

## Маратова Аида Гафурқызының

«8D05301 - Физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD)  
«CsI, RbI, KI және KCl монокристаллдарының тор симметриясы төмендеген  
кездегі спектроскопиялық қасиеттерінің ерекшеліктері» тақырыбы бойынша  
диссертациясының

### АҢДАТПАСЫ

#### Тақырыптың өзектілігі.

Сілтілі галоидты кристалдар (СГК) негізінде анионды торда электронды қозудың (ЭК) іргелі заңдылықтары құрылды, олар: құрылу, миграция, өздігінен қармалу және одан әрі сәуле шығару (өздігінен қармалған экситондардың (ӨҚЭ)  $\sigma$ - және  $\pi$ - люминесценциялары), сәулелік емес релаксация (бастапқы радиациялық ақауларға ыдырау-  $F$ ,  $H$  және  $\alpha$ ,  $I$ ). Тордың симметриясын төмендету кристалдық тордың нүктелік бұзылыстарына байланысты мүмкін болады: әртүрлі мөлшердегі және зарядтағы қоспаларды, дислокацияны, вакансиялық ақауларды, сондай-ақ пластикалық және серпімді деформацияны енгізу арқылы.

ӨҚЭ-ның ыдырау алды жағдайы, оның ядросы – молекулалық түзілуі ( $X_2^-$ ) болып табылады, бұл қоршаған кристалл түзуші бөлшектердің симметриясының өзгеруіне өте сезімтал, және СГК торының симметриясының төмендеуіне әкеледі.

Белгіленген идеяларға сәйкес, электронды және кемтік ішкі жүйелерінің массалық орталықтарының ығысуына байланысты, СГК-ның меншікті люминесценциясын үш түрлі ӨҚЭ конфигурациясымен жіктеуге болады: I – тип (on), II – тип (weak off) және III – тип (strong off).

Тордың симметриясын деформация арқылы төмендеткен кезде, СГК қасиеттерін кванттық шығуды күшейтудің негізінде сцинтилляциялық детекторлар жасауға мүмкіндік беретін етіп өзгертуге болады. Бұл ретте радиациялық ақаудың түзілу тиімділігін күшейту СГК дозиметриялық материалдар ретінде қолдануға мүмкіндік берді.

Осыған байланысты, СГК-ға негізделген сцинтилляторларда люминесценцияның ең жоғары кванттық шығуы болатын жағдайлар жасау қажет болып табылады. Осындай жағдайлардың бірі – экситондардың еркін жолының ұзындығын едәуір қысқартатын бір осьті деформацияның әсері. Бұл жағдайда олардың радиациялық жойылуымен тордың тұрақты түйіндерінде өздігінен қармалу ықтималдығы күрт артады және қоспалар центрінің жарық интенсивтілігі төмендейді. Бір осьті деформацияны қолдану әдісінің ерекшелігі, сол жағдайда қоспаға электронды қозу энергиясын беру мүмкіндігі нашарлайды.

Бағытталған төмен температуралы деформацияның әсері СГК-дың меншікті люминесценциясын күшейтуге ықпал етеді, бұл өз кезегінде берілген сцинтилляциялық сипаттамалары бар заманауи материалдарды ойлап табу технологияларын дамытуға ықпал етеді.

Пластическая деформация, өздеріңіз білетіндей, СГК-да әртүрлі процестердің (қайтымды және қайтымсыз) жүруін тудырады, нәтижесінде әртүрлі деформациялық ақаулар пайда болады. Пластическая деформация кезінде дислокациялардың өзара әсерлесуі кезінде кристалда электробейтараптылығын сақтау үшін дивакансия пайда болады. Пластическая деформацияның қоспалық және вакансиялық ақаулары галогенді радиациялық ақауларды тұрақтандыруға арналған тұзақтардың рөлін атқарады, нәтижесінде дивакансияға жақын түйінаралық атомдарды біріктіру процесінде  $X_3^-$  – орталықтардың пайда болу мүмкіндіктері артады.

Төмен температуралы серпімді бір осьті деформация вакансия ақауларын тудырмайды, тек тордың параметрлерін өзгертеді. Сонымен бірге, экситонның кемтіктік компонентіндегі элементтердің ( $X_2^-$ ) симметриялы орналасуына байланысты СГК-да экситондардың сәулелік аннигиляциялану процесіне айтарлықтай әсер етеді.

CsI, RbI, KI және KCl кристалдары зерттеу объектісі ретінде мақсатты түрде таңдалды. Біріншіден, бұл бұрын жақсы зерттелген кристалдар, олар үшін қозу релаксациясының негізгі заңдылықтары толық зерттелген. Екіншіден, олар көптеген қасиеттерде айтарлықтай ерекшеленеді, олардың ішінде электронды қозулардың қозғалу, деформациялық ақауларды құру тиімділігі, радиацияның әсеріне сезімталдық және т. б. Біздің эксперименттік мүмкіндіктерімізге сәйкес келетін 80 К температурада CsI (350 а) → KI (235 а) → RbI (150 а) → KCl (2а) кристалдар қатарындағы өздігінен қармалғанға дейін аниондық экситондардың еркін жолының ұзындығы айтарлықтай ерекшеленеді, бұл люминесцентті қасиеттерді СГК радиациялық ақауларының пайда болу тиімділігімен зерттеу үшін өте маңызды (а- тор тұрақтысы).

RbI→KI→CsI кристалдарының қатарында экситондардың еркін жолының ұзындығы артады, бұл олардың люминесцентті процестерге қатысу ықтималдығын арттырады, бұл кристалдардың меншікті люминесценциясын окшаулау үшін өте маңызды. Иондаушы сәулеленумен құрылған KCl (2а) кристалында экситондар торда кедергісіз өздігінен қармалады және ӨҚЭ люминесценциясы 2,3 эВ кезінде 80 К толығымен сөндіріледі. Мұндай кристалдарда төмен температуралы біросьті деформацияның әсерінен меншікті люминесценция интенсивтілігінің артуын күту қиын.

Экситонның меншікті люминесценциясының интенсивтілігі серпімді деформация дәрежесінің өсуімен артуы тиіс, ал қоспалық люминесценцияның интенсивтілігі, керісінше, жойылғанға дейін төмендейді. Өйткені тордың тұрақты түйіндерінде олардың өздігінен қармалу механизмі есебінен экситондардың энергиясын қоспаға беру процесі нашарлайтын болады.

Серпімді деформацияның әсерінен экситондардың өздігінен қармалуының әсері СГК люминесценциясының меншікті сипатын орнатуға ғана емес, сондай-ақ ӨҚЭ конфигурациясына әсер етуге мүмкіндік береді.

Осылайша, зерттеу объектілерін осындай қарама-қарсы таңдау арқылы (CsI, RbI, KI және KCl) радиациялық релаксацияның ерекшеліктерін және төмен температуралы бір осьті деформациямен стимуляцияланған радиациялық ақаулардың пайда болуын анықтауға болады.

Осыған байланысты таңдалған тақырыптың өзектілігінің негізгі ғылыми мәселесі – радиациялық ақаулардың пайда болуымен люминесцентті канал мен ӨҚЭ ыдырау арнасының тиімділігін мақсатты басқару үшін ӨҚЭ-ның алдын-ала күйіне тікелей әсер ету жолдарын табу болып табылады.

**Диссертациялық жұмыстың мақсаты** – люминесценттік, термоактивациялық және абсорбциялық спектроскопияның эксперименттік әдістерін қолдана отырып, төмен температуралы бір осьті деформация есебінен тор симметриясы төмен CsI, RbI, KI және KCl кристалдарында сәуле шығару табиғатының ерекшеліктері мен радиациялық ақаулардың пайда болу механизмдерін анықтау.

Мақсатқа жету үшін келесі **негізгі міндеттер** қойылды:

1. ТСЛ және ТЛ интегралдық және спектрлік параметрлерін бір мезгілде зерттеу үшін екі тәуелсіз тіркеу каналдарын сезімталдығы жоғары цифрлық технология негізінде синхронизациялау.

2. Төмен температуралы бір осьті деформацияның тор симметриясын төмендету кезінде CsI, RbI, KI және KCl кристалдарындағы люминесценцияның табиғатын люминесценттік және термоактивациялық спектроскопиясының эксперименттік әдістерімен зерттеу.

3. Абсорбциялық спектроскопияның эксперименттік әдісімен төмен температуралы бір осьті деформацияның тор симметриясын төмендету кезінде RbI, KI және KCl кристалдарында радиациялық ақаулардың пайда болу механизмдерін зерттеу.

4. Бір осьті деформация кезінде RbI, KI, KCl және CsI кристалдары үшін *H*-түйіндік орталығының өлшеміне негізделген радиациялық ақау түзілу тиімділігін бағалаудың стехиометриялық моделін жасау.

5. Сілтілі галоидты кристалдардағы электрон козу релаксациясының заңдылықтарын талдау және олардың негізінде тор симметриясының төмендеуімен CsI, RbI, KI, және KCl кристалдарының спектроскопиялық қасиеттерінің ерекшеліктерін түсіндіру.

**Зерттеу нысаны** – CsI, RbI, KI және KCl кристалдарында радиациялық ақаулардың қалыптасуымен, олардың торының симметриясының бір осьті төмен температуралы (85 К) деформациясымен аяқталатын электрондық козулардың релаксация ерекшеліктері.

**Зерттеу пәні** – бір осьті төмен температуралы (85 К) деформацияның тор симметриясын төмендету кезінде CsI, RbI, KI және KCl кристалдарында люминесценцияның табиғаты мен радиациялық ақаулардың пайда болу механизмдері.

**Зерттеу әдістері** – төмен температуралы бір осьті деформацияны қолдану арқылы люминесценттік, термоактивациялық және абсорбциялық спектроскопияның эксперименттік әдістері, сондай-ақ CsI, RbI, KI және KCl кристалдарында радиациялық ақаулардың түзілуін бағалау үшін ЖЦК және

КЦК галоген атомдарының өлшемдерін ( $R_a^0$ ) түйінаралық өлшемдерімен ( $R_{max}$ ) салыстыру арқылы  $H$ -түйіндік орталығын тұрақтандырудың тиімділігін болжау.

**Ғылыми жаңалығы** – люминесценттік және абсорбциялық спектроскопияның алғаш рет мынандай эксперименттік әдістерін қолдануында:

1. Симметриялық конфигурациялы (on) 4,27 эВ ӨҚЭ-мен бір мезгілде люминесценцияны басумен бірге төмен температуралы (85 К) бір осьті серпімді деформациясы бар тор симметриясының төмендеуі кезінде CsI кристалдарында асимметриялық конфигурациясы (weak off) бар 3,67 эВ ӨҚЭ кезінде люминесценция интенсивтілігінің күшеюі белгіленген.

2. RbI (3,1 эВ) және KI (3,05 эВ) кристалдарында төмен температуралы (85 К) бір осьті серпімді деформация дәрежесінің жоғарылауы кезіндегі  $E_x$ -люминесценциясының табиғаты ӨҚЭ-ның меншікті  $\sigma$ ,- және  $\pi$ -люминесценцияларының әсерінен интенсивтілігінің корреляциялық артуы негізінде анықталды.

3. RbI және KI кристалдарында  $H$ -түйінді орталық пен түйінаралық бастық өлшемдерін салыстыру негізінде түсіндірілетін жағы центрленген (NaCl типті) және көлемі центрленген (CsCl типті) кристалдар үшін төмен температуралы (85 К) бір осьті серпімді деформацияның әсерінен тұрақты сәулелену ақауларының концентрациясының төмендеуінің әсері табылды.

**Практикалық маңызы.** Сілтілі галоидты кристалдардың туннельдік люминесценция интенсивтілігінің уақыт пен спектрлік тәуелділігін синхронды тіркеудің бірегей әдісі әзірленді (22.10.2022, № 6563 ҚР пайдалы модельге патент).

Авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтардың мемлекеттік тізіліміне ақпарат енгізу туралы куәлік фотолюминесценция, рентгенлюминесценция, туннельдік люминесценция және сілтілі галоидты кристалдардың термостимуляцияланған люминесценция спектрлерін тіркеудің сандық технологиясы бойынша алынды (26.10.2020, № 12826).

Тор симметриясының төмендеуі кезінде СГК-да ЭҚ релаксациясын зерттеудің зияткерлік өнімдері СГК негізіндегі сцинтилляциялық детекторларды әзірлеу үшін ғылыми негіз болып табылады. СГК-сцинтилляторға сіңірілген иондаушы сәулелену энергиясын люминесценция орталықтарына берудің негізгі тетігі экситон тәрізді қозулардың пайда болуымен байланысты, олардың миграциясы активаторларға ауысуы және сцинтилляцияның тиімді қозуына әкеледі.

#### **Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер:**

1. Төмен температуралы (85 К) бір осьті серпімді деформациялық тор симметриясының төмендеуі кезінде CsI кристалдарында симметриялық конфигурациялы (on-center) 4,27 эВ ӨҚЭ-мен бір мезгілде люминесценцияны бәсеңдетумен қатар, асимметриялық конфигурациялы (weak off-center) 3,67 эВ ӨҚЭ кезінде люминесценция интенсивтілігінің күшеюі эффектісі.

2. RbI (3,1 эВ) және KI (3,05 эВ) кристалдарындағы симметрия төмендеуі кезінде тордың тұрақты түйіндерінде ӨҚЭ сәулелі релаксациясымен түсіндірілетін, бір осьті серпімді деформацияның әсерінен анықталған  $E_x$ -люминесценциясының меншікті табиғаты туралы эксперименттік факт.

3. Төмен температуралы (85 К) бір осьті серпімді деформацияның әсерінен KI және RbI кристалдарындағы тұрақты радиациялық ақаулардың пайда болуын төмендетудің эксперименттік эффектісі, бұл эффект жағы центрленген (NaCl типті) және көлемі центрленген (CsCl типті) кристалдар үшін  $H$ -түйінді орталық пен түйінаралық бастық өлшемдерін салыстыру негізінде түсіндірілді.

Диссертациялық жұмыста тұжырымдалған ғылыми ережелердің нәтижелері мен қорытындыларының **сенімділігі** эксперименттік нәтижелердің конденсацияланған күй физикасының іргелі ережелерімен абсолюттік келісімімен, сондай-ақ сілтілі галоидты кристалдардың туннельдік люминесценция интенсивтілігінің уақытқа және спектрлік тәуелділігін синхронды тіркеу тәсілін төмен температураларда кристалдарды деформациялауға мүмкіндік беретін арнайы криостатпен үйлесімде (ҚР 30.06.2004 ж. №14831, 03.08.2012 ж. № 26141, 19.06.2014 ж. № 28731 патенттері) қолданумен расталады (№ 6563 пайдалы модельге патент, 22.10.2021 ж.; авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтардың мемлекеттік тізіліміне ақпарат енгізу туралы куәлік № 12826, 26.10.2020 ж.; 12980, 03.11.2020 ж.)

Жұмыстың негізгі бөлігі Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің «Материалдардың радиациялық физикасы» ғылыми орталығының базасында жүргізілді.

Талқылау және алынған эксперименттік нәтижелерді кейіннен интерпретациямен өңдеу Эстониядағы Тарту университетінің Физика институтының «Иондық кристалдар физикасы» зертханасында профессор Луцик А.Ч-тың тікелей басшылығымен өткізілді.

**Тақырыптың ғылыми жұмыс жоспарларымен байланысы.** Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі қаржыландыратын 2020-2022 жылдарға арналған ЖТН АР08855672 «Сілтілі галоидты кристалдар негізінде функционалдық материалдардың люминесцентті сипаттамаларын жақсарту мақсатында электрондық қозудың сәуле шығару релаксациясына бағытталған әсер ету», сондай-ақ 2021-2023 жылдарға арналған жас ғалымдардың ЖТН АР09057911 «Гомологты катиондармен белсендіру және төмен температуралық деформация кезінде KI, RbI және CsI кристалдарының люминесценция механизмдерін тәжірибелік зерттеу» гранттық жобалары аясында орындалды.

**Жұмысты апробациялау.** Зерттеудің негізгі нәтижелері келесі конференцияларда баяндалып, талқыланды:

– 7<sup>th</sup> International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects, EFRE 2020 (Томск, Ресей Федерациясы, 14-26 қыркүйек 2020);

- 13<sup>th</sup> International conference Functional Materials & Nanotechnologies, FMNT 2020 (Вильнюс, Литва, 23-26 қараша 2020);
- European Materials Research Society, E-MRS 2021 (Франция, Лион, 31 мамыр - 3 маусым 2021);
- 11<sup>th</sup> International Conference on Luminescent Detectors and Transformers of Ionizing Radiation (12-17 қыркүйек 2021, Быдгощ, Польша).

**Жарияланымдар.** Диссертацияда ұсынылған зерттеу нәтижелері бойынша 11 ғылыми жұмыс жарияланды, оның ішінде: Web of Science дерекқорларындағы Science Citation Index Expandedпен индекстелген 4 мақала және (немесе) Scopus дерекқорында кемінде 25 CiteScore процентиімен рецензияланған ғылыми жарияланымдарда; 1 пайдалы модельге патент; 1 авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтардың мемлекеттік тізіліміне мәліметтерді енгізу туралы куәлік; Қазақстан Республикасының басқа журналдарында 3 мақала.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Зерттеу мақсатына, міндеттеріне және орындалған жұмыс көлеміне сәйкес диссертациялық жұмыс кіріспеден, бес тараудан, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшадан тұрады. Диссертациялық жұмыс 38 суреттен, 9 кестеден және 111 атаудан тұратын библиографиядан тұрады.

**Диссертацияның негізгі мазмұны.**

**Кіріспеде** диссертациялық жұмыстың өзектілігі және оның негізгі ережелері келтірілген.

**Бірінші бөлім бойынша қорытындылар:**

Люминесценция табиғатының қазіргі күйін және СГК-да радиациялық ақаулардың пайда болу механизмдерін талдау келесі негізгі заңдылықтарды анықтауға мүмкіндік береді:

1. Меншікті люминесценция және СГК-дағы алғашқы радиациялық ақаулар бір актіде анион экситонының өздігінен қармалған күйінен кейінгі еркін электронды қозудың релаксациясы кезінде пайда болады, оның ыдырау алды жағдайы  $X_2^- e^-$  түзуге сәйкес келеді.

2. Сәуле релаксациясы жүретін СГК торындағы ӨҚЭ ( $X_2^- e^-$ ) құрылымының нүктелік-симметриялық тәуелділігі төмен температуралы бір осьті деформация әсер еткен кезде өзінің люминесценциясын зерттеуге арналған бірегей платформа болып табылады.

3. Бастапқы радиациялық ақаулар ( $F$ ,  $H$ ,  $\alpha$  және  $I$  – орталықтар) пайда болатын СГК торындағы ӨҚЭ ( $X_2^- e^-$ ) құрылымының нүктелік-симметриялық тәуелділігі төмен температуралы бір осьті деформацияға ұшыраған кезде радиациялық ақаулардың пайда болу механизмдерін зерттеуге арналған бірегей платформа болып табылады.

4. KI, RbI, CsI және KCl кристалдары үшін салыстырмалы деформация дәрежесінің температуралық тәуелділігі жүйеленген, оның негізінде серпімді механикалық кернеу аймағы, сондай-ақ сыртқы әсер болмаған кезде сызықтық сығу (кеңею) коэффициентінің температуралық тәуелділігі анықталған.

## **Екінші бөлім бойынша қорытындылар:**

1. Төмен температуралы деформацияны жүзеге асыратын арнайы криостатпен үйлесімде жұмыс істейтін көпфункционалды спектрлік кешен рентгенлюминесценция (РЛ), туннельдік люминесценция (ТЛ), термостимуляцияланған люминесценция (ТСЛ) спектрлерін, сондай-ақ туннельдік люминесценция мен интегралды термостимуляцияланған люминесценция спектрлерін тіркеуге мүмкіндік береді.

2. Аппаратураның спектрлік аймағы (2,0÷6,0 эВ) тұрақты тор түйіндерінде де, сондай-ақ нүктелік және төмен температуралы деформация өрісінде де SGK өздігінен қармалған экситондардың люминесценция диапазонына толық сәйкес келеді.

3. «Evolution-300» спектрофотометр базасында температураның кең интервалында (85-400 К) бір осьті (серпімді/пластикалық) деформация және радиация әсері кезінде кристалдардың абсорбциялық сипаттамаларын тіркеу бойынша эксперименттік қондырғы әзірленді.

4. Криостатта жоғары техникалық вакуумды ( $2,66 \cdot 10^{-3}$  Па) алудың бірегей жүйесі әзірленді, ол техникалық майдың буын ұстауға арналған арнайы азот тұзақтарымен жабдықталған форвакуумдық және адсорбциялық сорғылармен жүйелі айдау жолымен төмен температураларда (85 К) кристалдардың деформациясын жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

## **Үшінші бөлім бойынша қорытындылар:**

1. Люминесценттік спектроскопияның эксперименттік әдісімен CsI кристалдарындағы төменгі температуралы (83 К) бір осьті серпімді деформация ( $\epsilon=0,5 \div 0,7\%$ ) тор симметриясының төмендеуі кезінде өздігінен қармалған экситондардың сәулелі релаксациясының ерекшеліктері зерттелді және серпімді деформация мен иондаушы сәулелену көздеріне меншікті люминесценцияның сезімталдық әсері (4,27 эВ және 3,67 эВ) анықталды.

2. Серпімді деформацияланған CsI кристалдарының люминесценция интенсивтілігінің артуы асимметриялық конфигурациясы бар (weak off) 3,67 эВ ӨҚЭ кезінде симметриялық конфигурациясы бар (on) 4,27 эВ ӨҚЭ кезінде люминесценцияны бір мезгілде басу кезінде люминесценцияның артуы есебінен жүретіні анықталды.

3. Серпімді деформация кезінде CsI люминесценциясының температуралық тәуелділігін зерттеу on (4,27 эВ) - және weak off (3,67 эВ) ӨҚЭ конфигурациялары арасында активациялау энергиясын ( $\Delta=8$  мэВ) анықтауға мүмкіндік берді.

## **Төртінші бөлім бойынша қорытындылар:**

1. Рентгенлюминесценция спектрлері эксперименттік әдіспен тіркелді, оның негізінде 85 К температурада RbI (3,9 эВ ( $\sigma$ ), 3,1 эВ ( $E_x$ ) және 2,3 эВ ( $\pi$ ) және KI (4,16 эВ ( $\sigma$ ), 3,05 эВ ( $E_x$ ) және 3,3 эВ ( $\pi$ ) кристалдарындағы тор симметриясының төмендеген кездегі, CsI кристалынан басқа, барлық люминесценция жолақтарының интенсивтілігінің серпімді деформацияның күшейтуші әсері көрсетілді.

2. RbI (3,1 эВ) және KI (3,05 эВ) кристалдарындағы  $E_x$ -люминесценцияның өзіндік табиғаты оның интенсивтілігінің меншікті  $\sigma$ -

және  $\pi$ -люминесценцияларымен корреляцияланған өсуі негізінде төмен температуралы (85 К) бір осьті серпімді деформация дәрежесінің өсуі кезінде анықталған.

3. Тұрақты тор түйіндерінде анионды экситондардың өздігінен қармалу ықтималдығын арттыратын бір осьті серпімді деформация әдісі RbI (3,1 эВ) және KI (3,05 эВ) кристалдарындағы  $E_x$ -люминесценция табиғаты туралы тарихи даулы мәселені өзінің люминесценциясының пайдасына шешуге мүмкіндік берді.

4. RbI және KI кристалдарында эксперименттік түрде ТСЛ және ТСЛ спектрлерін тіркеу бойынша галогеннің түйінаралық атомдары қауымдастығы кезінде түзілетін үш галоидті  $I_3^-$  - орталықтардың (370-390 К) орнына нүктелік радиациялық ақаулардың (108 К) және  $F'$ -орталықтардың (105 К) жоғары концентрациясы белгіленген.

### **Бесінші бөлім бойынша қорытындылар:**

Люминесценттік және абсорбциялық спектроскопияның эксперименттік әдістерімен, сондай-ақ галоген ( $R_a^0$ ) атомдарының өлшемдерін түйінаралық ( $R_{\max}$ ) өлшемдерімен салыстыру арқылы  $H$ -түйіндік орталықтарын тұрақтандыру тиімділігін бағалау бойынша мынадай негізгі заңдылықтар белгіленген:

1. 85 К температурада қолданылатын бір осьті серпімді деформация KI және RbI кристалдарында радиациялық ақаулардың ( $V_2$  және  $F$  - орталықтардың) пайда болу тиімділігін төмендетеді, ал KCl кристалдарында радиациялық ақаулардың ( $V_2$ ,  $V_4$  және  $F$ -орталықтардың) шоғырлануы төмен температуралы бір осьті деформация дәрежесіне байланысты емес. KI және RbI кристалдарындағы тұрақты радиациялық ақаулардың пайда болуының төмендеу әсері тордың ( $R_a^0 > R_{\max}$ ) түйінаралық қуыстарына  $H$ -түйіндік орталығын орналастыру мүмкін еместігімен түсіндіріледі.

2. KCl матрицасында жеңіл литий катионын (Li) легирлеу нәтижесінде пайда болған нүктелік деформация KCl-Li кристалдарында радиациялық ақаулардың ( $V_2$  және  $F$  - орталықтары) пайда болу тиімділігін арттырады.

3. Нүктелік вакансиялық ақауларын ( $\nu_a^+ \nu_c^-$ ) тудыратын пластикалық деформация KCl таза кристалдарындағы  $V_2$ ,  $V_4$ -орталықтары сияқты галогендік радиациялық ақауларды радиациялық стимуляциялауға ықпал етеді.

4. Жағы центрленген (NaCl типті) және көлемі центрленген (CsCl типті) СГК үшін бір осьті серпімді деформация кезіндегі  $H$ -түйіндік орталығының өлшемділігі негізінде радиациялық ақаулардың тиімділігін бағалаудың жартылай сандық талдауы жасалды.

5. Екі түйінаралық галоген атомдарының ( $H$ -түйіндік орталығының) өзара әрекеттесу механизмі негізінде төмен температуралы (85 К) бір осьті серпімді, нүктелік (Li) және бір осьті пластикалық деформация симметриясының төмендеуімен KI, RbI және KCl кристалдарындағы радиациялық ақаулардың тиімділігі түсіндірілді.



## Қорытындыда негізгі нәтижелер келтірілген:

1. Люминесценттік спектроскопияның эксперименттік әдісімен серпімді деформацияланған CsI кристалдарының люминесценция интенсивтілігінің артуы асимметриялық конфигурациясы бар (weak off) 3,67 эВ ӨҚЭ кезінде симметриялық конфигурациясы бар (on) 4,27 эВ ӨҚЭ кезінде бір мезгілде люминесценцияны басу кезінде люминесценцияның артуы есебінен жүретіні анықталды.

2. Серпімді деформация кезінде CsI люминесценциясының температуралық тәуелділігін зерттеу on (4,27 эВ) - және weak off (3,67 эВ) ӨҚЭ конфигурациялары арасында активациялық энергиясын ( $\Delta=8$  мэВ) анықтауға мүмкіндік берді.

3. Рентгенлюминесценция спектрлері эксперименттік әдіспен тіркелді, оның негізінде 85 К температурада RbI (3,9 эВ ( $\sigma$ ), 3,1 эВ ( $E_x$ ) және 2,3 эВ ( $\pi$ ) және KI (4,16 эВ ( $\sigma$ ), 3,05 эВ ( $E_x$ ) және 3,3 эВ ( $\pi$ ) кристалдарындағы тор симметриясының төмендеген кездегі, CsI кристалынан басқа, барлық люминесценция жолақтарының интенсивтілігінің серпімді деформацияның күшейтуші әсері көрсетілді.

4. RbI (3,1 эВ) және KI (3,05 эВ) кристалдарындағы  $E_x$ -люминесценцияның өзіндік табиғаты оның интенсивтілігінің меншікті  $\sigma$ - және  $\pi$ -люминесценцияларымен корреляцияланған өсуі негізінде төмен температуралы (85 К) бір осьті серпімді деформация дәрежесінің өсуі кезінде анықталған.

5. RbI және KI кристалдарында эксперименттік түрде ТСЛ және ТСЛ спектрлерін тіркеу бойынша галогеннің түйінаралық атомдары қауымдастығы кезінде түзілетін үш галоидті  $I_3^-$ -орталықтардың (370-390 К) орнына нүктелік радиациялық ақаулардың (108 К) және  $F'$ -орталықтардың (105 К) жоғары концентрациясы белгіленген.

6. 85 К температурада қолданылатын бір осьті серпімді деформация KI және RbI кристалдарында радиациялық ақаулардың ( $V_2$  және  $F$  - орталықтардың) пайда болу тиімділігін төмендетеді, ал KCl кристалдарында радиациялық ақаулардың ( $V_2$ ,  $V_4$  және  $F$ -орталықтардың) шоғырлануы төмен температуралы бір осьті деформация дәрежесіне байланысты емес. KI және RbI кристалдарындағы тұрақты радиациялық ақаулардың пайда болуының төмендеу әсері тордың ( $R_a^0 > R_{\max}$ ) түйінаралық қуыстарына  $H$ -түйінік орталығын орналастыру мүмкін еместігімен түсіндіріледі.

7. KCl матрицасында жеңіл литий катионын (Li) легирлеу нәтижесінде пайда болған нүктелік деформация KCl-Li кристалдарында радиациялық ақаулардың ( $V_2$  және  $F$  - орталықтары) пайда болу тиімділігін арттырады.

8. Нүктелік вакансиялық ақауларын ( $\nu_a^+ \nu_c^-$ ) тудыратын пластикалық деформация KCl таза кристалдарындағы  $V_2$ ,  $V_4$ -орталықтары сияқты галогендік радиациялық ақауларды радиациялық стимуляциялауға ықпал етеді.