

## Убаев Жигер Картбаевичтің

**«6D060400 - Физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD)  
«Серпімді деформация және жеңіл катионды-гомолог өрісіндегі  
NaCl, KCl, KI және RbI кристалдарының экситон тәрізді  
люминесценциясы» тақырыбы бойынша диссертациясының**

### АНДАТПАСЫ

#### **Тақырыптың өзектілігі.**

Сілтілігалоидты кристалдар (СГК) әртүрлі материалдардағы физикалық процестерді зерттеуге арналған «модельдік нысандар» болып табылады және олардың тартымдылығы көп функциялы мақсаттарға арналған материалдар ретінде маңызды техникалық қосымшалармен негізделген. LiF және NaF кристалдары вакуумдық ультракүлгін сәуледен инфрақызыл аймаққа дейін (95-1500 нм) кең спектрде жоғары оптикалық мөлдірлікке ие. СГК дәстүрлі түрде иондаушы радиацияның дозиметрлері және сцинтилляциялық детекторлар ретінде қолданылады, сонымен қатар оптикалық кванттық генераторлар мен оптикалық сақтау техникалық құрылғыларын жасауда үлкен қызығушылық тудырады.

Қазіргі уақытта NaI кристалы жоғары кванттық люминесценция шығымы бар және реперлік сцинтиллятор ретінде пайдаланылады, сонымен қатар күңгірт материя бөлшектерінің энергиясын тіркеу кезіндегі аса өзекті эксперименттерде негізгі детектор ретінде де қолданылады.

СГК қолдану мен зерттеудің ұзақ тарихына қарамастан, осы жүйелерде сцинтилляциялық импульсті қалыптастыру механизмдері нақты анықталмаған. Сцинтилляторлардағы энергия беру механизмдеріне сыртқы әсерді зерттеу сцинтилляциялық детекторлардың сапасын жақсартудың нақты жолдарын анықтауға мүмкіндік береді.

Энергияны экситонмен беруге байланысты люминесценцияның шекті шығымын анықтау үшін экситондардың өздігінен қармалуға дейінгі еркін жүріс жолының ұзындығы маңызды рөл атқарады. Осыған байланысты экситонның еркін жүріс жолының ұзындығына өздігінен қармалуға дейін әсер етуге мүмкіндік беретін физикалық параметрді орнату қажет.

СГК электронды қозуының сәулелену релаксациясының тиімділігіне тікелей әсер ететін фактор - бұл бір осьті деформация, ол эксперимент көрсеткендей, экситондардың өздігінен қармалуға дейінгі және сәулелену аннигиляциясынан кейінгі еркін жүріс жолының ұзындығы айтарлықтай қысқартады. Нәтижесінде, тордың тұрақты түйіндерінде экситондардың өздігінен қармалу ықтималдығының күрт артуы және соның салдарынан СГК өзіндік (экситондық) люминесценциясының күшеюі күтіледі. Корреляцияланған электронды-кемтік жұптарының пайда болуына байланысты люминесценция центрлеріне энергия беру механизмі де жоққа шығарылмайды.

СГК-да электрондық қозулардың (ЭҚ) пайда болуы мен эволюциясы процестеріне көптеген эксперименттік және теориялық зерттеулер жүргізілді [1-3]. ЭҚ ыдырауының сәулелену каналымен қатар (люминесценцияның әр түрлі түрлерінің пайда болуы) кристалдық тордың  $F$ ,  $H$  және  $\alpha$ ,  $I$  –Френкель жұбының нүктелік ақауларын қалыптастыру үшін теориялық тұрғыдан болжанбаған радиациялық емес ыдырау каналына ерекше назар аударылды.

СГК-дағы әр түрлі ЭҚ (аниондық экситондар, валенттік кемтіктер, электронды - кемтік жұптар) бейімділік жағдайына мақсатты деформация әсері жоғарыда аталған ЭҚ - сәулелі релаксацияның аннигиляциясының (люминесценция) және радиациялық ақаудың тривиалды емес сәуле шығармайтын (жылу шығаруға қосымша) екі каналының өзара байланысын кешенді зерттеу бойынша ерекше эксперименттік нәтижелерді алуға мүмкіндік береді.

Қазіргі тұжырымдамаларға сәйкес, СГК өздігінен қармалған экситон (ӨҚЭ) түзілуге сәйкес келеді,  $X_2^-$  квазимолекула галоиды кемтік компонентінің құрылымына ие, екі негізгі аниондық тор түйіндерінде орналасқан және кристаллографиялық осьтер бойымен бағытталған  $\langle 110 \rangle$  қыры центрленген СГК-да орналасқан.

Кемтік компонентінің орналасуына қатысты тордың екі анион түйінінде ӨҚЭ конфигурациясы үш түрге бөлінеді: центрлік-симметриялық (on-centre), әлсіз-асимметриялық (weak off-centre) және  $X_2^-$  қатты ығысуы жағдайындағы анионды түйіндерінің біріне қарай, қатты-асимметриялық (strong off-centre).

Бұл ӨҚЭ сипаттамаларының сезімталдығы (мысалы, Стокс ығысу шамасы) кристалл түзетін бөлшектердің жергілікті симметриясына жергілікті және серпімді деформация арқылы олардың жақын кристалды ортасының симметриясына әсер ету жағдайында ЭҚ ыдырауының әртүрлі арналарының эволюциясы/тиімділігін зерттеудің бастапқы идеясын тудырды.

Біздің зерттеуімізде тордың жергілікті деформациясы негізгі тор катионынан едәуір аз (мысалы, NaCl-Li, KCl-Na) жеңіл катиондар-гомологтармен, иондық радиустармен СГК-ны мақсатты түрде қосу арқылы жүзеге асырылады.

ӨҚЭ СГК релаксация процестерін бұзушы факторлар саласында зерттеу физикалық сипаттамалары бар материалдарды (радиациялық сезімтал немесе радиациялық төзімді) құрудың, сондай-ақ иондаушы сәулеленудің әсерінен де мөлдірліктің кең саласы бар оптикалық материалдарды іздеудің өте перспективалы және өзекті бағыты болып табылады.

**Диссертацияның мақсаты**-NaCl, KCl, KI және RbI кристалдарындағы экситон тәрізді электронды қозулардың алдын-ала радиациялық күйлеріне кристалды тордың симметриясын төмендететін жеңіл катион-гомолог пен серпімді деформацияның тікелей әсерін анықтау.

Мақсатқа жету үшін келесі негізгі міндеттер қойылды:

1. Төмен температуралы (85-95K) деформация жағдайында ШГК-нің 5 люминесцентті сипаттамаларын тіркеуге мүмкіндік беретін Spectrascan және

ThermoScan спектр интервалында 200-850 нм (1÷50 нм/с) цифрлық технология негізінде арнайы бағдарламалармен басқарылатын, фотондарды есептеу режимінде жұмыс істейтін "Hamamatsu" фирмасының H 8259 типті фотоэлектрондық көбейткіштермен спектрлік кешенді жаңғырту: рентгендік люминесценция спектрлері (РЛ), туннельді люминесценция (ТЛ), термостимуляцияланған люминесценция (ТСЛ), сондай-ақ туннельді люминесценцияны және интегралды термостимуляцияланған люминесценцияны уақыт бойынша қарап шығу.

2. NaCl, KCl, KI және RbI кристалдарының люминесцентті және термоактивті сипаттамаларына жеңіл катионның және бір осьті төмен температуралы (82÷85 К) деформацияның әсерін кешенді зерттеу.

3. NaCl, KI және RbI кристалдарының экситон тәрізді люминесценция конфигурациясына серпімді деформацияның әсерін зерттеу.

4. Серпімді деформацияны RbI кристалды экситондарының өзіндік люминесценциясының табиғатын зерттеу үшін қолдану.

5. KCl матрицаларында натрийге жақын экситон тәрізді люминесценцияның оптикалық құрылуы және рекомбинациялық қалыптасуы.

**Зерттеу нысаны** - бір осьтік серпімді деформациямен, төменгі температурада (82 ÷ 85 К) NaCl, KCl, KI және RbI кристалдарындағы жеңіл гомологты катиондармен (Li, Na) экситон тәрізді электронды қозулар тордың симметриясының төмендеуімен.

**Зерттеу пәні** - NaCl, KCl, KI және RbI кристалдарындағы экситон тәрізді электронды қозулардың люминесценциясының ерекшеліктері, жарық катиондары арқылы торлы симметрияның төмендеуі және төмен температурада (82-85 К) бір осьтік деформация.

**Зерттеу әдістері** - NaCl, KCl, KI және RbI кристалдарының торлы симметриясын төмендететін жергілікті және төмен температуралы серпімді деформацияларды қолданып фотонды санау режимінде спектрлерді жазуға негізделген люминесценция және термоактивация спектроскопиясының әдістері.

**Ғылыми жаңалық** бұл жұмыста бірінші рет:

1.  $\langle 100 \rangle$  кристаллографиялық бағыты бойынша қолданылатын бір осьтік серпімді деформацияның NaCl кристалдарындағы өздігінен ұсталатын экситондардың асимметриялық конфигурациясының құрылымына тікелей әсері эксперименталды түрде анықталды, бұл интенсивтіліктің жоғарылауымен (7-10 есе) тіркелді.  $\pi$ -люминесценциясы, максимумы 3,5 эВ кезінде жартылай ені 0,75 эВ кезінде 85К.

2. NaCl-Li кристалдарында төмен температуралы серпімді деформация кезінде термиялық ынталандырылған люминесценция спектрлерінде максимумы 2,7 эВ болатын жаңа сәулелену диапазоны табылды, бұл жарық литий өрісінде экситон тәрізді люминесценциялардың пайда болуымен түсіндіріледі.

3. Төмен температуралық серпімді деформацияны қолдана отырып, RbI кристалдарындағы  $E_x$  -люминесценцияның ішкі табиғаты меншікті  $\sigma$ -

люминесценциямен (3,89 эВ) АҚЭ синхронды  $E_x$ -люминесценция (3.1 эВ) қарқындылығының сызықтық жоғарылауы негізінде құрылды. серпімді деформация дәрежесінің жоғарылауы ( $\epsilon = 0,5 \div 1,0\%$ ).

4. Тәжірибе жүзінде ВУФ спектрлік аймағында фото-қоздыру кезінде оптикалық құру және натрийге жақын экситон тәрізді люминесценцияның рекомбинациялық түзілуі, максимум 2,8 эВ-те КСІ-На кристалдарында.

**Тәжірибелік маңыздылығы.** Сілтілік галоидты кристалдардың термо стимульдік люминесценция спектрлерін тіркеудің өте сезімтал әдісі әзірленді (өнертабысқа арналған патент №34978, 04.02.2021 ж.). Сілтілік галоидты кристалдардағы экситондардың еркін жүру жолының ұзындығына әсер етудің ерекше әдісі табылды (ҚР №5978 пайдалы моделіне патент, 09.09.2021 ж.). Біз интегралды туннельдік люминесценцияны және сілтілі галоидты кристалдардың термостимульді люминесценциясын сканерлеуге арналған әдіске авторлық куәлік алдық (№12980, 03.11.2020).

#### **Қорғауға шығаруға арналған, негізгі қағидалар:**

1. Біртекті серпімді деформацияның NaCl кристалдарындағы экситонды түзілімдердің асимметриялық конфигурациясына тікелей әсері, бұл  $\pi$ -люминесценция спектрі аймағында қарқындылығының жоғарылауымен тіркелген, максимум 3,5 эВ-те, ені 0,75. эВ 85К.

2.  $E_x$  - люминесценцияның табиғатын максималды 3,1 эВ-те RbI кристалдарында рентгендік люминесценция спектрлерін қысу кернеулігі деңгейіне байланысты белгілеу үшін төмен температуралы серпімді деформацияны қолдану ( $\epsilon = 0,5 \div 1,0\%$ ),

3. Бөлу механизмін тәжірибелік көрсету  $\pi$  (3.3 эВ) және  $E_x$  (3.0 эВ) - деформация дәрежесіне байланысты рентгендік люминесценция спектрлерінен ұзақ сақталған KI кристалдарындағы АҚЭ люминесценциясы.

4. ВУФ спектрлік аймағында фото қоздыру кезінде оптикалық құру және натрий эксцитонына ұқсас люминесценцияның рекомбинациялануымен, КСІ-На кристалдарында максимум 2,8 эВ.

**Сенімділік** диссертацияда алынған нәтижелер және ғылыми ережелердің негізділігі эксперимент нәтижелерінің конденсацияланған заттар физикасының негізгі принциптерімен сәйкестігімен, сондай-ақ зерттелетін кристалдардың люминесценция сипаттамаларын тіркеу үшін заманауи эксперименттік әдістерді қолданумен расталады сандық технологияға негізделген, арнайы бағдарламалармен басқарылады SpectraScan және ThermoScan (Өнертабысқа арналған патент, ҚР №34978 02.04.2021 ж., №12826, 26.10.2020; №12980, 03.11.2020) төмен температурада кристалдардың деформациялануына мүмкіндік беретін криостатпен біріктірілген (ҚР Патенттері №14831; 30.06.2004 ж., №26141; 03.08.2012 ж., №28731; 18.06.2013 ж.).

Негізгі жұмыс Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің «Материалдардың радиациялық физикасы» ғылыми орталығында жүргізілді.

Оптикалық туындылармен байланысты төмен температурадағы (10 К) тәжірибелер фотон энергиясы 7,62 эВ болатын спектрдің ВУФ аймағындағы

KCl-Na кристалдарындағы натрийге жақын экситондар және олардың радиациялық релаксациясы Тарту университеті Физика институтының «Иондық кристалдар физикасы» зертханасында орындалды. .

**Тақырыптың ғылыми жұмыстардың жоспарларымен байланысы.** Диссертация Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің гранттық қаржыландыру жобасы бойынша «Направленное воздействие на излучательную релаксацию электронных возбуждений с целью улучшения люминесцентных характеристик функциональных материалов на базе щелочногалоидных кристаллов» ИРН AP08855672, 2020-2022 жж.

**Жұмыстың апробациясы.** Зерттеудің негізгі нәтижелері келесі конференцияларда баяндалды және талқыланды:

– 12-ші Халықаралық конференция «Ядролық және радиациялық физика» (Алматы, 24-27 маусым, 2019);

– 20th anniversary conference on radiation effects in insulators (Nur-Astana, August 19-23, 2019);

– 13-ші Халықаралық конференция Функционалдық материалдар және нанотехнологиялар (Вильнюс, 23-26 қараша, 2020);

**Жарияланымдар.** Диссертациялық жұмыс материалдары негізінде 10 ғылыми еңбек жарық көрді, оның ішінде: Web of Science және Scopus мәліметтер базасына енгізілген рецензияланған ғылыми журналдарда 3 мақала, 2 мақала – ҚР БЖҒМ БЖҒССҚЕ ұсынған тізімге енген журналдарда. ҚР өнертабысқа-1, пайдалы модельге-1 арналған патенттер, 1 - авторлық куәлік, 2 мақала - Қазақстан Республикасының басқа журналдарында жарияланды.

**Дипломдық жұмыстың құрылымы мен көлемі.** Диссертация кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертацияның жалпы көлемі 113 бет, оның ішінде: 5 кесте, 42 сурет және 139 атаудан тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімінен құралады.

**Диссертацияның негізгі мазмұны.**

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

**Бірінші бөлім бойынша қорытындылар:**

Сілтілік галоидты кристалдардағы электронды қозулардың радиациялық және радиациялық емес жою материалдары бойынша әдеби шолуды талдау келесі негізгі заңдылықтарды анықтауға мүмкіндік береді:

1. NaCl, KCl, KI және RbI кристалдарындағы өздігінен қармалған экситондардың (ӨҚЭ) люминесценция спектрлері 6,0-ден 2,0 эВ-қа дейінгі спектрлік диапазонда болады. СГК – дағы ӨҚЭ люминесценциясының қысқа толқынды бөлігі  $\sigma$ -поляризацияланған (S-синглетті жарқыл), ал ұзын толқынды бөлігі ішінара  $\pi$ -поляризацияға (T - триплетті жарқыл) ие. СГК-да ӨҚЭ конфигурациясын салыстырмалы стокстық шығындар мәндері бойынша жіктеуге болатындығы анықталды. Зерттеу үшін таңдалған объектілерде, атап айтқанда NaCl, KCl, KI және RbI кристалдарында ӨҚЭ барлық үш түрі тіркеледі: орталық-симметриялы (on), әлсіз асимметриялық (weak off) және

катты асимметриялық (strong off). ӨҚЭ синглеттік және триплеттік күйлер арасындағы өтулерді түсіндіру үшін адиабаталық потенциалдар схемасы зерттелді. Температураның жоғарылауымен СГК-да экситондардың люминесценциясы қарқындылығының төмендеуі байқалады, бұл экситондардың бос жүрісінің ұзындығының өздігінен қармалуға дейін қысқаруымен байланысты болды. Негізінен, экситондардың люминесценция қарқындылығының максималды мәні өте төмен температурада (4,2 К) тіркелетінін айтып кету жөн.

2. Өздігінен қармалған экситондардың СГК ыдырауы екі канал бойынша жүреді: сәулелену және радиациялық емес бастапқы радиациялық ақаулардың пайда болуымен ( $F$  - және  $H$ -орталықтар,  $\alpha$  және  $I$ -орталықтар). ӨҚЭ бір галоидтан екі галоид күйіне ауысуы зерттелді. Ақаулардың пайда болу температурасын білу өмір сүру уақытын анықтауға яғни, қысқа мерзімді және тұрақты екендігін бағалауға мүмкіндік береді. 100-ден 200 К-ге дейінгі температуралық диапазонда тұрақты  $F$ -орталықтарын құру тиімділігі бірнеше есе артатыны анықталды.

3. Серпімді деформацияның СГК-ға әсері ӨҚЭ люминесценция қарқындылығының айтарлықтай өсуіне әкеледі. Белгілі бір кристаллографиялық бағыттағы серпімді деформация тордың симметриясын төмендетеді, сондықтан экситонның квази-еркін және өздігінен қармалған күйлерін бөлетін ықтимал тосқауылдың биіктігінің төмендеуіне әкеледі. ӨҚЭ люминесценциясының қарқындылығының артуы ақаулардың радиациялық пайда болуына жауап беретін арнаның әлсіреуіне байланысты болады. КВг кристалының мысалында рентгенолюминесценцияның сәулелену қарқындылығының 80 К механикалық сығылу дәрежесіне тәуелділігі көрсетілген. Деформацияның серпімді бөлігін сипаттайтын сызықтық бөлім, сондай-ақ, деформацияның пластикалық бөлігін көрсететін толық қанығу аймағы айқын байқалады.

4. СГК-ның әдеби шолуын талдау негізінде диссертациялық жұмыстың міндетін анықтау анықталды.

### **Екінші бөлім бойынша қорытындылар:**

1. Рентгендік люминесценция (РЛ), туннельдік люминесценция (ТЛ), термостимуляцияланған люминесценция (ТСЛ), сондай-ақ СГК интегралдық термостимуляцияланған люминесценция (ИТСЛ) спектрлерін тіркеу бойынша люминесценттік және термобелсенді спектроскопияның физикалық негіздері талданды.

2. SpectraScan және ThermoScan арнайы бағдарламаларымен автоматты басқару арқылы РЛ, ТЛ, ТСЛ спектрлерін тіркеуге мүмкіндік беретін, сондай-ақ температураның кең интервалында ( $85 \div 300$ К) бір осьті деформация әсер еткен кезде ТЛ уақытқа қатынасы және СГК интегралдық ТСЛ спектрлік кешенін алу жүзеге асырылды.

3. SpectraScan бағдарламасының техникалық сипаттамалары берілген жылдамдықтармен ( $1 \div 50$  нм/с) 200-850 нм спектр интервалында фотондарды есептеу режимінде жұмыс істейтін "Hamamatsu" фирмасының күшті жарықтандырғыш монохроматорының және Н 8259 типті фотоэлектрондық

көбейткіштің көмегімен СГК сәулелену спектрлерін сканерлеу бойынша апробацияланды.

4. Мыс-константана терможұбымен температураның бірқалыпты қыздыруын контроллер арқылы графикалық бейнелеу және жарық қарқындылығын фотоэлектронды күшейткішпен сканерлеу арқылы ThermoScan бағдарламасының техникалық сипаттамалары сыналды

### **Үшінші бөлім бойынша қорытындылар**

Нүктелік және серпімді деформацияны қолдана отырып абсорбциялық, термоактивті және люминесцентті спектроскопия негізінде NaCl матрицасында радиациялық ақаулардың электронды қозуының радиациялық релаксация процестері зерттелді және келесі негізгі заңдылықтар анықталды:

1. 85 К кезінде NaCl (Harshaw), NaCl-Li және NaCl (Галит) кристалдарының рентгенолюминесценция спектрлерін тіркеу бойынша тәжірибе жүзінде  $\pi$  (3,5 эВ) және  $\sigma$ -люминесценция (5,2 эВ) жолақтарының қарқындылығы арақатынасы деформацияға дейін 2 есе, ал серпімді деформация кезінде ( $\epsilon=1\%$ ) 8 есе, яғни люминесценция қарқындылығының артуы  $\pi$ -люминесценция есебінен болатыны анықталды.

2. 115 К кезінде термостимульді люминесценция спектрлерінде серпімді деформацияланған ( $\epsilon=1\%$ ) NaCl-Li-де  $F'$  – орталықтарының термиялық иондалуы кезінде босатылатын, локализацияланған  $H_A(Li)$  - орталықтары бар электрондардың рекомбинациясы нәтижесі ретінде түсіндірілетін, максимумы 2,7 эВ болатын сәулелену анықталды.

3. Серпімді деформация торының симметриясының төмендеуімен NaCl матрицасында тордың тұрақты түйіндеріндегі экситондардың – өздігінен қармалуы белсендіріледі және қоспаларға (Br) экситон энергиясын беру айтарлықтай нашарлайды.

Қорғалатын жағдай ретінде зерттеудің мынадай тұжырымы шығарылады: «NaCl кристалдарындағы экситон тәрізді түзілімдердің асимметриялық конфигурациясына бір осьті серпімді деформацияның тікелей әсері, ол  $\pi$  –люминесценция спектрі саласындағы қарқындылықтың максимумымен 3,5 эВ кезінде, 85 К температурда және жартылай ені 0,75 эВ шамасында байқалады».

### **Төртінші бөлім бойынша қорытындылар**

1. Рентгендік люминесценция спектрлері бойынша алғаш рет 93 К кезінде серпімді бір осьті деформацияға ( $\epsilon=1\%$ ) ұшыраған RbI монокристаллдарында өздігінен қармалған экситондардың да,  $E_x$  - люминесценцияның да (тиісінше 3,89 эВ және 3,1 эВ кезінде жолақтардың максимумы) күшеюі анықталды. Интенсивтілікке тәуелділіктің табиғаты тұрақты RbI торының жергілікті деформация өрісіндегі өздігінен қармалған экситонның радиациялық релаксациясымен байланысты табиғи және люминесценция туралы айтуға мүмкіндік береді.

2. Бөлме температурасында ұзақ уақыт сақталатын KI және KI-Na кристалдарының төмен температуралы (100 К) бір осьті деформациясы кезіндегі рентгенолюминесценция спектрлері зерттелді. Мынадай заңдылықтар анықталды: біріншіден, 3,3 эВ (иінді) және 4,1 эВ (иінді)

кезінде меншікті сәулелену жолақтарының қарқындылығының деформациясы болмаған кезде, ара қатынасы тиісінше (10/1) ретімен ерекшеленетін жаңадан пайда болған кристалдармен салыстырғанда өзара салыстырылатын болады; екіншіден, төмен температуралы бір осьті деформация дәрежесінің ұлғаюымен сәулелену спектрлерінің біртіндеп ығысуы екі бағытта жүреді: 3,3 эВ кезінде сәулелену максимумы қысқа толқын ұзындығына қарай ығысады, соңғы позициясы 3,9 эВ кезінде тіркелген, ол іс жүзінде люминесценциямен сәйкес келеді; 3,0 эВ ( $E_x$ -сәулелену) кезінде сәулелену максимумы толқындардың ұзын ұзындығына қарай жылжиды, оның соңғы позициясы 2,85 эВ кезінде тіркелген.

Осылайша, төмен температуралы бір осьті деформация сәулелену спектрлерінің бөлінуіне әкеледі 3,3 эВ ( $\pi$ ) $\rightarrow$ 3,9 эВ және 3,0 эВ ( $E_x$ ) $\rightarrow$ 2,85 эВ, олар бөлу арқылы түсіндіріледі weak  $\rightarrow$  on және weak  $\rightarrow$  strong конфигурациясы, сәйкесінше.

3,0 эВ сәулелену жолағының түрленуі максималды 2,8 эВ болатын сәулелену арқылы айқын көрінеді, бұл сәулеленудің бір табиғаты бар және натрий қоспасымен байланысты емес екенін көрсетеді, өйткені серпімді деформация кезінде қоспадан шыққан сәуле іс жүзінде жоғалады.

3. KCl-Na кристалында сәулелену релаксациясы максималды 2,8 эВ натрий өрісінде  $-e_s^0(Na)$  фотон энергиясы 7,62 эВ болатын натрий жанындағы экситонды тікелей оптикалық құру кезінде, 150 К-нен 300 К-ге дейінгі температура аймағында рентгендік қозу процесінде кемтік - электронды рекомбинация кезінде эксперименталды түрде көрсетілді- $e_s^+(Na) + e^- \rightarrow e_s^0(Na)$ , сондай-ақ рентген сәулелерімен алдын ала сәулеленген кристалл -  $e^- + V_{KA}(Na) \rightarrow e_s^0(Na)$  90 К-де  $F'$  - центрлер спектрінің аймағында (1,5 эВ) оптикалық ынталандыру кезінде электронды-кемтікті рекомбинация.

Барлық экситон тәрізді сәулелер сөнген кезде 150 К-нен 300 К-ге дейінгі температура аймағында рентгендік қозу кезінде KCl-Na кристалының 2,8 эВ-да сәулелену қарқындылығының артуы температура бөлме температурасына дейін (300 К) жоғарылаған кезде тазартылмаған тесіктің бос жүрісінің ұзындығын арттыру арқылы түсіндіріледі.

Алғаш рет KCl-Na кристалдарында натрий концентрациясынан рентгенолюминесценция спектрлерін тіркеу жалғыз және жұптасқан натрий орталықтарына сәйкес келетін 2,8 эВ және 3,1 эВ максимумы бар натрий маңындағы экситон тәрізді түзілімдердің люминесценция спектрлерін анықтауға мүмкіндік берді.

Осылайша, KCl-Na кристалында үш механизммен  $-e_s^0(Na)$  жеңіл натрий ионының өрісінде автолокализацияланған электронды қозуды құрудың ерекше мүмкіндіктері эксперименталды түрде жүзеге асырылды – Экситон, электронды рекомбинация және электронды тесік рекомбинациясы, радиациялық релаксациясы максималды 2,8 эВ болатын люминесценциямен аяқталады.



**Қорытындыда** диссертациялық жұмыс бойынша негізгі нәтижелер мен тұжырымдар келтірілген.