

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ  
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Մեհրի Գաննադ Դեզֆուլի

Ռենտգենյան ճառագայթների դինամիկ դիֆրակցիան թույլ դեֆորմացված KDP  
և ADP բյուրեղներում

Ա.04.07-«Կոնդենսացված վիճակի ֆիզիկա» մասնագիտությամբ  
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի  
հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՍԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2019

---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА  
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Мехди Ганнад Дезфули

Динамическая дифракция рентгеновских лучей  
в слабдеформированных кристаллах KDP и ADP

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 01.04.07-физика конденсированных сред

ЕРЕВАН-2019

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ ֆիզիկայի կիրառական  
պրոբլեմների ինստիտուտում  
Գիտական ղեկավար՝

Ֆիզ.մաթ.գիտ.դոկտոր, պրոֆեսոր  
Կ.Գ.Թրունի

Պաշտոնական ընդիմախոսներ՝

Ֆիզ.մաթ.գիտ.դոկտոր,պրոֆեսոր  
Վ.Վ.Հարությունյան

Ֆիզ.մաթ.գիտ.թեկնածու,դոցենտ  
Մ.Հ.Սեւրոպյան

Առաջատար կազմակերպություն՝

Երևանի պետական համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2019թ. նոյեմբերի 23-ին  
ժ.12<sup>00</sup>-ին Երևանի պետական համալսարանի ֆիզիկայի 049 մասնագիտական  
խորհրդի նիստում (հասցեն՝ 0025 Ալեք Մանուկյան 1):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2019թ. հոկտեմբերի 11-ին

Մասնագիտական խորհրդի գիտ. քարտուղար՝

Ֆիզ.մաթ.գիտ.թեկնածու,դոցենտ



Վ.Պ.Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Институте Прикладных Проблем физики НАН РА  
Научный руководитель:

доктор физ.мат.наук, проф.  
К. Г. Труни

Официальные оппоненты:

доктор физ.мат.наук, проф.  
В.В.Арутюнян  
канд.физ.мат.наук,доцент  
М.А.Месропян

Ведущая организация:

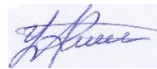
Ереванский Гос.Университет

Защита диссертации состоится 23 ноября 2019г.в 12<sup>00</sup> на заседании

Специализированного совета по физике 049 Ереванского государственного  
университета по адресу: 0025, Алека Манукяна 1. С диссертацией можно  
ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 11 октября 2019г.

Ученый секретарь Специализированного  
совета: кандидат физ.мат.наук, доцент



В. П. Калантарян

## ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԱՐԴԻԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ռենտգենյան ճառագայթների դինամիկ դիֆրակցիան խիստ պահանջներ է դնում բյուրեղի տարածական ցանցի կատարելիության աստիճանի համար: Այդ երևույթի նկարագրման սկզբնական տեսությունները հիմնվում էին ցանցի լիակատար կատարելիության ենթադրության վրա [1-3]: Հետագա ավելի ուշ զարգացումները բերեցին [4,5] նոր մոտեցումների, որոնք կիրառելի էին նաև ցանցային որոշ աղավաղումների առկայության պայմաններում, ինչպես բնականից գոյություն ունեցող արատների, այնպես էլ արտաքին ազդեցությունների պայմաններում ներմուծված աղավաղումների: Սկզբնական փորձարարական ուսումնասիրությունները իրականացվում էին միկրո և նանոէլեկտրոնիկայի պահանջներին բավարարող արհեստականորեն աճեցված բարձր կատարելիության Si և Ge բյուրեղների համար [6,7], քանի որ բնական բյուրեղների գերակշիռ մասը չունեք ցանցի կատարելիության պահանջվող աստիճանը: Մակայն ավելի ուշ որոշ բյուրեղական ցանցերի վրա դինամիկ դիֆրակցիան ուղեկցող մի շարք երևույթների (ճռճանակային էֆեկտ, անոմալ կլանում, առաջնային էքստինկցիա, և այլն) դիտումը [8-10] ցույց տվեց, որ կան այնպիսի կատարելիության բնական բյուրեղներ, որոնց վրա կարելի է իրականացնել դինամիկ դիֆրակցիան, հետևաբար նաև իրականացնել այդպիսի բյուրեղական ցանցերի արատների, ինչպես նաև արտաքին ազդակների ազդեցությունների ուսումնասիրությունը: Վերջինը կարևորվում է նաև այն տեսակետից, որ այդպիսի ազդակների օգնությամբ կարելի է ձևավորել ռենտգենյան փնջեր անհրաժեշտ պարամետրերով [11-20] (մոնոքրատորներ, կոլիմատորներ, կիզակետող տարրեր, մոդուլյատորներ և այլն): Նման խնդիրներում կարևոր նշանակություն ունի այն, որ կարճալիքային ճառագայթման դինամիկ դիֆրակցիան չափազանց զգայուն է բազմակի ցրման ենթարկված փնջերի միջև փուլային առնչությունների նկատմամբ, ինչով էլ պայմանավորվում է դինամիկ դիֆրակցիայի բարձր զգայունությունը տարբեր աղավաղումների և ազդակների նկատմամբ:

Այս տեսակետից կարևոր են նշված երևույթների էքսպերիմենտալ հետազոտությունները [21-24], քանի որ տեսական ուսումնասիրությունները միայն հազվադեպ դեպքերում է, որ տալիս են անալիտիկ լուծումներ, իսկ թվային մեթոդները պահանջում են որոշ նախնական պարամետրեր, որոնք կարող են որոշվել միայն փորձնականորեն:

Թույլ դեֆորմացված KDP և ADP պլեոքեդելեկտրական բյուրեղներում դինամիկ դիֆրակցիայի փորձարարական ուսումնասիրություններին է նվիրված այս ատենախոսությունը:

#### ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՆՊԱՏԱԿԸ

1. Փորձնականորեն իրականացնել և ուսումնասիրել ռենտգենյան կարճալիքային փնջերի դինամիկ դիֆրակցիան այլզոնային կտրական KDP և ADP բյուրեղների տարածական ցանցերում:
2. Հետազոտել նշված բյուրեղներում դինամիկ դիֆրակցիան արտաքին որոշ ազդեցությունների առկայության պայմաններում:
3. Գրանցել և հետազոտել դինամիկ դիֆրակցիայի պայմաններում դիֆրակցված փնջերի անցման և անդրադարձման անկյունային բաշխվածությունը կախված արտաքին ազդակների բնութագրերից:
4. Ուսումնասիրել դինամիկ դիֆրակցիայի անդրադարձման ինտեգրալային գործակիցները և նրանց վարքը կախված արտաքին ազդեցությունների պարամետրերից և այդ ազդեցությունների բնույթից:
5. Ելնելով դինամիկ դիֆրակցիայի դիտված երևույթներից հաշվարկել նշված բյուրեղների որոշ կառուցվածքային պարամետրեր:

#### ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈՐՈՒՅԹԸ

1. Իրականացվել է ռենտգենյան ճառագայթների դինամիկ դիֆրակցիան KDP և ADP բյուրեղներում, ինչը վկայում է այդ բյուրեղների տարածական ցանցերի կատարելիության բարձր աստիճանի մասին:
2. Ջերմային գրադիենտի և առաձգական դեֆորմացիայի ազդեցության պայմաններում հետազոտվել են գրանցված փնջերի անցման և անդրադարձման (ճոճման) կորերը, նրանց վարքի առանձահատկությունները կախված արտաքին ազդակների քանակական և որակական պարամետրերից:
3. Իրականացվել է փորձնական հետազոտությունների և տեսական արդյունքների համեմատություն և ցույց է տրվել դրանց բավարար համընկնումը:
4. Փորձնական արդյունքների հիման վրա առաջին անգամ հաշվարկվել են հետազոտված բյուրեղների կառուցվածքային ֆակտորները (բևեռացելիության ֆուրյե-գործակիցներ):

#### ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԳՈՐԾՆԱԿԱՆ ՆՇԱՆԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

1. Ատենախոսությունում կարճալիքային ռենտգենյան ճառագայթման դինամիկ դիֆրակցիայի փորձնական իրականացումը, դիտումը և

ուսումնասիրությունը հիմք են տալիս կիրառել այդ երևույթը և նրանց ուղեկցող մի շարք երևույթներ ուսումնասիրելու այեզոելեկտրական KDP և ADP բյուրեղների կառուցվածքային պարամետրերը, ինչպես բնական, այնպես էլ արտաքինից ներմուծված ցանցային աղավաղումները:

2. Թույլ դեֆորմացիաների տիրույթում՝ հիմնվելով ցանցային արատների նկատմամբ ալիքային դաշտերի բարձր զգայունության հանգամանքի վրա, լուծել այդ արատների նույնականացման խնդիրները:
3. Դիտարկված բյուրեղների (KDP, ADP) այեզոելեկտրական հատկություններից ելնելով՝ կարելի է լուծել դիֆրակցված ալիքային դաշտերի կառավարման՝ անկյունային, տարածական, սպեկտրալ ցանկալի բաշխումներ ստանալու խնդիրները:
4. Պյեզոելեկտրական հատկությունները կարելի է օգտագործել նաև ինֆորմացիայի տեղափոխման խնդիրներում ռենտգենյան ճառագայթման մոդուլացման հարցերում:

#### ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄԸ

Աշխատանքի արդյունքները պարբերաբար զեկուցվել են ՀՀԳԱԱ Ֆիզիկայի կիրառական պրոբլեմների ինստիտուտի սեմինարներում: Ներկայացվել են XTP 2012, Biennial Conference on High Resolution X-Ray Diffraction Imaging (Saint-Petersburg, Russia (2012)), Series of International Conferences of Electron, Positron, Neutron and X-Ray Scattering under external influences (Megri-Yerevan, (2012-2014)), RREPS 2013 (Sevan, (2013)) միջազգային կոնֆերանսներում(զեկուցումների ցանկը տրված է սեղմագրի վերջում):

#### ՀՐԱՊԱՐԱԿՈՒՄՆԵՐ

Ատենախոսության թեմայով հրապարակվել է 5 հոդվածներ (ցանկը տրված է սեղմագրի վերջում):

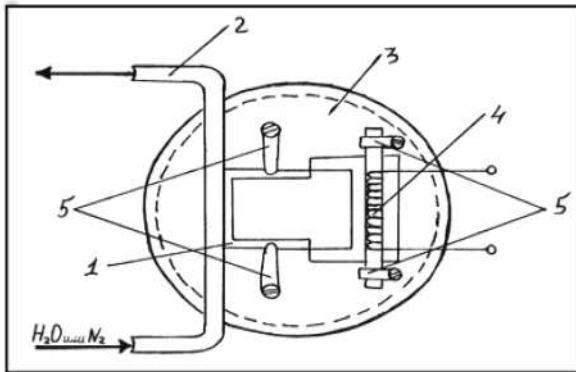
#### ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԸ ԵՎ ԾԱՎԱԼԸ

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք զլուխներից, շարադրված է 110 էջում, ներառյալ գրականության ցանկը՝ 118 հղումներով, 66 նկարները և 14 աղյուսակները:

## ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ատենախոսության ներածական մասը նվիրված է ռենտգենյան ճառագայթների դինամիկ և կինեմատիկ դիֆրակցիայի երևույթների առանձնահատկությունների և նրանց փորձնական իրականացման խնդիրներին, ինչպես նաև այդ երևույթների նկարագրման տեսական որոշ հիմնադրույթներին և նկարագրման մաթեմատիկական մոտեցումներին և մեթոդներին: Ելնելով այն փաստից, որ ատենախոսության մի շարք արդյունքներ կիրառելի են նաև նեյտրոնների դիֆրակցիայի խնդիրներում, բերված են նեյտրոնային փնջերի և նյութի փոխազդեցության, դրանց նկարագրման առանձնահատկությունները, ինչը կարևոր է հաշվի առնել նեյտրոնների փնջերի համար արդյունքների կիրառման դեպքում:

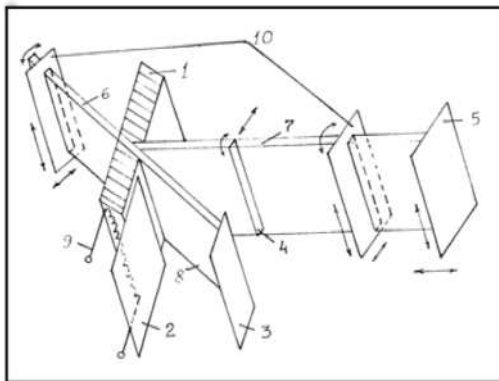
Ատենախոսության երկրորդ գլուխը նվիրված է փորձնական հետազոտություններում կիրառված սարքավորումների՝ այդ թվում, դիֆրակտոմետրերի, նմուշների տեղակայման, համալարման, տեղաշարժման և ճշգրիտ պտույտների ապահովման սարքավորումների, դիֆրակցված փնջերի գրանցման սարքերի նկարագրությանը: Հարկ է նշել, որ ելնելով հետազոտությունների առանձնահատկություններից կատարվել են անհրաժեշտ որոշ փոփոխություններ և մոդիֆիկացիաներ նշված սարքավորումներում և սարքերում: Այսպես ապահովելու համար երկու փոխադրահայաց առանցքների շուրջը ճշգրիտ և վերահսկելի պտույտը, մենք ավելացրել ենք հատուկ կրիչ ամրացված գոնիոմետրի գլխիկին (նկ.1):



նկ.1 Գոնիոմետրիկ գլխիկը (1)նմուշի կրիչով, (2)հովացման համակարգով, (4)ջեռուցիչով, (5) ամրակներով:

Այն թույլ է տալիս կարգավորել կամայական անդրադարձնող հարթությունների ընտանիքից դիֆրակցված փնջի դիրքը այնպես, որ փնջի դետեկտորը (Գեյզերի կամ սցինտիլյացիոն հաշվիչ) կարողանա գրանցել փունջը: Ստանդարտ գոնիոմետրիկ մոնոքրոմատորները չունեն բավարար ստաբիլ փական մուտքային ճեղքերի համար, ինչն էլ պատահական վիբրացիաների պատճառով բերում է մոնոքրոմատորի հաճախակի համալարման անհրաժեշտությանը: Դրանից խուսափելու համար գոնիոմետրին ավելացվել է համապատասխան համալարող կրիչ, որը ոչ միայն վերացնում է գոնիոմետրի հետ կապված խնդիրը, այլև թույլ է տալիս կարգավորել մուտքային ճեղքի դիրքն այնպես, որ ճառագայթումն անցնի ռենտգենյան խողովակի ֆոկուսի բոլոր կետերից: Կրիչի դիրքը որոշվում է ճառագայթման ճոճման կորերի միջոցով համապատասխանեցնելով դիրքը այդ կորերի մաքսիմումների դիրքերին:

Ջերմային գրադիենտի հետ կապված փորձերի համար ստեղծվել է հատուկ միկրոջեռուցիչ 0,3մմ տրամագծով նիքրոմե լարից՝ փաթաթված ճենապակե միջուկի վրա: Ջեռուցիչի ջերմաստիճանը կարգավորվում է փոփոխվող լարումով հոսանքի աղբյուրով, իսկ ջերմային գրադիենտը չափվել է պղինձ-կոնստանտան թերմազույգի միջոցով 0,5°C ճշտությամբ: Նմուշի հակառակ երեսի ջերմաստիճանը ապահովվել է համապատասխան խողովակով հոսող ջրով: Փորձի սխեման բերված է նկ. 2-ում:

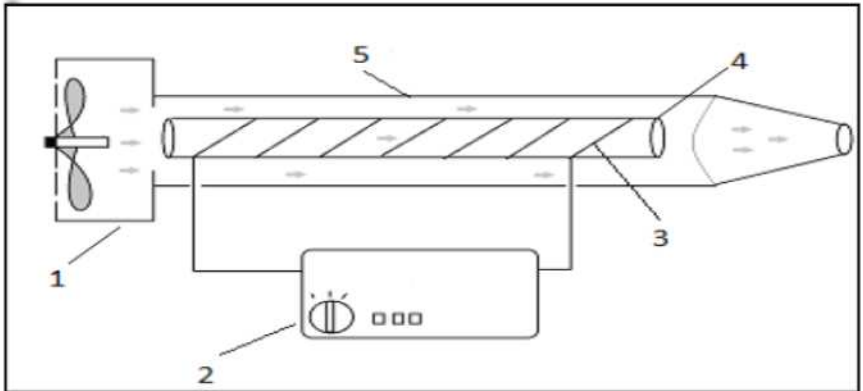


Նկ. 2. Փորձի սխեման: (1) բյուրեղական նմուշ (ADP, KDP), (2) պատնեշ, (3) առաջնային փնջի (8) կլանիչ, (5) անդրադարձած փնջի (7) գրանցիչ, (9) ջեռուցիչ, (10) շարժական ճեղք:

Ջերմային գրադիենտի մյուս տիպի հետազոտություններում, երբ գրադիենտի ուղղությունը զուգահեռ է համապատասխան անդրադարձնող

հարթություններին, որն անհրաժեշտ է նմուշում հարթությունների հովհարաձև դեֆորմացիայի դաշտ գրգռելու համար, առաջանում են որոշակի դժվարություններ փնջի մուտքի և ելքերի գրանցման խնդիրներում:

Այդ նպատակով պատրաստվել է էլեկտրական օդամղիչ (1) (տես նկ. 3): Տաքացված օդը ուղղվում է դեպի նմուշը ապակյա խողովակի միջով (5), ապահովելով նմուշի մուտքային մակերևույթի համասեռ տաքացումը: Ինչպես նախորդ դեպքում,



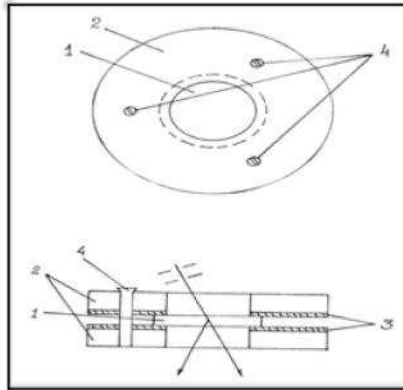
Նկ. 3. Օդամղիչ սարք

ջերմաստիճանի փոփոխումը իրականացվում է փոփոխվող լարումով հոսանքի աղբյուրի (2) օգնությամբ, իսկ ջերմաստիճանը վերահսկվում է թերմազույգով:

Հաջորդ փորձնական սխեման, որը բերված է ձևավորվել և իրականացվել է բյուրեղական նմուշում ուլտրաձայնային դաշտ գրգռելու և դրանով պայմանավորված դեֆորմացիայի դաշտ մակաձեղու համար:

Բյուրեղական նմուշը միացվել է բարձր հաճախության ուլտրաձայնային գեներատորին (տես նկ. 4), որով էլ գրգռվում են ուլտրաձայնային տատանումներ նմուշում: Նկարագրված երկբյուրեղ համակարգը թույլ է տալիս ուսումնասիրել ուլտրաձայնային ալիքների ազդեցությունը, և՛ անդրադարձած, և՛ անցած փնջերի վրա:



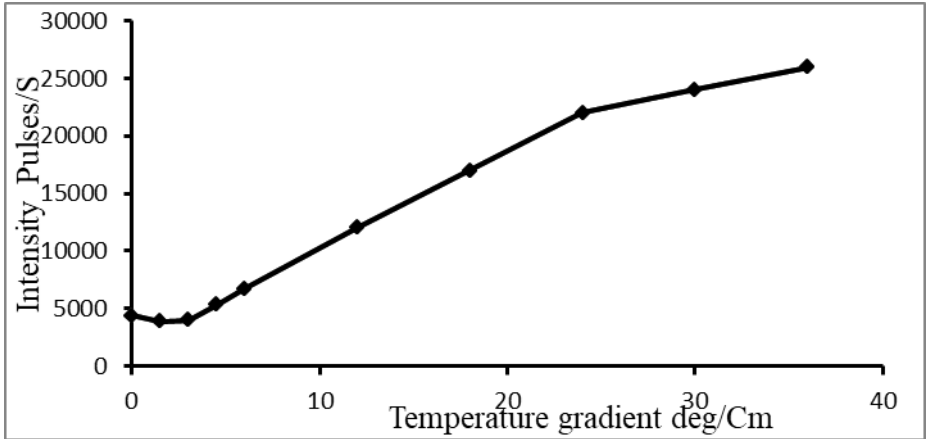


Նկ. 4. Ուլտրաձայնային ռեզոնատոր բյուրեղի (1) կրիչով (2) և ռեզոնատորի կոնտակտներով(3):

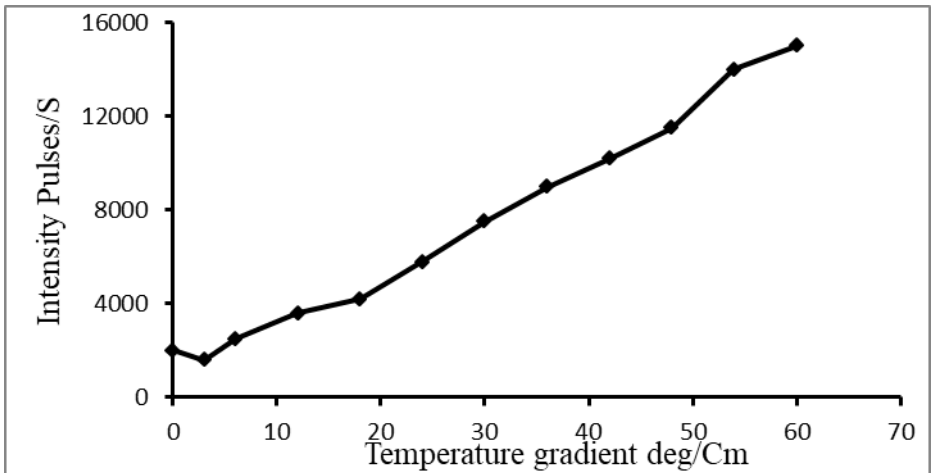
Գլխի վերջում բերված են հետազոտվող (KDP, ADP, Si, Ge, SiO<sub>2</sub>) նյութերի որոշ բնութագրիչ պարամետրեր (գծային ընդարձակման գործակից, անդրադարձնող հարթությունների միլլերյան ինդեքսներ և միջհարթությունային հեռավորություններ, Բրեգի անկյուններ, գծային ընդարձակման և կլանման գործակիցներ, առաձգականության և պլեզոակուստիկ մոդուլներ և այլն), որոնք անհրաժեշտ են հետագա հետազոտություններում:

Ատենախոսության երրորդ գլուխը նվիրված է իրականացված փորձարարական հետազոտություններին՝ ավելի կոնկրետ արտաքին ազդեցությունների առկայությամբ էքսպերիմենտների իրականացմանը, փորձական արդյունքների վերլուծությանը, ինչպես նաև այդ արդյունքների համեմատությանը տեսական որոշ արդյունքների հետ: Այս գլխի առաջին պարագրաֆում փորձնականորեն ուսումնասիրված է ջերմային գրադիենտի ազդեցությունը KDP և ADP բյուրեղներում ռենտգենյան ճառագայթների դինամիկ դիֆրակցիայի վրա: Էքսպերիմենտալ սխեման բերված է նկ. 2-ում: Ռենտգենյան ճառագայթների աղբյուր հանդիսացել են BSV-29 տիպի Ag և Mo անոդներով ռենտգենյան խողովակը, որի ֆոկուսի չափերը հավասար են 0,4մմ և 0,8մմ հորիզոնական և ուղղաձիգ ուղղություններով համապատասխանաբար: Դիտարկվել են ջերմային գրադիենտի երկու դեպքեր, երբ գրադիենտի վեկտորը զուգահեռ և հակազուգահեռ է դիֆրակցիայի վեկտորին: Գրանցվել է անդրադարձած փնջի ինտեգրալ անդրադարձման գործակիցը՝ կախված ջերմային գրադիենտի մեծությունից: Փորձական որոշ արդյունքներ բերված են նկ. 5-ում: Նկ. 6-ում բերված են նաև դիֆրակցիոն տոպոգրամները ջերմային գրադիենտի

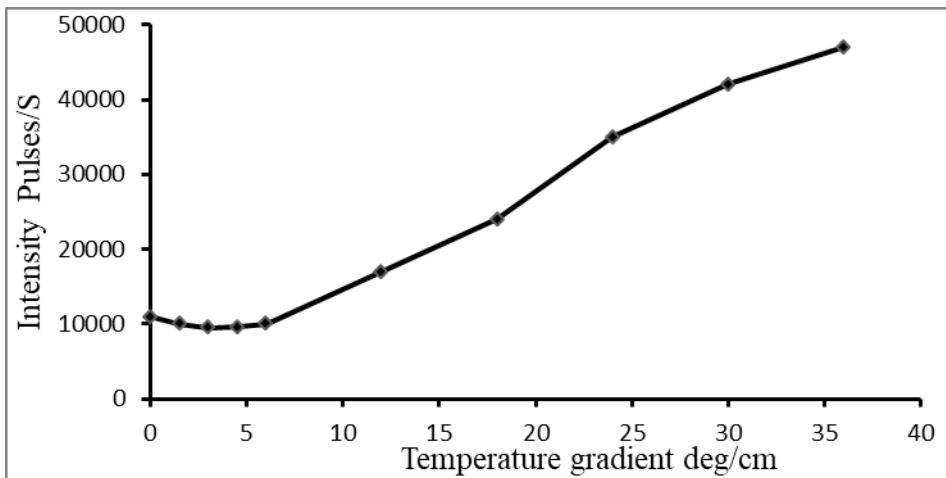
բացակայության և առկայության պայմաններում մի քանի անդրադարձումների համար(100), (110) և (200)): Բերված կորերի վարքը որակականորեն չի տարբերվում մեկը մյուսից՝ այն իմաստով, որ ջերմային գրադիենտի աճը ուղեկցվում է անդրադարձման ինտեգրալ գործակցի աճով՝ մեծ ջերմային գրադիենտների համար ( $\frac{dI}{dT} > 50 \frac{\text{Pulses}}{\text{deg/C}}$ ) հասնելով հազեցման: Մակայն աչքի է զարնում, ջերմային գրադիենտի բացասական արժեքների դեպքում այդ գործակցի վարքը փոքր դեֆորմացիաների դեպքում, երբ այն սկզբում նվազում է, հասնելով մինիմումի, որից հետո մոնոտոն աճելով հասնում հազեցման:



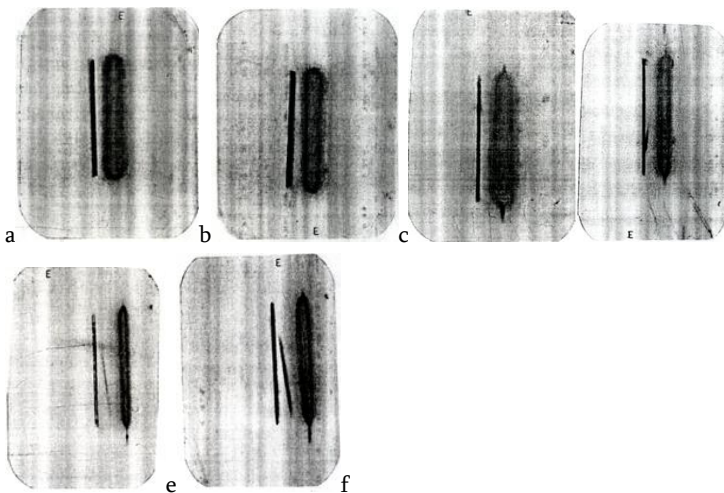
a



b



Նկ.5. Ինտեգրալ ինտենսիվության կախումները ջերմաստիճանային գրադիենտից. a,b-ADP բյուրեղ, a-(100) անդրադարձում, b-(101)անդրադարձում ( $t=2.5$ մմ), c-KDP բյուրեղ, c-(220)անդրադարձում( $t=1.3$ մմ),



Նկ.6. Մի քանի անդրադարձումների դիֆրակցիոն տուպոգրամները ջերմային գրադիենտի բացակայությամբ և առկայությամբ: a,b-ADP (100), c,d- ADP (110), e,f-KDP (200)

Վերը դիտարկված առանձնահատկությունը բացատրելու համար հաշվարկվել է ինտեգրալ ինտենսիվության գործակիցը թույլ դեֆորմացիաների դեպքում հիմք ընդունելով [25]–ում զարգացված տեսությունը՝

$$I_h = I_i \frac{\pi |\chi_{hr}|}{2 \sin 2\theta_B} e^{-\frac{\mu t}{\cos \theta_B}} I_0 \left( \frac{t}{\cos \theta_B} \left( 2\pi k |\chi_{hi}| \mp \frac{|\alpha|}{2\pi k |\chi_{hr}|} \right) \right),$$

Այստեղ  $|\alpha| = \frac{h\alpha \Delta T}{2 \Delta x}$ ,  $h=d^{-1}$  անդրադարձման դիֆրակցիայի վեկտորի մոդուլն է,  $d$ -ն համապատասխան հարթությունների միջհարթությունային հեռավորությունը,  $\alpha$ -ն ջերմային ընդարձակման գործակիցը,  $d$ -ի նշանը որոշվում է հարթությունների կորացման  $R$  շառավղի նշանով

$$R = \pm \left| \frac{d(\alpha T)}{dx} \right|^{-1}$$

$\chi_{hr}, \chi_{hi}$ -տարածական ցանցի բևեռացելիության կառուցվածքային Ֆուրյե գործակիցների իրական և կեղծ մասերն են: Ընդ որում  $\chi_{hi}$  գործակիցը բնութագրում է ինտերֆերենցիոն կամ Բորմանի անոմալ կլանման երևույթը: Ինչպես հետևում է բերված գրաֆիկներից, երբ  $\alpha > 0$ , ինտեգրալային անդրադարձման գործակիցը սկզբում նվազում է ջերմային գրադիենտի աճին զուգընթաց՝ հասնելով մինիմումի, երբ

$$\alpha = 4\pi^2 k^2 |\chi_{hr} \chi_{hi}|, \quad (k = 1/\lambda, \lambda - \text{նճառագայթման ալիքի երկարությունն է):$$

Այն դեպքում, երբ  $\alpha < 0$  այն մոնոտոն աճում է գրադիենտի աճմանը զուգընթաց: Ինչպես ցույց է տրված [25]–ում երևույթի ֆիզիկական բացատրությունը հետևյալն է՝ տարածական ցանցում ռենտգենյան ճառագայթի դիֆրակցիայի դաշտը ձևավորվում է հիմնականում երկու իրար հակադիր երևույթներով: Առաջինը ճառագայթման ոչ կոհերենտ ցրումներով (կլանում) և երկրորդը կոհերենտ ցրումներով (եքստինկցիա): Առաջինը նկարագրում է ճառագայթման էներգիայի կորուստները՝ հիմնականում (մոտ 97%) ֆոտոէլեկտրական կլանման պատճառով, իսկ երկրորդը ճառագայթման էներգիայի վերաբաշխումով՝ առանց կորուստների, երբ տեղի է ունենում այդ էներգիայի փոխանցումը անոմալ թույլ և անոմալ ուժեղ կլանվող ալիքային մոդերի միջև: Երբ այդ փոխանցման արդյունքում ճառագայթման էներգիան ուժեղ կլանվող մոդից փոխանցվում է թույլ կլանվողին, անդրադարձման գործակիցը և համապատասխան ինտեգրալային գործակիցը աճում է, հակառակ դեպքում նվազում՝ հասնելով մինիմումի: Ինտեգրալային գործակցի աճը

մինիմումից հետո պայմանավորված է էքստինկցիայի գործակցի աճով, երբ այն դառնում է ավելի ու ավելի գերակշռող դիֆրակցիայի դաշտի ձևավորման պրոցեսում:

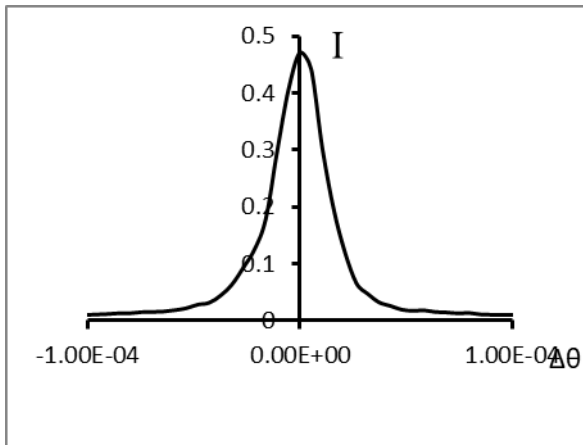
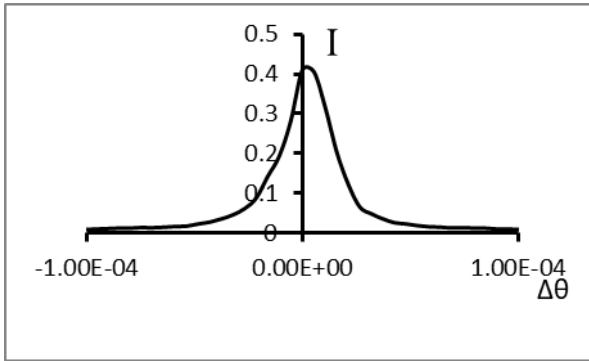
Վերոհիշյալ մինիմումի գոյությունը թույլ է տալիս փորձնականորեն որոշել ինչպես անդրադարձնող հարթությունների կորության շառավիղը, երբ հայտնի է ջերմային գրադիենտի արժեքը, այնպես էլ տարածական ցանցի կառուցվածքային խիստ կարևոր  $X_{hr}$  և  $X_{hi}$  գործակիցները: Վերջինի իրականացման հաշվարկային արդյունքները բերված են աղյուսակ 1-ում ADP և KDP բյուրեղների 3 տարբեր անդրադարձումների համար:

ADP	$ X_{hr} $	$ X_{hi} $
(100)	$0.44 \times 10^{-7}$	$0.35 \times 10^{-6}$
(101)	$0.14 \times 10^{-6}$	$0.16 \times 10^{-6}$
(220)	$0.28 \times 10^{-6}$	$0.32 \times 10^{-6}$

KDP	$ X_{hr} $	$ X_{hi} $
(220)	$0.15 \times 10^{-6}$	$0.59 \times 10^{-6}$
(301)	$0.79 \times 10^{-6}$	$0.52 \times 10^{-6}$

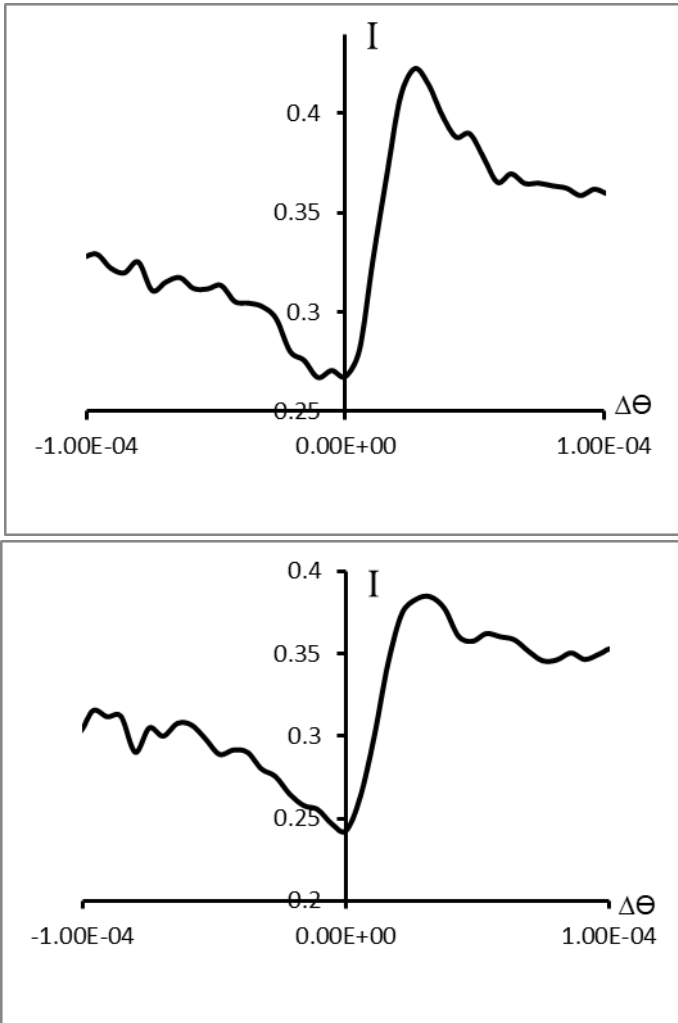
Աղյուսակ 1. ADP և KDP բյուրեղական ցանցերի հաշվարկված կառուցվածքային ֆակտորները

Ատենախոսության երրորդ գլխի հաջորդ պարագրաֆում բերված են ADP և KDP բյուրեղների ճոճման կորերի էքսպերիմենտալ հետազոտությունների արդյունքները, երբ տարածական ցանցի անդրադարձնող հարթությունները գտնվել են հաստատուն, այդ հարթություններին ուղղահայաց ջերմային գրադիենտի ազդեցության տակ: Էքսպերիմենտներն իրականացվել են երկբյուրեղային հայտնի սխեմայով [2]: Դիֆրակցված փնջերը գրանցվել են սցինտիլյացիոն հաշվիչով: Որպես օրինակ գրանցման արդյունքները անդրադարձած փնջերի համար բերված են (7) նկարում, իսկ անցած փնջերի համար (8) նկարում:



Նկ.7. Անդրադարձած ֆնջերի ճոճման կորերը (ADP (002) ռեֆլեքս  $\frac{\Delta T}{\Delta x}=12$ սստ/սմ

(a) և  $\frac{\Delta T}{\Delta x}=18$ սստ/սմ (b)):



Նկ.8. Անցած փնջերի ճոճման կորերը (ADP (002) ռեֆլեքս  $\frac{\Delta T}{\Delta x}=6$ սստ/սմ (a) և  $\frac{\Delta T}{\Delta x}=12$ սստ/սմ (b)):

Անդրադարձման գործակիցը մեծանում է ջերմային գրադիենտի աճին զուգընթաց, աճում է նրա պիկը, մեծանում է կորի կիսալայնությունը,

նշանակում է, անկյունային բաշխումը լայնանում է: Դիտվում է նաև պիկի դիրքի ոչ մեծ շեղումներ դեպի Բրեզի ճշգրիտ անկյունից ավելի մեծ անկյուններ: Կորի փեշերին դիտվող թույլ օսցիլյացիաներն արդյունք են տարածական ցանցում գրգռվող երկու մոդերի ինտերֆերենցին (ճոճանակային էֆեկտ): Գրադիենտի աճի հետ այդ օսցիլյացիաները թուլանում են, ինչն արդյունք է վերը քննարկված մոդերի միջև էներգիայի փոխանցման երևույթներին, ինչի պատճառով մոդերից մեկի ամպլիտուդը աճում է, իսկ մյուսինը՝ նվազում, որի պատճառով էլ ինտերֆերենցիոն երևույթները նրանց միջև դանդաղ մարում են: Անցման ճոճման կորերը, ի հակադրություն անդրադարձման կորերի, ավելի ու ավելի իջնում են, ինչի պատճառը նույն փոխանցման երևույթներն են:

Ճոճանակային էֆեկտով պայմանավորված կորի տատանումներն անցնող փնջում ավելի հստակ են արտահայտված, քանի որ անցնող փնջի երկու մոդերի ամպլիտուդները միմյանցից քիչ են տարբերվում, իսկ դեֆորմացիայից կախված այդ տարբերությունը ավելի դանդաղ է փոփոխվում:

Վերոհիշյալ եզրակացությունները հետևում են նաև թույլ դեֆորմացված բյուրեղներում դինամիկ դիֆրակցիայի տեսական արդյունքներից [2, 26]: Որպես օրինակ, դիտարկենք անդրադարձման միջին գործակիցն ըստ այդ տեսության.

$$I_R = \frac{e^{-\mu z}}{2(1+p^2)} \times \left[ \cosh \left( G_i \frac{z}{\cos \theta_B} \right) \right],$$

որտեղ

$$G_i = (2\pi k |X_{hi}| - \alpha) \frac{1}{\sqrt{1+p^2}}$$

$\mu$ -ճառագայթման կլանման գծային գործակիցն է,  $z$ -բյուրեղի հաստությունը,  $p$ -ն Բրեզի ճշգրիտ պայմանից անկյունային շեղման պարամետրը:

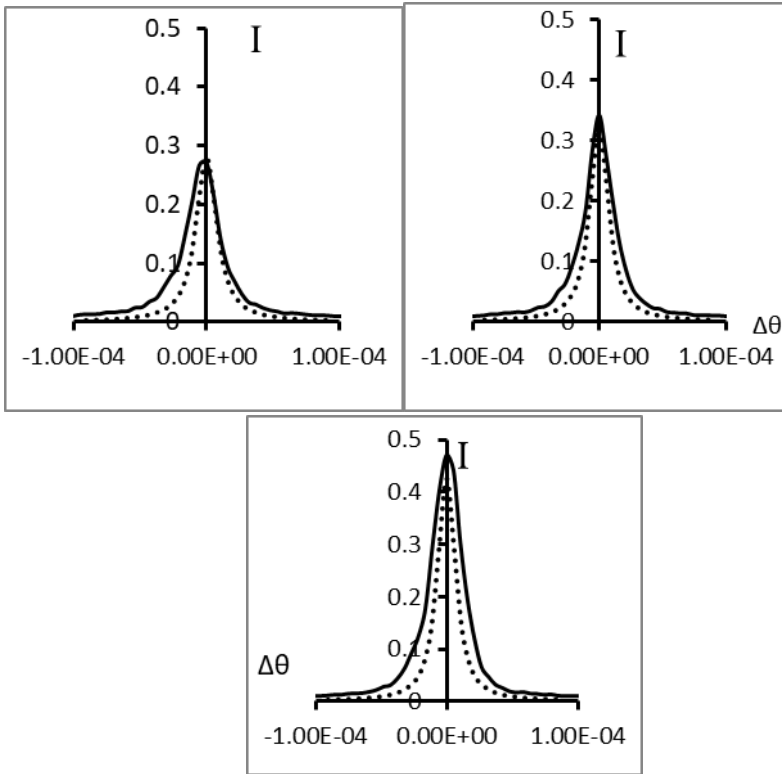
Բերված բանաձևում միջինացումը կատարված է ըստ բյուրեղի հաստության, ինչի պատճառով բացակայում է ճոճանակային երևույթով պայմանավորված սինուսոիդալ անդամը, որով էլ նկարագրվում են վերը քննարկված կորերի տատանումները: Այս բանաձևից հետևում է, որ  $G_i$ -ի մեծացմանը զուգընթաց միջինացված անդրադարձման գործակիցը պետք է աճի, իսկ նրա մաքսիմումը պետք է շեղվի, քանի որ նրա դիրքը որոշվում է

$$G_i = 0 \text{ կամ } \alpha = 2\pi k |X_{hi}|$$

պայմանից:

Տեսական և էքսպերիմենտալ կորերի համեմատության համար բերված են ճոճման կորերի հաշվարկային և փորձնական արդյունքները (տես նկ. 9)

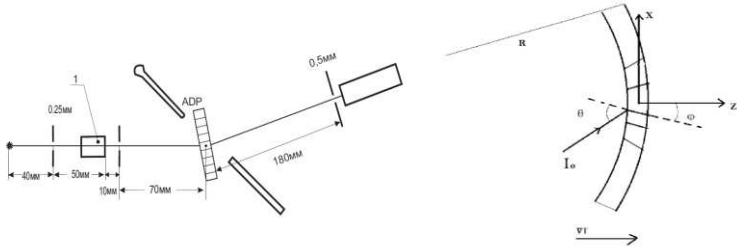




Նկ.9. Հաշվարկային (հոծ գծեր) և էքսպերիմենտալ (կետային գծեր) ճոճման կորեր:

Նրանց միջև համապատասխանությունը բավականին լավ է, իսկ դիտվող որոշ շեղումները, թերևս, հետևանք են փորձնական նմուշներում առկա կատարելությունից բնական շեղումներին:

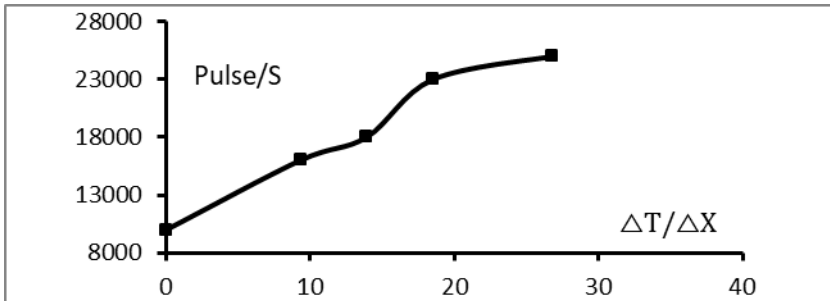
Երրորդ գլխի վերջին պարագրաֆում փորձնականորեն հետազոտվել է ատոմական հարթություններին զուգահեռ ջերմային գրադիենտի ազդեցությամբ ADP և կվարցի բյուրեղներում ռենտգենյան ճառագայթների դինամիկ դիֆրակցիան: Փորձի սխեման և նմուշի դեֆորմացիայի սխեմատիկ պատկերը բերված են նկ. 10-ում:

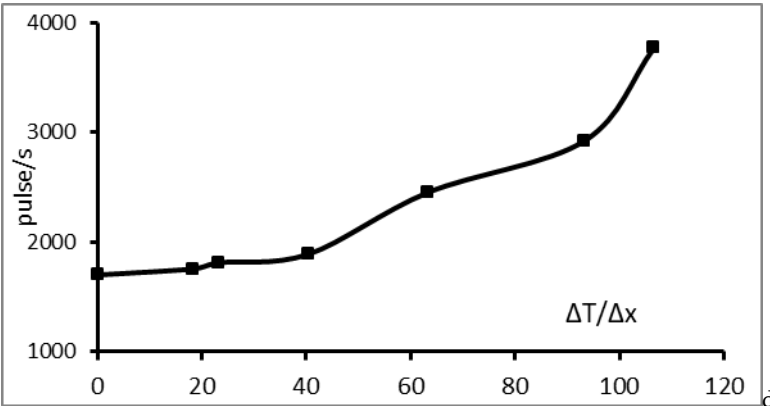
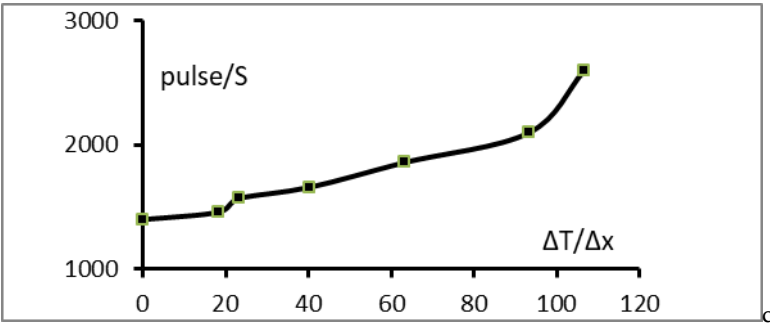
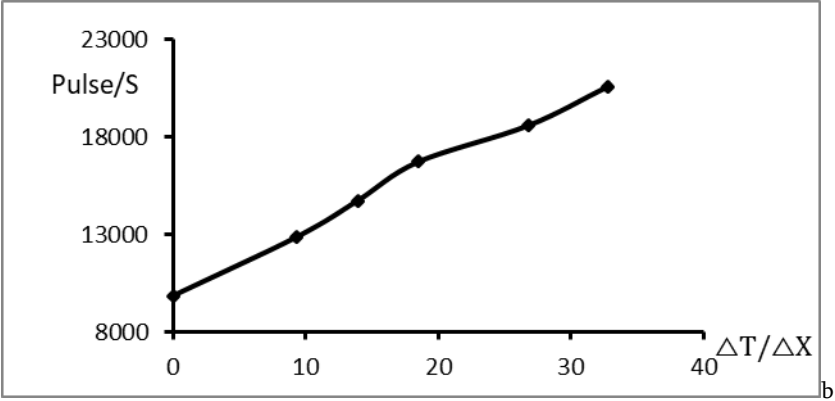


Նկ.10. Փորձի սխեման և բյուրեղի դեֆորմացիայի սխեմատիկ պատկերը:

Փորձարարական բյուրեղական նմուշները ուսումնասիրվել են երկու 1,88 և 3մմ հաստությունների համար:

Դիֆրակցված փնջերը գրանցվել են սցինտիլյացիոն հաշվիչի օգնությամբ: Գրանցվել են անդրադարձած փնջերի ինտեգրալ ինտենսիվությունները՝ կախված ջերմային գրադիենտի չափից: Գրանցված կախումները բերված են նկ. 11-ում: Գրաֆիկներից երևում է, որ ինտեգրալ գործակիցները համարյա գծայնորեն են աճում, կախված գրադիենտի չափից:





Նկ.11. Անդրադարձման ինտեգրալային գործակիցները հովհարային դեֆորմացիայի դեպքում: a-ADP բյուրեղ,  $t=1.88\text{mm}$  ( $\text{AgK}\alpha$  (002) անդրադարձում), b-ADP բյուրեղ,  $t=1.88\text{mm}$  ( $\text{MoK}\alpha$  (002) անդրադարձում), c- $\text{SiO}_2$  բյուրեղ,  $t=3\text{mm}$

(MoK $\alpha$  (10-11) անդրադարձում), d-SiO $_2$  բյուրեղ, t=3mm (MoK $\alpha$  (10-10) անդրադարձում):

Ի տարբերություն հարթություններին ուղղահայաց գրադիենտի դեպքի ինտեգրալ գործակիցներում մինիմալ արժեքը սկզբում բացակայում է ապա դանդաղ ի հայտ է գալիս մեծ ջերմաստիճանային գրադիենտի արժեքների դեպքում: Ուժեղացման գործակիցները, որոնք որոշվում են ինտեգրալ գործակիցների հարաբերությամբ դեֆորմացված և չդեֆորմացված նմուշների համար, համապատասխանաբար, երկուսից մի փոքր ավելի է ADP և մոտ 3 – է կվարցի նմուշների համար: Սա նշանակում է, որ դինամիկ դիֆրակցիան քիչ զգայուն է հովհարային դեֆորմացիաների նկատմամբ: Այդպիսի վարքը բացատրվում է նրանով, որ հովհարային դեֆորմացիայի դեպքում ցանցի լոկալ շեղման  $u(r)$  վեկտորը բավարարում է հետևյալ հավասարմանը

$$h \cdot u(r) = \frac{hxz}{R} - h \frac{(\gamma - 1)}{R} (z^2 - x^2),$$

որտեղ  $\gamma = \frac{Y_h}{Y_a}$  անդրադարձման սսիմետրիկության գործակիցն է, որը հավասար է մեկի Լաուէի սիմետրիկ դիֆրակցիայի դեպքում ( $\alpha=0$ ): Հետևաբար ճառագայթումը տարածվում է ցանցում առանց զգալու նշված տիպի դեֆորմացիան: Սակայն, ինչպես դժվար չէ նկատել նկ. 10-ից, դեֆորմացիան բերում է անդրադարձնող հարթությունների անկյունային շեղմանը մուտքի մակերևույթի նկատմամբ, որն էլ իր հերթին բերում է սսիմետրիկության ֆակտորի ոչ մեծ փոփոխությունների մուտքային մակերևույթի երկայնքով: Դրանով էլ բացատրվում է ինտեգրալ գործակիցների թույլ կախվածությունը ջերմային գրադիենտից: Նկատենք, որ նկ.11 գրաֆիկներից երևում է, որ կորերի մոտ մեծ գրադիենտների դեպքում դիտվում է մինիմումի ձգտելու տենդենցը  $\frac{\Delta T}{\Delta x} \approx 20 \frac{\text{սսսս}}{\text{սմ}}$  արժեքի մոտակայքում: Ելնելով դրանից կարելի է հաշվել սսիմետրիկության ֆակտորը և, հետևաբար, նաև հարթությունների պտույտի անկյունը մուտքային մակերևույթի նկատմամբ:

### Հղումների ցանկ

1. R.W. James. The Dynamical Theory of X-Ray Diffraction. Solid state physics, vol.15, p. 53-220(1963)

2. Andre Authier. Dynamical Theory of X-Ray Diffraction. Oxford,(2001)
3. B.W. Batterman, M. Cole. Dynamical diffraction of X-rays by perfect crystals. Rev. Mod. Phys, vol. 36, N 3, p.681-717(1964)
4. N. Kato. Recent development of dynamical theory of diffraction of waves in crystals. J. Phys. soc. Japan. 17 suppl. B2,p.53-60(1962)
5. S. Takagi. Dynamical theory of diffraction applicable to crystals with any kind of small distortion. Acta Crystallogr, vol.15, N 2, p.1311-1312(1962)
6. N. Kato, A.R. Lang. A study of pendellosung fringes in X-Ray diffraction. Acta Crystallogr, vol. 12, p.787-792(1959)
7. N. Kato. A theoretical study of pendellosung fringes. I. general considerations. Acta Crystallogr, vol. 14, p. 526-532(1961)
8. P. Penning, P. Polder. Anomalous Transmission of X-Rays in Elastically Deformed Crystals. Philips Res. Repts , vol.16, N 2, p.419-440(1961)
9. K. Haruta. Intensity of X-ray diffracted from an elastically vibrating single crystal plate. J. Appl. Phys, vol. 38, p.p.3312-3316(1967)
10. A.R.Mkrtchyan, M.A. Navasardian, V.K.Mirzoyan. Full transfer of X-ray single crystal diffraction from the direction of the passage in the direction of the reflection under the influence of gradient temperature. Technical Physics Letters. t 8 in. 11, p. 677-680(1982)
11. F. Balibar, Y. Epelboin and S. Malgrange. Study of the new wave fields appearing in crystals deformed by large thermal gradient. Acta Crystallogr. A. 31, p. 836-840(1975)
12. S.Takagi. X-ray dynamical diffraction process inside a distorted crystal. Z. Naturforsch. A 37, N 5,p. 460-464(1982)
13. Z.G. Pinsker. The X-ray crystal optics. Moscow, Nauka, P.348(1982)
14. P.V.Petrashen, F.N. Chukhovskii. Dynamical Scattering of X-rays in a Crystal with Constant Deformation Gradient. Sov. Phys. JETP, vol. 2, p. 243-248(1975)
15. L.A. Haroutunyan, K.G. Trouni. Opt. Commun., vol. 90, p. 173(1992)
16. Haroutunyan, L.A. and Trouni, K.G., J. Contemp. Phys. (Armenian Academy of Sciences.), vol.34, no.5, p. 14(1999)
17. K.G. Trouni, V.R.Kocharyan, G.R.Grigoryan. On the interference absorption of X-rays in crystals with weak deformations. J. Contemp. Phys. (Armenian Academy of Sciences.), 47 pp 87-92 (2012).
18. A.R. Mkrtchyan, M.A. Navasardian, R.G. Gabrielyan. Focusing x-ray radiation in the presence of the diffracting crystal temperature gradient. Technical Physics Letters, vol. 11, p. 1354-1359(1985)

19. A.R. Mkrtchyan, M.A. Navasardyan, R.G. Gabrielyan. X-ray diffraction focusing by the temperature gradient in the temperature gradient in the Laue geometry. Phys. Lett. A, vol. 116, p. 444-446 (1986).
20. Y. Ando, N. Kato. X-ray diffraction phenomena in elastically distorted crystals. J. Appl. Crystallogr., (1970), vol. 3, p.p. 74-89 (1970)
21. A.E. Blagov, M.V. Kovalchuk, V.G. Kohn, V.V. Lider, Yu. V. Pisarevsky. Possibilities of controlling an X-ray beam with a crystal subjected to long-wave ultrasonic vibrations. Journal of experimental and theoretical physics, vol. 101, No. 5, p. 770-778 (2005)
22. M.V. Kovalchuk, A.V. Targonskii, A.E. Blagov, I.S. Zanaevskina, Yu. V. Pisarevskii. New method for measuring rocking curves in X-ray diffractometry by ultrasonic modulation of the lattice parameter. Crystallography reports, vol. 56, No. 5, P. 828-831 (2011)
23. K.G. Trouni, V.R. Kocharyan, G.R. Grigoryan. On the interference absorption of X-rays in crystals with weak deformations. J. Contemp. Phys. (Armenian Academy of Sciences), 47 pp 87-92 (2012).
24. P.V. Petrashen, E.N. Kislovskii. Experimental study of X-ray diffraction in a bent crystal with a large strain gradient. Phys. State Sol. (a) (1979). 56, N2, p. 663-667 (1979)
25. K.G. Trouni, V.R. Kocharian, G.R. Grigoryan. On the interference absorption of X-rays in crystals with weak deformations. Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), 47, P. 87-92 (2012).

### Հիմնական արդյունքներ

1. Փորձնականորեն իրականացվել է կարճալիքային ռենտգենյան ճառագայթման դիմամիկ դիֆրակցիան տարածական ցանցի դեֆորմացիայի դաշտում ADP և KDP պլեգոէդրակալի բյուրեղներում:

2. Փորձնականորեն դիտվել է դիմամիկ դիֆրակցիային ուղեկցող բոլոր երևույթները, մասնավորապես՝ բորմանյան կամ ինտերֆերենցիոն կլանում, Pendellosung երևույթը, առաջնային և երկրորդային էքստինկցիան, ցանցի աղավաղումների առկայությամբ պայմանավորված ճառագայթային էներգիայի փոխանցման երևույթները թույլ և ուժեղ կլանվող մոդերի, ինչպես նաև, անցնող և անդրադարձած փնջերի ալիքային դաշտերի միջև:

3. Առաջին անգամ փորձնականորեն իրականացվել և հետազոտվել է անդրադարձնող հարթությունների դեֆորմացիայի հովհարատիպ դաշտով ADP

և SiO<sub>2</sub> պլեգոելեկտրական բյուրեղներում դինամիկ դիֆրակցիան: Փորձնականորեն գրանցվել են Լաուեի անցման երկրաչափությամբ պլեգոելեկտրական բյուրեղներում դինամիկ դիֆրակցիայի անդրադարձման ինտեգրալային գործակիցները:

Էքսպերիմենտալ արդյունքները ցույց են տվել, որ ջերմային գրադիենտի աճի արդյունքում այդ գործակիցները որոշ ատոմական հարթությունների համար կարող են աճել ավելի քան 2 անգամ: Գրանցված էքսպերիմենտալ արդյունքներին տրվել են տեսական բացատրություններ:

4. Գրանցվել են ջերմային գրադիենտի ազդեցությամբ բյուրեղներում անդրադարձած ալիքային դաշտերի անդրադարձման ինտեգրալային գործակիցները ատոմական հարթություններին զուգահեռ և ուղղահայաց ջերմային գրադիենտի առկայության պայմաններում:

Ցույց է տրվել, որ ջերմային գրադիենտի ուղղության որոշակի դեպքերում անդրադարձման ինտեգրալային գործակիցներն ունեն մինիմումի կետ: Հիմնվելով իրականացված տեսական հաշվարկների վրա՝ տրվել են կորերի վարքի ֆիզիկական մեկնաբանություններ, այդ վարքը պայմանավորող դինամիկ ցրմանն ուղեկցող երևույթների տեսանկյունից:

5. Որպես արդյունք իրականացված փորձնական հետազոտությունների մշակվել և իրականացվել է բյուրեղական ցանցի կառուցվածքային գործակիցների իրական և, ինչը հատկապես կարևոր է, կեղծ մասերի հաշվարկման մեթոդ, ինչն էլ թույլ է տվել որոշել ցանցի կոմպլեքս կառուցվածքային ֆակտորները:

6. Գրանցվել են հետազոտվող պլեգոելեկտրական բյուրեղների անդրադարձման և անցման, ինչպես նաև գումարային ճոճման կորերը: Դիտվել է անդրադարձման ճոճման կորերի մաքսիմումի ընդհանուր աճ և կորերի մաքսիմումի շեղում կախված կիրառված ջերմային գրադիենտի չափից, ինչպես նաև, կորերի կիսալայնության աճ և ճոճանակային էֆեկտով (Pendellosung) պայմանավորված կորերի տատանումների աստիճանական մարում: Տրվել են կորերի այդպիսի վարքի ֆիզիկական մեկնաբանությունները:

Կատարվել է փորձնականորեն գրանցված և հաշվարկային ճոճման կորերի համեմատական վերլուծություն և գրանցվել նրանց միջև բավարար համաձայնություն:

## General Results

1. Experimentally implemented short-wavelength X-ray dynamic diffraction in crystal net with weak deformation field in ADP and KDP piezoelectric crystals.
2. Practically all phenomena accompanying dynamic diffraction have been observed, in particular the Borrmann or Interference absorption phenomenon, Pendellosung effect, the primary and secondary extinction, the radiative energy transmission between of weak and strong absorbed modes, as well as wave energy transfer between transmitted and reflected waves.
3. For the first time has been experimentally tested and investigated dynamic diffraction phenomena in piezoelectric crystals with a fan shaped deformation of reflecting atomic planes. Rocking curves of the reflectivity for ADP and SiO<sub>2</sub> crystals under the influence of temperature gradient in Laue-case geometry has been registered and observed that an increase in the temperature gradient lead to an increase of reflectivity and also a slight increase in width of rocking curves.

We used the asymptotic solution of dynamical diffraction of X-ray wave in crystals with weak deformation and our theoretical results were consistent with experimental results.

4. The integral coefficients of reflection of wave fields in crystals affected by thermal gradient have been recorded in cases of a parallel and perpendicular thermal gradient to the diffraction vector. Based on the theoretical calculations made, physical interpretations of the behavior of the curves have been provided in terms of the phenomena accompanying the dynamic scattering.
5. In a certain temperature gradient applied perpendicular to the reflecting atomic planes, it was observed that the integrated intensity of reflected beam of X-ray from single piezoelectric crystal in the Laue transmission geometry has a minimum value.

As a result of studies the method has developed and implemented for calculation of the real and, most importantly, imaginary parts of structural coefficients of lattice, which has allowed determining the complex structural factors of the crystal net.

6. The reflection and transmission coefficients of the studied piezoelectric crystals, as well as the summary diffracted waves rocking curves, were recorded. A comparative analysis of experimentally recorded and computational rocking curves was performed and sufficient agreement was recorded between them.



## Основные результаты

1. Экспериментально реализовано явление динамической дифракции коротковолнового рентгеновского излучения в пьезоэлектрических кристаллах ADP и KDP со слабдеформированным полем деформации пространственной решетки этих кристаллов.
2. Наблюдены практически все явления сопровождающие динамическую дифракцию: бормановское или аномальное интерференционное, Pendellosung эффект, первичная и вторичная экстинкция, явления переноса энергии между полями слабо и сильнопоглощающихся полей, обусловленные полем полем деформации.
3. Впервые экспериментально реализована и исследована динамическая дифракция в кристалле с веерообразным полем деформации. Измерены интегральные коэффициенты отражения кристаллов под влиянием температурного градиента перпендикулярного к атомным плоскостям. Результаты экспериментов показывают, что с ростом температурного градиента эти коэффициенты увеличиваются на более чем 100%. Выявлены особенности поведения этих коэффициентов и дана их теоретическая интерпретация.
4. Измерены интегральные коэффициенты отражения кристаллов под влиянием температурного градиента перпендикулярного и параллельного атомным плоскостям. Выявлены особенности поведения этих коэффициентов в модах с учетом переноса энергии между модами, а также между полями отраженных и проходящих волн из-за наличия деформационного поля решетки. Выявлена роль этих явлений в формировании дифракционного поля кристалла. Зарегистрированы интегральные коэффициенты отражения в зависимости от величины и направления температурного градиента и параметров решетки исследуемых кристаллов. В частности, дана теоретическая интерпретация появлению минимума в интегральном коэффициенте зависимости от температурного градиента, с учетом явлений формирующих дифракционное поле кристалла.
5. Как результат проведенных экспериментальных исследований разработан и реализован метод определения реальных и, что особенно важно, мнимых частей, структурных факторов исследуемых кристаллов, что позволило определить комплексные структурные факторы решетки.

6. Зарегистрированы кривые качания отраженных и проходящих волн рентгеновских лучей, а также полная кривая качания суммарного коэффициента дифракции. Дана интерпретация поведения этих кривых на основе теории дифракции со слабым полем деформации. Проведено сравнение экспериментально зарегистрированных и теоретических кривых качаний и установлено хорошее согласие между ними.

### Հրատարակված աշխատանքների ցանկ

1. V.Gh.Mirzoyan, K.G. Trouni, P.A.Grigoryan, K.M. Gevorgyan, M.Ghannad Dezfouli. Dynamical Diffraction of X-rays in ADP single crystals under influence of temperature gradient. Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), vol.49, issue 2, pp.74-79, (2014)
2. M.Ghannad Dezfouli, K.G. Trouni, V.Gh.Mirzoyan, Experimental determination of real and imaginary parts of Fourier-coefficients of polarizability of ADP and KDP crystals by dynamical diffraction of x-ray. Armenian Journal of Physics vol.7, issue 4, pp. 213-217 (2014)
3. M.Ghannad Dezfouli, K.G. Trouni, V.R. Kocharyan. Investigation of rocking curves of reflection on single crystals of ADP under influence of temperature gradient. Armenian Journal of Physics, vol.7, issue 4, pp.218-223 (2014)
4. K.G. Trouni, V.Gh.Mirzoyan, M.Ghannad Dezfouli, P.A.Grigoryan. Dynamical diffraction of X-rays in Quartz-single crystal with a fan shaped deformation. Armenian Journal of Physics vol.9, issue 4, pp.275-288 (2016)
5. M.Ghannad Dezfouli. Dynamical diffraction of X-rays in single crystal ADP with a fan shaped crystal. Journal of Engineering and Applied Sciences, vol.13, 9, pp. 2518-2520 (2018)

### Ձեկույցներ միջազգային կոնֆերանսներում

1. V.Gh.Mirzoyan, K.G.Trouni, M.Ghannad Dezfouli. The intensity of the diffracted X-rays from single ADP crystal in the presence of temperature gradient. XTOP 2012, Biennial Conference on High Resolution X-ray Diffraction Imaging. Book of abstracts p.261, Saint- Petersburg, Russian Federation (2012)

2. K. G. Trouni, V. Gh. Mirzoyan. M. Ghannad Dezfouli and P. A. Grigoryan. Integral reflection coefficients for the dynamic scattering of X-ray in weakly deformed crystals. III International Conference Electron, Positron, Neutron and X-ray scattering under external influences. Meghri, P. 95(2013)

3. K. G. Trouni, M. Ghannad Dezfouli. Integrated intensity for the dynamic diffraction of thermal Neutrons in weakly deformed crystals. III International Conference Electron, Positron, Neutron and X-ray scattering under external influences. Meghri, P. 84(2013)

4. V. Gh. Mirzoyan, K. G. Trouni, P. A. Grigoryan, K. M. Gevorgyan, M. Ghannad Dezfouli. Dynamical diffraction of X-ray on ADP single crystal under the influence of thermal gradient. III International Conference Electron, Positron, Neutron and X-ray scattering under external influences. Meghri, P. 91(2013).