

eISSN 2663-1296

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№4(133)/2020

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2020

Nur-Sultan, 2020

Нур-Султан, 2020

Бас редакторы:
ф.-м.ғ.д., профессор, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ
А.Т. Ақылбеков (Қазақстан)

Бас редактордың орынбасары

Гиниятова Ш.Г. ф.-м.ғ.к., доцент
Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ (Қазақстан)

Редакция алқасы

Арынгазин А.Қ.	ф.-м.ғ. докторы, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
Алдонгаров А.А.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.ғ.д., проф., Башқұрт мемлекеттік университеті (Ресей)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.ғ.д., проф., Башқұрт мемлекеттік университеті (Ресей)
Даулетбекова А.Қ.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Ержанов Қ.Қ.	ф.-м.ғ.к., PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Жүмаділов Қ.Ш.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Здоровец М.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
Қадыржанов Қ.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Козловский А.Л.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Кутербеков Қ.А.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Лущик А.Ч.	ф.-м.ғ.д., проф., Тарту университеті (Эстония)
Попов А.И.	ф.-м.ғ.д., проф., Латвия университеті (Латвия)
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Мырзақұлов Р.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
Нұрахметов Т.Н.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Сауытбеков С.С.	ф.-м.ғ.д., проф., Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Қазақстан)
Салиходжа Ж.М.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Скуратов В.А.	ф.-м.ғ.д., проф., Біріккен ядролық зерттеулер институты (Ресей)
Тлеуқенов С.К.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Усеинов А.Б.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Хоши М.	PhD, проф., Коши университеті (Жапония)
Шункеев Қ.Ш.	ф.-м.ғ.д., проф., Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе мемлекеттік университеті (Қазақстан)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, 402 б., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.
Тел.: +7(7172) 709-500 (ішкі 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Журнал менеджері: Г. Мендыбаева

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

Меншіктенуші: "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" Коммерциялық емес акционерлік қоғам

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Жазылу индексі: 76093

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018ж.

№16999-ж тіркеу куәлігімен тіркелген.

Ашық қолданудағы электрондық нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz/>

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі, 12/1, 102 б., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. Тел.: +7(7172)709-500 (ішкі 31-428)

© Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Editor-in-Chief

Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, ENU
A.T. Akilbekov (Kazakhstan)

Deputy Editor-in-Chief

Giniyatova Sh.G., Candidate of Phys.-Math. Sciences,
Assoc. Prof., ENU (Kazakhstan)

Editorial Board

Aryngazin A.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Aldongarov A.A.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Balapanov M.Kh.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., BashSU (Russia)
Bakhtizin R.Z.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., BashSU (Russia)
Dauletbekova A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sci., PhD, ENU (Kazakhstan)
Hoshi M.	PhD, Prof., Kyushu University (Japan)
Kadyrghanov K.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Kainarbay A.Zh.	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Kozlovskiy A.L.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Kuterbekov K.A.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Lushchik A.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., University of Tartu (Estonia)
Morzabayev A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Myrzakulov R.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Nurakhmetov T.N.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Popov A.I.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., University of Latvia (Latvia)
Sautbekov S.S.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., KazNU (Kazakhstan)
Salikhodzha Z. M	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Skuratov V.A.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., Joint Institute for Nuclear Research (Russia)
Tleukenov S.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Useinov A.B.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Yerzhanov K.K.	Candidate of Phys.-Math. Sci., PhD, ENU (Kazakhstan)
Zdorovets M.	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Zhumadilov K.Sh.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Shunkeyev K.Sh.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., Zhubanov University (Kazakhstan)

Editorial address: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev str., of. 402,
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008
Tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Managing Editor: G. Mendybayeva

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.
PHYSICS. ASTRONOMY Series

Owner: Non-profit joint-stock company "L.N. Gumilyov Eurasian National University"

Periodicity: 4 times a year. Subscription index: 76093

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan.

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

Available at: <http://bulphysast.enu.kz/>

Address of printing house: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 12/1 Kazhimukan str.,
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008;

tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)

Главный редактор:
доктор ф.-м.н., профессор
А.Т. Акилбеков, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)

Зам. главного редактора

Ш.Г. Гиниятова к.ф.-м.н., доцент
ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)

Редакционная коллегия

Арынгазин А.К.	д.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Алдонгаров А.А.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Балапанов М.Х.	д.ф.-м.н., проф., БашГУ (Россия)
Бахтизин Р.З.	д.ф.-м.н., проф., БашГУ (Россия)
Даулетбекова А.К.	д.ф.-м.н., PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Ержанов К.К.	к.ф.-м.н., PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Жумадилов К.Ш.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Здоровец М.	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Кадыржанов К.К.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Кайнарбай А.Ж.	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Козловский А.Л.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Кутербекоев К.А.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Лущик А.Ч.	д.ф.-м.н., проф., Тартуский университет (Эстония)
Морзабаев А.К.	д.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Мырзакулов Р.К.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Нурахметов Т.Н.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Попов А.И.	д.ф.-м.н., проф., Латвийский университет (Латвия)
Сауытбеков С.С.	д.ф.-м.н., проф., КазНУ им. аль-Фараби (Казахстан)
Салиходжа Ж.М.	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Скуратов В.А.	д.ф.-м.н., проф., Объединенный институт ядерных исследований (Россия)
Тлеукиенов С.К.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Усеинов А.Б.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Хоши М.	PhD, проф., Коши университет (Япония)
Шункеев К.Ш.	д.ф.-м.н., проф., АРГУ имени К. Жубанова (Казахстан)

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, каб. 402, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева.

Тел.: (7172) 709-500 (вн. 31-428)

E-mail: vest_phys@enu.kz

Менеджер журнала: Г. Мендыбаева

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.

Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

Собственник: Некоммерческое акционерное общество "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева"

Периодичность: 4 раза в год. Подписной индекс: 76093

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

Электронная версия в открытом доступе: <http://bulphysast.enu.kz/>

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажимукана, 12/1, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева. тел.: +7(7172)709-500 (вн. 31-428)

© Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

№4(133)/2020

МАЗМҰНЫ

<i>Ашуров А.Е., Калманова Д.М., Рахимова А.Д.</i> Геостационарлық жерсеріктің орнын анықтау алгоритмінде аппроксимация әдісін қолдану	8
<i>Сәндібаева Н.А., Айдарбекова А.А.</i> Молекулалық физикадан жалпы оқыту дағдыларын қалыптастыру	16
<i>Қойлық, Н.О., Бактыбаев Қ.Б., Қаптағай Г.Ә., Айдарбекова А.А., Далелханжызы А.</i> γ - орнықсыз ядролардың фермиондық моделі және күй құрылымы	23
<i>Ашуров А.Е., Әбдірашев Ө.К.</i> Түсіретін аппараттың орбитада қозғалысын моделдеу	33
<i>Кутербеков К.А., Балапанов М.Х., Кубенова М.М., Палымбетов Р.Ш., Сахабаева С.М., Кабышев А.М., Бекмырза К.Ж., Куланова К.К.</i> $K_xCu_{2-x}S$ суперионды қорытпаларының электрлік және жылулық қасиеттері	39
<i>Убаев Ж., Шунжеев К., Мясникова Л., Сагимбаева Ш.</i> Нүктелік және серпімді деформация кезіндегі NaCl матрицасының люминесценциясы	49
<i>Ахатаева Ж.О., Шажерхан К.О., Керимбаев А.О., Мукушев Б.А.</i> Центрлік тартылыс күші өрісінде дене қозғалысын компьютерлік модельдеуі	55
<i>Шағдар Н.М., Морзабаев А.К.</i> 2017 жылдың 4-10 қыркүйек аралығында CARPET құрылысында тіркелген ғарыштық сәулелердің вариациясы	61
<i>Карипбаев Ж.Т., Алтысова Г.К., Лисицын В.М., Мусаханов Д.А.</i> YAG:Ce керамикасының радиациялық синтезінің тұрақтылығы	66
<i>Биәсігітов Т., Жумадилов Е.</i> Тұрақты температурада VI-мүз модификациясының Юнг, ығысу модульдері мен онда тарайтын ультрадыбыс толқындарының қысымға тәуелділігін зерттеу	73
<i>Тулеков Е.А., Морзабаев А.К., Махмұтов В.С., Ерхов В.И., Филиппов М.В.</i> ЕҰУ эксперименттік кешенінің бақылау деректері негізіндегі 2016-2019 жж. ғарыштық сәулелердің вариациялары	79
<i>Сеитов Д.Д., Некрасов К.А., Купряжкин А.Я.</i> Күшті криптон-оттекті байланысындағы UO_2 -дегі криптон диффузиясы. Молекулалық динамика модельдеуі	86

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY. PHYSICS.
ASTRONOMY SERIES

№4(133)/2020

CONTENTS

<i>Ashurov A.E., Kalmanova D.M., Rahimova A.D.</i> Application of the approximation method in the algorithm for determining the position of a geostationary satellite	8
<i>Sandibaeva N.A., Aidarbekova A.A.</i> Formation of general education skills on molecular physics	16
<i>Koilyk N.O., Baktybaev K.B., Kaptagay G., Aidarbekova A.A., Dalelhankyzy A.</i> Fermion dynamical-symmetrical model and the structure of states of the γ - nuclei	23
<i>Ashurov A.E., Abdirashev O.K.</i> Information and metrological support for the complex of robotic devices	33
<i>Kuterbekov K.A., Balapanov M.Kh., Kubenova M.M., Palymbetov R.Sh., Sakhabaeva S.M., Kabyshiev A.M., Bekmyrza K.Zh., Kulanova K.K.</i> Electrical and thermal properties of $K_xCu_{2-x}S$ superionic alloys	39
<i>Ubayev Zh., Shunkeyev K., Myasnikova L., Sagimbayeva Sh.</i> Luminescence of the NaCl matrix under local and elastic deformation	49
<i>Akhataeva Zh.O., Shakerkhan K.O., Kerimbaev A.O., Mukushev B.A.</i> Computer simulation of body motion under the action of Central attraction	55
<i>Shagdar N.M., Morzabaev A.K.</i> Observations of cosmic ray variations by the CARPET detector during the period from 4 to 10 September, 2017	61
<i>Karipbaev Zh., Alpysova G., Lisitsyn V., Musahanov D.</i> Stability of radiation synthesis of YAG:Ce ceramics	66
<i>Bizhigitov T., Zhumadilov E.</i> Study dependence of Young's, shear modulus and ultrasonic waves propagation of the vi ice modification to the pressure at a constant temperature	73
<i>Tulekov Ye., Morzabaev A.K., Makhmutoy V.S., Yerkhov V.I., Philippov M.V.</i> Variations of cosmic rays in the period 2016-2019 according to observations of the ENU experimental complex	79
<i>Seitov D.D., Nekrasov K.A., Kupryazhkin A.Ya.</i> Krypton Diffusion in UO_2 Assuming a Strong Bonding Krypton-Oxygen. A Molecular Dynamics Simulation	86

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№4(133)/2020

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ашуров А.Е., Калманова Д.М., Рахимова А.Д.</i> Применение метода аппроксимации в алгоритме определения положения геостационарного спутника	8
<i>Сандибаева Н.А., Айдарбекова А.А.</i> Формирование общеобразовательных умений по молекулярной физике	16
<i>Койлык Н.О., Бактыбаев К.Б., Каптагай Г.А., Айдарбекова А.А., Далелханкызы А.</i> Фермионная модель и структура состояний γ -нестабильных ядер	23
<i>Ашуров А.Е., Абдирашев О.К.</i> Моделирование движения спускаемого аппарата на орбите	33
<i>Кутербеков К.А., Балапанов М.Х., Кубенова М.М., Палымбетов Р.Ш., Сахабаева С.М., Кабышев А.М., Бекмырза К.Ж., Куланова К.К.</i> Электрические и тепловые свойства суперионных сплавов $K_xCu_{2-x}S$	39
<i>Убаев Ж., Шункеев К., Мясникова Л., Сагимбаева Ш.</i> Люминесценция матрицы NaCl при локальной и упругой деформации	49
<i>Ахатаева Ж.О., Шакерхан К.О., Керимбаев А.О., Мужушев Б.А.</i> Компьютерное моделирование движения тела под действием центрального притяжения	55
<i>Шагдар Н.М., Морзабаев А.К.</i> Вариация космических лучей, зарегистрированная на установке CARPET в период с 4 по 10 сентября 2017 года	61
<i>Карипбаев Ж.Т., Алтысова Г.К., Лисицын В.М., Мусаханов Д.А.</i> Стабильность радиационного синтеза ИАГ:Се керамики	66
<i>Бижигитов Т., Жумадилов Е.</i> Исследование зависимости модуля Юнга, модуля сдвига и распространяющихся в нем ультразвуковых волн VI модификации льда от давления при постоянной температуре	73
<i>Тулесов Е.А., Морзабаев А.К., Махмуртов В.С., Ерхов В.И., Филиппов М.В.</i> Вариации космических лучей в период 2016-2019 гг. по данным наблюдений экспериментального комплекса ЕНУ	79
<i>Сеитов Д.Д., Некрасов К.А., Купряжкин А.Я.</i> Диффузия криптона в UO_2 в предположении сильной связи криптон-кислород. Молекулярно – динамическое моделирование	86

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы, 2020, том 133, №4, 49-54 беттер
<http://bulphysast.enu.kz>, E-mail: vest_phys@enu.kz

МРНТИ: 29.19.21

Ж. Убаев, К. Шункеев, Л. Мясникова, Ш. Сагимбаева

Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан
(E-mail: shunkeev@rambler.ru)

Люминесценция матрицы NaCl при локальной и упругой деформации¹

Аннотация: исследованы спектры рентгенолюминесценции при низкотемпературной (90К) упругой деформации ($\varepsilon = 0,9\%$) кристаллов высокой степени чистоты NaCl (зонноочищенный), NaCl-Li (0,2 моль%) и природного NaCl (Halite-Галит). Установлено, что в матрице NaCl с понижением симметрии решетки упругой деформации активизируется автолокализация экситонов в регулярных узлах решетки и существенно ухудшается передача энергии экситонов на примеси. В кристалле NaCl (Halite) приложенная упругая деформация подавляет люминесценцию с максимумом при 3,95 эВ, связанную с примесными ионами брома (Br). Приведенные экспериментальные результаты позволяют использовать упругую деформацию в качестве экспериментального метода для разделения собственной и примесной люминесценции кристаллов.

Ключевые слова: щелочногалогидный кристалл, рентгенолюминесценция, автолокализованный экситон, упругая деформация, люминесценция.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2020-133-4-49-54>

Поступила: 02.12.2020/ Допущена к опубликованию: 02.12.2020

Введение. Главной причиной нестабильности анионных электронных возбуждений (ЭВ) в щелочногалогидных кристаллах (ЩГК) является их безызлучательный распад с образованием структурных (френкелевских) дефектов, а также излучательная аннигиляция с испусканием кванта люминесценции. Относительную эффективность этих каналов нужно учитывать при разработке различных функциональных оптических материалов.

В настоящее время общепринято [1-5], что одним из конечных этапов релаксации ЭВ в ЩГК является переход анионного экситона в автолокализованное состояние с последующей аннигиляцией на первичные дефекты Френкеля – так называемые $F-H$ и $\alpha-I$ пары анионных точечных дефектов, которые стабильны только при низких гелиевых температурах.

Локальная деформация решетки ЩГК путем введения катионов-гомологов малого размера или приложения упругой одноосной деформации позволяет воздействовать на релаксационные процессы ЭВ [6-9]. Установлено [9-11], что понижение симметрии решетки ЩГК приводит к сокращению длины свободного пробега анионного экситона и увеличению вероятности его автолокализации в регулярных узлах решетки. В настоящей работе, на примере кристаллов NaCl, легированных легкими катионами лития или подвергнутых низкотемпературной упругой деформации, с использованием термоактивационной спектроскопии исследована люминесценция экситоноподобных образований.

Техника эксперимента и объекты исследования. Спектры рентгенолюминесценции кристаллов регистрировались с использованием рентгеновской установки РУП-120, работающей в режиме 3 мА и 125 кВ. Отметим, что используемое жесткое рентгеновское излучение пронизывает образец по всей его толщине и не создает при этом радиационные дефекты, вызывающие реабсорбцию в соответствующих областях спектра излучения. Последнее обстоятельство важно, ибо полоса люминесценции экситоноподобных образований

¹Работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования Комитета науки МОН РК (ИРН АР08855672). Авторский коллектив выражает благодарность сотрудникам Гродненского государственного университета имени Янки Купалы (Беларусь) А.Е. Герману и А.Ю. Лицкевичу за модернизацию экспериментальной установки фотоэлектронными умножителями, работающими в режиме счета фотонов.

(максимум при 2,7 эВ) в матрице NaCl перекрывается (практически совпадает) с полосой поглощения F -центра (электрон, захваченный в поле анионной вакансии). Специальные эксперименты показали, что используемое нами рентгеновское излучение при 90 К за время, необходимое для регистрации спектров рентгенолюминесценции, не приводит к накоплению детектируемого F -поглощения (2,7 эВ) и измеряемые спектры рентгенолюминесценции не искажены.

Уникальная экспериментальная установка позволяет сканировать в интервале 200 ÷ 850 нм спектры рентгенолюминесценции, термостимулированной люминесценции (ТСЛ), а также измерять кривые интегральной ТСЛ кристаллов, подвергнутых упругой деформации при 90 К. Измерения осуществлялись с помощью светосильного монохроматора МСД-2 с фотоэлектронным умножителем типа Н 8259 фирмы «Hamamatsu», работающим в режиме счета фотонов, и управлялись специальными программами SpectraScan и ThermoScan. Низкотемпературная деформация и регистрация люминесцентных характеристик кристаллов осуществлялись с помощью специального криостата [12], снабженного соответствующими окошками.

При измерении кривой ТСЛ, за время сканирования каждого спектра излучения в диапазоне от 2,0 эВ до 6,0 эВ, температура образца изменялась лишь на 1,5-2,0 К. Это означает, что каждый пик ТСЛ практически остается как стационарное излучение во время сканирования спектра ТСЛ с максимальной скоростью (50 нм/с).

Исследования проводились на кристаллах NaCl высокой степени чистоты (зонноочищенный) и NaCl-Li (0,2 моль%), синтезированных в Институте физики Тартуского университета, а также в природном кристалле NaCl (Halite), выращенном в естественных условиях на месторождении «Соль-Илецк». В отличие от кристаллов, синтезированных при высоких температурах (выше 800 °С), естественный рост галитов при низких температурах (5-10 °С) обеспечивает высокий уровень их чистоты от двухвалентных примесей. В то же время, согласно литературным данным [4,5,8], природные кристаллы NaCl содержат анионные гомологи - ионы брома (Br).

Экспериментальные результаты. Для сравнительного анализа спектров рентгенолюминесценции матрицы NaCl были выбраны кристаллы различной чистоты, а также подвергнутые локальной и упругой деформации.

Одним из основных типов собственного свечения кристаллов NaCl является люминесценция автолокализованного экситона (АЛЭ), которая при 4,2 К состоит из двух полос с максимумами 3,36 эВ (π -компонента) и 5,35 эВ (σ). Они эффективно возбуждаются фотонами с энергией ~ 8 эВ (экситонный пик поглощения) и $> 8,8$ эВ (начало межзонных переходов), соответствующими созданию электронно-дырочных пар и экситонов [4]. В скобках указана поляризация люминесценции. Однако с повышением температуры обе полосы люминесценции резко тушатся, при 90 К их интенсивность ослабляется почти в 100 раз относительно первоначальных значений, хотя обе компоненты все же четко регистрируются при этой температуре в спектрах рентгенолюминесценции (РЛ).

На рис. 1а (кривая 1) приведен спектр РЛ высокочистого (зонноочищенного) кристалла NaCl при 90 К, где четко видны заметно потушенные полосы с максимумами при 5,3 эВ и 3,4 эВ, соответствующие люминесценции АЛЭ в регулярных узлах решетки [4,5,8]. Приложенная к кристаллу упругая деформация (степень деформации до $\varepsilon = 0,9\%$) более чем в 8 раз усиливает интенсивность обеих полос излучения (кривая 2). Аналогичный эффект усиления (также в более чем в 8 раз) интенсивности люминесценции АЛЭ обнаружен и в РЛ кристаллов NaCl-Li (0,2 моль%) (см. рис. 1 б, кривая 2).

Следует отметить, что в спектрах РЛ упругодеформированных синтетического NaCl и NaCl-Li (0,2 моль%) кристаллов появление дополнительных полос излучения не наблюдается, однако интенсивность π -свечения под воздействием упругой деформации в NaCl-Li (0,2 моль%) в 2 раза выше в высокочистом NaCl (Рисунок 1а,б, кр. 1, 2). Это, по-видимому, связано с тем, что совпадают максимумы излучений АЛЭ (3,35 эВ) и околотитиевого экситона (3,36 эВ) [4,5].

Для NaCl и NaCl-Li (0,2 моль%) зависимость интенсивности люминесценции с максимумами при 5,3 эВ и 3,4 эВ от степени относительной деформации ε имеет две стадии: первая стадия,

соответствующая линейному участку кривой, характеризует упругую часть деформации, а вторая – на котором интенсивность излучения выходит

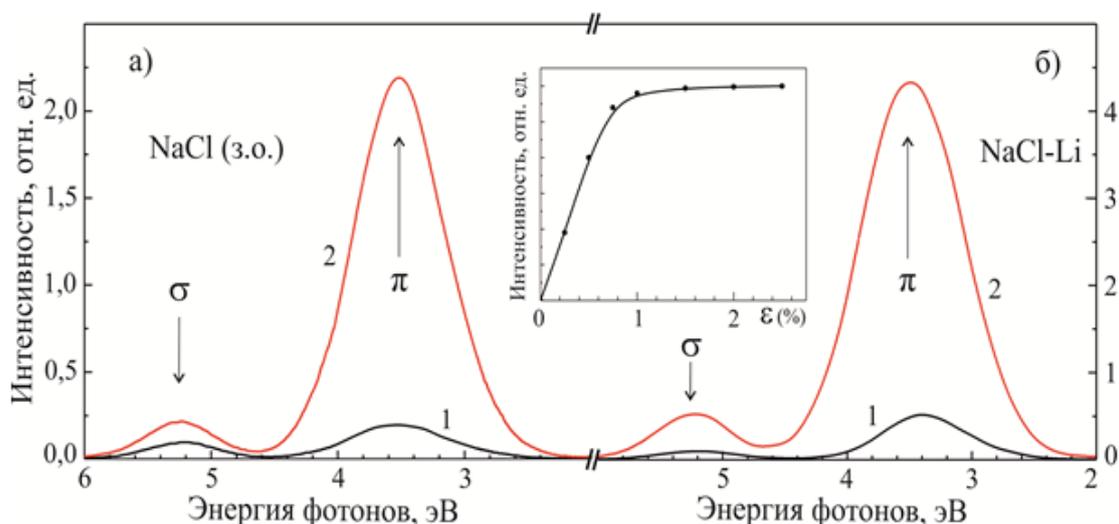


Рисунок 1 - Спектры рентгенолюминесценции кристаллов NaCl и NaCl-Li при 90 К.
 а – NaCl (зонноочищенный): 1- до деформации; 2- при деформации ($\epsilon = 0,9\%$).
 б – NaCl-Li (0,2 моль%): 1- до деформации; 2- при деформации ($\epsilon = 0,9\%$).
 На вставке: зависимость интенсивности π -люминесценции от степени деформации.

на насыщение, характеризует пластическую часть деформации (см. вставку на рис. 1). Аналогичные зависимости интенсивности полос РЛ от степени деформации мы получили и для природного кристалла NaCl.

В спектрах РЛ природного кристалла NaCl при 90 К зарегистрированы полосы с максимумами при 3,9 эВ и 5,25 эВ (рис. 2а, кривая 1).

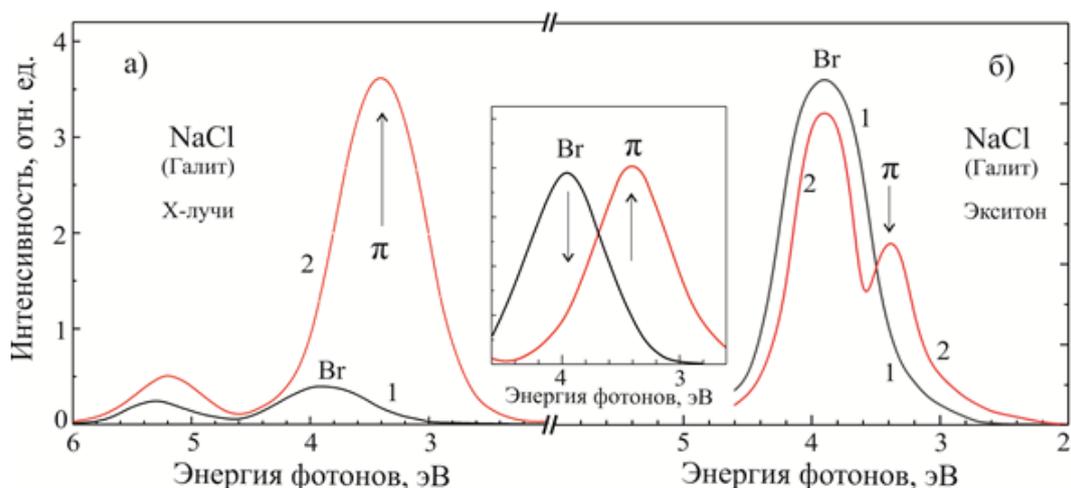


Рисунок 2 – Спектры рентгенолюминесценции (а) и фотолюминесценции (б) кристаллов NaCl (Галит) при 90К:

а – спектры рентгенолюминесценции кристаллов NaCl (галит): 1- до деформации; 2- при деформации ($\epsilon = 0,9\%$).

б– спектры фотолюминесценции кристаллов NaCl (галит) при возбуждении фотонами с энергией 7,6 эВ, создающим экситоны: 1- до деформации; 2- при деформации ($\epsilon = 0,9\%$).

На вставке: нормированные спектры излучения полос с максимумами при 3,95 эВ и 3,4 эВ.

В отличие от синтетического NaCl, в природном кристалле вместо полосы при 3,36 эВ проявляется свечение при 3,95 эВ, по-видимому, имеющее комплексную структуру (наложение нескольких полос). С ростом ε упругой деформации при 90 К наблюдается резкий рост интенсивности π -свечения, в результате чего максимум комплексной полосы смещается от 3,95 эВ в низкоэнергетическую сторону и при $\varepsilon=1\%$ занимает устойчивое положение при 3,4 эВ. Вставка на рисунке 2 демонстрирует нормированные низкоэнергетические полосы РЛ до и при упругой деформации природного кристалла NaCl. В недеформированном кристалле доминирует свечение, связанное с примесью брома, отсутствующее в высокочистом синтетическом кристалле.

Аналогичный эффект разгорания люминесценции был обнаружен в упругодеформированных природных кристаллах NaCl (рис. 2 б), селективно возбужденных фотонами с энергией, соответствующей созданию экситонов (7,6 эВ).

Эффект усиления интенсивности π -люминесценции при ВУФ-возбуждении незначителен, чем при возбуждении рентгеновской радиацией, и уменьшается с уменьшением энергии возбуждающего кванта. Одна из возможных причин наблюдаемых различий при разных способах возбуждения может заключаться в глубинах проникновения ионизирующего излучения в кристалл. Согласно нашим оценкам, жесткий рентгеновский квант ($E=30$ КэВ) от установки РУП-120, работающей в режиме 3 мА, 125 кВ, проникает до 5 мм толщины кристалла, а ВУФ-радиация ($7 \div 8,8$ эВ) проникает лишь в приповерхностный слой кристалла толщиной около 10 мкм. Рабочая толщина кристалла составляет $1 \div 1,3$ мм.

Другая возможная причина различий ВУФ- и X-возбуждений - различие энергий электронных возбуждений (эВ). При возбуждении светом ($7 \div 8,8$ эВ) мы создаем низкоэнергетические экситоны и дырки. Энергия эВ в треке кванта рентгеновского излучения может быть выше, что должно сказаться на длине их свободного пробега.

Заключительные замечания. На основании многочисленных экспериментальных данных [6-11] сформировались представления об основных закономерностях влияния упругой деформации на люминесцентные характеристики ШГК. Главным физическим эффектом, обусловленным действием упругой деформации [6-11], является возрастание вероятности автолокализации эВ (анионные экситоны и электронно-дырочные пары) в регулярных узлах решетки и их последующей излучательной релаксации с появлением квантов собственной люминесценции ШГК.

Первой доказательной базой этого эффекта являлись экспериментальные результаты по перераспределению интенсивности от примесного излучения (таллиевого, при 2,85 эВ) в пользу π -люминесценции (3,3 эВ) АЛЭ в кристалле KI-Tl [9-10]. Эффект усиления собственной люминесценции KI-Tl с ростом степени упругой деформации при 90 К и был интерпретирован как следствие сокращения длины свободного пробега экситона до его автолокализации.

Таким образом, в ШГК с понижением симметрии решетки при приложении упругой деформации сокращается (более чем в 70 раз) длина свободного пробега электронных возбуждений (анионных экситонов), и, как следствие, активизируется автолокализация экситонов в регулярных узлах решетки и существенно ухудшается (ослабляется) передача энергии экситонов на примеси и структурные дефекты вакансионного типа. В итоге в деформированном кристалле наблюдается существенное ослабление свечений, связанных с наличием примесных и структурных дефектов.

В заключение отметим, что в настоящей работе локальные и упругие деформации решетки были использованы для исследования излучательной релаксации электронных возбуждений в матрице NaCl.

Упругая деформация усиливает собственную люминесценцию матрицы NaCl и, соответственно, существенно ослабляет люминесценции, связанные с примесями или вакансионными дефектами.

В природном кристалле NaCl приложенная упругая деформация подавляет люминесценцию с максимумом при 3,95 эВ, по-видимому, связанную с примесными ионами брома (Br).

Установлено, что наряду с ослаблением примесных свечений, приложенная упругая деформация усиливает собственную люминесценцию кристалла. Это обстоятельство позволяет использовать упругую деформацию, влияющую на длину свободного пробега электронных возбуждений в матрице, в качестве экспериментального метода для разделения собственной и примесной люминесценции кристаллов. Отметим, что ранее этот метод был уже применен нами для подтверждения собственной природы (экситоноподобной люминесценции) так называемого E_x -свечения (3,1 эВ) в кристаллах RbI (см. [11]).

Список литературы

- 1 Луцик Ч.Б., Луцик А.Ч. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах.- Москва: Наука, 1989.- 264 с.
- 2 Song K.S., Williams R.T. Self-trapped excitons. – Berlin: Springer Verlag, 1993. – 404 p.
- 3 Lushchik Ch., Lushchik A. Evolution of Anion and Cation Excitons in Alkali Halide Crystals // Physics of the Solid State. – 2018. – Vol. 60. – P. 1487-1505.
- 4 Lushchik A., Lushchik C., Nagirnyi V., Shablonin E., Vasil'chenko E. Low-temperature creation of Frenkel defects via hot electron-hole recombination in highly pure NaCl single crystals // Low Temperature Physics. – 2016. – Vol. 42. – № 7. –P. 547–551.
- 5 Lushchik A., Lushchik C., Vasil'chenko E., Popov A.I. Radiation creation of cation defects in alkali halide crystals: Review and today's concept // Low Temperature Physics. – 2018. – Vol. 44. – № 4. – P. 269–277.
- 6 Babin V., Elango A., Kalder K., Maaros A., Shunkeev K., Vasil'chenko E., Zazubovich S. Luminescent defects created in alkali iodides by plastic deformation at 4.2K // Journal of Luminescence. – 1999. – Vol. 81. – № 1. – P. 71–77.
- 7 Babin V., Bekeshev A., Elango A., Kalder K., Maaros A., Shunkeev K., Vasilchenko E., Zazubovich S. Effect in uniaxial stress on luminescence of undoped and thallium-doped KI and RbI crystals // Journal of Physics: Condensed Matter. – 1999. – Vol. 11. – P. 2303–2317.
- 8 Elango A., Sagimbaeva Sh., Sarmukhanov E., Savikhina T., Shunkeev K. Effect in uniaxial stress on luminescence of X- and VUV - irradiated NaCl and NaBr crystals // Radiation Measurements. –2001. – Vol. 33. – № 5. – P. 823–827.
- 9 Myasnikova L., Shunkeyev K., Zhanturina N., Ubaev Zh., Barmina A., Sagimbaeva Sh., Aimaganbetova Z. Luminescence of self-trapped excitons in alkali halide crystals at low temperature uniaxial deformation // Nucl. Instrum. Meth. B. – 2020. – Vol. 464. – P. 95–99.
- 10 Shunkeyev K., Zhanturina N., Aimaganbetova Z., Barmina A., Myasnikova L., Sagymbaeva S., Sergeyev D. The specifics of radiative annihilation of self-trapped excitons in a KI–Tl crystal under low-temperature deformation // Low Temperature Physics. – 2016. – Vol. 42. – № 7. – P. 580–583.
- 11 Shunkeyev K., Lushchik A., Myasnikova L., Sagimbaeva Sh., Ubaev Zh., Aimaganbetova Z. Deformation-stimulated Ex luminescence in a RbI single crystal // Low Temp. Phys. – 2019. – Vol. 45. – P. 1127–1130. DOI: 10.1063/1.5125992.
- 12 Shunkeyev K., Sarmukhanov E., Bekeshev A., Sagimbaeva S., Bizhanova K. The cryostat for deformation of crystals at low temperatures // Journal of Physics: Conference Series. – 2012. – Vol. 400. – № 5. – P. 052032.

Ж. Убаев, К. Шункеев, Л. Мясникова, Ш. Сагимбаева

К. Жубанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

Нүктелік және серпімді деформация кезіндегі NaCl матрицасының люминесценциясы

Аннотация. NaCl (зоналық тазартылған), NaCl-Li (0,2 моль%) және табиғи NaCl (Галит) кристалдарының төменгі температурадағы (90К) серпімді деформацияланған кезіндегі ($\varepsilon = 0,9\%$) рентгендік люминесценция спектрлері зерттелді. NaCl матрицасында серпімді деформациялық тордың симметриясының төмендеуімен экситондардың тұрақты тор түйіндерінде автоқармалу артып және экситон энергиясының қоспаларға ауысуы айтарлықтай азаятындығы анықталды. Қоспа ион (Br) әсерінен, NaCl (Галит) кристалында серпімді деформация кезінде люминесценция максимумы 3,95 эВ-қа ауысады. Ұсынылған нәтижелер серпімді деформацияны, кристалдардың өзіндік және қоспалық люминесценциясын бөлудің эксперименттік әдісі ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: сілтілі-голоидты кристалл, рентген люминесценциясы, автоқармалған экситон, серпімді деформация, люминесценция.

Zh. Ubayev, K. Shunkeyev, L. Myasnikova, Sh. Sagimbayeva

K.Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

Luminescence of the NaCl matrix under local and elastic deformation

Abstract. The article analyzes the X-ray luminescence spectra at low-temperature (90K) elastic deformation ($\varepsilon=0.9\%$) of high purity NaCl (zone-purified), NaCl-Li (0.2 mol%) and natural NaCl (Halite) crystals. It has been found that, in the NaCl matrix, the self-trapping of excitons in regular lattice sites is activated at a decrease in the symmetry of the lattice by the elastic deformation, and the transfer of exciton energy to impurities is significantly impaired. In the NaCl (Halite) crystal, the applied elastic deformation suppresses the luminescence with a maximum at 3.95 eV associated with impurity bromine (Br) ions. The experimental results allow elastic deformation to be used as an experimental method for separating intrinsic and impurity luminescence of crystals.

Keywords: alkali halide crystal, X-ray luminescence, self-trapped exciton, elastic deformation, luminescence.

References

- 1 Lushchik Ch.B., Lushchik A.Ch. Raspad elektronnyh vzbuzhdenij s obrazovaniem defektov v tverdyh telah [Decay of electronic excitations with the formation of defects in solids] (Moscow: Science, 1989, 264 p.). [in Russian]
- 2 Song K.S., Williams R.T. Self-trapped excitons (Berlin: Springer Verlag, 1993, 404 p.).
- 3 Lushchik Ch., Lushchik A. Evolution of Anion and Cation Excitons in Alkali Halide Crystals, *Physics of the Solid State*, 60, 1487–1505 (2018).
- 4 Lushchik A., Lushchik C., Nagirnyi V., Shablonin E., Vasil'chenko E. Low-temperature creation of Frenkel defects via hot electron-hole recombination in highly pure NaCl single crystals, *Low Temperature Physics*, 42(7), 547–551 (2016).
- 5 Lushchik A., Lushchik C., Vasil'chenko E., Popov A.I. Radiation creation of cation defects in alkali halide crystals: Review and today's concept, *Low Temperature Physics*, 44(4), 269–277 (2018).
- 6 Babin V., Elango A., Kalder K., Maaros A., Shunkeev K., Vasil'chenko E., Zazubovich S. Luminescent defects created in alkali iodides by plastic deformation at 4.2K, *Journal of Luminescence*, 81(1), 71–77 (1999).
- 7 Babin V., Bekeshev A., Elango A., Kalder K., Maaros A., Shunkeev K., Vasilchenko E., Zazubovich S. Effect in uniaxial stress on luminescence of undoped and thallium-doped KI and RbI crystals, *Journal of Physics: Condensed Matter*, 11, 2303–2317 (1999).
- 8 Elango A., Sagimbaeva Sh., Sarmukhanov E., Savikhina T., Shunkeev K. Effect in uniaxial stress on luminescence of X- and VUV - irradiated NaCl and NaBr crystals, *Radiation Measurements*, 33(5), 823–827 (2001).
- 9 Myasnikova L., Shunkeyev K., Zhanturina N., Ubaev Zh., Barmina A., Sagimbaeva Sh., Aimaganbetova Z. Luminescence of self-trapped excitons in alkali halide crystals at low temperature uniaxial deformation, *Nucl. Instrum. Meth. B*, 464, 95–99 (2020).
- 10 Shunkeyev K., Zhanturina N., Aimaganbetova Z., Barmina A., Myasnikova L., Sagymbaeva S., Sergeyev D. The specifics of radiative annihilation of self-trapped excitons in a KI–Tl crystal under low-temperature deformation, *Low Temperature Physics*, 42(7), 580–583 (2016).
- 11 Shunkeyev K., Lushchik A., Myasnikova L., Sagimbaeva Sh., Ubaev Zh., Aimaganbetova Z. Deformation-stimulated Ex luminescence in a RbI single crystal, *Low Temp. Phys*, 45, 1127–1130 (2019). DOI: 10.1063/1.5125992.
- 12 Shunkeyev K., Sarmukhanov E., Bekeshev A., Sagimbaeva S., Bizhanova K. The cryostat for deformation of crystals at low temperatures, *Journal of Physics: Conference Series*, 400(5), 052032 (2012).

Сведения об авторах:

Убаев Ж.К. – *основной автор*, докторант 3-го года обучения кафедры физики физико-математического факультета, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан.

Шункеев К. Ш. – д.ф.-м.н., профессор, директор научного центра «Радиационная физика материалов», Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан.

Мясникова Л.Н. – к.ф.-м.н., асс. профессор, директор департамента науки, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан.

Сажимбаева Ш.Ж. – к.ф.-м.н., асс. профессор кафедры физики физико-математического факультета, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

Убаев Ж. – *The main author*, The 3rd year Ph.D. student of the faculty of Physics and Mathematics, Department of Physics, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan.

Shunkeyev K. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Director of the scientific center "Radiation physics of materials", K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan.

Myasnikova L. – PhD, Ass. Professor, Director of the Department of Science, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan.

Sagimbayeva Sh. – PhD, Ass. Professor of the Department of Physics, faculty of Physics and Mathematics, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan.