

Т. АБДУСАДЫКОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОВ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В  
ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ ФОСФОРАХ С БОЛЬШИМИ  
КОНЦЕНТРАЦИЯМИ АКТИВАТОРА И  
МИКРОДЕФЕКТОВ ОСНОВНОЙ РЕШЕТКИ**

АВТОРЕФЕРАТ

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

ТАРТУ 1961



Т. АБДУСАДЫКОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОВ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В  
ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ ФОСФОРАХ С БОЛЬШИМИ  
КОНЦЕНТРАЦИЯМИ АКТИВАТОРА И  
МИКРОДЕФЕКТОВ ОСНОВНОЙ РЕШЕТКИ**

АВТОРЕФЕРАТ

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК



Диссертация выполнена в Казахском государственном педагогическом институте им. Абая и в лаборатории люминесценции Института физики и астрономии АН Эстонской ССР.

Научный руководитель — академик АН ЭССР Ф. Д. КЛЕМЕНТ.

Защита назначена Ученым Советом естественно-математического факультета Тартуского государственного университета на 24 марта 1961 года.

Дата отправления автореферата 24 февраля 1961 года.

Ученый секретарь: М. Маарту



Проблема природы центров свечения в кристаллофосфорах до сих пор остается одной из основных проблем всей современной теории люминесценции.

Выяснение физико-химического состава центров свечения и происходящих в них электронно-колебательных процессов имеет прямое отношение не только к теории твердого тела, к изучению особенностей микроструктуры кристалла, но и к сознательному управлению свойствами фосфоров (в первую очередь — спектральными) для разнообразных практических целей.

В силу известных преимуществ щелочно-галоидных кристаллов (простота химического состава и кристаллической структуры, а также доступность синтеза в виде совершенных монокристаллов, легко поддающихся различной обработке и измерениям) изучение природы центров свечения особенно успешно развивается в отношении щелочно-галоидных кристаллофосфоров.

Из всех предлагавшихся моделей центров свечения в этом классе фосфоров наибольшее распространение получила модель, предложенная в 1938 г. Зейтцем применительно к фосфору  $\text{KCl-Tl}$  и развивавшаяся дальше в работах Клемента, Шалимовой, Вильямса, Петрашень с сотрудниками, Лущика, Каца и др.

Согласно этой модели центрами свечения в щелочно-галоидных фосфорах являются ионы активатора, встроившиеся в узлы кристаллической решетки взамен катионов основного вещества. Электронно-колебательные переходы в этих центрах соответствуют электронным переходам между энергетическими уровнями в свободных ионах активатора. Особенности спектров кристаллофосфоров обусловлены возмущением этих уровней внутрикристаллическим полем окружающей решетки.

При малых концентрациях активатора ионы его распределяются по основной решетке в одиночку, на достаточно больших расстояниях друг от друга в относительно симметричных условиях внутри кристалла. Взаимное влияние их или же искажение одним из них внутрикристаллического поля вокруг другого

незначительно. Спектральные характеристики щелочно-галоидных фосфоров в этом случае относительно элементарны и сопоставимы со спектральными характеристиками ионов активатора в свободном состоянии. Такое сопоставление для щелочно-галоидных кристаллов NaCl, KCl, KBr и KJ, активированных «ртутеподобными» ионами  $Ga^+$ ,  $Ge^{++}$ ,  $In^+$ ,  $Sn^{++}$ ,  $Tl^+$  и  $Pb^{++}$  и «благородными» ионами  $Ag^+$ ,  $Cu^+$  и  $Au^+$ , проведено Н. Е. Лушиком и Ч. Б. Лушиком и показано, что основные энергетические и вероятностные закономерности, характерные для свободных ионов, качественно сохраняются и для центров люминесценции. Этим спектроскопически доказано, что именно активирующие ионы являются «сердцевиной» центров люминесценции.

Вследствие этого спектры щелочно-галоидных фосфоров при малых концентрациях активатора можно назвать «атомными». Соответствующие им центры свечения будем называть основными центрами или центрами свечения I типа.

Наряду с этим многими исследователями отмечалось усложнение спектральных характеристик щелочно-галоидных фосфоров при увеличении концентрации активатора и механическом раздроблении кристаллов. В обоих случаях наблюдалось появление новых, более длинноволновых спектральных полос и ослабление основных, более коротковолновых полос. С другой стороны, в последние годы убедительно показано, что щелочно-галоидные кристаллы обладают разнообразными собственными и примесными микродефектами, число которых поддается сознательному регулированию в соответствии с пока малоизученными законами «химии микродефектов». Представление о микродефектах нашло непосредственное применение в работах Зейтца, Парфиановича, Лушика, Каца и др. по исследованию природы центров захвата в щелочно-галоидных кристаллофосфорах.

Было естественно предположить, что усложнение спектров, происходящее при увеличении концентрации и нарушении решетки, связано с возникновением новых, более сложных центров свечения, в которых могут участвовать больше чем один ион активатора, а также те или другие микродефекты решетки.

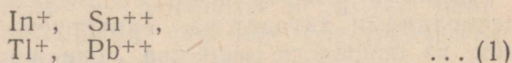
Очевидно, что число таких сложных центров должно увеличиваться при повышении концентрации активатора, введении примесных ионов с иной, чем у ионов основной решетки, валентностью, что должно вести к возникновению пустых узлов, а также при пластической деформации кристалла, которая, как известно, ведет к размножению дислокаций и генерации большого количества точечных микродефектов.



Настоящая работа посвящена дальнейшему экспериментальному исследованию спектральных характеристик щелочно-галоидных фосфоров с большими концентрациями активатора и микродефектов основной решетки с целью получения новых сведений о природе центров люминесценции — особенно сложных центров в щелочно-галоидных фосфорах.

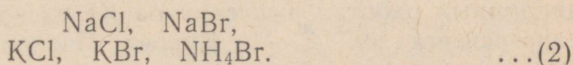
Своеобразие подхода к решению поставленной задачи состоит в комплексном ее изучении, заключающемся в том, что при использовании большого количества фосфоров различного химического состава к ним применялись разнообразные методы физико-химического воздействия и измерялись одновременно все спектральные характеристики этих фосфоров, чтобы получить широкий материал для уверенных суждений о природе созданных таким путем сложных центров.

Для исследований была выбрана гомологическая группа активирующих металлов:



с электронной конфигурацией  $1s^2 \dots np^6 nd^{10} (n+1)s^2$ .

Основанием фосфоров был выбран двойной гомологический ряд



При этом учитывалось, что, во-первых, спектры ртутеподобных ионов  $\text{In}^+$ ,  $\text{Tl}^+$ ,  $\text{Sn}^{++}$  и  $\text{Pb}^{++}$  для сравнительно малых их концентраций в  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{KBr}$  и  $\text{KJ}$  уже надежно интерпретированы, что должно было облегчить понимание более сложной картины при больших концентрациях; во-вторых,  $\text{NH}_4\text{Br}$ , образующий с  $\text{TlBr}$  твердый раствор замещения в широких пределах, являлся особенно подходящим объектом для исследований при высоких концентрациях активатора и для прямой проверки правильности идеи о парных центрах. Вместе с тем, спектральные характеристики щелочно-галоидных солей рядов (2) с такими активаторами как индий и олово при разных концентрациях активатора и микродефектов основной решетки, как и спектральные характеристики  $\text{NaBr}$ , активированного металлами группы (1), вообще почти совсем не изучались.

\*

\*

\*



Образцы для исследований готовились прогреванием выращенных по способу Киропулоса монокристаллических оснований фосфоров в парах активирующих металлов в откачанных стеклянных ампулах при температуре порядка 550—600° С. К началу наших исследований (1954 г.) этот метод еще не был известен. Поэтому нам пришлось сначала проверить пригодность для наших массовых и комплексных опытов различных методов приготовления фосфоров, в результате чего мы остановились на только что разработанном Н. Е. Лушиком методе диффузии активатора из газовой фазы, который и обеспечил приготовление монокристаллических фосфоров в условиях, предохраняющих активатор от окисления. Спектральные характеристики фосфоров, полученных этим путем, оказались в превосходном согласии со спектральными характеристиками фосфоров, изготовленных методом Киропулоса.

Каждый фосфор готовился с тремя различными концентрациями активатора, варьируемыми временем прогрева, из основного вещества, содержавшего и не содержавшего примесные ионы  $\text{Ca}^{++}$  или  $\text{Sr}^{++}$ .

Фактическая концентрация индия и таллия, получившаяся при этом, определялась нами впоследствии методами количественного спектрального анализа. Как это показано в дипломных работах выпускников Казахского государственного университета им. С. М. Кирова Павлова [4] и Деминовой, выполненных под нашим руководством, концентрация индия и таллия в фосфорах, приготовленных нами методом диффузии активатора из газовой фазы, тем больше, чем больше время прогрева в откачанной ампулке. Кроме того, количественный спектральный анализ показал, что при совершенно одинаковых условиях приготовления фосфоров указанным методом, концентрация активатора растет в гомологических рядах основных веществ фосфоров при переходе к более тяжелым анионам и катионам и больше в дефектной решетке, содержащей ионы  $\text{Ca}^{++}$  и  $\text{Sr}^{++}$ , чем в кристалле без них.

Та же картина качественно наблюдалась нами по величине активаторного поглощения в фосфорах, так как приготовленные нами образцы сохраняют все преимущества монокристаллических разновидностей фосфоров, главное из которых состоит в возможности измерять наряду со спектрами излучения и возбуждения также и спектры поглощения. Этим путем мы, например, убедились, что во всех исследованных нами фосфорах, активированных оловом, а также в  $\text{KCl-In}$  и  $\text{KBr-In}$ , мы

имеем дело с большими концентрациями встроившегося в решетку активатора.

Пластическая деформация фосфоров на 10—60% осуществлялась путем сдавливания кристаллов под гидравлическим прессом.

Для всех образцов фотоэлектрическим методом исследовались спектры поглощения, возбуждения и излучения.

\*                      \*

Основной результат проведенного исследования сводится к тому, что на основе широкого материала, полученного изучением спектральных свойств большого количества фосфоров различного химического состава с применением разных методов физико-химического воздействия на эти фосфоры, доказано существование в щелочно-галогидных фосфорах наряду с основными центрами свечения — центрами I, других центров — центров II с характерными для них спектральными свойствами, условиями возникновения и стабильностью.

Предварительно на тех же объектах, которые были использованы для изучения природы центров II, были исследованы спектральные характеристики центров I. В частности, все данные, полученные для NaBr-фосфоров, активированных  $\text{In}^+$ ,  $\text{Tl}^+$ ,  $\text{Sn}^{++}$  и  $\text{Pb}^{++}$ , так же, как и для NaCl-фосфоров, оказались в хорошем согласии с основными представлениями для центров I, установленными Клементом, Ч. Б. Лушиком и Н. Е. Лушиком.

Обобщая результаты, относящиеся непосредственно к природе центров II, можно сказать следующее.

1. Новые центры возникают при увеличении концентрации активатора, пластической деформации и введении примеси двухвалентных ионов не параллельно с основными центрами, а позднее них и за счет подавления их.

2. Характер спектров центров II в общих чертах совпадает с характером спектров центров I, но все спектры центров II сдвинуты в более длинноволновую сторону по сравнению со спектрами центров I.

3. Спектральные характеристики центров II, полученных различными методами (большая концентрация, пластическая деформация и двухвалентная примесь), совпадают между собой как по форме, так и по положению полос.

4. При одном и том же основании разные активаторы дают сильно различающиеся спектры центров II, тогда как один и



тот же активатор в разных основаниях дает спектральные характеристики для центров II, сходные между собой.

5. Условия возникновения центров II в том или другом фосфоре отличаются от условий возникновения основных центров и сильно зависят от степени изоморфизма активатора и основания фосфора, проявляясь в первую очередь в системах с малой смешиваемостью компонент.

Из этих экспериментальных данных был сделан тот главный вывод, что «сердцевинной» или центральной частицей новых центров II остается все тот же ион активатора как и в центрах I. Различие между центрами заключается в том, что в центре I ион активатора находится в катионном узле основной решетки в симметричном окружении других ионов этой решетки, а в центрах II — в более сложном окружении, содержащем дефекты решетки.

В работе детально обсуждаются возможные варианты структуры центров II. В частности, рассматривается мнение некоторых авторов о комплексном, молекулярном характере новых центров. Учитывая, что в условиях ионных кристаллов любое сочетание центрального иона активатора с микродефектами решетки не может привести к преобладанию сил гомеопольярной связи над силами ионной связи, образование двухатомных молекул типа  $Me_2$  в исследованных фосфорах предполагается маловероятным.

Рассмотрены и обсуждены также все возможные другие варианты физико-химической структуры центров II, в частности, «парные центры» (ММ), «дефектные центры» ( $Mv^+$ ,  $Mv^-$ ,  $Mvv^-$ , ...) центры, связанные с дислокациями (МД), и «поверхностные центры» (МП).<sup>\*</sup> Не отрицая, что все эти виды сложных центров свечения могут осуществляться в разных фосфорах в различных условиях, на основе имеющихся экспериментальных фактов и литературных данных делается вывод, что в исследованных фосфорах центры свечения II являются образованиями, содержащими парные ионы ММ, сочетания ионов и дефектов типа  $Mv^+$ ,  $Mv^-$  — так называемые «дефектные центры», и ассоциациями типа  $MMv^+$ ,  $MMvv^-$ , ... . Если в одном фосфоре при одних условиях осуществляются парные ионы ММ, то в других фосфорах имеют место образования типов  $Mv^+$ ,  $Mv^-$  и  $Mv^+v^-$ , а в третьих фосфорах — образования более сложные типов  $MMv^+$ ,  $MMv^-$  и др.

В частности, в фосфоре  $NH_4Br-Tl$  путем изменения типа

<sup>\*</sup> Здесь М — активирующие ионы,  $v^+$  и  $v^-$  — катионная и анионная вакансии соответственно. Д — дислокации и П — поверхности в кристаллах.



решетки при полиморфном переходе экспериментально продемонстрирована различная вероятность появления парных центров в зависимости от типа кристаллической решетки, в согласии с теоретическим расчетом Леверенца.

В этом фосфоре и в других изученных нами системах с хорошим изоморфизмом основания и активатора при увеличении концентрации активатора возникают, по нашему мнению, парные центры. В то же время в других фосфорах, активированных таллием и индием, при пластической деформации и введении примеси двухвалентных ионов  $\text{Ca}^{++}$  или  $\text{Sr}^{++}$  следует ожидать появления центров свечения типов  $\text{MMv}^+$ ,  $\text{MMv}^-$  или  $\text{MMv}^+\text{v}^-$ .

Таким образом, многообразные методы воздействия на фосфоры приводят к возникновению в разных фосфорах различных по своей физико-химической структуре центров свечения II, но определенного типа в каждом данном фосфоре.

Обсуждено два возможных варианта объяснения причин смещения спектров в центрах II по сравнению с центрами I: снятие запрета с ранее запрещенных переходов или энергетическое сжатие расстояния между уровнями, вызванное изменением поля вокруг иона активатора. Сделан выбор в пользу сжатия системы энергетических уровней ионов активатора под действием нового окружения. Другими словами, спектральные характеристики центров II приписываются тем же электронно-колебательным переходам в ионе активатора, что и в центре I, но между уровнями, претерпевшими энергетическое сжатие под действием нового сложного окружения, чем и объясняется смещенность спектральных характеристик центров II в длинноволновую сторону.

Длинноволновые полосы возбуждения и излучения центров II в исследованных нами фосфорах мы сопоставили с переходами  $^1\text{S}_0 \leftarrow ^3\text{P}_1$  в свободном ионе активатора.

На основании промеров спектральных данных наших фосфоров нами вычислены для центров II величины  $E_m^a - E_m^i$  (стоксовых потерь; здесь  $E_m^a$  и  $E_m^i$  — соответственно энергии в максимумах полос поглощения и излучения);  $E_r - E_m^a$  (абсолютного сжатия; здесь  $E_r$  — энергия электронного перехода в свободном ионе);  $q = \frac{E_r}{E_m^a}$  (коэффициента сжатия) и  $E_e = E_m^a - \frac{1}{l+1} (E_m^a - E_m^i)$  (энергии чисто электронного перехода;  $l$  — частотный фактор).

Эти данные собраны в следующей таблице 1.

Таблица 1

| Фосфоры               | Тип центров | $^1S_0 \leftrightarrow ^3P_1$ |                          |        |                                |               |                                           |
|-----------------------|-------------|-------------------------------|--------------------------|--------|--------------------------------|---------------|-------------------------------------------|
|                       |             | $E_m^{\text{э}}$<br>(eV)      | $E_m^{\text{и}}$<br>(eV) | $\rho$ | $E_r - E_m^{\text{э}}$<br>(eV) | $E_e$<br>(eV) | $E_m^{\text{э}} - E_m^{\text{и}}$<br>(eV) |
| NaCl-Tl               | I           | 4,87                          | 4,25                     | 1,33   | 1,62                           | 4,64          | 0,62                                      |
|                       | II          | 4,64                          | 3,35                     | 1,40   | 1,85                           | 4,14          | 1,29                                      |
| KCl-Tl                | I           | 5,02                          | 4,00                     | 1,29   | 1,47                           | 4,63          | 1,02                                      |
|                       | II          | 4,79                          | 3,17/2,46*               | 1,35   | 1,70                           | 4,2/4,0*      | 1,62/2,33*                                |
| KBr-Tl                | I           | 4,75                          | 3,91                     | 1,36   | 1,74                           | 4,68          | 0,85                                      |
|                       | II          | 4,52                          | 3,08                     | 1,43   | 1,97                           | 3,99          | 1,44                                      |
| NH <sub>4</sub> Br-Tl | I           | 4,80                          | 3,03                     | 1,35   | 1,69                           | 4,19          | 1,77                                      |
|                       | II          | 4,41                          | 2,37                     | 1,47   | 2,08                           | 3,62          | 2,04                                      |
| NaCl-In               | I           | 4,22                          | 3,02                     | 1,27   | 1,14                           | 3,80          | 1,20                                      |
|                       | II          | 4,36                          | 2,60                     | 1,23   | 1,00                           | 3,65          | 1,76                                      |
| NaCl-Pb               | I           | 4,54                          | 3,88                     | 1,75   | 3,42                           | 4,30          | 0,66                                      |
|                       | II          | 4,28                          | 2,75                     | 1,86   | 3,68                           | 3,70          | 1,53                                      |

\* Данные для длинноволновых полос излучения с максимумами при  $\sim 380$  мкм и  $\sim 480$  мкм соответственно.

Отсюда видно, что для центров II величина  $E_e$  меньше, а величины  $\rho$ ,  $(E_r - E_m^{\text{э}})$  (за исключением NaCl-In) и  $(E_m^{\text{э}} - E_m^{\text{и}})$  — больше, чем для центров I. Особенно значительны для центров II стоковые потери  $(E_m^{\text{э}} - E_m^{\text{и}})$ . Кроме того, из исследований температурного тушения люминесценции центров I и II следует, что энергия активации температурного тушения  $Q$  для центров II меньше, чем для центров I.

Это свидетельствует о значительном смещении в центрах II минимума потенциальной кривой возбужденного состояния по отношению к минимуму кривой основного состояния, т. е. об увеличении величины смещенности  $x_0$  этих кривых, что также говорит в пользу правильности наших представлений о физико-химической структуре центров II. Только при наличии какой-либо вакансии основной решетки в составе центров II возможно осуществление столь большого изменения конфигурационной координаты для двух указанных электронных состояний центра, с чем и связано большое значение смещенности  $x_0$ .

Нами экспериментально установлено, что в некоторых фосфорах, активированных оловом, индием и свинцом, а именно в

KCl-In,      KBr-In,  
KCl-Sn,      KBr-Sn,  
KCl-Pb,      KBr-Pb,

при любых физико-химических воздействиях, возникают центры свечения только одного типа, причем очень стабильные.

Этот результат сопоставляется с данными Малышевой по



щелочноземельно-галогидным фосфорам, активированным таллием ( $\text{CaCl}_2\text{-Tl}$ ,  $\text{SrCl}_2\text{-Tl}$  и  $\text{BaCl}_2\text{-Tl}$ ), и Паэ по отношению к некоторым аммонийно-галогидным фосфорам, активированным оловом, в которых также установлено наличие центров свечения только одного типа.

В другой же группе фосфоров, перечисленных в таблице 1, центры свечения II появляются сравнительно легко при любом из примененных нами физико-химических методов воздействия на фосфоры.

Для объяснения такого различия в спектральных свойствах изученных фосфоров привлекаются следующие соображения.

1) Степень изоморфизма активатора и основного вещества фосфоров, о чем позволяет судить соотношение ионных радиусов активирующих ионов и катионов основного вещества исследованных нами фосфоров, имеющих следующие значения:

|                                        |                                         |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| $\text{Na}^+ \dots 0,98 \text{ \AA}$   | $\text{In}^+ \dots 1,04 \text{ \AA}$    |
| $\text{K}^+ \dots 1,33 \text{ \AA}$    | $\text{Tl}^+ \dots 1,49 \text{ \AA}$    |
| $\text{NH}_4^+ \dots 1,48 \text{ \AA}$ | $\text{Sn}^{++} \dots 1,02 \text{ \AA}$ |
|                                        | $\text{Pb}^{++} \dots 1,26 \text{ \AA}$ |

Для ионов активатора с радиусом, большим, чем радиус катиона основного вещества (именно такие ионы дают, по нашим данным, центры II типа), образование сложных центров из иона активатора и микродефектов основной решетки, исходя из принципа компенсации объема по Крёгеру, энергетически выгодно.

2) Ионы индия и олова, судя по наибольшей расщепленности уровня  $^1\text{P}_1$ , снятию запрета с ранее запрещенных переходов  $^1\text{S}_0 \rightarrow ^3\text{P}_0$  и  $^1\text{S}_0 \rightarrow ^3\text{P}_2$ , и по большой величине стоксовых потерь, наблюдающихся у этих ионов в составе центров I, сильно подвержены искажению электронных энергетических уровней уже при введении в ненарушенную решетку кристалла.

3) Сравнительно очень слабая подверженность спектральных свойств оловянных и отчасти свинцовых фосфоров влиянию физико-химических воздействий может быть связана еще с тем обстоятельством, что в соответствии с принципом локальной компенсации избыточного заряда, каждый ион активатора уже и при малой концентрации активатора и без деформирующих воздействий имеет возле себя катионную вакансию и центры свечения в оловянных и некоторых свинцовых фосфорах вероятнее всего типа  $\text{Mv}^+$ , т. е. характера центров II в нашем понимании.

Можно также думать, что малый размер этих ионов ( $1,02 \text{ \AA}$  и  $1,04 \text{ \AA}$  для  $\text{Sn}^{++}$  и  $\text{In}^+$  соответственно) по сравнению с размерами замещаемых ими катионов, в особенности в солях калия

(с ионным радиусом в  $1,33 \text{ \AA}$ , позволяет им оставаться в районе узлов основной решетки даже при значительных их концентрациях.

В нашей работе продемонстрирована возможность увеличения числа сложных центров II как за счет увеличения концентрации активатора (т. е. одной компоненты сложного центра), так и путем увеличения концентрации собственных микродефектов кристалла (т. е. другой компоненты сложного центра) в результате пластической деформации и введения двухвалентной примеси.

Приведенные нами результаты следует рассматривать как еще одно проявление правильности зейтцевской модели центров люминесценции в щелочно-галоидных кристаллофосфорах.

Если исследования природы центров свечения I типа в щелочно-галоидных фосфорах имеют тридцатилетнюю давность, хотя спектроскопия их получила развитие лишь в последнее время, то исследования природы центров свечения II типа по существу только начинается и суждения о них носят пока предварительный характер. Следует отметить, что эти новые центры сильно зависят от ионных процессов в кристаллах. Поэтому естественно надеяться, что дальнейшее изучение центров II путем применения разнообразных методов физико-химического воздействия на кристалл может дать многое не только для спектроскопии вещества в конденсированной фазе, но может служить также перспективным методом изучения деталей микроструктуры в реальных щелочно-галоидных кристаллах, как на это неоднократно указывал Ф. Д. Клемент.

Результаты этой работы докладывались на Всесоюзном совещании по физике щелочно-галоидных кристаллов, состоявшемся с 30-го июня по 4-е июля 1959 г. в гор. Тарту, на двух научных конференциях профессорско-преподавательского состава Казахского государственного педагогического института им. Абая в городе Алма-Ата, состоявшихся весной 1959 и 1960 годов, и дважды на семинаре по люминесценции при Тартуском государственном университете.

Основные результаты работы опубликованы в следующих статьях [1—4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Т. Абдусадыков, Опт. и спектр., 7, вып. 2, 250, 1959.
2. Т. Абдусадыков, Труды ИФА АН ЭССР, № 10, 97, 1959.
3. Т. Абдусадыков, Труды ИФА АН ЭССР, № 10, 122, 1959.
4. Т. Абдусадыков, В. Е. Павлов, Сборник научных работ КазГУ, вып. 2, 145, 1960.





Бесплатно

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 01004962 7