵal bissektrisanıń oblastı). Al sol orında sharayatlar súyir múyeshler bissektrisası oblastındaǵı sharayatlardan pútkilley basqasha. Súyir múyeshler bissektrisasına perpendikulyar kesilgen plastinkadan paydalanıp optikalıq kósherler

arasındaғы мұyeshtiń мánisin de anıqlaw múmkin (eger мұyeshtiń мánisi úlken bolmasa hám obektivtiń aperturası múmkinshilik beretuǵın bolsa).



5-súwret.

Eger hawada ólshengen optikalıq kósherlerdiń мұyeshi belgili bolsa (hám onıń shaması $2E$ ge teń bolsa, 5-súwret), onda kósherler arasındaǵı haqıyqıy мұyeshtiń мánisi bolǵan $2V$ shamasın anıqlawǵa boladı. Meyli kristalda jaqtılıq optikalıq kósherlerdiń baǵıtları menen baǵıtlas OA hám OB baǵıtlarında tarqalatuǵın bolsın (5-súwret). Onda $2K$ shamasına teń AOB мұyeshi optikalıq kósherler arasındaǵı мұyeshtiń ózi bolıp tabıladı. Hawada jaqtılıq BF hám AF' baǵıtlarında tarqaladı hám $2E$ мұyeshi hawada kórinetuǵın optikalıq kósherler arasındaǵı мұyesh bolıp tabıladı. Bul мұyeshlerdiń yarımı sınıw nızamı menen baylanısqan:

$$\sin V = \frac{\sin E}{n_m}.$$

Eger E hám n_m shamaları belgili bolsa, onda V shamasın anıqlaw múmkin.

Optikalıq kósherler arasındaǵı kózge kórinetuǵın мұyesh $2E$ niń shamasın juwıq túrde anıqlawǵa boladı. Onıń ushın súyir bissektrisaǵa perpendikulyar kesim ushın xarakterli bolǵan interferenciyalıq figuradaǵı giperbolanıń tóbeleri arasındaǵı мұyeshtiń shaması okulyarlıq mikrometrdiń járdeminde ólsheydi. Bul qashıqlıqtıń yarımı bolǵan D shamasın E niń sinusına (optikalıq kósherler arasındaǵı мұyeshtiń sinusına), sınıw kórsetkishini n menen mikroskoptıń optikalıq sistemasınan gárezli bolǵan bazı bir K shamasına proporcional dep qabıl etiw múmkin. 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 мұyeshlerge jaqın мұyeshlerdiń мánislerinde orın aladı.

Solay etip joqarıda gáp etilgen usıldıń járdeminde optikalıq kósherlerdiń arasındaǵı мұyeshlerdiń мánislerin ólshew ushın optikalıq kósherleri arasındaǵı мұyeshler belgili bolǵan keminde bir etalon plastinka (kristall)

kerek boladı eken. Usınday etalon plastinka sıpatında kóbinese aq slyudanıń (muskovittiń) plastinkası qollanıladı. Bunday kristalda optikalıq kósherler arasındaqı múyeshlerdiń mánisin dálirek usıllardıń járdeminde ólshew múmkin.

Ólshewler. Mikroskoptıń predmetlik stolınıń ústine bar bolǵan barlıq kristallıq plastinkalardı qoyıw arqalı jıynalıwshı 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 arasındaqı kózge kórinetuǵın hám haqıyqıy múyeshlerdi anıqlaydı. Optikalıq kósherler arasındaqı kózge kórinip turǵan 2E múyeshiniń mánislerin 2V múyeshine aylandırıw ushın hár qıylı kristallar ushın ortasha sınıw kórsetkishi n_m shamasınıń kestesinen paydalanadı (keste jumıstı orınlaw barısında beriledi).

Dúzilistiń texnikalıq maǵlıwmatları. Jumıs MP-7 tipindegi polyarizaciyalıq mikroskoptıń járdeminde orınlanadı. Tájiriybelerdiń barısında immersiyalıq suyıqlıqlardıń jıynaǵı, untalǵan kristallar menen shiysheler, optikalıq kósherlerine parallel hám perpendikulyar kesilgen kristallıq plastinkalar (bir kósherli kristallar ushın), súyir bissektrisasına perpendikulyar kesilgen kristallar (eki kósherli kristallar), biotit kristallınıń plastinkası qollanıladı.

Paydalanılǵan 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 с.
<http://rgho.st/download/48302963/d7cefd80f8727c6683686d5a8e905f299a242ec/phys111.zip>

II bólim. Atom fizikasi

1-laboratoriyalıq jumıs

Fotonlar ushın anıqsızlıq qatnasları

Jumıstıń maqseti fotonlar ushın anıqsızlıq qatnasların eksperimentlerde tastıyıqlawdan ibarat.

Ásbaplar: geliy-neonlı lazer (LGN-205), keńligi ózgeriletuǵın monoxromatordıń sańlaǵı, ekran, optikalıq otırǵısh.

Qısqasha tariyx

Meyli, $\cos(\omega t - kz)$ tegis tolqını keńligi a shamasına teń sańlaqqa kelip tússin. Sańlaqqa kelip túskennen keyin jaqtılıq tolqınları múmkin bolǵan barlıq baǵıtlarǵa tarqaladı. Ótken tolqınınıń energiyasınıń úlken bólimi $0 < \varphi < \varphi_1$ múyeshlik sektorǵa sáykes keledi. Bul belgilewlerde φ_1 múyeshi birinshi minimumǵa juwap beredi. Múyeshtiń bul mánisi

$$a \sin \varphi_1 = \lambda \quad (1)$$

qatnasınıń járdeminde anıqlanadı.

(1)-qatnas sańlaqtan shıqqan orındaǵı tegis tolqınınıń spektriniń $\varphi < \varphi_1$ shártine sáykes keliwshi shártli shegarasın anıqlaydı. Jaqtılıq nurlarınıń φ_1 shamasınan kishi múyeshlerge de, úlken múyeshlerge de shashıraytuǵınlıǵın esapqa alıp anıqsızlıqtıń tómendegidey tolqınlıq shártin jazıw múmkin:

$$a \sin \varphi < \lambda \quad (2)$$

Bul shártke sańlaqta shashıraǵan tegis tolqınlardıń basım kópshiliginiń múyeshleri baǵınadı.

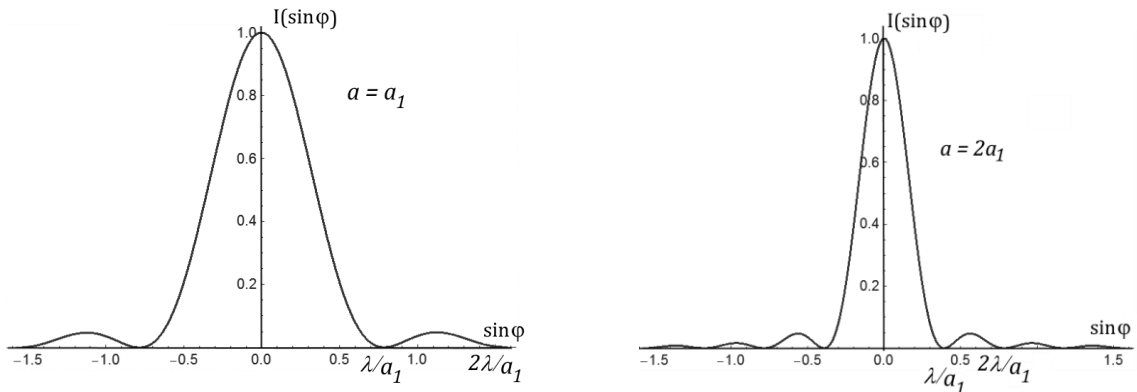
(2)-teńsizlikti qálegen tábiyatqa iye tolqınlar ushın qollanıwǵa boladı hám $a \sin \varphi < \lambda$ ańlatpasınan sańlaqtıń keńligi bolǵan a shamasınıń kishireyiwi menen difrakciyalıq maydandaǵı baǵıtlardıń spektriniń úlkeyiwiniń orın alatuǵınlıǵı kórinip tur.

Mısal retinde 1-súwrette birdey múyesh baǵıtında difrakciyaǵa ushıraǵan tolqınlardıń intensivligi I diń hár qanday keńliktegi sańlaqlar ushın hár qıylı bolatuǵınlıǵı 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 kemeyetuǵınlıǵı kórinip tur.

1-súwrettegi grafiklerdi alǵanda difrakciyaǵa ushıraytuǵın nurlardıń intensivlikleriniń

$$I(\sin\varphi) = I_0 \left[\text{sinc}\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin\varphi\right) \right]^2$$

formulasınıń járdeminde esaplanatuǵınlıǵın atap ótemiz hám bul formulada $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$ ekenligin eske salamız.



1-súwret. Sańlaqtıń keńligi 2 ese úlkeygende (yaǵnıy $a_2 = 2a_1$ 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 túrge 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 múyeshlerge shashıraǵan fotonlar ushın p_x qurawshılarınıń mánisleri hár qıylı. Sonlıqtan (2)-ańlatpaǵa sáykes

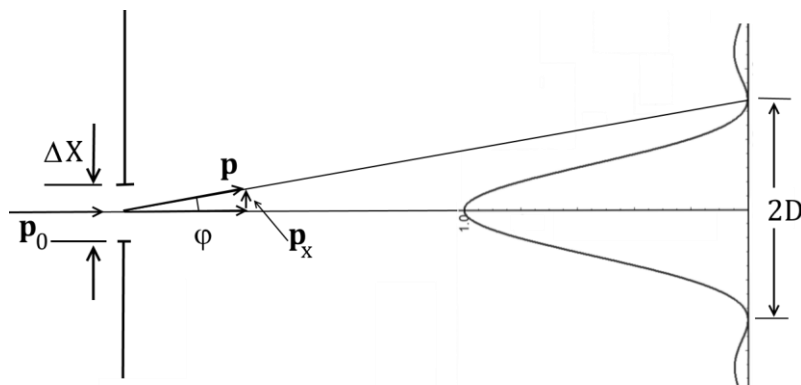
$$ap_x \geq h \quad (4)$$

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 (yaǵnıy 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.



2-súwret.
Sańlaqta shashıraǵan
fotonlar ushın
impulstıń p_x
qurawshısınıń payda
bolatuǵınlıǵın
sáwlelendiretuǵın
sxema.

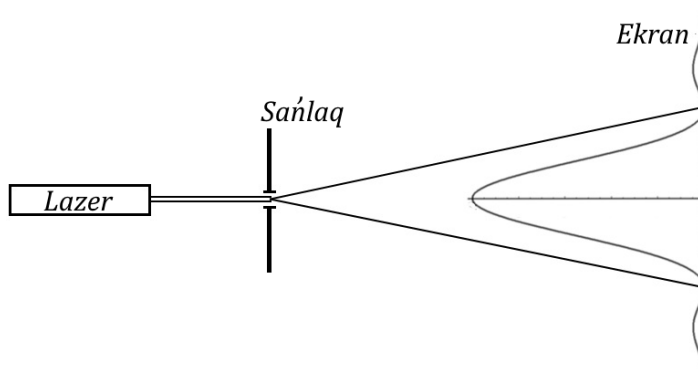
(5)-ańlatpa koordinatadaǵı anıqsızlıq penen impulstıń usı koordinataǵa túsirilgen qurawshısındaǵı anıqsızlıqtıń kóbeymesi shama menen Plank turaqlısınıń mánisine ($h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Dj/s) teń bolatuǵınlıǵı kórinip tur. Usı teńsizlikke kiretuǵın eki shamanıń biri qanshama dál anıqlanǵan bolsa (mısalı sańlaqtıń keńligi júdá kishi bolsa) ekinshisiniń mánisinde úlken anıqsızlıq orın aladı. Kerisinshe, sańlaq qanshama keń bolsa (yaǵnıy $\Delta x \rightarrow \infty$), onda impulstıń qurawshısınıń mánisi ushın dál shama alınadı ($\Delta p_x \rightarrow 0$). Demek Δx hám Δp_x shamalarınıń birewiniń mánisi dál anıqlansa, ekinshisiniń mánisi pútkilley belgisiz boladı.

Bul jumısta anıqsızlıq qatnası bolǵan (5)-qatnastıń durıs ekenligi fotonlar ushın eksperimentallıq jollar menen anıqlanadı. Tájiriybelerdi ótkeriwdiń barısında fotonnıń koordinatasındaǵı anıqsızlıqtı táriyipleytuǵın sańlaqtıń keńligi Δx hám impulstıń Δp_x qurawshısınıń mánisindegi anıqsızlıqtı táriyipleytuǵın difrakciyalıq súwrettiń keńligi ólshenedi.

Ólshewler hám nátiyjelerdi qayta islew

Geliy-neon lazerden shıqqan jaqtılıq dástesi kalibrovkalanǵan (yaǵnıy keńligin ólshew múmkin bolǵan) sańlaq arqalı ótedi hám millimetrli qaǵazdan soǵılǵan ekranǵa kelip túsedi (3-súwret).

3-súwret.
Eksperimentallıq dúzilistiń
sxeması.



Eñ dáslep sańlaqtıń keńligin 0,1 mm shamasına teń etip alamız. Lazer nurınıń sańlaqqa tuwrı kelip túsiwin hám sonıń saldarınan anıq 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 bólingen qaǵazdıń járdeminde anıqlaymız.

Ólshewlerdiń dáliligin joqarılátıw maqsetinde kalibrovkalanǵan sańlaq penen ekran arasındadıǵı qashıqlıqtı keminde 1 m etip alamız. Eksperimentlerde bul qashıqlıqtıń mánisin sıızǵısh 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 arasındadıǵı baylanıstı sáwlelerdinetuǵın grafik dúzemiz. Abscissa kósherine Δx tıń, al ordinata kósherine D nıń mánislerin qoyamız.

F shamasın tómendegidey formulanıń járdeminde esaplaymız:

$$F = \frac{\Delta x D}{\lambda L}.$$

Bul formulada $\lambda = 632,8$ nm geliy-neonlıq lazer nurlandıratuǵın jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵı bolıp tabıladı, al L arqalı sańlaq penen ekran arasındadıǵı qashıqlıq belgilengen.

Bunnan keyin eksperimentte keste túrinde alınǵan $F(\Delta x)$ funkciyasınıń grafigin dúzemiz hám tiyisli juwmaqlar shıǵaramız.

Studentlerdiń bilimin qadaǵalaw ushın arnalǵan sorawlar

1. Jaqtılıqtıń difrakciyası shártinen Geyzenbergtiń anıqsızlıq qatnasların keltirip shıǵarıńız.
2. Qanday fizikalıq shamalar anıqsızlıq qatnasları menen baylanısqań?
3. Anıqsızlıq qatnaslarınıń fizikalıq mánisi neden ibarat?
4. Anıqsızlıq qatnaslarınıń járdeminde atom yadrosında elektronnıń 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

Vodorodtıń spektrin úyreniw

Jumıstıń maqseti vodorod atomınıń spektriniń kózge kórinetuǵın bóliminiń spektrin izertlew hám Ridberg turaqlısınıń mánisin anıqlawdan ibarat.

Nurlanıw spektri zatlardıń áhmiyetli xarakteristikalarınıń biri bolıp tabıladı. Spektr boyınsha zatlardıń quramın, zattıń dúzilisiniń bazı bir xarakteristikaların, atomlar menen molekulalardıń qásiyetlerin anıqlaw múmkin.

Gaz atomları sızıqlı spektrge iye elektromagnit tolqınların nurlandıradı. Usı sızıqlı spektr óz gezeginde spektrallıq seriyalar dep atalatuǵın ayırım spektrallıq sızıqlardıń jıynaǵınan 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 uzınlıǵı, R arqalı Ridbergi turaqlısı, n_1 menen n_2 arqalı pútin sanlar belgilengen. Bul pútin sanlardıń fizikalıq mánisi mınalardan ibarat: n_1 arqalı nurlanıwdıń saldarınan elektron kelip túsetuǵın energiya qáddi ushın jazılǵan qatar sanı, al n_2 arqalı elektromagnit tolqınları nurlandırılmastan burın elektron jaylasqan energiya qáddi ushın jazılǵan qatar san belgilengen. Demek elektron qatar sanı n_2 ge teń energiyanıń qáddinen qatar sanı n_1 ge teń energiyanıń qáddine ótkende uzınlıǵı λ ge teń elektromagnit tolqını nurlanadı eken. Ondaı bolatuǵın bolsa atomǵa tolqın uzınlıǵı λ shamasına teń elektromagnit tolqını kelip tússe atomdaǵı elektron qatar sanı n_1 ge teń energiyanıń qáddinen qatar sanı n_2 ge teń energiyanıń qáddine ótedi.

Vodorodtıń 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)-formulağa sáykes vodorod atomı nurlandıratuğın elektromagnit tolqınların spektrin tómendegidey seriyaların 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 kórinetuğın 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 jumista Balmer seriyasına kiretuğın birinshi tórt sıızık izertlenedi. Bul sıızıqlar tómendegidey belgilewlerge iye:

H_α – qızıl sıızık ($n_2 = 3$);

H_β – jasıl-kók sıızık ($n_2 = 4$);

H_γ – kók sıızık ($n_2 = 5$);

H_δ – fiolet sıızık ($n_2 = 6$).

Bor tálimatı boyınsha elektronlar atom yadrosınıń dógeresinde stacionar orbitalar dep atalatuğın sheńber tárizli orbitalar boyınsha qozğaladı. Al sheńber tárizli qozğalıstıń tezleniwshi qozğalı ekenligin bilemiz. Klassikalıq elektrodinamikanıń nızamları boyınsha tezleniw menen qozğalatuğın zaryadlangan bólekshe ózinen elektromagnit maydanı túrinde energiyanı nurlandıruı kerek.

Biz klassikalıq elektrodinamikanıń kóz-qaraslarında turıp vodorod atomındağı yadronıń dógeresinde aylanıp júrgen elektronıń qansha waqıttıń ishinde energiyasını tolıq nurlandıratuğın esaplaymız. Anıqlıq ushın birinshi stacionar orbitanıń radiusı $r_0 = 0,5 \cdot 10^{-8}$ sm dep esaplaymız.

a tezleniwi menen qozğalatuğın elektronıń energiyasınıń jumsalıwı (joğalıwı)

$$-\frac{dE}{dt} = \frac{2e^2}{3c^3} a^2$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı. Elektronıń traektoriyasını sheńber dep esaplaymız. Sonlıqtan $a = v^2/r$ formulası orınlı boladı. Ekinshi tárepten yadronıń dógeresinde aylanatuğın elektronıń energiyasını

$$E = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{e^2}{r} = -\frac{e^2}{2r}$$

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 túsken waqıt momentinde $r = 0$ teńligi orınlanadı. Sonlıqtan

$$t = \frac{m_e^2 c^3 r_0^3}{4e^4} = 1.6 \cdot 10^{-11} \text{ s}$$

shamasına iye bolamız. Demek klassikalıq fizikanıń (elektrodinamikanıń) kóz-qarasları boyınsha ornıqlı atomnıń, soǵan sáykes stacionar orbitalardıń (hallardıń) bolıwınıń múmkinshiligi joq eken. Usı jaǵdaydayǵa baylanıslı atomlarda nızamları pútkilley basqasha bolǵan mexanika – kvantlıq mexanika húkim súredi dep juwmaq shıǵaramız.

Dúzilistiń táriyipi

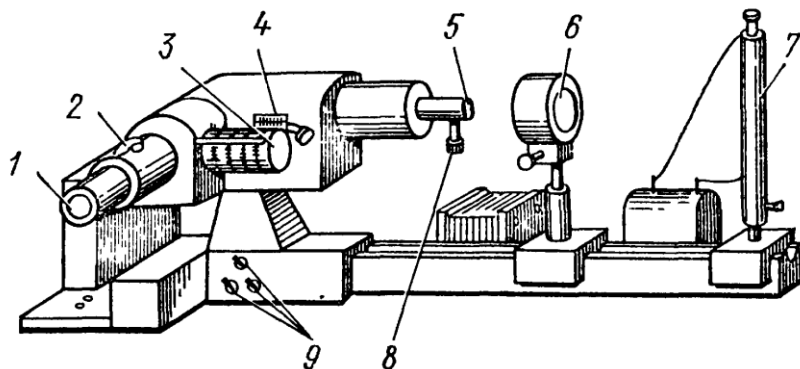
Ásbaplar hám kerekli úskeneler: YM-2 monoxromatorı, geliyi bar gazorazryadlı trubka, vodorodı bar gazorazryadlı trubka, Rumkorf katushkası, tómenletiwshi transformator (elektr energiyası menen támiyinleytuǵın blok).

Spektrallıq sızıqlardı baqlaw hám olardıń iyelegen orınların ólsheiw 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 jılastırıwǵa ruqsat etilmeydi!

Kollimatordıń obektivi, dispersiyalawshı prizmalardıń sisteması hám kóriw trubkasınıń obektivi ásbaptıń korpusınıń ishinde jaylastırılǵan. Kiriw sańlaǵı 5 tiń keńligi 8-mikrometrlik vinttiń járdeminde ózgertiledi.

Sańlaqtıń keńligi aldın ala ornatılǵan bolǵanlıqtan 8-mikrometrlik vintti burıw qadaǵan etiledi.



1-súwret.
YM-2 monoxromatorı.

Spektrallıq ásbaplarda kollimatordıń sańlaǵınıń keńligi (yaǵnıy kiriw sańlaǵınıń keńligi) optikada a_n arqalı belgilenetuǵın normal keńlik dep atalatuǵın shamaǵa sáykes keliwi kerek. Bul shama $\delta\lambda$ tolqın uzınlıǵın ayıra alıwshı shama bolıp tabıladı hám onıń mánisi

$$a_n = (\lambda/D) f_k$$

ańlatpasınıń járdeminde esaplaydı. Bul ańlatpada λ arqalı paydalanılıp atırǵan sańlaq mólsherlengen tolqın uzınlıǵı (bul jumısta Balmer seriyasına kiriwshı tórt sızıq ushın tolqın uzınlıqları), D arqalı obektivke kiriwshı dásteniń kollimatronınıń diametri, f_k arqalı kollimatordıń fokuslıq qashıqlıǵı belgilengen.

YM-2 monoxromatorı simmetriyalıq optikalıq sistema bolıp tabıladı. Onıń kollimatorınıń fokuslıq qashıqlıǵı kóriw trubkasınıń fokuslıq qashıqlıǵına teń (280 mm).

1-tapsırma. Monoxromatordıń shkalasın graduırovkalaw

Geliyli gazorazryadlı trubkanı ásbaptıń relsindegi shtativke bekitińiz. Trubkanıń klemmaların Rumkorf katushkasına tutastırıp, onı shınjırǵa jalǵastırıladı. Nátiyjede trubkada jıltıdap jaqtılıq shıǵadı. Trubkanı jılıtıw 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 ornalastırılǵan 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 jılastırıw arqalı monoxromatordıń barabanı boyınsha belgilewler belgilenip alınadı. Barlıǵı bolıp 11 sızıqtıń baqlanıwı kerek. Bunnan keyin ólshewler keri baǵıtta – fiolet reńnen qızıl reńge shekem júrgiziledi.

Alınǵan nátiyjeler boyınsha hár bir spektrallıq sızıq ushın esaplawdıń ortasha mánisi anıqlanadı. Baqlawlar menen esaplawlardıń nátiyjelerin keste túrinde jazıw kerek. Usınday jollar menen monoxromatordıń barabanı tolqın

uzınlıqları boyınsha graduırovkalanadı. Alınğan maǵlıwmatlardıń barlıǵı da barabannıń shkalasın tolqın uzınlıǵına ótkeriw ushın grafik dúziwge múmkinshilik beredi. Al geliydiń spektrallıq sızıqlarına sáykes keliwshi tolqın uzınlıqlarınıń mánisleri tómendegi kesteden alınadı.

Geliydiń sızıqlarınıń tolqın uzınlıqları

№	Reńi	λ , nm	Inten-sivligi	Eskertiwler
1	Qızıl	728,1	3 P	P belgisi parageliydiń sızıǵın ańǵartadı.
2	Qızıl	706,5	5 O	O belgisi ortogeliydi ańǵartadı.
3	Qızıl	667,8	6 P	Waqıttıń ótiwi menen elektrodlar geliydi jutadı hám trubkadaǵı basım kishireydi. Usınıń saldarınan parageliydiń sızıqlarınıń intensivligin joqarılaydı.
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 anıqlaw

Geliyli trubkanı vodorodlı trubka menen almasırw kerek. 1-tapsırmanıń 3-punktinde keltirilgen tapsırmanı vodorodtıń spektriniń Balmer seriyasındaǵı eń kúshli H_α , H_β , H_γ hám H_δ sızıqları ushın qaytalanadı hám graduırovkalawshi grafiktiń járdeminde tórt sızıq ushın tolqın uzınlıqları tabıladı. Alınğan nátiyjeler kestege túsiriledi.

(1)-formulanıń járdeminde Balmer seriyasınıń tórt sızıǵı ushın Ridberg turaqlısınıń tórt mánisi anıqlanadı. Bunnan keyin alınğan nátiyjelerdiń ortasha mánisi esaplanadı hám jiberilgen qátelerdiń shaması bahalanadı.

Ádebiyat

1. 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.

2. Лабораторный практикум по физике. Под редакцией А.С.Ахматова. Издательство "Высшая школа". Москва. 1980. 360 с.

3-laboratoriyalıq jumıs

Elektronnıń salıstırmalı zaryadın anıqlaw

Jumıstıń maqseti magnetron usılı menen tanısıw hám elektronnıń salıstırmalı zaryadın anıqlawdan ibarat.

Bul jumısta elektronnıń zaryadınıń massasına qatnasın anıqlaw ushın elektronnıń bir tekli magnit maydanında qozǵalıwın izertlewge tiykarlanǵan eń ápiwayı usıllardıń biri paydalanıladı.

Magnit maydanında qozǵalatuǵın elektrongá Lorenc kúshiniń tásir etetuǵınlıǵı málim:

$$\mathbf{F} = e[\mathbf{v} \times \mathbf{B}]. \quad (1)$$

Bul ańlatpada $\mathbf{v}$ arqalı elektronnıń tezligi, e arqalı elektronnıń 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 boyınsha qozǵaladı. Bul sheńberdiń radiusı

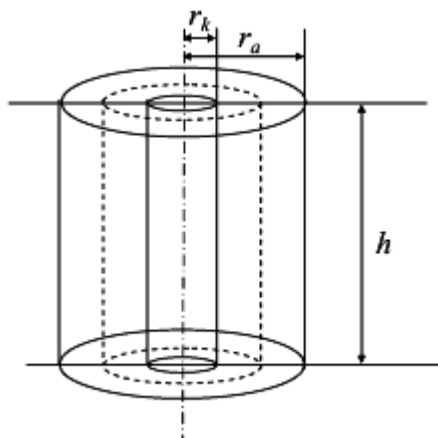
$$e[\mathbf{vB}] = \frac{mv^2}{R}$$

yamasa

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{BR}$$

formulalarınń járdeminde anıqlanadı. Bul formulalarda m arqalı elektronnıń massası belgilengen.

Elektronnıń 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 solenoidtıń ishine onıń kósherine parallel etip jaylastıradı. Bunday jaǵdayda elektronlardıń qozǵalıwı K katod penen A anodınıń ortasındaǵı keńislikte júzege keledi. Solenoidtıń magnit maydanı bolsa lampanıń elektrodlarına parallel boladı (1-súwret).



1-súwret.

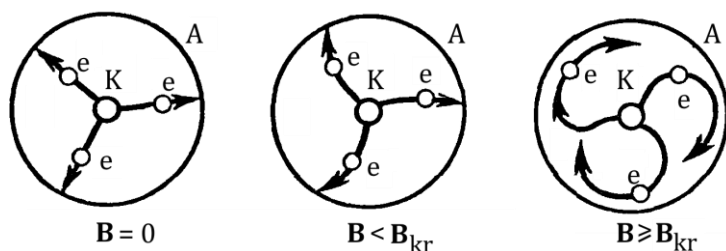
Magnetronnıń sxeması.

r_k hám r_a arqalı sáykes katod penen anodtıń radiusları, al h arqalı olardıń uzınlıǵı belgilengen.

Usınday dúziliste alınǵan elektr hám magnit maydanlarınıń konfiguraciýaları asa joqarı jıyılıqlardegı elektromagnit maydanlarınıń generatorları bolǵan magnetronlardagı atanaq (bir birine perpendikulyar) maydanlardıń konfiguraciýaların eske túsiredi. Biz paydalanıp atırǵan usıldıń ataması da usınnan kelip shıqqan.

Lampadagı elektronlardıń qozǵalıstınıń xarakterin qarap ótemiz. Magnit maydanı bolmaǵan jaǵdaylarda (yaǵnıy $B = 0$ shárti orınlanatuǵın bolsa) lampagá túsirilgen anodlıq kernew radiallıq baǵıttaǵı elektr maydanın payda etedi hám sonlıqtan elektronlar katodtan anodqa qaray radiallıq baǵıtlarda qozǵaladı.

Magnit maydanı túsirilgen jaǵdayda ($0 < B < B_{kr}$) elektronlarǵa Lorenc kúshi tásir etedi hám olardıń traektoriyası iymek sıızıqlı traektoriyalarǵa aylanadı. (2)-formulalardan magnit maydanınıń indukciyası bolǵan B shamasınıń úlkeyiwı menen elektronlardıń traektoriyalarınıń iymeklik radiusınıń kishireyetuǵınlıǵı kórinip tur. Al magnit maydanınıń indukciyasınıń shaması qanday da bir kritikalıq B_{kr} shamasına jetkende elektronlar anodqa jete almay qaladı (2-súwret).



2-súwret.

Magnetrondagı anod (A) penen katod (K) arasındagı elektronlardıń (e) qozǵalıstı.

Magnit indukciyasınıń kritikalıq mánisine sáykes keliwshi elektronnıń traektoriyasınıń iymeklik radiusın

$$R = \frac{a-b}{2}$$

formulasınıń járdeminde esaplaydı. Bul formulada a menen b arqalı lampanıń anodı menen katodınıń radiusları belgilengen. Lampalardı soqqanda ádette a

$\gg b$ teńsizligi (1-súwrette $r_k \ll r_a$ teńsizligi) orınlanatuǵınday halda soǵadı. Sonlıqtan elektronnıń traektoriyasınıń iymeklik radiusın jetkilikli dállikte

$$R = a/2 \quad (3)$$

formulasınıń járdeminde esaplaw múmkin.

Eger katodtan ushıp shıǵatuǵın elektronlardıń tezlikler boyınsha 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 elektronnıń tezliginiń maksimallıq shaması belgilengen. Elektronlardıń anodtıń qasındaǵı kinetikalıq energiyasınıń mánisi menen elektr maydanınıń jumısı eU_a arasındaǵı qatnastı sáwlelendiretuǵın (4)-formula elektronnıń tezligi v nıń tek juwıq mánisin beretuǵınlıǵın ańǵarıwımız kerek.

$v = v_{\max}$ teńliginiń $a \gg b$ teńsizligine salıstırǵanda joqarı dállikte orınlanatuǵınlıǵın kórsetiwge boladı. Haqıyqatında da anod penen katod arasındaǵı potencialdıń túsiwi tiykarınan katodtıń qasında, yaǵnıy a shamasına salıstırǵanda kósherden kishi qashılıqlarda orın alatuǵınlıǵına ańsat iseniwge boladı.

(2)-, (3)- hám (4)-ańlatpalardı esapqa alıp

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{a^2 B_{kr}^2} \quad (5)$$

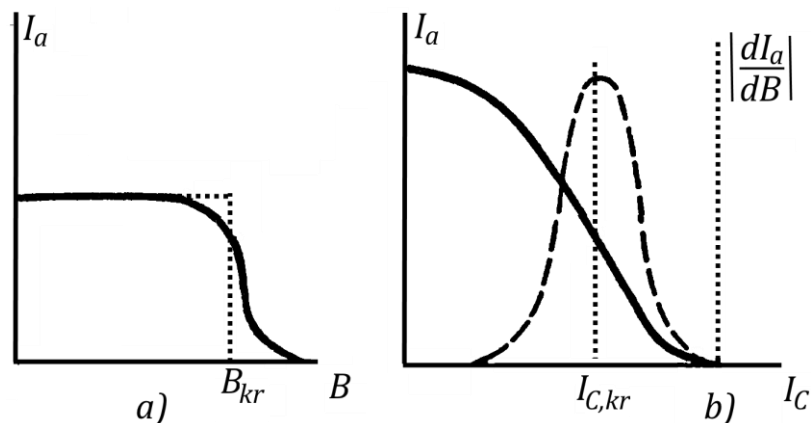
ańlatpasına iye bolamız.

Jetkilikli dárejede uzın bolǵan solenoidtaǵı magnit maydanın birinshi jaqınlasıwda bir tekli dep esaplawǵa boladı hám onıń indukciyasınıń mánisin

$$B = \mu_0 \mu n I_C \quad (6)$$

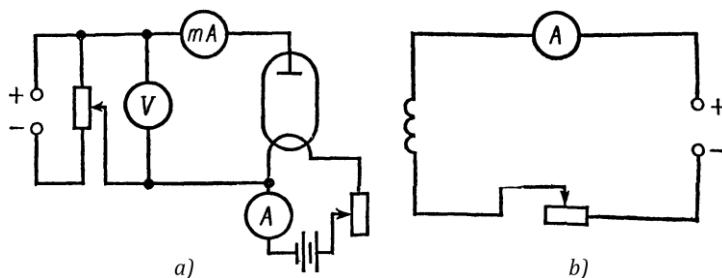
formulasınıń járdeminde esaplaydı. Bul ańlatpada I_C arqalı solenoidtaǵı toqtıń mánisi, al n arqalı solenoidtıń bir birlik uzınlıǵındaǵı oramlar sanı belgilengen. Esaplawlarda $\mu = 1$ teńligi qabıl etiledi.

3-súwret.
Magnetorondağı toqtıń shamasınıń (I_a) magnit maydanınıń indukciyasınıń (B) shamasına gárezligi.



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)-formulanıń járdeminde e/m qatnasın esaplawǵa boladı dep juwmaq shıǵaramız.

Eger lampadağı elektronlardıń tezlikleri birdey bolǵanda indukciyanıń ósiwi menen anod toǵınıń shaması 3-a súwrette punktir sızıq penen kórsetilgendey bolıp ózgergen bolar edi. Al haqıyqatında anod toǵınıń birden nolge teń bolıwı (yaǵnıy anod toǵınıń shamasınıń vertikalıq kemeyiwi) orın almaydı. Sebebi katodtıń betinen ushıp shıǵıp atırǵan elektronlardıń tezlikleri nolge teń emes hám hár qıylı. Sonlıqtan $I_a = f(B)$ funkciyası (gárezligi) 3-a súwrette tutas sızıqtıń járdeminde kórsetilgendey túrde kemeyedi.



4-súwret.
Ótkeriletuǵın eksperimentlerdiń elektrlik sxeması.

Jumista lampadağı anodlıq toq I_a menen solenoid arqalı ótiwshi I_C toǵı arasındaǵı baylanıs izertlenedi (indukciya B nıń mánisi solenoid arqalı ótiwshi toqtıń shamasına tuwrı proporcional). Usınıń menen birge alınǵan iymeklikti grafikalıq jollar menen differenciallaydı (3-b súwret). Bunnan keyin tabılǵan dI_a/dB gárezligi boyınsha solenoidtaǵı $I_{C,kr}$ toǵınıń shaması esaplanadı. Toqtıń bul shamasınıń mánisi indukciyanıń B_{kr} mánisine teń bolatuǵınlıǵın ańsat túsiniwge boladı.

Dúzilistiń táriyipi

Ásbaplar hám úskeneler: elektronlıq lamp, solenoid, toq kózleri, voltmetr, milliampermetr, ampermetr.

Elektronniń salıstırmalı zaryadınıń shamasın anıqlaw ushın 4-a súwrette keltirilgen elektr sxemasına jalǵanǵan eki elektrodlı lampa qollanıladı. Lampa solenoidtıń oraylıq bólimine orналаstırılǵan. Solenoidtı 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 nıń bir neshe mánisleri ushın anod toǵı I_a menen solenoidtıń shınjırındaǵı I_c toǵı arasındaǵı ǵárezlilikti tabıńız.

3. Alınǵan 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 мегнетизм, 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 anıqlaw

Jumıstıń maqseti sırtqı fotoelektrlik effekt ushın Eynshteyn teńlemesiniń durıs ekenligin eksperimentte tekseriw hám Plank turaqlısınıń shamasın anıqlawdan ibarat.

Fotoeffekt (fotoelektrlik effekt) jaqtılıqtıń korpuskulalıq qásiyetleri

kórinetuǵın fizikalıq qubılıslardıń qatarına kiredi. Fotonlar menen tásirlesiwdiń saldarınan elektronlar zatlardıń (mısalı metallardıń) betlerinen julıp alınıwı múmkin. Usınday qubılıstı sırtqı fotoeffekt qubılısı dep ataydı hám bul process ushın energıyanıń 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 elektronnıń maksimallıq kinetikalıq energıyası, ν arqalı jaqtılıqtıń jıyılıǵı, A arqalı zattıń betinen (fotokatodtan) elektrondı julıp alıw ushın jumshalatuǵın jumıstıń shaması, ν arqalı fotoelektronnıń tezliginiń maksimallıq mánisi belgilengen.

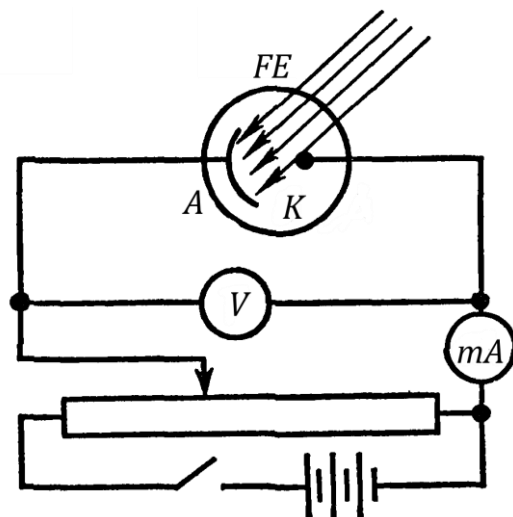
Sırtqı fotoeffektти izertlew ushın ádette ЦІБ yamasa ΦE tipindegi fotoelementler qollanıladı. Bunday fotoelementlerdiń sezgirliǵı spektrdiń kózge kórinetuǵın bóliminde jaylasqan.

Fotoelementti izertlew ushın jıynalǵan elektr tarmaǵına qosıw sxeması 1-súwrette keltirilgen. FE fotoelementi betine metaldıń juqa qatlamı (K fotokatodı) otırǵızılǵan jáne ishine jıynawshı elektrod (A anodı) ornalaştırılǵan shıyshe kolbadan turadı.

Fotoelement ushın alınatuǵın ádettegidey volt-amperlik xarakteristika 2-a súwrette keltirilgen.

1-súwret.

Fotoelementti elektr tarmaǵına qosıwdıń sxeması.



Fototoqtıń shamasın nolge teń bolatuǵın irkiwshı potencial dep atalatuǵın U_{ir} kernewiniń mánisi ayırıqsha qızıǵıwshılıq payda etedi. U_{ir} kernewiniń mánisi boyınsha fotoelektronlardıń maksimallıq energıyasınıń shaması anıqlanadı:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_{ir}. \quad (2)$$

Bul formulada e arqalı elektronnıń zaryadı belgilengen.

(2)-ańlatpanı paydalanıp (1)-ańlatpanı

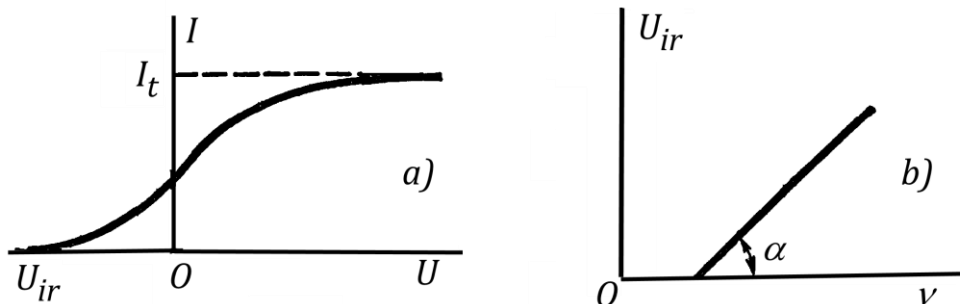
$$U_{ir} = \frac{h}{e}\nu - \frac{A}{e} \quad (3)$$

túrinde kóshirip jaza alamız. Bul ańlatpadan U_{ir} shaması menen jiyilik ν arasında sızıqlı baylanıstıń bar ekenligin kóremiz. Usıǵan baylanıslı Plank turaqlısınıń mánisin (3)-sızıqlı baylanıstıń múyeshlik koefficienti boyınsha tabıw múmkin (2-b súwret):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta U_{ir}}{\Delta \nu} = \frac{h}{e}. \quad (4)$$

Dúzilistiń táriyipi

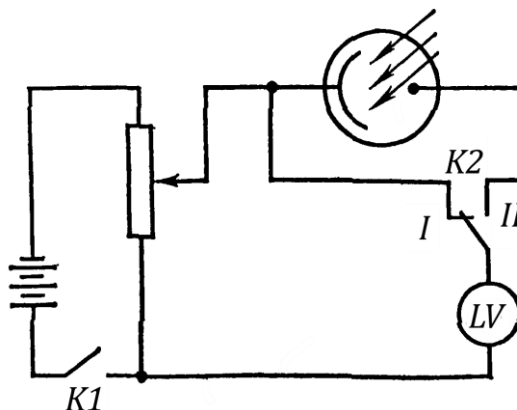
Ásbaplar hám úskeneler: fotoelement, lampalıq volmetr, toq kózi, jaqtılıq filtrleriniń jıynaǵına iye jaqtılıqtıń deregi.



2-súwret.

Eksperimentallıq dúzilistiń sxeması 3-súwrette berilgen. Irkiwshi potencial U_{ir} diń shamasın ólshew ushın ishki qarsılıǵı úlken bolǵan LV lampalı volmetr qollanıladı (bunday volmetrdiń ishki qarsılıǵın ádette sheksiz úlken dep esaplaydı). Bul volmetr kernewdiń mánisi U_{ir} shamasına teń bolǵanda fotoelement shınjırındaǵı fototoqtıń joq ekenligin kórsetetuǵın indikatr sıpatında da xızmet etedi.

3-súwret.
Eksperimentallıq dúzilistiń sxeması.



Elektronlardıń fotoemissiyası sınap lampasınan shıqqan jaqtılıqtıń monoxromator járdeminde bólip alıńǵan bólimi menen fotokatodtı nurlandıruw jolı menen alınadı. Kishi spektrallıq keńlikke iye bolǵan jaqtılıq dástesin alıw ushın interferenciyalıq tar jolaqlı jaqtılıq filtrleri de qollanıladı.

Tapsırma. Irkiwshi potencialdı ólshew hám Plank turaqlısınıń mánisin esaplaw

1. 3-súwretke muwapıq sxemanı jıynańız. Jaqtılıq deregin iske qosıńız hám nurlanıwdıń jıyiligi ν ge sáykes keliwshi jaqtılıq filtrin ornlastırıńız.

2. K1 bir polyuslik gılttin tuyıqlap hám K2 eki polyuslik gıltti 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 gıltti I awhalǵa qoyıp LV lampalıq voltmetriniń járdeminde irkiwshi potencialdıń mánisin tabamız.

4. Nurlanıw jıyiligi bolǵan ν shamasınıń mánisin ózgerтип potencialdıń basqa da mánisleri ushın 1-3 punktlerde keltirilgen tájiriybelerdi qaytalańız.

5. Alıńǵan maǵlıwmatlar boyınsha U_{ir} irkiwshi potencialdıń nurlanıw jıyiligi ν den ǵárezziliginıń grafigin dúzińiz.

6. Alıńǵan grafigti paydalanıp (4)-formula boyınsha Plank turaqlısı h tiń mánisin esaplańız hám ólshewlerde jiberilgen qátelerdiń shamasın bahalańız.

7. Tájiriybelerdiń barısında tabılǵan $U_{ir}(\nu)$ 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

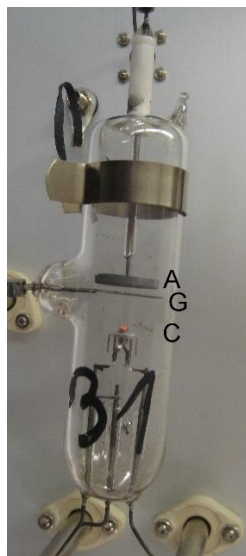
Frank hám Gerc tájiriybesi. Atomnıń kritikalıq potencialın tabıw

Jumıstıń maqseti Frank-Gerc tájiriybesi menen tanısıw hám sınap atomlarınıń kritikalıq potencialın anıqlawdan ibarat.

1913-jılı qoyılğan Frank hám Gerc tájiriybesi (Frank-Gerc tájiriybesi) tariyxıy jaqtan atomlardaǵı energiyanıń qáddileriniń diskretligin dálilleytuǵın eń birinshi eksperimentlerdiń biri bolıp tabıladı. Ádette Frank-Gerc tájiriybesi emes, al Frank-Gerc tájiriybeleri dep ataydı.

Djeıms Frank (nemisşe James Franck, 1882-jılı 26-avgust kúni tuwılğan hám 1964-jılı 21-may kúni qaytıw bolğan nemis hám amerikalı fizik) hám Gustav Lyudvig Gerc (nemisşe Gustav Ludwig Hertz, 1887-jılı 22-iyun kúni tuwılğan hám 1975-jılı 21-may kúni qaytıw bolğan nemis fizigi) 1925-jılı "elektronlardıń atomǵa urılıwınıń nızamların ashqanlıǵına baylanıslı" xalıq aralıq Nobel sıylıǵın alıwǵa miyasar boldı.

Frank-Gerc tájiriybelerdiń mánisi mınalardan ibarat: Jetkilikli dárejede siyrekletilgen izertlenetuǵın gazdıń atomları menen molekulaları energiyasınıń muǵdarı belgili bolğan elektronlar menen bombardirovkalanađı. Elektronlar dástesin alıw ushın olardı elektr maydanında tezlendiredi. Eger elektronlardıń energiyası atomnıń birinshi qozǵan halǵa ótiwi ushın jetkiliksiz bolsa, onda elektronlardıń atomlardaǵı shashırawında energiya joǵalmaydı. Sebebi elektronlardıń massası atomlardıń massasına salıstırǵanda kóp mınlaǵan ese kishi. Basqa sóz benen aytqanda bunday elektronlardıń atomlardaǵı shashırawı serpimli shashıraw bolıp tabıladı. Elektronlardıń energiyası atomlardıń birinshi qozǵan qáddine ótkeriwge jetkilikli bolsa, onda elektronlardıń kópshiligi serpimli emes soqlıǵısıwlarǵa ushıraydı hám usınıń nátiyjesinde olardıń energiyaları kemeyedi. Eger potenciallar ayırması arqalı ótkende elektronnıń iye bolatuǵın energiyasınıń shaması atomdı qozdırw energiyasına teń bolsa, onda sol potenciallar ayırmasınıń shamasın kritikalıq potencial dep ataydı.



1-súwret.

Oqıw laboratoriyalarında Frank-Gerc tájiriybesin úyreniw ushın arnalǵan vakuumluq trubkanıń (lampanıń) fotosúwreti. Trubkanıń ishinde sınaptıń tamshısı boladı (súwrette kórinbeydi). C arqalı katod kórsetilgen. Katod qızdırıladı, sonlıqtan qızıl reńli jaqtılıq hám termoelektronlardı shıǵaradı. Olar G metal tor arqalı ótedi hám A anodına elektr toǵı túrinde kelip túsedi.

Kritikalıq potentsialdıń shamasın ádette elektronvoltlerde ańlatıladı. Eger elektronnıń energiyasınıń muǵdarı atomnıń kritikalıq (yamasa rezonanslıq dep te ataydı) potentsialına teń bolsa yaki onnan úlken bolsa, onda bunday elektron menen soqlıǵısqan atom tiykargı halınan birinshi qozǵan qáddige ótedi.

Biz inert gazler ushın kritikalıq potentsiallardıń mánislerin keltiremiz:

Geliy - 21,6 eV;

Kripton - 9,9 eV;

Neon - 16,6 eV;

Ksenon - 8,3 eV;

Argon - 11,5 eV.

Kritikalıq potentsialardıń mánislerin anıqlaw ushın Frank hám Gerc irkiwshi potentsial usılın paydalandı. Onıń fizikalıq mánisi tómendegilerden ibarat:

Erkin elektronnıń gaz arqalı ótiwin tallaymız. Elektronnıń gaz atomları menen eki túrli soqlıǵısıwınıń orın alıwı múmkin. Bir jaǵdayda elektron energiyasınıń bir bólimin atomǵa beredi, al atomnıń potentsial energiyası ózgermey qaladı (atomnıń kinetikalıq energiyası ózgeredi). Bunday soqlıǵısıwdı serpimli soqlıǵısıw dep ataymız. Ekinshi túrli soqlıǵısıwda atomnıń 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 energiyanıń joqargı qáddine ótedi. Bunday soqlıǵısıwlardı serpimli emes soqlıǵısıwlar dep ataydı. Nátiyjede atomǵa kelip soqlıǵıwshı elektronnıń kinetikalıq energiyasınıń bir bólimi potentsiallıq energiyaǵa aylanadı.

Serpimli soqlıǵısıwdaǵı energiya menen impulstıń 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 elektronnıń massası, M arqalı atomnıń massası, v arqalı atomǵa soqlıǵıswshı elektronnıń tezligi, v_1 arqalı elektronnıń soqlıǵısqannan keyingi tezligi, v_2 arqalı elektron menen soqlıǵıswdıń nátiyjesinde atom alatuǵın tezliktiń mánisi belgilengen.

Elektronnıń soqlıǵıswdan burınǵı hám soqlıǵıswdan keyingi energiyalarınıń ayırması

$$\Delta E = E - (m_e v^2) / 2 = (M v_2^2) / 2$$

shamasına teń boladı. Elektronnıń 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 anıqlanadı. Eger $|v| \approx |v_2|$ teńligi orınlanatuǵın bolsa,

onda $\frac{\Delta E}{E} \approx 4 \frac{m_e}{M}$ teńligi juwıq túrde orınlanadı.

Endi serpimli emes soqlıǵısw orın alatuǵın jaǵdaydaǵı elektronnıń energiyasınıń salıstırmalı ózgerisin esaplaymız.

$$E = \frac{m_e v^2}{2} = \frac{(m_e + M) v_3^2}{2},$$

$$p = m_e v = (m_e + M) v_3,$$

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{v^2 - v_3^2}{v^2},$$

$$v = \frac{m_e + M}{m_e v_3}.$$

Bul ańlatpalarda v_3 arqalı elektron menen atomnıń soqlıǵıswdan 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 soqlıǵıswlardaǵı energiyanıń salıstırmalı joǵalıwların salıstırıp

$$\frac{(m_e + M)^2 - m_e^2}{(m_e + M)^2} \gg 4 \frac{m_e}{M},$$

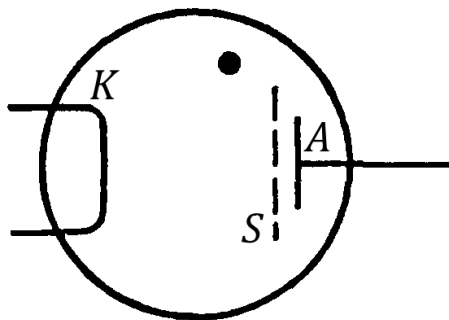
$$\frac{(m_e + M)^2 - m_e^2}{(m_e + M)^2} \approx 1$$

teńsizliginiń hám teńliginiń orın alatuǵınlıǵın ańǵaramız.

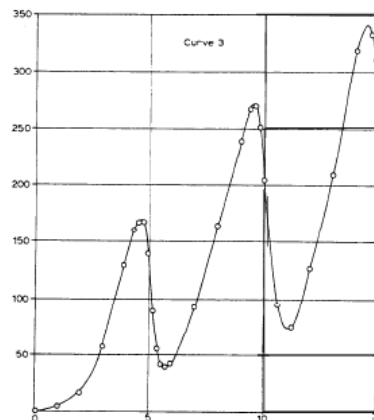
Biz joqarıda elektronlar atom menen serpimli soqlıǵısatuǵın bolǵan jaǵdayda olardıń energiyasınıń ámeliy jaqtan ózgerissiz qalatuǵınlıǵın kóremiz. Al serpimli emes soqlıǵıswda elektronlardıń derlik barlıq energiyası

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-amperek
xarakteristikası.

Eskertiw: 3-súwrette keltirilgen vol-amperek xarakteristika Frank hám Gerclerdiń 1925-jılı jarıq kórgen jumısınan alındı.

2-súwrette keltirilgen úsh elektrodlı lampa basımınıń shaması 1 mm sınap basımınıń basımındaǵı 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 nıń 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 ǵárezlilik 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.

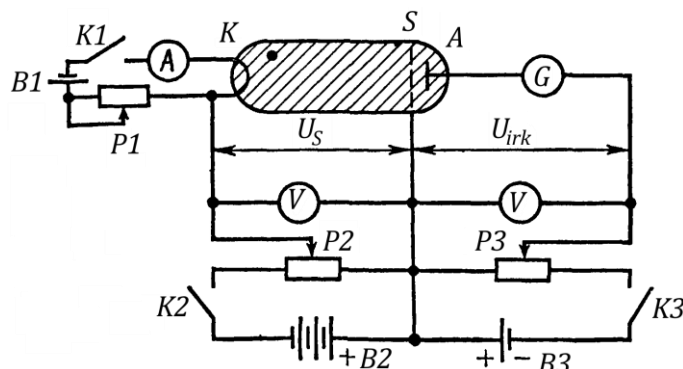
U_s potencialınıń shaması birinshi kritikalıq potencialdıń shamasına jetkende elektronlar serpimli emes soqlıǵısıp óziniń derlik barlıq energiyasın joǵaltadı hám irkiwshi potencialları ayırması arqalı óte almaydı. Bul jaǵday toq kúshiniń keskin túrde kishireyiwine alıp keledi (3-súwret).

Úskeneniń táriypi

Ásbaplar hám kerek-jaraqlar (buyımlar): sınap puwları, geliy yamasa argon menen toltırılǵan úsh elektrodlı lampa, termometrge iye termostat, shuntlar

jıynaǵına iye mikroampermetr, ampermetr, voltmetr.

Dúzilistiń principiallıq sxeması 4-súwrette keltirilgen.



4-suwret.
Ásbaptıń principiallıq
sxeması.

Ásbaptıń principiallıq sxeması 4-súwrette keltirilgen.

Eger úsh elektrodlı lampasınaptıń puwları menen toltırılǵan bolsa, onda onı elektr qızdırgışınıń ishine jaylastırıw kerek boladı (inert gazler menen toltırılǵan lampalar ushın qızdırgıştıń ishine jaylastırıw talap etilmeydi). Lampanıń qızıwı menen onıń ishindegi sınaptıń toyınǵan puwlarınıń basımı úlkeyedi.

Lampanıń torı S penen katod K nıń arasında B1 toq kóziniń járdeminde tezletiwshi potenciallar ayırması túsiriledi. Jıynawshı elektrod bolıp esaplanatuǵın A anodı menen S torınıń arasına B3 toq dereginen irkiwshi (yaǵnıy teris) potenciallar ayırması túsiriledi. Lampada tuwrı nakal (qızatuǵın metall sim) qollanıladı. Lampanıń nakalınıń shınjırı B1 batareyasınan, P1 reostatınan (potenciometrinen) hám ampermetrden turadı.

Tapsırma. $I_a = f(U_S)$ ǵárezligin túsiriw

1. Dúzilisti jıynańız.
2. Elektr qızdırgışın qosıńız hám onıń ishindegi temperaturanı 1200S ǵa shekem kóterińız (eger lampanıń ishinde sınap puwları bar bolsa).
3. K1 giltin tuyıqlańız hám P1 reostatınıń járdeminde nakaldaǵı toqtıń shamasın ornatańız (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 ponetciometriniń járdeminde tezletiwshi U_S potencialınıń mánislerin ózgertip anod toǵı menen tezletiwshi potencialdıń mánisleriniń arasındaǵı ǵárezlilikke anıqlańız (U_{irk} potencialınıń turaqlı mánisinde).
6. $I_a = f(U_S)$ ǵárezliginiń grafigin dúzińız hám sol grafiktiń járdeminde kritikalıq potencialdıń mánisin anıqlańız.
7. Ólshewlerde 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 otırǵısh, polyaroid, difrakciyalıq pánjere, ekran.

Jumıstıń maqseti:

- 1). Geliy-neonlı lazerdiń jumıs islew principin úyreniw.
- 2). Lazer dástesiniń jayıw múyeshin ólshew.
- 3). Lazer nurınıń polyarizaciyasın úyreniw.
- 4). Lazerden shıqqan jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵın tabıw.

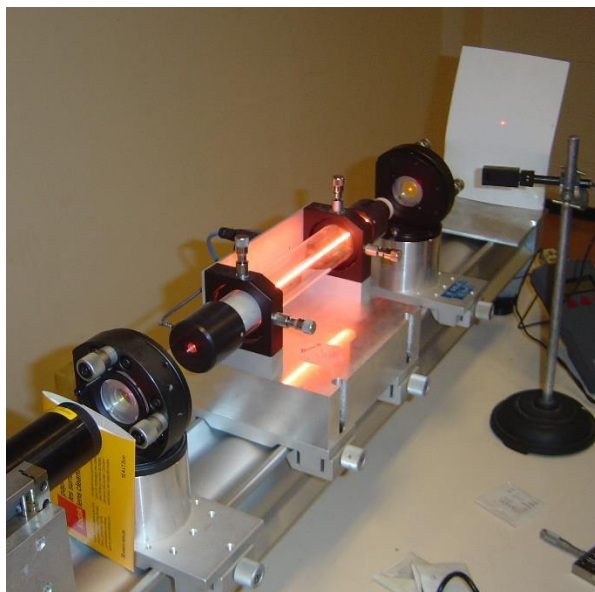
Qısqasha tariyx

Bul laboratoriyalıq jumıs ámelde jiyi qollanılatuǵın geliy-neonlı lazerdiń jumıs islew principin hám xarakteristikaları úyreniw ushın orınlanadı.

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 baylanıstı paydalanıp avtoterbeldeli rejimdi, yaǵnıy jaqtılıqtıń generaciyasın alıw kerek boladı.

Bunday múmkinshiliktiń bar ekenligin eń birinshi ret 1940-jıl V.A.Fabrikant tárepinen boljap ayıldı. Ol jaqtılıqtı kúsheytiw ushın 1917-jıl A.Eynshteyn tárepinen ashılǵan májbúriy nurlanıw qubılısın paydalanıwdı usındı.

Geliy-neonlı lazerdiń fotosúwreti 1 - súwrette berilgen.



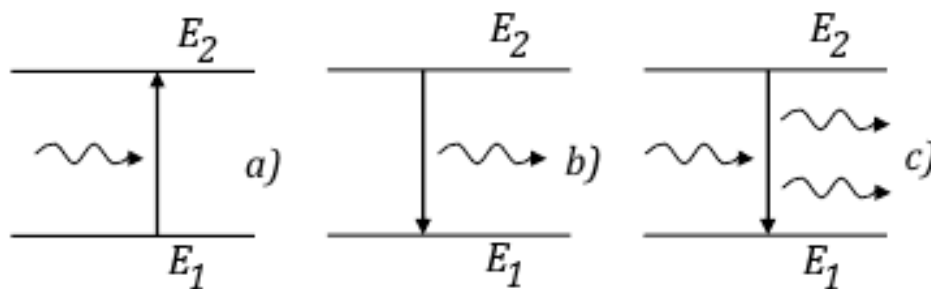
1-súwret.

Geliy-neonlı lazerdiń fotosúwreti.

Súwrettiń ortasındaǵı jaqtılı nur
elektr razryadı bolıp tabıladı.

Indukciyalanǵan (májbúriy) nurlanıw. Bul qubılıstıń mánisin túsiniw ushın elektromagnit nurlanıwdıń atomlıq sistema menen tásirlesiwiniń elementar aktlerin qarap shıǵıw kerek. Ápiwayılıq ushın biz qarap atırǵan kvantlıq sistemanı tek eki energiya qáddine iye dep esaplaymız (2-súwret). Absolyut qara dene tárepinen energiyanı nurlandıırıw máselesin qarap A.Eynshteyn atomlıq sistemalı kvantlıq ótiwleriniń úsh process penen baylanıslı ekenligin taptı: sistema tárepinen energiyalıń jutılıwı (2-a súwret), spontan nurlanıw (2-b súwret) hám májbúriy nurlanıw (2-c súwret).

Indukciyalıq (májbúriy) nurlanıw processiniń mánisi mınadan ibarat: Sırtqı maydan energiyalıń tek nurlanıwına ǵana emes, al kerı processti de boldıra aladı. Bul kerı process qozǵan atomnıń energiya kvantın nurlandıırıwı arqalı tiykarǵı halǵa ótiwi bolıp tabıladı. Bul process atomları metastabillik energiya qáddilerine iye bolǵan ortalıqlarda orın aladı. Bunday metastabillik qáddilerdegi atomlardıń jasaw waqıtı qozǵan qáddilerdiń jasaw waqıtınan ($\tau \sim 10^{-8}$ s shamasınan) ádewir úlken. Sırtqı maydannıń jiyiligi menen kvantlıq sistemadaǵı ótiwlerdiń jiyiligine teń bolǵan jaǵdayda ótiw processiniń itimallıǵı joqarı boladı (biraq sırtqı maydannıń fazası menen nurlanıw energiyasınıń fazaları birdey bolǵanda májbúriy nurlanıwdıń itimallıǵı kishi boladı). Indukciyalanǵan nurlanıw monoxromat (yamasa monoxromatqa jaqın) boladı. Sonıń menen birge maydannıń intensivligi úlkeygende májbúriy nurlanıwdıń monoxromatlıǵı joqarılaydı. Májbúriy nurlanıw onı júzege keltirgen nur menen jiyiligi boyınsha da, fazası boyınsha da birdey, yaǵnıy bunday nurlanıw kogerentli boladı (dálirek aytqanda kogerentliktiń joqarı dárejesine iye boladı).



2-súwret. Atomlardıń eki qáddili sistemasındaǵı kvantlıq ótiwler. a) – energiyanıń jutılıwı menen bolatuǵın májbúriy ótiw, b) – spontan ótiw, c) nurlanıw menen júretuǵın májbúriy ótiw.

A.Eynshteyn absolyut qara deneniń nurlanıwınıń tıǵızlıǵın esaplaw ushın Plank formulasın paydalanǵanda májbúriy nurlanıw túsiniǵın kirgizdi. Bunıń ushın ol joqarıda atap ótilgen úsh processtıń waqıt birliginde júzege keliwininiń itimallıǵın xarakterleytuǵın úsh koefficientti usındı. Bul koefficientlerdiń mánisleri mınalardan ibarat: spontan ótiwdiń itimallıǵı A_{21} , májbúriy ótiwdiń itimallıǵı $B_{21}\rho(\nu)$ hám jutılıw itimallıǵı $B_{12}\rho(\nu)$. Keyingi ekewi sırtqı maydannıń bar bolıwı menen baylanıslı. Bul jaǵdaydıń orın alatuǵınlıǵın $\rho(\nu)$ kóbeytiwshisi bildiredi. $\rho(\nu)$ shaması jiyiliklerdiń bir birliginiń intervalındaǵı ν jiyiligindegi nurlanıw energiyasınıń tıǵızlıǵı bolıp tabıladı. Bul ańlatpalarda $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ arqalı biz qarap atırǵan eki qáddige iye sistemadaǵı ótiw jiyiligi belgilengen. Waqıttıń bir birligindegi ótiwler sanı sáykes

$$\begin{aligned} &A_{21}N_2, \\ &B_{21}N_2\rho(\nu) \\ &B_{12}N_1\rho(\nu) \end{aligned}$$

shamalarına teń. Bul ańlatpalarda N_2 menen N_1 arqalı joqarı hám tómengi qáddilerdegi bólekshelerdiń sanı belgilengen.

Jıllılıq nurlanıwınıń teń salmaqlıq shártin (yaǵnıy waqıttıń bir birligindegi $1 \rightarrow 2$ hám $2 \rightarrow 1$ ótiwleriniń teń ekenligin) esapqa alıp mınaday ańlatpalardı jasa alamız:

$$B_{12}N_1\rho(\nu) = A_{21}N_2 + B_{21}N_2\rho(\nu) \quad (1)$$

yamasa

$$(B_{12}N_1 - B_{21}N_2)\rho(\nu) = A_{21}N_2.$$

Bólekshelerdiń energiya qáddileri boyınsha tarqalıwın

$$N_2 = N_1 e^{-\frac{h\nu}{kT}} \quad (2)$$

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 tıǵızlıǵı 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 atomnıń qozǵan haldaǵı jasaw waqıtınıń ortasha mánisine keri shama ekenligin atap ótemiz.

Elektromagnit nurlanıwdıń aktiv ortalıqtaǵı kúsheyiw. Inversiyalıq toltırıwdı payda etiw. Jaqtılıq tolqını zat arqalı ótse ol (jaqtılıqtıń bir bólimi) kóbinese sol zat tárepinen jutıladı hám onıń intensivligi kemeyedi. Biraq eger tolqın atomlarında metastabillik qáddilerdiń inversiyalıq toltırılıwı orın alǵan zat arqalı ótse (bunday zattı ádette aktiv zat dep ataydı), onda ol kúsheyedi.

Intensivligi $J_{0\nu}$ bolǵan tegis monoxromat tolqınıń kese-kesimi S bolǵan izertleniwshi zattıń kóleminiń bir birligi arqalı ótiwin qaraymız. Tolqınıń dáslepki energiyası $W_0 = J_{0\nu}S$ shamasına teń. Zat arqalı $dx = c dt$ qatlamın 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 kemeyiwın 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 tıǵızlıǵınıń 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 [yaǵnıy $A_{21} \ll B_{21}\rho(\nu)$ teńsizligi orın aladı dep esaplasaq], onda tap sonday jollar menen indukciyalanǵan (yaǵnıy májbúriy) nurlanıw ushın intensivliktiń spektrallıq tıǵızlıǵınıń 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 orınlanatuǵın bolǵanlıqtan nurlanıwdıń tıǵızlıǵınıń 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

$$J_\nu = J_{0\nu} e^{\alpha(\nu)x} \quad (11)$$

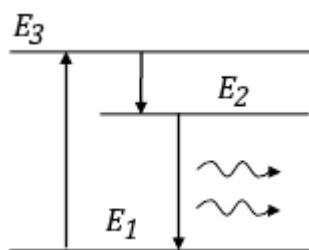
ańlatpasın keltirip shıǵaramız. Al jiyiligi ν_0 bolǵan monoxromat tolqın ushın

$$J = J_0 e^{\alpha(\nu_0)x}$$

ańlatpası orınlı boladı. Eger $N_2 < N_1$ hám $\alpha(\nu) > 0$ shárti orınlanatuǵın bolsa biz teris mánisli jutılıw dep atalatuǵın jutılıwǵa iye bolamız. Bunday jaǵdayda ortalıq jaqtılıqtı kúsheytedi. Jaqtılıqtı kúsheytiw ushın inverslik tarqalıwdı, yaǵnıy $N_2 < N_1$ shártin qanaatlandıratuǵın tarqalıwdı payda etiwimiz kerek.

Inverslik toltırılıwdı ámeliy jaqtan júzege keltiriw ushın eki qáddili sistemanı paydalanıwdıń múmkinshiligi joq. Sebebi bunday sistemada tek $N_2 = N_1$ teńligi orınlanatuǵın jaǵdaydıń orın alıwı múmkin (bunday sistema barlıq waqıtta da teń salmaqlıq sistema bolıp tabıladı).

Qáddileriniń biri metastabilli bolǵan úsh qáddige iye sistemadaǵı inverslik toltırılıwdı dóretiw máselesin qarap shıǵamız $\tau \sim 10^{-3}$ s). Bunday usıl birinshi ret N.G. Basov, A.M. Proxorov hám Sh. Tauns tárepinen usınılǵan edi (bul jumıs ushın 1964-jılı xalıq aralıq Nobel sıylıǵı berildi). Dáslep sistemada energiya toplanadı. Bunıń ushın sistema energiyası úshinshi hám birinshi qáddilerdegi energiyanıń 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 elektronnıń jasaw waqıtı $\tau \sim 10^{-8}$ s. Bunnan keyin elektronlar spontan túrde metastabilli bolǵan ekinshi qáddige óte baslaydı (3-súwret).



3-súwret.
Úsh qáddige iye sistema.

Usınday jollar menen inversiyalıq toltırılıw 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 kúsheyiwi orın aladı.

Rubinnen soǵılǵan lazerdegi inversiyalıq toltırılıw tap usınday jollar menen ámelge asadı. Xrom atomları qosılǵan rubin bunday lazerdegi aktiv ortalıq bolıp tabıladı. Energiyanıń toltırılıwı ushın (yaǵnıy 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 shárttiń orınlanıwı kerek:

1. Atomlarında metastabilli qáddiler bar zattıń bolıwı ($\tau > 10^{-8}$ s);
2. Metastabilli qáddilerdiń inversiyalıq toltırılıwın júzege keltiriw (bul processti toltırıw - nakashka dep ataydı). Bul eki shárt kvantlıq kúsheytkishtiń jumıs islewı ushın jetkilikli. Al qálegen generatordıń jumıs islewı ushın úshinshi shárttiń 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 sistemasınan turadı. Qattı deneli (yaǵnıy aktiv ortalıq qattı dene bolǵan lazerde) aktiv elementtiń gúmis penen jalatılǵan qaptalları aynalar xızmetin atqaradı. Gaz lazerde trubka (aktiv element bolıp tabılatuǵın gaz quylǵan trubka) aynalardıń ortasına jaylastırıladı. Bul aynalar ádette Fabri-Pero

interferometriniń xızmetin atqaradı. Lazerdi jumısqa tayarlaw ushın (yustirovkası ushın) aynalardıń biriniń sferalıq formaǵa iye bolıwı qolaylı boladı. Geypara jaǵdaylarda eki sferalıq konfokallıq aynalardan turatuǵın sistema da paydalanıladı.

Optikalıq rezonatorda (qálegen basqa razonatorda) stacionar hal shárti rezonatordıń ishindegi uzınlıǵı l_r shamasına teń optikalıq jolda pútin san eselengen tolqın uzınlıǵındaǵı tolqınlar jaylasqan jaǵdayda ǵana orınlanadı. Bunday shárttiń kósherlik dáste hám usı dáste menen júdá kishi múyesh jasap tarqalatuǵın dásteler ushın orınlanıwı zárúrli. Bunday tolqınlardı (terbelislerdi) rezonatordıń kóldeneń modaları dep te ataydı.

Saylap alınǵan baǵıttıń qálegenı ushın rezonans shárti

$$\nu_n = \frac{nc}{2l_r} \quad (12)$$

teńligi orınlanatuǵın jaǵdayda júzege keledi. Bul ańlatpada n arqalı l_r uzınlıǵında jaylasatuǵın yarım tolqınlar sanı belgilengen.

Solay etip bir boylıq modanıń ishinde bir qatar terbelislerdiń jasay alıwı múmkin eken, onday terbelislerdi boylıq modalar dep ataydı. Vakuumde qońsılas boylıq modalardıń jiyilikleri arasındǵı ayırma

$$\Delta\nu_p = \nu_{n+1} - \nu_n = \frac{c}{2l_r} \quad (13)$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı. Eger aynalar ortasındǵı 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 shárti tek kósherdiń qasındaǵı modalar ushın ǵana orınlanadı. Bul jaǵday lazer nurınıń joqarı dárejede baǵıtlanǵanlıǵın támiyinleydi.

Rezonatordıń aynalarınan jaylasıwları ózgertiw hám arnawlı diafragmalardı paydalanıw arqalı tek tiykarǵı modadaǵı generaciyanı alıw múmkin. Bunday jaǵdaydı bir modalı rejim dep ataydı. Bunday jaǵdayda kese kesimdegi maydanniń amplitudası Gauss nızamı boyınsha ózgeredi (gauslıq dáste).

Ayırım jaǵdaylarda rezonatorǵa selektivlik filtrlerdi qosıp tek bir boylıq tolqındaǵı generaciyanı alıw múmkinshiligi tuwıladı. Lazerdiń islewiniń tap

usınday rejimin bir jiyilikli rejim dep ataydı. Bunday jaǵdayda lazerdiń nurlanıwınıń maksimallıq monoxromatlıǵı júzege keledi.

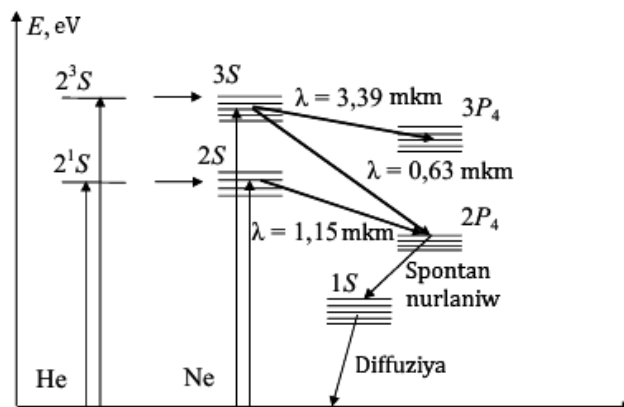
Gaz lazerdiń jumısında energiyanıń joǵalıwınıń tiykargı derekleriniń biri rezonatordıń ideal emes shaǵılıstırıw qábiletligi menen baylanıslı boladı.

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 toltırılıwdı payda etiw.** Aktiv ortalıqtı qozdırıw ushın (yaǵnıy nakashka - toltırıw ushın) bir neshe mın 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 milliampere teń. Geliy menen neonnıń aralaspasındaǵı tiykargı jumıs isleytuǵın zat neon bolıp tabıladı. Gaz razryadında Ne atomlarınıń bir bólimi tiykargı haldan qozǵan hám uzaq jasaytuǵın 2s yamasa 3s qáddine ótedi. Bul qáddilerdiń ózi bir neshe qáddilerden turadı. Inversiyalıq toltırılıw 2s hám 3s qáddileriniń qısqa jasawshı 2p qáddine salıstırǵanda kóbirek toltırılıwı menen dóretiledi. Biraq taza neonda inversiyalıq toltırılıwǵa 1s metastabillı qáddi kesent jasaydı. Bul qıyınshılıq neonǵa geliy atomların qosıw menen saplastırıladı. Geliyde 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 plazmanıń elektronları menen soqlıǵısıwdıń nátiyjesinde qozadı. He atomları menen qozbaǵan Ne atomlarınıń serpimli emes soqlıǵısıwlarıdıń aqıbetinde qozıwdıń rezonanslıq alıp beriliwiniń ámelge asırılıwı múmkin. Usınıń nátiyjesinde neon atomları 2s hám 3s qozǵan halına ótedi, al geliy atomları bolsa tiykargı 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 sınaq baǵanasınıń basımınday, al geliydiń basımı 1 mm sınaq baǵanasınıń basımınday), onda taza neondaǵı qáddilerdiń toltırılıwına salıstırǵanda qozǵan neon atomlarındaǵı 2s hám 3s qáddileriniń ádewir tıǵız toltırılıwın boldırıw múmkin.

4-súwret.
Geliy hám neonnıń energiya
qáddileriniń sxeması.



3. **Keri baylanıs.** Ne-He lazerinde optikalıq keri baylanıs úlken shaǵılastırwshılıq qábiletlikke iye bir tegis hám bir sfera tárizli yamasa eki konfokallıq sferalıq aynalardıń járdeminde júzege keltiriledi: bir táreptegi aynanıń shaǵılastırwshılıq koefficienti shama menen 99,8 %, al ekinshi táreptegi aynanıń shaǵılastırwshılıq koefficienti shama menen 97-98 % bolıwı kerek. Aynalardıń shaǵılastırwshılıq koefficientin úlkeytiw ushın rezonatordıń aynaların kóp qatlamlı dielektrik penen qaplaydı (cink sulfidi, ftorlı magniya hám basqa da zatlardıń onnan aslam qatlamı).

Lazerdiń nurlanıwı. Metastabillı qáddilerdiń toltırılıwı 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 ótiwlerdiń múmkinshilikleri boladı eken. Tolqın uzınlıǵı 632,8 nm bolǵan eń intensivli nurlanıwdı 3s → 2p (lazerdiń qızıl nurı) jáne 2s → 2p ótiwleri beredi (tolqın uzınlıǵı spektrdiń infraqızıl bóliminde 1150 nm). Usınıń menen bir qatarda jetkilikli dárejede intensivli sıızıq 3s → 3p ótiwinde alınadı (3390 nm). 2p → 1s ótiwi spontan ráwishte ámelge asadı (trubkanıń qızıl reńdegi jaqtılıqtı shıǵarıwı). Bunnan keyin qáddiniń elektronlardan bosawı neon atomlarınıń gazorazryadlı trubkanıń diywalları menen soqlıǵısıwlarınń saldarınan ámelge asadı. Bul processtiń úlken effektivlik penen júriwi ushın trubkanıń diametrin bir neshe mm etip isleydi.

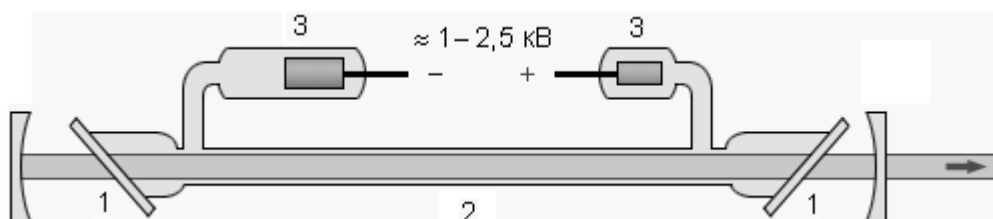
Aktiv elementtiń shegaralarındaǵı shaǵılısıw energiyasınıń joǵalıwınıń ekinshi deregi bolıp tabıladı (gaz lazerde trubkanıń shıǵıw aynaları). Bul joǵaltıwdı kishireytiw ushın shıǵıw aynaların optikalıq kósherge salıstırǵanda Bryuster múyeshine qıyalap qoyadı (5-súwret). Bunday konstrukciya nurdıń tegisligindegi polarizaciyalanǵan modalardıń selektivlik kúsheyiwine alıp keledi. Túsiw tegisliginde polarizaciyalanǵan nurları Bryuster múyeshine teń kıyalıqta túskende trubkanıń kósherine salıstırǵanda qıya etip jaylastırılǵan shettegi qıya túrde jaylastırılǵan plastinkalar arqalı shaǵılısıwsız tolıq ótedi. Hár qıylı konstrukciyalarǵa iye geliy-neonlı lazerdegi gazorazryadlı trubkanıń uzınlıǵı 15 sm den 2 m ge shekem baradı. Trubkanıń uzınlıǵınıń shamasına aktiv elementtiń kúsheyitiw koefficientiniń mánisi, demek generaciyalanǵan

nurlanıwdıń quwatı hám lazer nurlarınıń baǵıtlanǵanlıǵı ǵárezli. Nurdıń shashırawshılıǵı (yaǵnıy parallellikten awısıwı)

$$\theta \sim \left(\frac{\lambda}{l}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

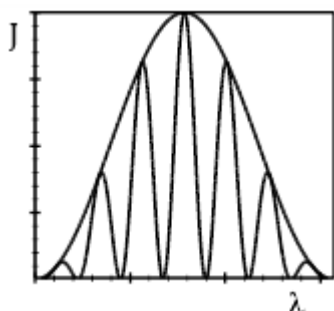
formulasınıń járdeminde beriledi. Bul formulada λ arqalı tolqın uzınıǵı belgilengen.

Ádettegi jaǵdaylarda θ nıń mánisi 1-2 múyeshlik minuttan aspaydı.



5-súwret. Ádettegidey gaz lazerdiń gazorazryadlı trubkasınıń kesimi. 1 – trubkanıń kósherine (yaǵnıy lazerdiń rezonatorınıń kósherine) Bryuster múyeshine qıya etip qoyılǵan shetki plastinkalar, 2 – trubkalardıń diywalları, 3- elektrodlar.

Joqarı dárejede baǵıtlanǵanlıq penen bir qatarda geliy-neonlıq lazer generaciya jıyılıǵınıń júdá joqarı bolǵan stabilligin de támiyinleydi. Ne atomlarınıń spektrallıq sızıqlarınıń keńligi $\Delta\nu$ toltırılıw inversiyası orın alǵanda júzege keletuǵın jaqtılıqtıń generaciyasındaǵı jıyiliklerdiń oblastın anıqlaydı. Bul salıstırmalı keń spektrallıq sızıqtan optikalıq rezonator tar sızıqlardı "kesip aladı". Bul sızıq rezonatordıń menshikli jıyılıǵına sáykes keledi (6-súwret). Eger neondaǵı kúsheytiw jetkilikli dárejede úlken bolsa, onda generaciya rezonatordıń menshikli jıyilikleriniń bir neshesiniń kúsheyiwi múmkin. Bunday tolqınlar ushın kúsheytiw jaqtılıqtıń gaz menen aynalarda joǵalıwınan joqarıraq boladı (shashıraw hám jutılıw). Generaciya sızıqları tiykarınan optikalıq rezonatordıń menshikli jıyilikleri boyınsha anıqlanatuǵın bolǵanlıqtan, gaz lazerdiń jıyılıǵınıń stabilligi tiykarınan rezonatordıń aynalarınıń qozǵalmaslıq shártinen ǵárezli 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 tıǵızlıǵına.

Jumıstı orınlaw tártibi

Laboratoriyalıq dúzilis jaqtılıqtıń deregi geliy-neonlıq lazerden turatuǵın optikalıq sistema bolıp tabıladı. Lazerdiń nurı analizator, difrakciyalıq pánjere, ekran ornalaştırılǵan optikalıq otırǵısh baǵıtında tarqaladı. Jumısta nurdıń shashırawshılıq múyeshi hám jaqtılıq tolqınıń uzınlıǵı 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 qashıqlıqta (lazerden shama menen 6 m qashıqlıqta), bunnan keyin ekinshi qashıqlıqta (shama menen 3-5 m) ólshenedi. Qashıqlıqlardıń mánislerin x_1 hám x_2 arqalı, al daqlardıń diametrlerin d_1 hám d_2 ler arqalı belgileybiz.

2. Ekrandaǵı jaqtılıq daǵınıń maksimalıq diametri sıǵısh yamasa shtangencirkuldiń járdeminde anıqlanadı. Hár bir ólshew keminde 5 ret qaytalanadı.

3. Eki jaqtılıq daǵınıń diametrlerin ólshegenнен keyin jaqtılıq dástesiniń ólshemleriniń (diametriniń) úlkeyiwın 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 kestegе túsiriledi. Qashıqlıqlardı, diametrlerdiń úlkenligin ólshewlerde hám φ múyeshin esaplaǵanda jiberilgen qátelerdiń mánisleri bahalanadı x shamasın anıqlawda jiberilgen qáteliktiń shaması uzınlıq ólshewshi ásbaptıń shkalasındaǵı eń kishi bólimniń yarımına teń dep alınadı.

2-tapsırma. Lazer nurınıń polyarizaciyasın izertlew. Polyaroidtıń járdeminde laboratoriyalıq sistemadaǵı (yaǵnıy optikalıq otırǵıshqa salıstırǵandaǵı) jaqtılıq nurınıń tegisliginiń múyeshiniń mánisin anıqlaw.

1. Polyaroidtı optikalıq otırǵıshqa lazer menen ekrannıń arasına jaylastıramız. Usınıń menen birge lazerdiń nurınıń polyaroidtıń plenkası (kristall) arqalı ótiwin támiyinleybiz. Kristall ózi arqalı óziniń bas optikalıq kósheri tegisliginde polarizaciyalanǵan nurlanıwdıń qurawshısın ótkizedi.

2. Polyaroidtıń kósherin burıw arqalı ekrandaǵı jaqtılıqtıń intensivligi minimallıq mániske jetkeremiz. Bul jaǵday nurdıń polarizaciyası polyaroidtıń kósherine perpendikulyar bolǵan waqıtta júzege keledi. Usınday usıldın járdeminde polyaroidtıń tegisliginiń orientaciyasına salıstırǵandaǵı nurdıń polarizaciyasınıń tegisligin anıqlaw múmkinshiligi 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 polyaroidtıń tegisligi arasındaǵı múyesh belgilengen (múyeshtiń mánisi polyaroidtıń ózindegı múyeshler boyınsha ólshenedi).

3. α múyeshiniń mánisleri kestege túsiriledi hám ólshewlerdegi qátelerdiń mánisleri bahalanadı.

3-tapsırma. Lazerden shıqqan jaqtılıqtıń tolqın uzınlıǵın anıqlaw.

1. Difrakciyalıq pánjereni paydalanıp difrakciyalıq maksimumlardıń jaylasıwları boyınsha tolqın uzınlıǵı esaplanadı. Usınday maqsette lazer menen ekrannıń ortasına lazerdiń nurı ótetuǵında etip difrakciyalıq pánjereni ornalastradı. Ekranda simmetriya túrde jaylasqan bir neshe maksimumlardan turatuǵın difrakciyalıq súwret payda boladı.

2. Nolinshi hám bazı bir difrakciyalıq maksimum arasındaǵı qashıqlıq sızǵıshtıń járdeminde ólshenedi (bul shamanı a arqalı belgileybiz). Bunnan keyin difrakciyalıq pánjere menen ekran arasındaǵı qashıqlıq anıqlanadı.

3. Difrakciyalıq maksimum shártin hám maksimum kórinetuǵın múyeshtiń sinusınıń mánisin paydalanıp tolqın uzınlıǵı λ niń shamasın esaplaw ushın

$$\lambda = \frac{da}{k\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (18)$$

formulasın alamız. Bul formulada d arqalı difrakciyalıq pánjereniń dáwiri belgilengen.

Alınǵan nátiyjeler kestege túsiriledi hám tolqın uzınlıǵı λ shamasın anıqlawda jiberilgen qátelerdiń shaması bahalanadı.

Qadaǵalaw ushın sorawlar

1. Optikalıq kvantlıq generatordıń jumıs islewiniń principlerin aytp beriniń hám olardı túsindiriniń.

2. Májbúriy nurlanıw qubılısın táriyipleńiz. Qáddilerdiń inversiyalıq toltırılıwı.

3. Eynshteyn koefficientleriniń járdeminde absolyut qara deneniń nurlanıw energiyasınıń tıǵızlıǵı ushın formulanı alıńız.

4. Optikalıq jaqtan aktiv ortalıq arqalı ótiwshi tegis monoxromat tolqındaǵı intensivliktiń spektrallıq tıǵızlıǵı ushın jazılatuǵın formulanı keltirip shıǵarıńız.

5. Geliy-neonlıq lazerdegi toltırıw (nakashka) mexanizmi. Nurlanıwdıń tiykarǵı sızıqları.

6. Geliy menen neonnıń aralaspasınıń energiya qáddileriniń diagrammasın sızıńız.

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 jutılıwdan qalay qutılıwǵa boladı?

10. Qanday faktorlar lazerler nurlarınıń spektrallıq kuramın anıqlaydı? Aralaspadaǵı neon menen geliydiń parciallıq basımlarınıń qatnasları qanday? Qanday shártler tiykarında geliy menen neonnıń parciallıq basımlarınıń qatnasların anıqlaydı?

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%E2%80%93neon_laser

7-laboratoriyalıq jumıs

Yarım ótkizgishler arasındaǵı kontaktlıq potenciallar ayırmasın ólshew

Jumıstıń maqseti hár qıylı temperaturalardaǵı p-n ótkeldiń volt-amperlik xarakteristikaların alıw hám ótkeldiń differenciallıq qarsılıǵınıń temperaturadan ǵárezligin anıqlaw bolıp tabıladı. Jumısta germaniyden soǵılǵan diodtaǵı kontaktlıq potenciallar ayırmasınıń shaması ólshenedi.

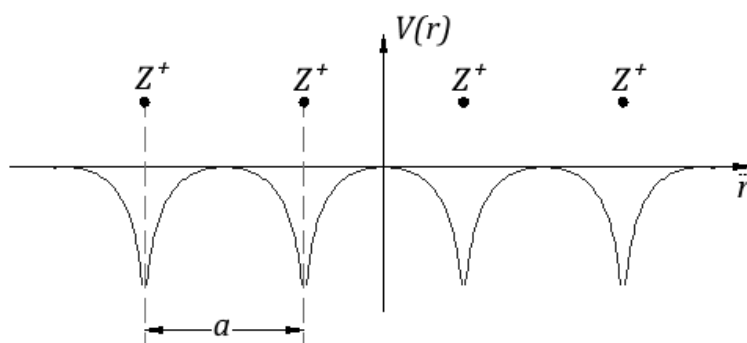
Teoriyalıq maǵlıwmatlar

Qattı denelerde atomlardıń sırtqı elektronlıq qabıqlarında jaylasqan elektronlar yadrolardan ajırılıp, sol qattı deneniń ishinde qozǵalıw múmkinshiligi tuwıladı. Bunday elektronlardı ádette ótkizgishlik elektronları yamasa erkin elektronlar dep ataydı. Bunday elektronlar menen pútkilley erkin (yaǵnıy qanday da bir bos keńislikte erkin qozǵalatuǵın hám basqa da zaryadlangan 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 relifi tegis emes, al 1-súwrette kórsetilgendey quramalı strukturaǵa iye.



1-súwret. Kristaldaǵı ótkizgishlik elektronı qozǵalatuǵın elektr maydanınıń dáwirli 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 arasındaqı qashıqlıq 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 zonalırdıń 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 sańlaqtı qadağan etilgen zona dep ataydı. Qadağan etilgen zonanıń qalınlıǵın (keńligin) E_c arqalı belgileymiz. $T = 300$ K bolǵan temperaturalarda (óhire temperaturalarında) kremniy ushın $E_c = 1.14$ eV, al germaniy ushın $E_c = 0.67$ eV. Sonlıqtan tómengi temperaturalarda (tómengi temperaturalar dep $E_c < kT$ shártı menen anıqlanatuǵın temperaturalarǵı aytamız) yarım ótkizgishler elektr toǵın jaman ótkizedi.

Joqarıraq temperaturalarda jıllılıqtıń tásirinde qozıwlardıń saldarınan elektronlardıń bir bólimin jaqın jaylasqan erkin zonaǵa (ótkizgishlik zonasına) ótkeredi. Erkin zonaǵa ótken elektronlar kristall boyınsha 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 jıllılıqtıń tásirinde ótkizgishlik zonasına ótken elektronlar da, valentli zonada qalǵan bos orınlar da (bunday orınlardı ádette tesikler dep ataydı) teńdey dárejede úles qosadı. Valentli zonadaǵı tesiktiń qozǵalıwı keńisliktegi oń zaryadlı bóleksheniń qozǵalıwına ekvivalent. Bunday ótkizgishlikte tesiklik ótkizgishlik dep ataydı.

Jıllılıq teń salmaqlıq sharayatında elektronlardıń energiyalar boyınsha tarqalıwı Fermi-Dirak tarqalıw funkciyasınıń járdeminde beriledi:

$$f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{kT}} + 1}. \quad (1)$$

Bul formulada E arqalı elektronniń energiyası, k arqalı Bolcman turaqlısı, T arqalı absolyut temperatura, al μ arqalı elektron gaziniń elektroximiyalıq (ximiyalıq) potencialı belgilengen. (1)-funkciya energiyası E shamasına teń qáddiniń elektron menen iyeleniwiniń itimallıǵın beredi.

Fermi-Dirak bólistiriliwi Pauli principin nolge teń emes temperaturalarǵa ulıwmalastıradı.

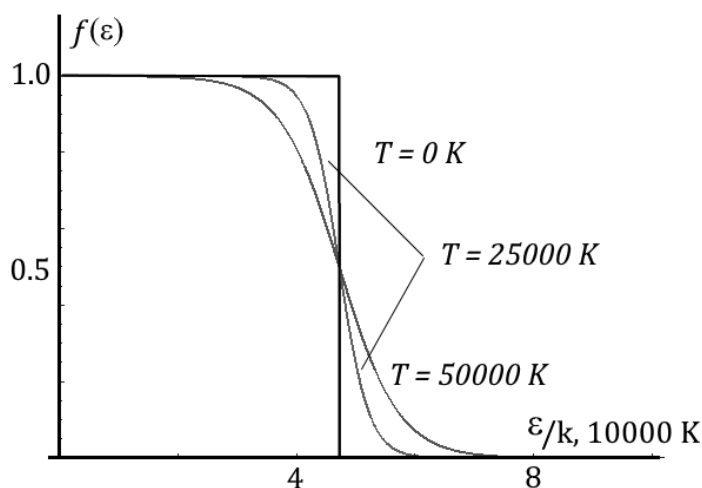
$T = 0$ K temperaturada Fermi-Dirak funkciyasınıń grafigi tuwrı múyeshli tekshe túrine iye boladı (2-a súwret). Metallarda $T = 0$ K temperaturada elektron iyelegen energiyanıń mánisi eń úlken mániske iye qáddini Fermi qáddi, al onıń energiyasınıń shamasın Fermi energiyası (ε_F) dep ataydı. Kóplegen 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 mın 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 uzınlıǵı (potencial shuqırdań keńligi) belgilengen. Sonıń menen birge ε_F shamasınıń kvant sanı n niń kvadratına proporcional ekenligi kórinip tur.

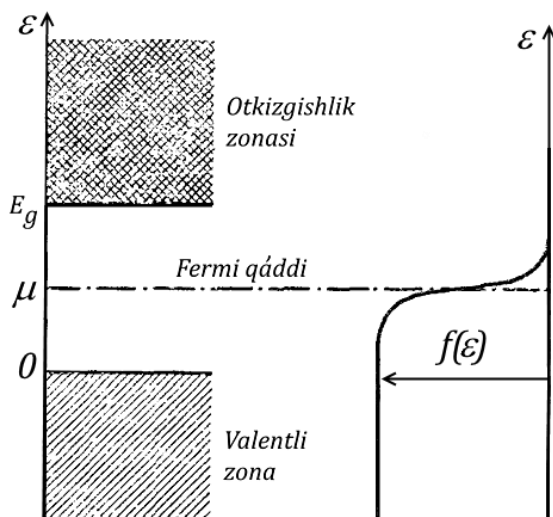
Temperaturanıń ósıwimenen teksheniń shetiniń túri ózgeredi (2-b súwret). Ximiyalıq potencialdıń mánisine teń energiyada Fermi-Dirak funkciyasınıń mánisi 0,5 ge teń. Teksheniń jayılıwınıń keńligi shama menen kT kóbeymesine teń.



2-súwret. Hár qıylı temperaturalardaǵı Fermi-Dirak funkciyaları. Grafikler $T_F \approx 50000$ K bolǵan litiy kristallı ushın Mathematica 10 programmalaw tiliniń járdeminde esaplangan.

T_F temperaturasınıan (Fermi temperaturasınıan) kóp ese kishi Fermi energiyasınıń shamasınıń temperaturadan ǵárezli ekenligin esapqa alıawǵa boladı. Bunday jaǵdaylarda tek Fermi qáddine jaqın jaylasqan elektronlar ǵana jıllılıq terbelislerine qatnasa aladı. T/T_F qatnasına proporcional bolǵan olardıń salıstırılmalı muǵdarı júdá kishi hám bunday elektronlıq gazdı azǵınǵan gaz dep ataydı.

Taza yarım ótkizgishte Fermi energiyasınıń shaması valentli zona menen ótkizgishlik zonasın ayırıp turǵan sańlaqtıń (yaǵnıy qadaǵan etilgen zonanıń) ortasında jaylasadı. Usıǵan baylanıslı yarım ótkizgishlerde Fermi qáddi túsiniǵi tuwrıdan-tuwrı mániske iye emes (metallarda onday emes) hám bólistiriliw funkciyasın energiya kósherindegi ornın belgilew ushın paydalanıladı. Yarım ótkizgishlerdegi toqtı tasıwshılardıń energiyasınıń muǵdarın valentli zonanıń eń joqarǵı qáddinen baslap esaplaydı (3-súwret).

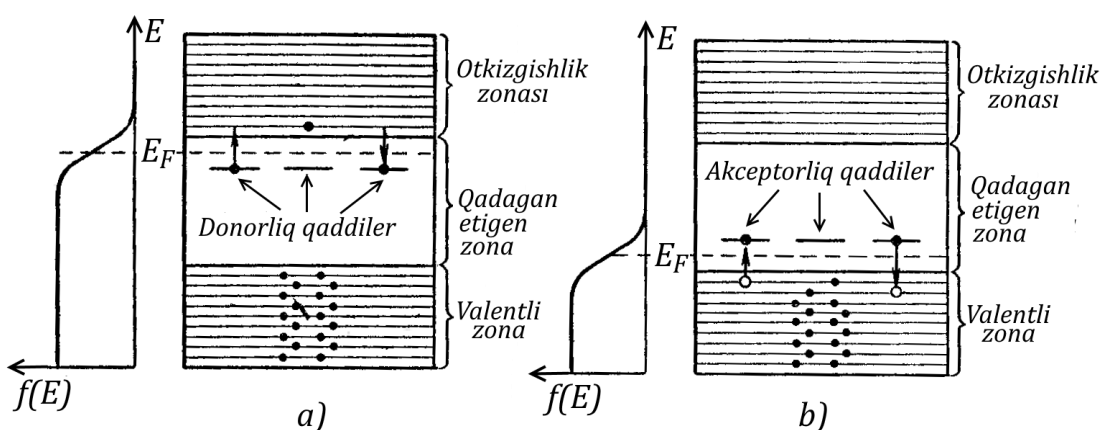


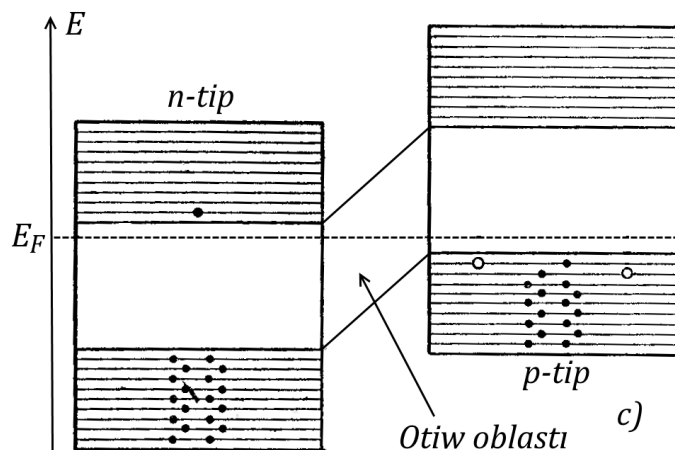
3-súwret.
Taza yarım ótkizgishtegi Fermi qáddiniń ornı hám elektronlardıń bólistiriliw funkciyası $f(\varepsilon)$.

Germaniy kristalları ushın ójire temperaturaları ushın $f(\varepsilon)$ funkciyasınıń mánisin esaplaymız. (1)-formulağa $E - \mu = 0.5E_g = 0.34$ eV mánisin qoyıp hám $kT \approx \frac{1}{40}$ eV ekenligin názerde tutıp

Kremniyde bolsa $f(E_g)$ funkciyasınıń mánisi mınlağan ese kishi. Demek, ójire temperaturalarında menshikli yarım ótkizgishlerdegi elektronlardıń menshikli ótkizgishlikke qosatuǵın úlesi júdá kishi eken.

Endi n tipindeki yarım ótkizgishti qaraymız. Bunday yarım ótkizgishke qosımsha 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 dáwirli sistemanıń besinshi gruppasınıń elementleri xızmet ete aladı.





4-súwret.
Jıllılıq teń salmaqlıǵındaǵı
yarım ótkizgishtiń energiyalıq
sxeması.

- 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 alǵanda 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 qatnasında boladı). Sonlıqtan ójire temperaturalarında donorlıq qáddiler tolıǵı menen bosaydı, al olardaǵı elektronlardıń barlıǵı ótkizgishlik zonaına 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 sistemaniń úshinshi gruppasınıń atomları bolıp tabıladı. Bunday atomlar qadaǵan etilgen zonada valentli zonanıń 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 $E_g \gg kT$ shárti orınlanadı. Usı jaǵdayǵa baylanıslı ótkizgishlik zonasındaǵı elektronlardıń koncentraciyası

$$n = 2 \left(\frac{m_e kT}{2\pi\hbar^2} \right)^{3/2} \text{Exp} \left(-\frac{E_g - E_F}{kT} \right), \quad (2)$$

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 anıqlanadı. 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 hám $n \cdot p$ kóbeymesiniń Fermi qáddiniń iyelegen ornınan ǵárezli emes ekenligin hám temperatura T dan, toq tasıwshılardıń effektivlik massalarınan hám qadaǵan etilgen zonanıń keńligi E_g dan ǵárezli 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 anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Ápiwayılıq ushın 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 $n = p$ shárti orınlanǵanda 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 tómengen valentli zonağa qaray jılısqan.

Endi n hám p tipindegi yarım ótkizgishlerdi bir birine tiygizemiz. Kontakt payda bolğan 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 kompensaciyanı baydı. Sonlıqtan olar oń belgige iye keńisliklik zaryadı payda etedi. Usıǵan sıykes p oblastta akceptorlıq qosımtalardıń teris belgige iye ionları tesikler menen kompensaciyanı baydı. Nátiyjede teris zaryad payda boladı. Usınıń saldarınan potencıallardıń kontaktlıq ayırması payda boladı. Bul potencıallar ayırması potencıal barer bolıp tabıladı hám ol tiykarǵı toq tasıwshılardıń bunnan bılayǵı diffuziyasına tosqınlıq qıladı.

Eki oblastta Fermi qáddileriniń ornı birdey bolğan jaǵdaydaǵı potencıal barerdıń biyikliginde teń salmaqılıq orıaydı (4-c súwret). $n - p$ oblastında toq tasıwshılardıń kemligi orın alatuǵın qatlam payda boladı.

Toq tasıwshılardıń kemligi orın alatuǵın oblasttıń payda bolıwın bılayınsha túsindiriwge boladı: 4-c súwrettegi n oblastta Fermi qáddiniń valentli zonadan alısta, al ótkizgishlik zonasına jaqan jaylasqanlıǵı kórinip tur. Valentli zonanıń qáddilerin toltırıwdıń itimallıǵı 1 ge jaqın. Al ótkizgishlik zonasınıń qáddilerin toltırıwdıń itimallıǵınıń 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 potencıallar ayırmasınıń shamasın bahalaymız. Ápiwayılıq ushın n oblasttaǵı donordardıń koncentraciyası menen p oblasttaǵı akceptorlardıń koncentraciyaların birdey dep esaplaymız (bunday yarım ótkizgishti kompensaciyanıǵan yarım ótkizgish dep ataydı). Akceptorlar menen donordardıń koncentraciyaları birdey bolǵanda Fermi qáddiniń joqarı hám tómengen qaray (yaǵnıy ótkizgishlik zonasına hám valentli elektronlar zonasına qaray) jılıwların birdey dep esaplawǵa boladı. Bunday jaǵdayda $n - p$ kontaktındaǵı potencıallar 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 qáddiniń ózgermegen ornına sıykes keledi.

(7)-ańlatpanı (5)-ańlatpaǵa qoysaq

$$\frac{n}{p} = \left(\frac{m_e}{m_p}\right)^{3/2} \exp\left(\frac{e\varphi}{kT}\right) \quad (8)$$

formulasına iye bolamız. Al bul formulanı logarifmleseک biz izlep atırǵan potencialdıń mánisine iye bolamız:

$$\varphi = kT \ln \left[\frac{n}{p} \left(\frac{m_p}{m_e}\right)^{3/2} \right]. \quad (9)$$

T = 300K temperaturada germaniyde kontaktlıq potenciallar ayırmasınıń mánisi 0,35 V, al kremniyde 0,7 V shamasında boladı. Bunday potenciallar ayırması qalınlıǵı shama menen 10^{-5} sm bolǵan juqa ótkel qatlamǵa túsedı.

Kontaktlıq potenciallar ayırmasın anıqlawdıń usıllarınıń biri hár qıylı temperaturalardaǵı volt-amperlik xarakteristikalarda izertlewden ibarat boladı.

Diod arqalı ótip atırǵan elektronlar menen tesikler toqlarınıń qosındısı

$$I = A \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (10)$$

shamasına teń. A koefficientiniń temperaturaǵa baylanıslı ózgerisi toqtı tasıwshılardıń jıllılıq tezlikleriniń járdeminde anıqlanadı. Bunday tezliklerdiń shaması absolyut temperaturanıń $\frac{1}{2}$ dárejesine tuwrı proporcional. (10)-ańlatpada V arqalı diodqa túsirilgen kernewdiń mánisi belgilengen.

Mathematica 10 programmalaw tiliniń járdeminde (10)-formula boyınsha volt-amperlik xarakteristikani esaplaw júdá ańsat.

$n - p$ ótiwdiń sıızıqlı emes túrdegi volt-amperlik xarakteristikası [sıızıqlı emeslik, al eksponenciallıq (10)-ańlatpada kórinip tur] onı ózgermeli toqtı tuwrılaw ushın paydalanıwǵa múmkinshilik 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 diodtı Shottki diodı dep te ataydı) ótkel oblastındaǵı kólemlik zaryadtıń barlıǵı da yarım ótkizgishte toplanǵan boladı. (10)-ańlatpa metall – yarım ótkizgish kontaktı ushın da durıs.

Tuwrılawshı diodlar ushın germaniy menen kremniyler xızmet etedi. Arnawlı zavodlar tárepinen bir neshe milliamperden jüzlegen amper toqlar ushın soǵılǵan diodlar shıǵarıladı.

Germaniyden soǵılǵan $n - p$ diodı ushın temperaturanıń 75°C qa shekem, al kremniyden soǵılǵan diodlar ushın temperaturanıń 150°C ǵa shekem kóteriliwi múmkin.

(10)-formulanı kishi kernewler V ushın ápiwayılastırıwǵa boladı. Ańlatpanı V boyınsha Teylor qatarına jayıp

$$I = A \frac{eV}{kT} \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right)$$

funkciyasına iye bolamız. Bul ańlatpadan úlken emes kernewlerde (V nıń shaması bir neshe mV) $n - p$ ótkeli arqalı ótetuǵın toqtıń shaması kernewge tuwrı proporcional ekenligi kelip shıǵadı. Al kernew V nı toqtıń shaması I ge bólip $n - p$ ótkeliniń qarsılıǵı (bunday qarsılıqtı ádette differenciallıq qarsılıq dep ataydı) ushın ańlatpanı alamız:

$$R = \frac{kT}{eA} \exp\left[\frac{e\varphi}{kT}\right]. \quad (11)$$

(11)-ańlatpanı logarifmlep temperaturadan ayqın túrdegi ǵárezlilikti sáwlelendiretuǵın jańa formulanı alamız:

$$\ln(R) = \text{const} + \frac{1}{2} \ln(T) + \frac{e\varphi}{k} \frac{1}{T}. \quad (12)$$

Solay etip ástelik penen júretuǵın logarifmlik ózgerisler fonında $\ln(R)$ shamasınıń $\frac{1}{T}$ shamasına (temperaturanıń keri mánisine) tuwrı proporcionallıq orın aladı eken. Bul nátiye eksperimentlerde kontaktlıq potenciallar ayırması φ dıń mánisin anıqlaw ushın qollanıladı.

Eksperimentallıq bólim

Dúzilistiń táriypi

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) ózgetetuǵın gilt.

R_1, R_2 ler arqalı D diodqa túsetuǵın kernewdi turpayı hám ástelik penen ózgetetuǵın potenciometrler belgilengen.

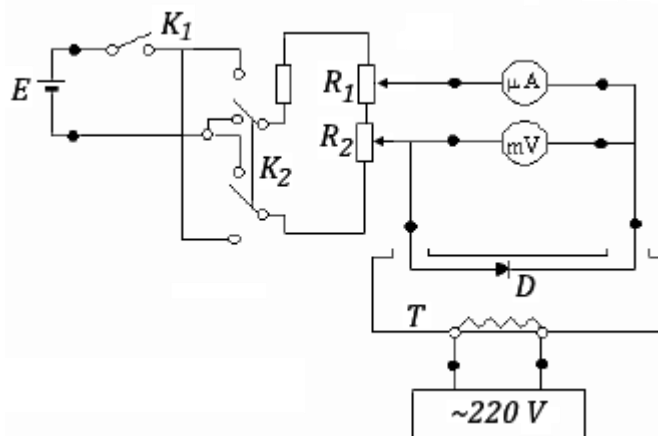
T – termostat.

Jumıstı orınlawdıń izbe-izligi

1. Ólsheuwshi sxemanı jıynańız.

2. 220 voltlik ózgermeli toq kózine turaqlı toq deregin, mikroampermetrdi, sanlı voltmetrdi tutastırıńız.

3. Ójire temperaturasında izertlenip atırǵan diodtıń volt-ampereklik xarakteristikasını 3 ret ólsheńiz. Volt-ampereklik xarakteristikasını kernew boyınsha noldiń átirapında -10 mV ten +10 mV kernewler diapazonında túsirińiz. Noldiń on hám shep tárepindegi noqatlardıń sanı 5 ten kem emes. Kernew boyınsha noqatlar arasındadı interval ólsheuwshi ásbaptıń shawqımınan keminde 10 ese úlken bolıwı kerek.



5-súwret. Eksperimentallıq dúzilistiń blok-sxeması.

4. Termostattıń qızdıratuǵın elementin toq kózine tutastırıńız (220 voltlik toq kózine).

5. Noldiń átirapında (kernew boyınsha) diodtıń volt-ampereklik xarakteristikasını ójire temperaturasınan 70°S ǵa shekem 10° lıq adım menen túsirińiz. Ólsheuwlerdi diodlardı qızdırıw processinde yamasa salqınlatıw processinde ótkerińiz. Temperaturanıń hár bir mánisinde volt-ampereklik xarakteristikaları ólsheuwlerdiń seriyasını orınlaw kerek.

Temperaturanıń ósiwi menen diodtıń qarsılıǵı kemeyedi. Sonlıqtan kernewler boyınsha ólsheuwlerdiń diapazonı tarayadı.

Jumıstı orınlap bolǵannan keyin:

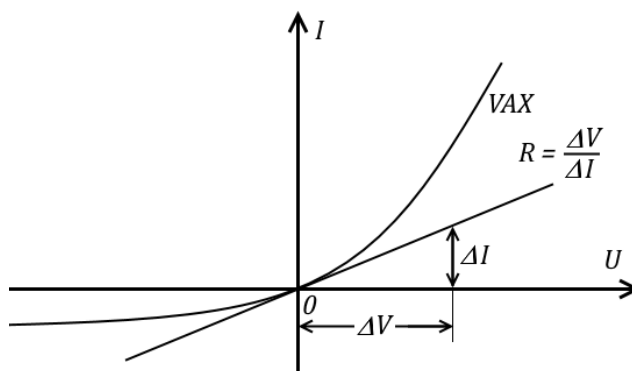
- ólsheuw ásbapların óshirińiz;
- termostattıń qızdırǵışın shınjırdan ayırıńız;
- termostattıń qapısını ashıńız hám onıń ishindegi temperatura 35°S ǵa shekem tómenlegende jumıs ornınan ketiwge boladı.

Nátiyjelerdi qayta islew

1. Temperaturanıń hár bir mánisi ushın izertlengen diodtıń volt-ampereklik xarakteristikasını dúzińiz.

$V = 0$ noqatına jaqın orınlardadı diodtıń differenciallıq qarsılıǵı bolǵan R shamasın anıqlańız. Bunıń ushın $I = 0$ bolǵan noqatta volt-ampereklik xarakteristikasını grafigine urınba júrgizińiz (6-súwret). Urınbanıń abscissa

kósheriniń óń baǵıtındaǵı qıyalıq múyeshiniń tangensinsin esaplaǵan sıyaqlı differenciallıq qarsılıqtıń shaması $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ esaplanadı.



6-súwret. Differenciallıq qarsılıqtıń 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 ǵárezliliginiń grafigin dúzińiz.

Eń kishi kvadratlar usılınıń járdeminde sıızqlı approksimaciya ushın koefficientlerdi hám jiberilgen qátelerdi anıqlańız. Sızızqlı approksimaciya

$$y = a + bx$$

túrindegi ǵárezliktiń orın alatuǵınlıǵın eske túsiremez.

$$\varphi = \frac{k \cdot b}{e} \quad (13)$$

formulası boyınsha kontaktlıq potenciallar ayırmasınıń mánisin anıqlańız hám eksperimentlerde jiberilgen qátelerdi bahalańız. (13)-formulada k arqalı Bolcman turaqlısı, e arqalı elementar zaryad belgilengen.

Studentlerdiń bilimn qadaǵalaw ushın beriletuǵın sorawlar

1. Qattı denelerdiń zonalıq teoriyası (metallar, dielektrikler, yarım ótkizgishler). Zonalardıń sanlıq xarakteristikaları (keńligi, qáddilerdiń tıǵızlıǵı, olardıń sanı). Fermi energiyası, onıń temperaturadan ǵárezliligi, san mánisleri.

2. YArım ótkizgishlerdiń qarsılıǵı temperaturanıń joqarılawı menen kishereydi, al metallardıń qarsılıǵı 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 tuwrılawshı kontaktlar.
6. Kontaktlerdiń qarsılıqlarınıń temperaturadan gárezligi.

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. Atomnıń qurılısı jónindegi házirgi zaman kóz-qaraslarınıń qalıplesiwinde 1909-1911 jılları E.Rezerfordtıń bassılıǵında ótkerilgen izertlewler áhmiyetli hám anıqlawshı 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.

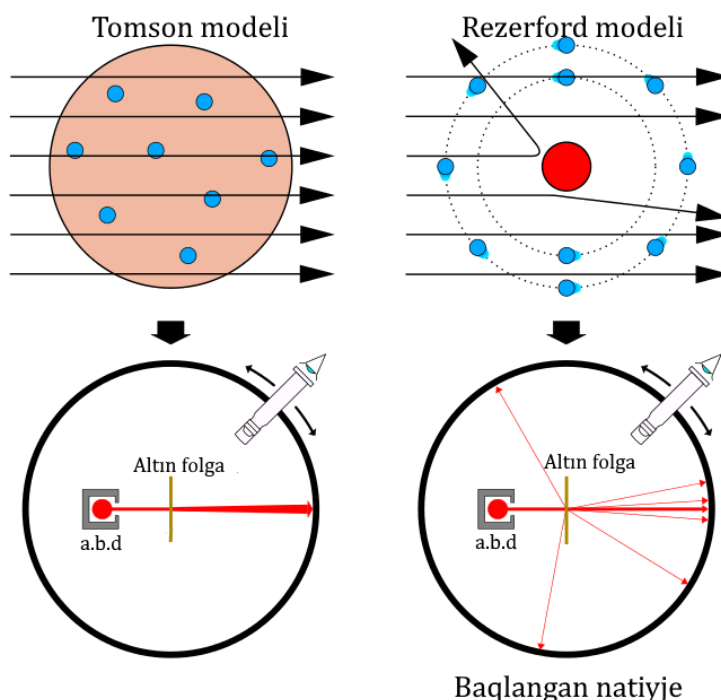
1909-jıllarǵa shekem atomnıń qurılısı haqqındaǵı Tomsonnıń modeli belgili edi (1-súwret). Bul model boyınsha atom bir tekli oń zaryadlangan tamshı sıyaqlı zattan turıp, onda teris zaryadlangan elektronlar júzip júredi.

Tomson modeli atomlardıń bir qatar qásiyetlerin túsindirdi (mısalı elektromagnit tolqınlardıń atomlardaǵı shashırawın). Biraq qanday sebeplerge baylanıslı atomlardıń sıızqlı spektrge iye bolatuǵınlıǵın túsindire almadı. Sonlıqtan atomnıń durıs modelin dúziwdiń zárúrli ekenligi kelip shıqtı.

Tariyxıy maǵlıwmatlarǵa qaraǵanda 1909-jılı Ernest Rezerfordtıń kabinetine onıń assistenti Gans Geyger kelip "Men radioaktivlik qubılısın izertlewdiń usılların úyretip atırǵan jas Marsdenniń ózinshe úlken emes izertlewlerdi baslawına waqıt kelgen joq pa?" dep soraw bergen. Rezerford bul usınıs penen kelisken hám oǵan α bóleksheliriniń juqa metall folgalardaǵı úlken múyeshlerge shashırawın izertlewdi tapsırǵan (2-súwret).

1909-1911 jılları ótkerilgen tájiriybelerde júdá juqa altın folgası arqalı ótkende α bóleksheleriniń basım kópshiliginiń tuwrı ótetuǵınlıǵı, al ayırım

bólekshelerdiń úlken múyeshlerge burılatuǵınlıǵın belgili boldı (shama menen 8000 bóleksheniń biri 90° tan úlken múyeshlerge burıladı eken). Bunday burılıwları tosinnan júzege keletuǵın kishi awısıwlarıdıń qosındısınan turadı dep esaplawdıń múmkinshiligi joq. Statistikalıq esaplawlar usınday jollar menen úlken múyeshlerge burılatuǵın bólekshelerdiń sanınıń $1/8000$ ǵa salıstırǵanda oǵada kem bolıwınıń kerek ekenligin tastıyıqlaydı. Al Tomson modeli boyınsha α bóleksheleriniń 90° tan úlken múyeshlerge burılıwınıń itimallıǵı shama menen 10^{-3500} ge teń boladı.



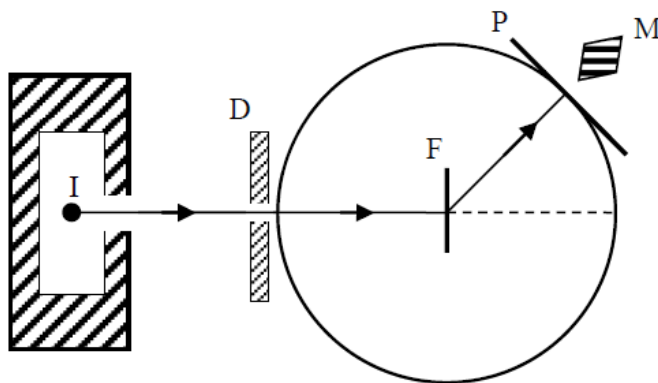
1-súwret. Tomson modeli menen Rezerford modelin salıstırıw ushın arnalǵan sxema. a.b.d arqalı alfa bóleksheleriniń deregi belgilengen. Eger Tomson modeli durıs bolǵanda atomǵa kelip túsken α bóleksheleri atom arqalı derlik tuwrı hám erkin ótken bolar edi.

Alınǵan eksperimentallıq maǵlıwmatlar tiykarında Rezerford tómendegidey nátiyjelerdi shıǵardı: Zatlar atomlardan turadı. Atomlardıń qurılısı juwıq túrde Quyash sistemasınıń 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 qashılıqqa shekem jaqın kele alǵan). YAdronıń dóğereginde elektrostikalıq kúshlerdiń tásirinde elektronlar aylanıp júredi. α bóleksheleriniń kópshiligi zattıń (altınnıń) juqa qatlamı arqalı erkin óte aladı. Sebebi olardıń elektronlar menen soqlıǵısıwınan α bóleksheleriniń traektoriyası derlik ózgermeydi (α bóleksheleriniń massası elektronnıń massasınan 6000 ese dey úlken). Orayda jaylasqan úlken massaǵa hám oń zaryadqa iye yadro menen α bóleksheleriniń soqlıǵısıwınıń itimallıǵı

júdá kishi [sebebi yadronıń betiniń maydanı $\pi(10^{-12})^2 \text{ sm}^2 = 3.14 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^2$ shamasına teń].

Atomnıń oń zaryadlangan oraylıq bólimin Rezerford atom yadrosı dep atadı. Al usınılğan modeldi planetarlıq model dep atay basladı. Demek atomlarǵa kelip túsken alfa bóleksheleri atom yadrolarında shashıraydı eken. YAdro da, alfa bóleksheleri de zaryadlangan bolǵanlıqtan shashırawdıń xarakterı Kulon potencialnıń járdeminde táriyipleniwi kerek. Atap aytqanda tap usı jaǵday Rezerford tájiriybelerinde tastıyıqlandı.

2-súwrette Rezerford tájiriybesiniń sxeması berilgen. I dereginen shıqqan α bólekshelerin D diafragması arqalı ótip F folgasına kelip túsedi hám usı folğanıń atomlarında shashıraydı. Shashıraǵan α bólekshelerin P ekranına kelip túsedi. Bul ekrannıń betine untalǵan ZnS cink sulfidi kristallarınıń qatlamı otırǵızılǵan. Eger P ekranı shiyshe plastinkadan turatuǵın bolsa, onda untalǵan kristallardıń qatlamı juqa F folgası tárepte jaylasıwı kerek (sebebi shiyshe plastinka arqalı alfa bóleksheleri ótpeydi). Eger α bólekshesi ZnS kristallarına kelip túsken jaǵdayda sol orında jaqtılıq shıǵadı. Bunday qubılıstı scintillyaciya dep ataydı (scintillyatorlar dep α bóleksheleri sıyaqlı ionlawshı nurlanıw kelip túsken jaqtılıq shıǵaratuǵın zatlarǵa aytadı). Ádettegidey scintillyatorlarda energiyası 1 MeV bolǵan bóleksheler kelip túsken waqıtta payda bolǵan fotonlardıń sanı 50-70 mınǵa jetedi. Bul qubılıs jıltıldı túrinde baqlanadı. Tájiriybeni ótkeriwshi adam M mikroskopınıń járdeminde P ekranındaǵı jıltıldılardıń sanın esaplaydı.



2-súwret. Rezerford tájiriybesiniń sxeması. I arqalı alfa bóleksheleriniń deregi, D arqalı diafragma, F arqalı folga, P arqalı ekran, M arqalı mikroskop belgilengen.

Rezerford tárepinen usınılǵan model tiykarında alfa bóleksheleri menen metall folğanıń atomlarınıń qalayınsha tásirlesetuǵınlıǵın qarap shıǵamız (3-súwret).

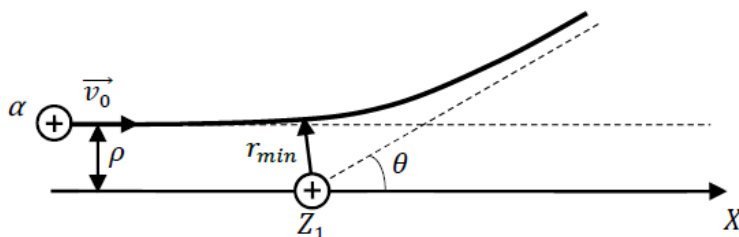
Meyli O noqatında zaryadı Z_1 bolǵan shashıratıwshı yadro jaylasqan hám sol yadroǵa kinetikalıq energiyası $\frac{mv_0^2}{2}$ shamasına teń bolǵan alfa bólekshesi jaqınlaytuǵın bolsın.

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 (yaǵnıy yadronı tınıshlıqta tur dep esaplaymız);

Nıshana yadro hám α bólekshesi arasında iyteriwshi Kulon kúshi tásir etedi (tásirlesiw kúshiniń shaması qashıqlıqtıń kvadratına kerı proporcional).



3-súwret. α bólekshesiniń nıshana atomnıń 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 giperbola tárizli boladı.

Giperbolanıń asimptotaları arasındaǵı múyeshti θ arqalı belgileybiz. Bul múyesh bóleksheniń dáslepki baǵıtınan awısıwın táriyipleydi hám sonlıqtan onı shashıraw múyeshi dep ataydı. α bóleksheniń dáslepki traektoriyasınan yadroǵa shekemgi qashıqlıqtı ρ arqalı belgileybiz hám onı nıshanaǵa alıw parametri dep ataydı. Bólekshe yadroǵa qansha jaqın ushıp barsa (yaǵnıy ρ shaması kishi bolsa), ol yadrodan sonshama kúshli awısadı (yaǵnıy θ múyeshiniń mánisi úlken boladı).

Koordinataları (φ, r) bolǵan polyar koordinatalar sistemasın kirgizemiz. Energiyanıń saqlanıw nızamı menen impulstıń saqlanıw nızamı bilayınsha 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 (onıń 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 qashılıqqa shekem jaqınlay alatuǵınlıǵın bahalaymız. Bunıń ushın (1)-ańlatpalardaǵı birinshi teńlemeden $\dot{\varphi}$ shamasın joq etemiz hám $r = r_{min}$ shárti orınlanganda $\dot{r} = 0$ teńliginiń orınlanatuǵınlıǵın 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 bólekshes yadroǵa tuwrı kelip urılatuǵın bolsa (bunday soqlıǵısıwdı ádette mańlay soqlıǵısıw dep ataydı hám bul jaǵdayda $\rho = 0$ hám $\theta = 0$), onda minimallıq qashılıqtıń 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 mánisin esaplay alamız.

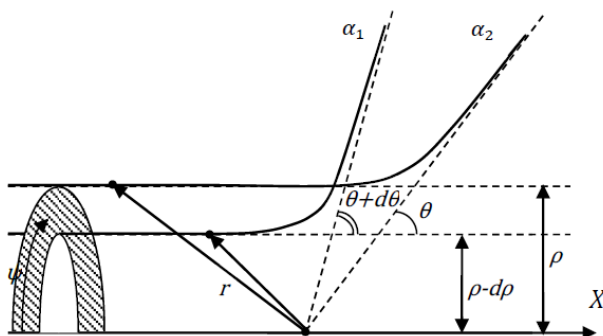
Rezerford tájiriybelerinde paydalanılǵan α bóleksheleriniń energiyası $\frac{mv_0^2}{2} = E \approx 5 \text{ MeV} \approx 8 \cdot 10^{-6} \text{ erg}$ shamasında edi. Altın ushın $Z = 79$ ekenligin itibarǵa alamız. Bunday jaǵdayda $r_{min}^{\rho=0} = 4.55 \cdot 10^{-12} \text{ sm}$ shamasın alamız hám bunnan atom yadrosınıń sıızıqlı ólsheminiń (radiusınıń) $4.55 \cdot 10^{-12} \text{ sm}$ den úlken emes ekenligine isenemiz. Sonıń menen birge energiyası úlken bolǵan bólekshelerdiń yadroǵa ádewir jaqınaraq kele alatuǵınlıǵın ańǵaramız.

(2)-ańlatpa alfa bólekshesiniń shashırarw múyeshi menen nışanaǵa alıw parametri arasında bir mánisli baylanıstıń bar ekenligin kórsetedi. Biraq bir shashırarw aktin eksperimentte baqlaǵanda (mısalı Vilson kamerasında) bul formulaniń durıs ekenligin tekserip kóriwdiń keregi joq. Sebebi formuladaǵı ρ shamasınıń mánisin ólshew múmkin emes. Sonlıqtan (2)-formulanı

eksperimentte tekseriw ushın qolaylı bolǵan statistikalıq teoriyanıń tiykarına jatqarıwǵa boladı.

Shashırawdın differenciallıq kesimi

Alfa bóleksheleriniń aǵımı shashıratıwshı yadroda shashıraǵanda ayırım α bóleksheleri hár qıylı nıshanǵa alıw parametrlerine iye boladı hám hár qıylı múyeshlerge shashıraydı. 4-súwrette eki bóleksheniń bir yadrodaǵı shashırawı kórsetilgen.



4-súwret. Eki α bóleksheniń yadrodaǵı shashırawı.

Shashıraǵan bólekshelerdiń registraciyası $\theta \rightarrow \theta + d\theta$ hám $\psi \rightarrow \psi + d\psi$ oblastları menen sheklengen oblastta ámelge asırıladı. Bul oblast $d\Omega$ denelik múyeshiniń elementi bolıp tabıladı (bul elementtiń ishinde shashıratıwshı oraylardan R qashıqlıǵında detektor jaylasqan).

θ múyeshinde waqıt birliginde shashıraǵan bólekshelerdiń sanı dJ shamasınıń kelip túsken bólekshelerdiń tıǵızlıǵı J shamasına qatnası bolǵan

$$d\sigma = \frac{dJ}{J} \quad (6)$$

shaması α bólekshesiniń yadrodaǵı θ múyeshine $d\Omega$ denelik múyeshiniń elementi ishinde shashırawdın itimallıǵı menen baylanıslı. Bul qatnastı shashırawdın differenciallıq kesimi dep ataydı hám onıń shamasın eksperimentte anıqlawǵa boladı.

4-súwretten $d\Omega$ denelik múyeshi boyınsha shashıraǵan bóleksheniń saqıynanıń maydanı $\rho d\rho d\psi$ bolǵan elementi arqalı ótetuǵınlıǵı kórinip tur. Bul element shashıratıwshı oray turǵan kósherden ρ qashıqlıǵında jaylasqan. Bunnan

$$d\sigma = \frac{dJ}{J} = \rho d\rho d\psi \quad (7)$$

ańlatpasına iye bolamız.

(7)-ańlatpa differenciallıq kesim menen nıshanǵa alınǵan qashıqlıq arasındǵı baylanıstı ornatadı. Ádette kópshilik ádebiyatta qolaylılıq ushın (7)-

ańlatpa ψ ózgeriwshisi boyınsha integrallanǵan halda beriledi (bul múyeshtiń shaması 0 den 2π ge shekem ózgeredi). Biz dáslep (2)-ańlatpanı kvadratqa kóteremiz. Bunnan keyin onı differenciallap ρ dı 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 nışana arasındǵı qashıqlıq belgilengen.

Rezerford formulası

Eksperimentte α bóleksheleriniń aǵısınıń shashırawı bir orayda emes, al n dana shashıratıwshı oraylarǵa iye nışanada júzege keledi:

$$n = n_0 SL \quad (9)$$

Bul ańlatpada S arqalı nışananıń maydanı, al L arqalı onıń qalınlıǵı, n_0 arqalı shashıratıwshı zattıń kóleminiń bir birligindegi shashıratıwshı 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 formulanıń járdeminde anıqlanatuǵın dQ shaması ólshenedi eken. Bul shamanı makroskopiyalıq differenciallıq kesim dep ataydı (al $d\sigma$ shamasın bolsa mikroskopiyalıq differenciallıq kesim dep ataydı).

(8)- yamasa (10)-ańlatpa túrindegi kesim ushın jazılǵan formulalardı paydalanıw qolaylı emes. Sebebi bul formulalarda eksperiment ótkeriwdiń sharayatlardı menen baylanıslı bolǵan $d\Omega, S, L, n_0$ parametrleri bar. Al $d\Omega$ denelik múyeshtiń bir birligine tiyisli bolǵan shashırawdıń differenciallıq kesimi bunday qolaysızlıqlarǵa iye emes hám onıń ushın

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{dQ}{n d\Omega} = \frac{dJ'}{n J d\Omega} = \left(\frac{Ze^2}{mv_0^2} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (11)$$

añlatpasın 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 tájiriybelerdi, tekseriwlerdi óziniń basınan ótkerdi. Awır yadrolar izertlengende (Z shamasınıń mánisi úlken) eksperimentte alınǵan maǵlıwmatlar menen teoriyanıń talapları arasında jaqsı sáykeslik orın alǵan. Biraq α bóleksheleriniń jeńil yadrolardaǵı ($Z \leq 29$) shashırawları izertlengende múyeshlerdiń 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 ǵárezligi grafik túrinde sızıladı.

3. Berilgen E niń mánisinde (shama menen 5 MeV) R diń Z shamasınan ǵárezliginiń grafigi sızıladı.

4. $\operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}$ shamasınıń ρ dan ǵárezliginiń 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 shuqırdağı elektron

Jumıstıń maqseti bir ólshemli potencial shuqırdağı parametrleriniń elektronnıń baylanısqa halı ushın energiyanıń qáddilerine, tolqın funkciyalarına hám elektronlıq tıǵızlıqqa tásirin úyreniw boyınsha Wolfram Mathematica programmalaw tiliniń járdeminde esaplaw eksperimentlerin ótkiziwden ibarat.

Simmetriyalı potencial shuqırdağı baylanısqa hallar.

Biz elektrondı tuwrı múyeshli (yaǵnıy simmetriyalı) bir ólshemli potencial shuqırda jaylasqa dep esaplaymız. Potential shuqırdağı ultanına sáykes keliwshi potencial energiyanı U_1 , onıń eń joqarısına sáykes keliwshi potencial energiyanı U_2 , elektronnıń energiyasın E arqalı belgileybiz. Kópshilik ádebiyatta ápiwayılıq ushın $U_1 = 0$ dep qabıl etiledi.

Eger energiyası $U_1 < E < U_2$ sheklerinde ózgeretuǵın bolsa, onda biz izertleytuǵın jaǵdaylardağı elektronnıń halı baylanısqa hal bolıp tabıladı. Halı tap usınday bolǵan elektron sheksizlikke kete almaydı (1-súwrette kórsetilgen). Ápiwayılıq ushın bizler de potencial shuqırdağı ultanındağı potencial energiyanıń mánisin $U_1 = 0$ ge teń de alamız. Al $U_2 = U_0$ túrindegi belgilewdi qabıl etemiz. Bunday belgilewler alınatuǵın nátiyjelerge hesh qanday tásirin tiygizbeydi.

Másele Shredingerdiń bir ólshemli stacionar teńlemesin sheship, oǵan sáykes keliwshi $\{\psi_n(x)\}$ tolqın funkciyalarınıń jıynaǵın tabıwdan ibarat:

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} [E - U(x)]\psi(x) = 0. \quad (1)$$

Tolqın funkciyası $\psi(x)$ tıń shekliligin, úzliksizligin hám tegis ekenligin $-\infty < x < +\infty$ itnervalında (bir qarap atırǵan jaǵdayda $x = -a$ hám $x = +a$ nóqatlarında da) támiyinlew (1)-teńlemeniniń sheshimleriniń eki tipiniń - jup hám taq tolqın funkciyaları bar sheshimlerdiń bar ekenligine alıp keledi.

Jup tolqın funkciyaları (energiya qáddileriniń taq nomerleri):

$$\psi(x) = \begin{cases} a \cos(k_1 x), & |x| \leq a; \\ C e^{-k_2 x}, & x \geq a; \\ C e^{k_2 x}, & x \leq -a. \end{cases} \quad (2)$$

Bul formulalarda $k_1 = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}$ hám $k_2 = \sqrt{\frac{2m(U_0 - E)}{\hbar^2}}$.

Tolqın funkciyasın shuqırdağı ishinde hám sırtında tigiw shárti (yaǵnıy shegaradağı tolqın funkciyalarınıń hám olardıń birinshi tuwındılarınıń mánisleriniń birdey bolıwı) tolqın funkciyasınıń hám onıń birinshi tártipli

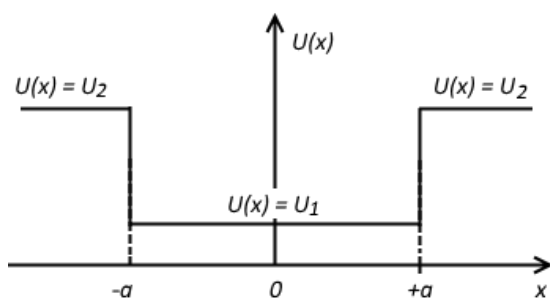
tuwındısınnıń úzliksiz ekenliginen, al sol úzliksizliktiń E niń qálegen mánisinde orın alatuǵınlıǵınan emes, al belgili bir E_n shamalarına teń mánislerine iye bolıwınan kelip shıǵadı. Bul ańlatpalarda $n = 1, 3, 5, \dots$ Al jazılǵan shárttiń ózi

$$\operatorname{tg} \xi = \sqrt{\frac{\rho_0^2}{\xi^2} - 1} \quad (3)$$

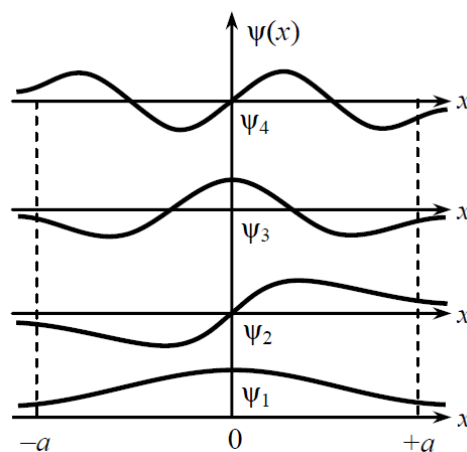
túrindegi transcendent teńlemeden kelip shıǵadı. Bul ańlatpada

$$\xi = k_1 a = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}} a, \quad \rho_0 = \sqrt{\frac{2mU_0}{\hbar^2}} a \quad (4)$$

belgilewleri paydalanılǵan.



1-súwret.
Potencial shuqırdıń sxeması.



2-súwret.
 n sanınıń hár qıylı mánislerine
sáykes keletuǵın tolqın funkciyaları.

Taq tolqın funkciyalar (energiya qáddileriniń jup nomerleri):

$$\psi(x) = \begin{cases} a \sin(k_1 x), & |x| \leq a; \\ C e^{-k_2 x}, & x \geq a; \\ C e^{k_2 x}, & x \leq -a. \end{cases} \quad (5)$$

Shuqırdıń "ishindegi" hám "sırtındaǵı" tolqın funkciyaları tigiw (bir biri menen tutastırıw) shárti diskret mánislerge iye bolatuǵın E_n energiyanıń $n = 2, 4, 6, \dots$ mánislerinde orınlanadı. Bul talap

$$ctg \xi = \sqrt{\frac{\rho_0^2}{\xi^2} - 1} \quad (6)$$

transcendent teńlemesinen kelip shıǵadı.

Energiyanıń kvantlanıwınıń sebebi mınadan ibarat: potencial shuqırdıń diywallarındaǵı tolqın funkciyasınıń óziniń hám onıń birinshi tártipli tuwındısınıń úzliksizligi k_1 menen k_2 shamalarınń belgili bir mánislerinde ǵana júzege keledi. Mısal retinde 2-súwrette bir neshe tolqın funkciyalarınń grafikleri keltirilgen.

E_n energiyasınıń eń ápiwayı ruqsat etilgen mánisleri sheksiz tereń potencial shuqır ushın alınadı. Bunday jaǵdayda $U_0 = \infty$ shárti qabıl etiledi (yaǵnıy diywallardıń biyikligi sheksiz 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 sheksiz tereń potencial shuqır ushın energiyanıń kvantlanıw shártin beredi:

$$E_n^\infty = \frac{\pi^2 \hbar^2}{8ma^2} n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

Bunday jaǵdayda taq n ler ($n = 1, 3, 5, \dots$) jup tolqın funkciyalarına, al jupları ($n = 2, 4, 6, \dots$) taq tolqın funkciyalarına sáykes keledi. Bul jaǵdayda $k_2 = 0$ bolǵanlıqtan tolqın funkciyaları tek potencial shuqırdıń ishinde ǵana nolge teń bolmaydı (potencial shuqırdıń diywallarında, sırtlarında tolqın funkciyasınıń mánisleri tek nolge teń). Demek potencial shuqırdıń 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 alğan 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:

$$\psi(x) = \begin{cases} a \sin(k_1 x), & x \leq a; \\ C e^{-k_2 x}, & x \geq a. \end{cases} \quad (10)$$

Bunday hallarǵa jup nomerge iye energiyalar sáykes keledi (yaǵnıy $E_2, E_4, E_6, \dots$). 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 baylanısqa hal júzege keledi. Al asimmetriyalıq shuqır bolsa, mısalı, 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 orınlanatuǵın bolsa bóleksheni uslap tura almaydı. Solay etip bóleksheni baylanısqa 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 maydannıń potencialı

$$U(x) = \begin{cases} U_0, & |x| \geq a; \\ 0, & |x| \leq a. \end{cases}$$

Másele energiya $\{E\}$ niń mánisleriniń jıynaǵın (E niń mánisleriniń jıynaǵın onıń spektri dep ataymız) hám sol mánislerge sáykes keliwshi tolqın $\{\psi_E(x)\}$ funkciyaların tabıwdan ibarat (figuralıq qawsırmalar olardıń ishinde turǵan shamalardıń jıynaǵın ańǵartadı). Usınıń menen birge joqarıda keltirilgen

shamalar $x \rightarrow \pm\infty$ hám $x \rightarrow \pm a$ noqatlarındagı shegaralıq shártlerdi de qanaatlandıruwı kerek.

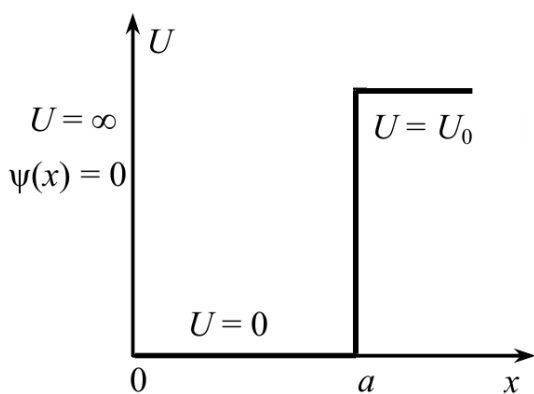
(1)-teńleme 1- hám 3-oblastlarda (4-súwret)

$$\psi'' - \chi^2 \psi = 0, \quad \chi^2 = \frac{2m}{\hbar^2} (U_0 - E), \quad (11)$$

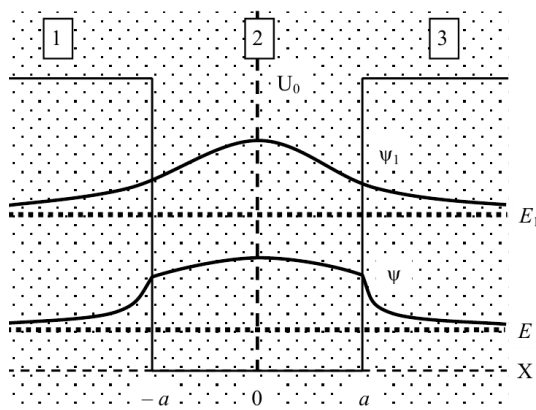
al 2-oblastta

$$\psi'' + \kappa^2 \psi = 0, \quad \kappa^2 = \frac{2m}{\hbar^2} E \quad (12)$$

túrinde jazıladı.



3-súwret. Asimmetriyalıq 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 $\psi_{1,3} \rightarrow 0$.

Sonıń 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 táriypi

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 ($r_B = \frac{\hbar^2}{me^2} = 0.5 \cdot 10^{-10} \text{ m}$), al enegiya bolsa vodorod atomınıń (ekiletilgen) potencialında ($E_i = \frac{me^4}{\hbar^2} = 27.2 \text{ eV}$) beriledi.

Eskertiw:

Mathematica programmaw tilinde (atomlıq birlikler sistemasında) (11)-teńlemeneni sheshiw ushın bilayınsha programma jazıladı (shegaralıq shártler jazılmağan):

$$\text{DSolve}[\psi''[x] + \chi^2 \psi[x] == 0, \psi[x], x]$$

Bunday teńlemeniniń 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 tabıladı. Bul jaǵdayda biz $e^{x\chi}$ hám $e^{-x\chi}$ túrindegi eksponenciallıq funkciyalarǵa iye bolamız.

(12)-teńlemeneni sheshiw ushın

$$\text{DSolve}[\psi''[x] + \kappa^2 \psi[x] == 0, \psi[x], x]$$

túrindegi 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 $\text{Cos}[x\kappa]$ túrindegi taq yamasa jup sheshimlerge iye bolamız.

Biziń wazıypamız shegaralıq shártlerdi paydalanıw arqalı sheshimler ushın haqıyqıy funkciyalardı hám energiyanıń mánislerin tabıwdan ibarat.

Eger sheksiz tereń potencial shuqırdı 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 bolatuǵınlıǵına isenemiz.

Normirovka shártin

$$\int_0^a |\psi[x]|^2 dx = \int_0^a \left| C[2] \text{Sin}\left[\frac{n\pi}{a}x\right] \right|^2 dx = 1$$

túrindegi integraldı jaza alamız. Mathematica universallıq algebra tili bul integraldı n shamasınıń pútin mánisleri ushın ańsat esaplay aladı hám $C[2] =$

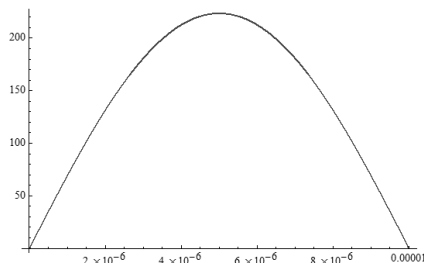
$\sqrt{\frac{2}{a}}$ teńligine iye bolamız. Demek biz

$$\psi[x] = \sqrt{\frac{2}{a}} \text{Sin}\left[\frac{n\pi}{a}x\right]$$

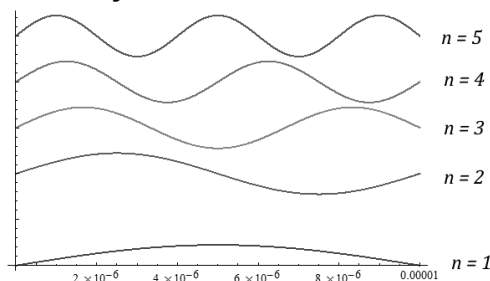
túrindegi tolqın funkciyalarına iye boladı ekenbiz. Bul funkciyalardıń grafiklerin Plot komandasınıń járdeminde dúzemiz:

$$a = 10^{-5}; n = 1; \text{Plot} \left[\sqrt{\frac{2}{a}} \sin \left[\frac{n \pi}{a} x \right], \{x, 0, a\} \right]$$

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 atomnıń 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 deytronnıń qozǵan halınıń bolıwı múmkin emes degen juwmaq shıǵaramız.

Programmanıń táriyipi

Programma Wolfram firması tárepinen dóretilgen Mathematica programmalaw tilinde jazılǵan bolıp, quantum_mechanics.nb atamasına iye.

Orınlaw ushın oqıtıwshı programmanıń eki túrli variantın usınıwı múmkin.

Birinshi variantta potencial shuqırdıń parametrleri beriledi:

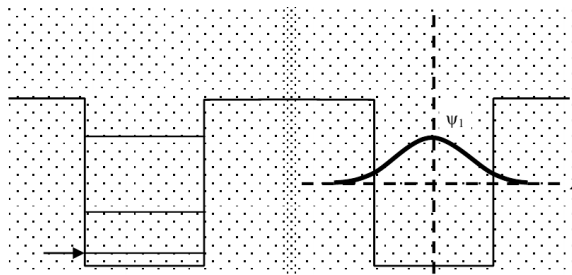
1. Tereńligi U_0 ;

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 shuqırdıń ishindegi hám sırtındaǵı sheshimlerin tabadı. Sheshimler shuqırdıń shegarasında (diywalında) bir birine teń bolıwı kerek (funkciyalardı shegarada tigiw shárti).

Alınıwı kerek bolǵan grafikler 4-súwrette sxema túrinde berilgen.

5-súwret. Shep táreptegi súwrettegi gorizont baǵıtındaǵı sıızıqlar energiyanıń menshikli mánislerin $\{E_n\}$ kórsetedi. Shep tárepte oń táreptegi strelka menen belgilengen energiyanıń mánisi ushın tolqın funkciyası súwretlengen.



Ekinshi variantta (5-súwret) student tárepinen berilgen shuqırdıń parametrleri boyınsha programma energiyanıń menshikli mánisleriniń spektri bolǵan $\{E_n\}$ shamaların tabadı hám berilgen shuqırdaǵı bóleksheniń múmkin 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.

Paydalanilgan fundamentalliq 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 Brayns. 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 redakciey V.I.Iveronovoy. Izdanie vtoroe, pererabotannoe. Izdatelstvo "Nauka". Moskva. 1968. 816 s.