

УДК 541.49

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ИОНА НЕОДИМА С ОКРУЖЕНИЕМ В РАЗЛИЧНЫХ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

© 2019 г. **Л. В. Левкин**<sup>1</sup>, **В. И. Ральченко**<sup>2, \*</sup>

<sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>МИРЭА – Московский технологический университет, Москва, Россия

\*e-mail: [tatkaq@mail.ru](mailto:tatkaq@mail.ru)

Поступила в редакцию 17.04.2018 г.

После доработки 20.12.2018 г.

Принята к публикации 24.01.2019 г.

Предложена методика построения нефелоксетических рядов (НР) по положениям энергетических уровней иона  $Nd^{3+}$  исходя из нефелоксетического эффекта (НЭ). Энергетические мультиплеты иона, имеющие штарковские подуровни, рассматриваются в виде барицентров. Это позволило исключить из рассмотрения другие эффекты, не причастные к НЭ, и получать НР в более “чистом” виде. Использование этих НР позволило расположить различные координационные соединения иона  $Nd^{3+}$  в ряд, в котором характер химической связи иона с окружением изменяется от ковалентной до ионной. Исследованы около 300 различных соединений иона  $Nd^{3+}$ .

*Ключевые слова:* ион неодима, степень ковалентности, ионности химической связи, нефелоксетический эффект, энергетические электронные уровни, барицентр терма, нефелоксетический сдвиг, нефелоксетический ряд

DOI: 10.1134/S0132344X19070053

Эффект изменения электростатического взаимодействия электронов с ядром и между собой для какого-либо иона в соединении по сравнению со свободным ионом определен как нефелоксетический эффект (НЭ). Как оказалось, НЭ приводит к смещению энергетических уровней иона в химическом соединении по отношению к уровням свободного иона. Исторические аспекты наблюдения этого явления и определение самого понятия нефелоксетического сдвига (НС) представлены в [1, 2].

Причиной возникновения НЭ является изменение плотности электронного облака вокруг иона в соединениях, где химическая связь имеет ковалентный характер по сравнению со свободным ионом или соединениями с ионной связью. Это обусловлено воздействием центрально-симметричных радиальных составляющих поля окружения (кристаллического поля), вызывающего относительное смещение термов данного иона. Под термом для ионов редкоземельных элементов (РЗЭ) понимают совокупность энергетических уровней, величина энергии которых определяется спин-орбитальным взаимодействием (обозначают как *S*, *P*, *D*, *F*, *J* и т.д., которые состоят из мультиплетов [3, 4]). В соответствии с НЭ для разных химических соединений изменение

энергии определенных термов в схеме энергетических уровней различно, что позволяет обнаружить НС и оценить характер химической связи иона с окружением.

Изменение энергии термов для ионов РЗЭ приводит к смещению энергии входящих в его состав *J*-уровней, расщепленных на подуровни кристаллическим полем окружения (штарковское расщепление). Экспериментально НЭ проявляется при исследовании оптических спектров иона РЗЭ в соединениях путем измерения энергии термов и их подуровней и сравнением этих значений с таковыми для свободного иона или для иона в других соединениях. В [5] при исследовании НЭ был введен так называемый коэффициент “степени ковалентности” и в качестве исходного репера использовалось положение спектральной линии иона РЗЭ в водном растворе (в акваионе). Однако для большинства ионов РЗЭ такое определение “абсолютного” НС не является правильным по причинам, которые будут изложены ниже.

Разность энергии спин-орбитальных *J*-уровней, относящихся к одному и тому же терму, отличается в различных матрицах иным проявлением НЭ. Это происходит из-за того, что изменение плотности электронного облака иона РЗЭ, свя-

занное с воздействием поля окружения, влияет также и на спин-орбитальное взаимодействие.

Следует особенно подчеркнуть, что прямых методов экспериментального определения степени ковалентности химической связи иона РЗЭ в различных соединениях к настоящему времени нет. В то же время величина НС косвенным образом позволяет судить о степени ковалентности химической связи иона РЗЭ с окружением. Степень ковалентности зависит не только от входящих в состав комплекса атомов, а также от координационного числа (КЧ) и формы координационного полиэдра, так как эти параметры задают расстояния атомов окружения от иона РЗЭ и степень перекрытия их электронных облаков. Упрощенно НЭ объясняется с помощью модели линейной комбинации атомных орбиталей (ЛКАО) [4].

В настоящей работе рассмотрены вопросы, относящиеся к предлагаемой методике получения данных о НС уровней иона РЗЭ по их оптическим спектрам. Наиболее обширные данные о спектрах поглощения и люминесценции имеются для иона  $\text{Nd}^{3+}$  в различных координационных соединениях в связи с широким использованием этого иона в лазерных материалах.

#### МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ НС ИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ

Представим методику определения НС из оптических спектров иона РЗЭ. Первоначально необходимо выбрать термы, изменение разности энергий которых будет характеризовать НЭ. Целесообразно для этого рассматривать термы с простейшей (линейной) зависимостью их энергии от параметров кристаллического поля (из теории атомных спектров [3, 4]).

Из спектров поглощения и люминесценции для ионов РЗЭ получаем значения энергии всех подуровней в каждом из  $J$ -уровней выбранных термов. Следующий этап расчета НС – вычисление средней энергии (центра тяжести, барицентра) каждого из  $J$ -уровней мультиплета (с учетом степени вырождения составляющих его подуровней).

Для иона  $\text{Nd}^{3+}$  мы рассматриваем термы  $^4I$ ,  $^4F$ ,  $^2P$ , поскольку для них имеется больше всего спектроскопических данных. Из всей совокупности уровней этих термов мы остановились на основном  $^4I_{9/2}$  и возбужденных  $^4F_{3/2}$ ,  $^2P_{1/2}$ . Так как все  $J$ -уровни терма  $^4I$  “изолированы” (не перекрываются с уровнями других термов), определяем значение энергии его подуровней и рассчитываем энергию барицентра мультиплета. У терма  $^4F$  “изолированы” только подуровни  $^4F_{3/2}$ , а энергии подуровней остальных  $J$ -уровней ( $^4F_{5/2}$ ,  $^4F_{7/2}$ ,  $^4F_{9/2}$ ) близки к энергиям подуровней других термов ( $^2H$  и  $^4S$ ), что и вызывает трудности в их идентифика-

ции. В терме  $^2P$  из двух  $J$ -уровней “изолирован” лишь  $^2P_{1/2}$ , другой  $^2P_{3/2}$  во многих матрицах испытывает “смешивание” с уровнем  $^4D_{3/2}$ . Таким образом, у иона  $\text{Nd}^{3+}$  для надежного сравнения могут подходить энергии указанных уровней.

Следует отметить, что для иона  $\text{Nd}^{3+}$  во многих соединениях переход между основным уровнем  $^4I_{9/2}$  и метастабильным  $^4F_{3/2}$  исследован с помощью спектров поглощения и люминесценции при разных, в том числе низких температурах. При этом можно найти энергию подуровней  $^4F_{3/2}$ , а также структуру уровня  $^4I_{9/2}$  из спектров люминесценции перехода  $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$ . Из этих данных получаем разность энергий барицентров указанных уровней.

Если соединение с  $\text{Nd}^{3+}$  не люминесцирует, то для расшифровки структуры уровней можно использовать только спектры поглощения. Для определения энергии подуровней  $^4I_{9/2}$  используют спектры, снятые при комнатной или более высокой температуре, когда все пять подуровней в достаточной степени заселены. При этом переход  $^4I_{9/2} \rightarrow ^4F_{3/2}$  должен дать десять линий поглощения. Это существенно затрудняет интерпретацию входящих в него уровней, потому что при комнатной температуре линии поглощения имеют большую ширину, чем при температурах жидкого азота или жидкого гелия. Могут быть также полезны снятые при комнатной температуре спектры поглощения перехода  $^4I_{9/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$ , которые дают возможность получить значения энергии подуровней основного состояния  $^4I_{9/2}$ . Для нелюминесцирующих матриц поступаем следующим образом: положение подуровней  $^4F_{3/2}$  и уровня  $^2P_{1/2}$  определяем из низкотемпературных спектров поглощения. Затем из спектра поглощения  $^4I_{9/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$  при комнатной или более высокой температуре получаем энергии всех подуровней  $^4I_{9/2}$  и определяем его барицентр.

Рассмотрим возможные способы непосредственного определения НС из оптических спектров ионов РЗЭ, предлагаемые другими авторами. Так, в [6, 7] приводятся спектры поглощения  $\text{Nd}^{3+}$  перехода  $^4I_{9/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$  для ряда стекол различного состава при 4.2 К и по смещению этой линии судят об их степени ковалентности. Однако в случае стекол из спектров люминесценции для основного уровня  $^4I_{9/2}$  (с которого идет поглощение) невозможно определить штарковские составляющие из-за значительного неоднородного уширения отдельных спектральных линий и, соответственно, установить положение барицентра уровня  $^4I_{9/2}$ . Ошибка в определении НС для  $\text{Nd}^{3+}$  может быть равна примерно половине полного расщепления

уровня  ${}^4I_{9/2}$  в исследуемых стеклах, т.е. десятков или сотен  $\text{см}^{-1}$ .

Такая ошибка наблюдается при измерении НС и при низких температурах, но без расшифровки структуры  $J$ -уровней, и определения их барицентров, а только по одной линии, соответствующей переходу с низшего подуровня  ${}^4I_{9/2}$  на уровни  ${}^4F_{3/2}$  или  ${}^2P_{1/2}$  [7, 8].

Указанные выше методики не позволяют определить для разных соединений значения НС, сопоставимые между собой, так как в полученные по этим методикам значения разности энергий основного уровня  ${}^4J_{9/2}$  входят величины, связанные со штарковской структурой расщепления этого уровня в кристаллическом поле окружения активного иона (т.е. с факторами, не имеющими прямого отношения к НЭ). При этом величина возникающей ошибки в ряде случаев будет превышать саму величину НС в сопоставляемых соединениях.

Это относится также к измерению положений спектральных линий для уровня  ${}^4I_{9/2}$  в акваионе при комнатной температуре. Из рассматриваемых спектров поглощения невозможно получить информацию о штарковском расщеплении основного уровня и вычислить положение его барицентра, так как спектральные переходы при комнатной температуре не разрешаются из-за температурного уширения линий. Поэтому нецелесообразно применение этих данных для акваиона и использование их в качестве “нулевого” репера при определении “абсолютного” НС для всех других соединений Nd(III).

### АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ОШИБОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ НС

Один из важных вопросов, относящихся к экспериментальному определению НС в различных соединениях – классификация и оценка возникающих при этом ошибок.

Во-первых, необходимо выделить ошибки измерения положения линий в спектрах поглощения, люминесценции или возбуждения. Неточность в экспериментальном определении энергетического положения линий обусловлена причинами, связанными как со спектральным прибором, так и с обработкой графика спектральной зависимости. Первая группа ошибок аппаратурная, связанная с разрешающей способностью спектрального прибора и ограничивающая точность измерения  $\lambda_{\text{max}}$  линии. Кроме того, неточность прибора связана с его абсолютной калибровкой, дающей систематическую погрешность. Вторая группа ошибок относится к самим спектральным линиям. Эти ошибки возникают при выделении линий из

спектров в реальных условиях, когда отношение сигнал : шум конечно.

Следующая группа ошибок в определении энергии уровней связана с неправильной идентификацией линий в спектрах, когда линия приписывается к переходу не на тот подуровень, к которому она относится на самом деле. Такого рода ошибки реже встречаются при обработке спектров с одним центром активного иона. Если для соединения характерна многоцентровость, т.е. активный ион имеет несколько типов окружения с различными КЧ и симметрией ближайшего окружения, возможность неправильной интерпретации линий значительно возрастает. Неправильное отнесение линий дает искаженную картину штарковского расщепления этих центров и приводит к ошибочному определению энергий барицентров уровней для одного или другого в случае многоцентральной системы активных центров. Узкополосное возбуждение линий одного определенного активного центра, применяемое в современных методиках получения спектров люминесценции, позволяет избежать такого рода ошибок.

Источником ошибок в определении энергии уровней иона РЗЭ может быть проявление электронно-колебательной структуры в спектрах, когда интенсивная вибрационная линия ошибочно отождествляется с электронным переходом на один из подуровней  $J$ -уровня (ошибка может составлять сотни  $\text{см}^{-1}$ ). В случае запрещенного перехода такая вибрационная линия может быть принята за линию разрешенного перехода. Рассмотрим влияние перечисленных выше ошибок на измерение НС и оценим типичную величину каждой из них.

Данные о калибровке спектральных приборов в большинстве публикаций не приводятся. Остается предположить, что величина этих ошибок не больше погрешностей измерения положения спектральных линий.

Рассмотрение ошибок в интерпретации спектров и неправильной идентификации линий подуровней и их энергии, а следовательно, и в точности определения энергии барицентров  $J$ -уровней повышает величину значений ошибок. Только в редких случаях по приведенным в публикации данным можно обнаружить и исправить такого рода ошибки. Это чаще всего сводится к нахождению очевидных опечаток в тексте статьи или ошибок при пересчете длины волны в волновые числа. Они могут значительно превосходить ошибки, связанные с определением длины волны спектральных линий. Так, величина полного расщепления уровня  ${}^4I_{9/2}$  для  $\text{Nd}^{3+}$  в большинстве матриц составляет несколько сотен  $\text{см}^{-1}$  и ошибочная идентификация хотя бы одного из пяти подуровней; например, отнесение в многоцен-

тровой системе спектральной линии не к тому активному центру приводит к неправильному определению барицентра этого уровня на десятки  $\text{см}^{-1}$ .

Ошибка в значении энергии барицентра  $J$ -уровня, имеющего вырожденные подуровни вследствие неправильного приписывания им степени вырождения, имеет тот же порядок.

Одним из возможных путей по устранению указанных выше ошибок является сопоставление спектральных результатов, относящихся к данному соединению или же к соединениям, близким по составу и строению, и выполненных разными авторами. Но, к сожалению, такие работы не всегда удается найти. Также может помочь построение НР для иона РЗЭ, так как в них могут проявиться те грубые ошибки в определении энергии уровней, которые превышают разброс значений НС, полученных для одного и того же соединения в разных экспериментах или для сходных соединений по типу ближайшего окружения иона РЗЭ. Разумеется, при такой отбраковке результатов не следует полагаться только на формальный признак несовпадения рассматриваемого результата с большинством других, поскольку правильным может оказаться именно этот. По нашему мнению, при построении НР в них следует включать все без исключения данные, которые получены с достаточной точностью. В тех случаях, когда НР можно построить для двух или более пар уровней, принадлежащих к разным термам, появляются дополнительные возможности для выявления подозрительных по надежности результатов. Основанием для этого является вся совокупность данных по различным соединениям, для которых имеются результаты по двум парам уровней. Это позволяет выявить результаты, выпадающие из общей закономерности, о чем в дальнейшем пойдет речь.

Дополнительным аргументом в пользу построения НР по данным как можно большего числа работ, сделанных разными авторами, является усреднение систематических и случайных ошибок. Следовательно, к этим данным можно применять статистические методы обработки.

Возникает также общий вопрос о правомерности использования для определения НС в каком-либо соединении данных об энергии барицентров  $J$ -уровней, которые для одного из сопоставляемых уровней взяты из одной работы, а для другого — из другой, и эти работы выполняли разные авторы. Такие комбинированные данные, в которых энергии подуровней для разных уровней взяты из различных работ, довольно часто приводятся в литературе. Это позволяет получить наиболее полное представление о всей системе уровней иона РЗЭ в соединении, а также о характере их расщепления. Однако при исследовании НЭ, когда требуется получить численное его значение по разности

энергий барицентров этих уровней, могут появиться погрешности, связанные с ошибками в калибровке используемых разными авторами спектральных приборов. Подобные ошибки обычно не проявляются при снятии спектров, относящихся к разным уровням на одном приборе. Кроме того, объединять при изучении НЭ спектроскопические результаты разных авторов можно лишь в случае идентичности окружения активного иона в исследуемых образцах. Это условие в ряде случаев не удовлетворяется из-за различного легирования иона РЗЭ монокристаллов. Это связано с сильной зависимостью строения ближайшего окружения иона РЗЭ, в частности от уровня легирования, т.е. от концентрации активного иона, а также от методики приготовления образца. Поэтому при исследовании НС можно сопоставлять данные разных авторов для одинаковых или близких по составу соединений, что позволит обнаружить изменение строения ближайшего окружения в них. Однако, по нашему мнению, не следует пользоваться значениями энергий уровней, полученными путем комбинирования данных, принадлежащих разным авторам.

Таким образом, можно предложить следующую схему построения НР для соединений иона РЗЭ. После анализа литературных данных по спектроскопии иона РЗЭ, выбранного для построения НР, отбирают те данные, для которых имеются сведения об энергии всех подуровней по меньшей мере для двух  $J$ -уровней иона РЗЭ (относящихся к разным термам) или о положении спектральных линий переходов, из которых можно получить значения энергий этих подуровней.

Точность определения энергии указанных подуровней в обоих случаях должна быть не ниже единиц  $\text{см}^{-1}$ , только тогда можно надеяться, что ошибка при вычислении НС не превысит величину его абсолютного значения для соединений с близким, но различным строением активных центров иона РЗЭ. Практически в спектроскопических измерениях это соответствует точности определения длины волны не ниже 0.1 нм. Далее проводится расчет энергий барицентров выбранных  $J$ -уровней и вычисляются разности, на основании чего строится НР для указанной пары уровней, принадлежащих к двум разным термам иона РЗЭ. Если имеются экспериментальные данные, позволяющие вычислить энергии барицентров для другой пары уровней, в которой хотя бы один из них принадлежит к какому-либо третьему терму иона РЗЭ, они используются для построения еще одного НР, относящегося именно к этой паре уровней. Если известны энергии барицентров трех  $J$ -уровней из разных термов, можно построить для каждой из трех пар уровней три НР. Для иона  $\text{Nd}^{3+}$ , как уже упоминалось выше, такая ситуация осуществима, так как для него во

многих случаях из спектроскопических данных можно получить значение энергий бариев центров уровней  ${}^4I_{9/2}$ ,  ${}^4F_{3/2}$  и энергии уровня  ${}^2P_{1/2}$ .

### ПОСТРОЕНИЕ НР ДЛЯ ИОНА $Nd^{3+}$

Наибольшее число опубликованных данных по спектрам  $Nd^{3+}$  относится к переходам, связывающим основной уровень  ${}^4I_{9/2}$  с метастабильным уровнем  ${}^4F_{3/2}$ . Изменение разности энергий бариев центров этих уровней  $Nd^{3+}$  в различных соединениях представляет собой, например, первый НР. Имеется много данных по переходам с основного уровня  ${}^4I_{9/2}$  на уровень  ${}^2P_{1/2}$ . По этим данным можно построить второй НР для разности энергий бариев центра уровня  ${}^4I_{9/2}$  и уровня  ${}^2P_{1/2}$ . Для большого числа соединений в публикациях представлены спектральные данные для энергии трех уровней —  ${}^4I_{9/2}$ ,  ${}^4F_{3/2}$  и  ${}^2P_{1/2}$ . Следовательно, можно построить даже три НР для парных разностей энергий этих уровней и провести их сопоставление.

Энергии бариев центров  $J$ -уровней, для которых строятся НР, обозначаются как  $E({}^4I_{9/2})$ ,  $E({}^4F_{3/2})$ ,  $E({}^2P_{1/2})$ , а их разности как

$$\Delta_1({}^4F_{3/2} - {}^4I_{9/2}) = E({}^4F_{3/2}) - E({}^4I_{9/2}),$$

$$\Delta_2({}^2P_{1/2} - {}^4I_{9/2}) = E({}^2P_{1/2}) - E({}^4I_{9/2}),$$

$$\Delta_3({}^2P_{1/2} - {}^4F_{3/2}) = E({}^2P_{1/2}) - E({}^4F_{3/2}).$$

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 представлены литературные данные для  $\Delta_1({}^4F_{3/2} - {}^4I_{9/2})$ , для  $\Delta_3({}^2P_{1/2} - {}^4F_{3/2})$  и для  $\Delta_2({}^2P_{1/2} - {}^4I_{9/2})$ , относящиеся к конкретному химическому соединению. В представленных матрицах (соединениях) активный ион  $Nd^{3+}$  имеет различный тип окружения.

На рис. 1 по оси  $x$  отложены значения для  $\Delta_2({}^2P_{1/2} - {}^4I_{9/2})$ , по оси  $y$  — для  $\Delta_1({}^4F_{3/2} - {}^4I_{9/2})$ , т.е. дано совместное представление двух НР. Усредненная прямая, проходящая между экспериментальными точками, демонстрирует линейную зависимость, которую можно выразить уравнением  $Y = 0.58X - 2067$  см $^{-1}$ , угол наклона  $\sim 30^\circ$ . Точки для некоторых соединений смещаются от прямой, указывая на отклонение, вызванное влиянием второй и третьей координационных сфер окружения иона  $Nd^{3+}$ , а также искажением координационного полиэдра. Наиболее часто это наблюдается для соединений, в которых  $Nd^{3+}$  занимает места, не соответствующие трем валентным ионам (в  $CaF_2$ ,  $LiNbO_3$ ,  $Ca(NbO_3)_2$  и др.).

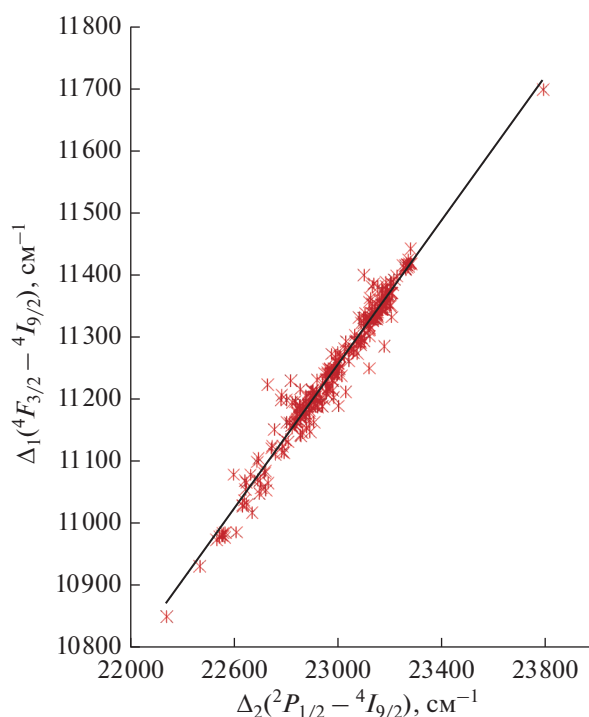


Рис. 1. Зависимость  $\Delta_1({}^4F_{3/2} - {}^4I_{9/2})$  от  $\Delta_2({}^2P_{1/2} - {}^4I_{9/2})$ .

Соединения в ряду с номерами от 0–40 имеют преимущественно ковалентную химическую связь иона неодама с окружением (табл. 1). В этой группе фигурируют оксидные соединения с КЧ 6, некоторые органические соединения.

Соединения с номерами от 40 до 180 имеют промежуточный характер ковалентно-ионной химической связи иона неодама с окружением. Для остальных соединений в большей степени характерна ионная связь. К этой группе в основном относятся фторидные, ультрафосфатные соединения, а также комплексы, содержащие  $Cl^-$  и группы  $OH^-$  (КЧ 8 или  $>8$ ).

Точка для свободного иона  $Nd_{iv}$  удалена вправо и вверх, что заведомо указывает на ионный характер связи и незначительно смещается с линейной зависимости. По нашему мнению, это подтверждает правильность представленной методики построения НР для различных соединений, что позволяет указать на относительную степень ковалентности химической связи  $Nd^{3+}$  с окружением. Как уже отмечалось, прямых экспериментальных методов определения характера химической связи ионов с окружением нет.

Таким образом, представлены экспериментальные данные для  $\sim 300$  соединений иона неодама, для которых с ростом номера уменьшается степень ковалентности и увеличивается степень ионности. Отступление от этого закона линейно-

**Таблица 1.** Разности энергий барицентров уровней ( $\text{см}^{-1}$ ):  $\Delta_1(^4F_{3/2} - ^4I_{9/2})$ ,  $\Delta_3(^2P_{1/2} - ^4F_{3/2})$  и  $\Delta_2(^2P_{1/2} - ^4I_{9/2})$  по мере увеличения  $\Delta_1(^4F_{3/2} - ^4I_{9/2})^*$ 

Номер соединения	$\Delta_1(^4F_{3/2} - ^4I_{9/2})$	$\Delta_3(^2P_{1/2} - ^4F_{3/2})$	$\Delta_2(^2P_{1/2} - ^4I_{9/2})$	Химическое соединение (тип центра)	Ат. % (мол. %); {T, K}**	Литература**
1	10850.3	11491.5	22341.8	CaF <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup> (C)	0.2; {77}	[9]
2	10931.5	11537.5	22469.0	Sr <sub>3</sub> La <sub>1.95</sub> Nd <sub>0.05</sub> W <sub>2</sub> O <sub>12</sub> (2)	2.5; {77}	[10]
3	10973.8	11560.0	22533.8	LuScO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[11]
4	10974.0	11560.0	22534.0	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Sc <sub>2</sub> O-Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[11]
5	10977.7	11587.5	22565.2	Lu <sub>0.2</sub> Y <sub>0.8</sub> ScO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[11]
6	10978.9	11564.5	22543.4	Lu <sub>0.8</sub> Y <sub>0.2</sub> ScO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[11]
7	10980.0	11577.0	22557.0	Lu <sub>0.4</sub> Y <sub>0.6</sub> ScO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[11]
8	10981.2	11572.0	22553.2	Lu <sub>0.6</sub> Y <sub>0.4</sub> ScO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[11]
9	10985.1	11573.5	22558.6	YScO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[12]
10	10986.0	11581.0	22567.0	Lu <sub>0.1</sub> Y <sub>0.9</sub> ScO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[11]
11	10986.3	11623.5	22609.8	Nd(Btmsm) <sub>3</sub>	100; {5-300}	[13]
12	11017.7	11652.5	22670.2	Sr <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> F-Nd <sup>3+</sup> (M)		[14]
13	11028.1	11605.9	22634.0	C-Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	(0.92-2); {4.2-77}	[15]
14	11029.9	11604.5	22634.4	LiNd <sub>0.025</sub> Y <sub>0.975</sub> O <sub>2</sub>	2.5; {20-300}	[16]
15	11030.4	11619.0	22649.4	(COT)Nd[HB(3.5Mepz)]		
16	11037.6	11602.0	22639.6	LiYO <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[17]
17	11048.5	11649.5	22698.0	Nd(Btms) <sub>3</sub> (CNC <sub>6</sub> H <sub>11</sub> ) <sub>2</sub>	100; {90-300}	
18	11054.1	11669.5	22723.6	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> F-Nd <sup>3+</sup> (M)	{77}	[18]
19	11054.9	11589.5	22644.4	LiNbO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77-293}	[19]
20	11057.0	11648.0	22705.0	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> F-Nd <sup>3+</sup> (M)	0.5-4; {4.2}	[14]
21	11065.2	11666.0	22731.2	(THF) <sub>3</sub> Li(μ-Cl)Nd[N(SiMe <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sub>3</sub>	100; {77}	
22	11065.9	11582.5	22648.4	Y <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {77}	
23	11069.0	11574.0	22643.0	LiNbO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.1-1; {4.2-293}	[20]
24	11069.0	11631.0	22700.0	LiNbO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.1-1; {4.2-293}	[21]
25	11070.3	11620.5	22690.8	A-Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	{10-00}	[22]
26	11078.8	11521.0	22599.8	Nd <sub>0.02</sub> Y <sub>1.98</sub> SO <sub>2</sub> (1)		
27	11079.1	11584.5	22663.6	LiNbO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.1-5; {77}	[23]
28	11081.7	11635.5	22717.2	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {10-290}	[24]
29	11084.6	11637.0	22721.6	BaNd <sub>2</sub> ZnO <sub>5</sub>	(2); {300}	[25]
30	11099.6	11590.6	22689.6	LiNbO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	(2); {300}	[26]
31	11105.2	11590.0	22695.2	Nd <sub>2</sub> SO <sub>2</sub>	100; {8-300}	[27]
32	11111.9	11646.5	22758.4	Cp <sub>3</sub> Nd · CNC <sub>6</sub> H <sub>11</sub>	100	[28]
33	11114.6	11679.0	22793.6	NdT <sub>7</sub> O <sub>19</sub>	100	[29]
34	11114.9	11670.5	22785.4	Gd <sub>0.4</sub> Y <sub>0.6</sub> ScO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[30]
35	11121.5	11622.5	22744.0	La <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup> (1)	1-2; {77}	[31]
36	11124.3	11662.5	22786.8	GdScO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1-10; {77}	[32]

Таблица 1. Продолжение

Номер соединения	$\Delta_1(^4F_{3/2} - ^4I_{9/2})$	$\Delta_3(^2P_{1/2} - ^4F_{3/2})$	$\Delta_2(^2P_{1/2} - ^4I_{9/2})$	Химическое соединение (тип центра)	Ат. % (мол. %); {T, K}**	Литература**
37	11125.0	11621.5	22746.6	La <sub>1.95</sub> Nd <sub>0.05</sub> SO <sub>2</sub>	2.5; {4.2}	[31]
38	11131.7	11676.5	22808.2	CsCdBr <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.02; {1.5-2.1}	[33]
39	11134.8	11663.0	22797.8	NdOCl	100; {77}	[34]
40	11141.2	11717.0	22858.2	Ca <sub>4</sub> YO(BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	7; {10}	[35]
41	11142.5	11711.5	22854.0	Ca <sub>4</sub> GdO(BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	7; {10}	[35]
42	11146.1	11717.5	22863.6	Ca <sub>4</sub> Nd <sub>0.1</sub> Gd <sub>0.9</sub> O(BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	10; {4.2-300}	[35]
43	11148.0	11691.0	22893.0	92ZrO <sub>2</sub> -8Y <sub>2</sub> O <sub>36</sub>	0.17; {10}	[36]
44	11151.5	11603.5	22755.0	(Cp-d <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> Nd · THF-d <sub>6</sub>	7; {50-300}	
45	11154.0	11671.0	22825.0	Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {300}	[37]
46	11154.7	11723.5	22878.2	NaGdGeO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {300}	[38]
47	11158.2	11665.0	22823.2	KLu(WO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup>	3; {77}	[39]
48	11158.9	11674.5	22833.4	Nd <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	100	[40]
49	11160.0	11670.0	22830.0	Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {77}	[41]
50	11162.7	11652.5	22815.2	LuAlO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>		[42]
51	11162.9	11675.5	22838.4	Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	(1); {300}	[43]
52	11163.0	11639.0	22802.0	NdOCl	100; {4.2-300}	[34]
53	11163.0	11745.0	22908.0	Na <sub>5</sub> YSi <sub>4</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>		
54	11163.4	11638.6	22802.0	(La-Nd)OCl	100; {4.2-300}	[34]
55	11163.6	11674.0	22837.6	Lu <sub>0.3</sub> Y <sub>0.7</sub> AlO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[42]
56	11164.5	11722.5	22887.0	NaGdGeO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {77}	[44]
57	11164.6	11677.0	22841.6	Nd <sub>0.05</sub> Lu <sub>2.95</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	1.67; {77}	[45]
58	11166.3	11675.5	22841.8	Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {77}	[46]
59	11168.1	11676.5	22844.6	Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[47]
60	11168.8	11687.0	22855.8	Lu <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.015-1.5; {77}	[48]
61	11170.7	11695.5	22856.2	Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1.1; {10-15}	[49]
62	11172.0	11685.0	22857.0	KY(WO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.3-10; {77}	[50]
63	11172.6	11703.0	22875.6	Cs <sub>2</sub> NaYCl <sub>6</sub> -Nd <sup>3+</sup>	3; {10}	[51]
64	11173.2	11699.0	22872.2	Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.3; {77}	[52]
65	11177.0	11666.0	22843.0	Lu <sub>0.2</sub> Al <sub>0.8</sub> O <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>		
66	11178.1	11713.5	22891.6	Ca(NbO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup>	(3); {77}	[53]
67	11178.3	11668.5	22846.8	Lu <sub>0.1</sub> Y <sub>0.9</sub> AlO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[42]
68	11178.4	11697.0	22875.4	Cs <sub>2</sub> NaGdCl <sub>6</sub> -Nd <sup>3+</sup>	7; {10}	[54]
69	11181.1	11670.5	22851.6	YAlO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.97; {77-300}	[55]
70	11181.6	11691.0	22872.6	Gd <sub>0.2</sub> Al <sub>0.8</sub> O <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[56]
71	11182.5	11707.5	22890.0	La <sub>2</sub> Be <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[57]
72	11182.6	11707.0	22889.6	Cs <sub>2</sub> NaNdCl <sub>6</sub>	100; {10}	[58]
73	11184.3	11668.5	22852.8	Lu <sub>0.05</sub> Y <sub>0.95</sub> AlO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[59]

Таблица 1. Продолжение

Номер соединения	$\Delta_1(^4F_{3/2} - ^4I_{9/2})$	$\Delta_3(^2P_{1/2} - ^4F_{3/2})$	$\Delta_2(^2P_{1/2} - ^4I_{9/2})$	Химическое соединение (тип центра)	Ат. % (мол. %); {T, K}**	Литература**
74	11185.2	11659.0	22844.2	Nd <sub>0.15</sub> Y <sub>1.85</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (1)		
75	11185.3	11678.5	22863.8	YAlO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77-300}	[60]
76	11187.0	11666.0	22853.0	YVO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{25-77}	[61]
77	11187.4	11664.0	22851.4	YVO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{4.2}	[62]
78	11187.5	11734.5	22922.0	Bi <sub>4</sub> Ge <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1.9; {4.2-300}	[63]
79	11187.7	11667.8	22851.5	YVO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{300}	[64]
80	11188.1	11686.5	22877.6	KGd(WO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.1-10; {77}	[65]
81	11188.7	11697.5	22913.2	KNd(VO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		
82	11188.8	11697.0	22885.8	Y <sub>3</sub> Sc <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	(1.76); {14}	[66]
83	11188.8	11750.0	22938.8	Bi <sub>4</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.5; {5}	[67]
84	11189.2	11752.0	22941.2	Ba <sub>2</sub> MgGe <sub>2</sub> O <sub>7</sub> -(K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> )-Nd <sup>3+</sup>	{300}	[68]
85	11189.3	11812.0	23001.3	NdEst <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O	100	[69]
86	11189.5	11724.5	22914.0	K <sub>3</sub> Nd(VO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	100; {77}	[70]
87	11189.5	11663.5	22853.0	YVO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup> (1)		[71]
88	11190.5	11662.9	22853.4	YVO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {85}	[72]
89	11190.6	11663.0	22853.6	YVO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.1; {4.2-85}	[73]
90	11190.9	11696.5	22887.4	Nd <sub>0.15</sub> Gd <sub>1.85</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (1)		
91	11191.5	11721.5	22913.0	Sr <sub>3</sub> La <sub>1.95</sub> Nd <sub>0.05</sub> W <sub>2</sub> O <sub>12</sub> (1)	2.5; {77}	[10]
92	11192.4	11695.0	22887.4	Ca(NbO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup>	(2); {300}	[74]
93	11192.4	11705.0	22897.4	BiNd <sub>0.35</sub> Y <sub>0.65</sub> GeO <sub>5</sub>	35; {10}	[75]
94	11192.7	11698.5	22891.2	Nd <sub>0.05</sub> Gd <sub>0.35</sub> Y <sub>0.6</sub> AlO <sub>3</sub>		
95	11193.1	11672.5	22865.6	Gd <sub>0.4</sub> Lu <sub>0.2</sub> Y <sub>0.4</sub> AlO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>		
96	11195.3	11712.5	22907.8	Nd <sub>3</sub> Ga <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	100; {4.2-600}	[76]
97	11195.6	11628.0	22823.6	Gd <sub>0.4</sub> Lu <sub>0.1</sub> Y <sub>0.5</sub> AlO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	
98	11195.6	11696.0	22891.6	Ca(NbO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup>	(2); {77}	[77]
99	11196.2	11640.0	22836.2	Cs <sub>2</sub> NaNdCl <sub>6</sub>	100; {77}	[58]
100	11198.8	11603.0	22801.8	CaSc <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>		
101	11199.4	11581.0	22780.4	Gd <sub>2</sub> MgTiO <sub>6</sub> -Nd <sup>3+</sup>	10; {77-300}	[78]
102	11200.0	11747.0	22947.0	Bi <sub>4</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {4.2-300}	[67]
103	11202.7	11781.5	22984.2	Bi <sub>4</sub> Ge <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>		
104	11202.9	11705.5	22908.4	Y <sub>3</sub> Ga <sub>5</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[79]
105	11203.0	11700.0	22903.0	Gd <sub>3</sub> Sc <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1.56; {77}	[80]
106	11203.0	11729.0	22932.0	Gd <sub>3</sub> Sc <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Cr <sup>3+</sup> -Nd <sup>3+</sup>	1.56; {77}	[81]
107	11203.3	11700.3	22903.5	Bi <sub>4</sub> Ge <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{17-40}	[67]
108	11203.5	11691.5	22895.0	Gd <sub>0.8</sub> Y <sub>0.2</sub> AlO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>		
109	11203.8	11707.0	22910.8	YGaO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[82]
110	11204.1	11711.5	22915.6	Nd <sub>3</sub> Ga <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	100; {77}	[83]



Таблица 1. Продолжение

Номер соединения	$\Delta_1(^4F_{3/2} - ^4I_{9/2})$	$\Delta_3(^2P_{1/2} - ^4F_{3/2})$	$\Delta_2(^2P_{1/2} - ^4I_{9/2})$	Химическое соединение (тип центра)	Ат. % (мол. %); {T, K}**	Литература**
111	11204.3	11703.5	22907.8	Gd <sub>3</sub> Ga <sub>5</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {77}	[84]
112	11204.4	11711.0	22915.4	Gd <sub>3</sub> Ga <sub>5</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.3-15; {300}	[85]
113	11205.2	11671.0	22876.2	TbAlO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>		[86]
114	11206.5	11577.5	22784.0	LiNd <sub>0.02</sub> Y <sub>0.98</sub> O <sub>2</sub>	2; {77}	[87]
115	11209.2	11708.0	22917.2	KY(MoO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup>	10; {77}	[88]
116	11209.2	11745.0	22954.2	LaNb <sub>5</sub> O <sub>14</sub> -Nd <sup>3+</sup>	10; {77-300}	[89]
117	11211.0	11745.0	22956.0	NdOF	100; {9}	[90]
118	11211.0	11704.0	22915.0	NdGaO <sub>3</sub>	100; {10-300}	[91]
119	11211.4	11705.0	22916.4	GdAlO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	5; {300}	[92]
120	11212.2	11818.0	23030.2	La <sub>0.95</sub> Nd <sub>0.05</sub> MgAl <sub>11</sub> O <sub>19</sub> (2)	5; {77}	[93]
121	11212.4	11706.0	22918.4	Nd <sub>0.05</sub> Gd <sub>0.95</sub> AlO <sub>3</sub>	5; {77}	[94]
122	11213.3	11688.5	22901.8	NdVO <sub>4</sub>	100; {4.2-300}	[95]
123	11214.7	11766.5	22981.2	Ca <sub>1.98</sub> Nd <sub>0.02</sub> Al <sub>2.02</sub> Si <sub>0.98</sub> O <sub>7</sub>	1; {77}	[96]
124	11214.8	11688.0	22902.8	Nd <sub>0.15</sub> Gd <sub>1.85</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (III)		
125	11216.6	11639.0	22855.6	Cs <sub>2</sub> NaYCl <sub>6</sub> -Nd <sup>3+</sup>	5; {10}	[51]
126	11218.1	11741.5	22959.6	LaNb <sub>5</sub> O <sub>14</sub> -Nd <sup>3+</sup>		
127	11218.1	11744.5	22962.6	LaNb <sub>5</sub> O <sub>14</sub> -Nd <sup>3+</sup>		
128	11218.3	11741.5	22959.8	La <sub>3</sub> Lu <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1.3; {10-300}	[97]
129	11218.3	11742.5	22960.8	La <sub>3</sub> Lu <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {1.5-10}	[97]
130	11218.8	11749.0	22967.8	Bi <sub>4</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{17-40}	[67]
131	11223.3	11506.5	22729.8	Nd <sub>0.15</sub> Y <sub>1.85</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (II)	7.5; {77}	
132	11226.1	11714.5	22940.6	RbY <sub>2</sub> Cl <sub>7</sub> -Nd <sup>3+</sup> (Nd1)	1; {4.2}	[98]
133	11228.4	11723.0	22951.4	Gd <sub>2</sub> (MoO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[99]
134	11228.9	11722.5	22951.4	RbY <sub>2</sub> Cl <sub>7</sub> -Nd <sup>3+</sup> (Nd2)	1; {4.2}	[98]
135	11229.9	11748.5	22978.4	K <sub>5</sub> Nd(MoO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> (1)	100; {4.2-300}	[100]
136	11230.0	11589.0	22819.0	(NdO) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (1a)	100; {4.2-300}	[101]
137	11231.3	11687.5	22918.8	Ba <sub>3</sub> (La-Nd)V <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>		
138	11231.8	11721.0	22952.8	CaWO <sub>4</sub> -Nb <sup>5+</sup> -Nd <sup>3+</sup> (R)		[102]
139	11232.2	11746.0	22978.2	Bi <sub>2</sub> Ge <sub>3</sub> O <sub>9</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.3; {77}	[103]
140	11232.9	11724.5	22957.4	YPO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{4.2}	[104]
141	11237.7	11775.5	23013.2	Ca <sub>3</sub> Sc <sub>2</sub> Ge <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -MgO-Nd <sup>3+</sup>	(1.69); {9}	[105]
142	11238.5	11757.8	22996.3	LaBr <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.5; {77}	[106]
143	11239.6	11747.0	22986.6	Ca <sub>3</sub> (Nb-Ga) <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub> O <sub>12</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.1-10; {77}	[107]
144	11240.1	11733.5	22973.6	Na <sub>5</sub> Nd(MoO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>		
145	11241.1	11720.5	22961.6	LiGd(MoO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[108]
146	11241.5	11734.5	22976.0	CaWO <sub>4</sub> -Na <sup>+</sup> -Nd <sup>3+</sup> (L)	{4.2}	[102]
147	11242.0	11731.0	22973.0	NdAl <sub>3</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	100; {77}	[109]

Таблица 1. Продолжение

Номер соединения	$\Delta_1(^4F_{3/2} - ^4I_{9/2})$	$\Delta_3(^2P_{1/2} - ^4F_{3/2})$	$\Delta_2(^2P_{1/2} - ^4I_{9/2})$	Химическое соединение (тип центра)	Ат. % (мол. %); {T, K}**	Литература**
148	11242.2	11707.0	22949.2	Na <sub>5</sub> Nd(WO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	100; {77}	[110]
149	11243.3	11716.5	22959.8	NdAg(WO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		
150	11244.0	11737.0	22981.0	LaGaO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	100; {10-300}	[111]
151	11245.1	11736.5	22981.6	CaWO <sub>4</sub> -Na <sup>+</sup> -Nd <sup>3+</sup>	(1); {77}	[102]
152	11246.8	11728.0	22974.8	YAsO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{4.2}	[104]
153	11247.0	11754.0	23001.0	NdCl <sub>3</sub> · AlCl <sub>3</sub> (1)	100; {4.2}	[112]
154	11247.9	11721.5	22969.4	Nd <sub>2</sub> Te <sub>4</sub> O <sub>12</sub>		
155	11248.9	11713.5	22962.4	Nd <sub>0.5</sub> Gd <sub>1.5</sub> (WO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>		
156	11248.9	11720.5	22969.4	Nd <sub>0.5</sub> Gd <sub>1.5</sub> (WO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>		
157	11249.0	11754.0	23003.0	NdCl <sub>3</sub> · AlCl <sub>3</sub> (2)	100; {4.2}	[112]
158	11249.1	11734.5	22983.6	Ba <sub>3</sub> (La-Nd)Ta <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	0.5-100; {77}	
159	11249.1	11720.5	22969.6	Nd <sub>2</sub> (N <sub>3</sub> ) <sub>8</sub> · C <sub>2</sub> N <sub>2</sub> H <sub>10</sub>	100; {77}	
160	11249.7	11870.5	23120.2	POCl <sub>3</sub> -AlCl <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup> (II)	{77}	[113]
161	11250.0	11742.0	22992.0	Ba <sub>3</sub> La <sub>0.95</sub> Nd <sub>0.05</sub> Nb <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	5; {77}	
162	11251.4	11754.0	23005.4	NdCl <sub>3</sub> · AlCl <sub>3</sub> (3)	100; {4.2}	[112]
163	11257.5	11740.5	22998.0	NdGaGe <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		
164	11257.6	11744.0	23001.6	PbMoO <sub>4</sub> -Na <sup>+</sup> -Nd <sup>3+</sup>	0.1; {4.2-300}	[114]
165	11261.3	11781.5	23042.8	NdBGeO <sub>5</sub>	100; {77}	[115]
166	11261.4	11733.0	22994.4	NaBi(WO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{10}	[116]
168	11267.9	11722.5	22990.4	NdAlO <sub>3</sub>	100; {4.2}	[117]
169	11268.4	11738.0	23006.4	NdAg(WO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (S4)		
170	11268.9	11754.5	23023.4	LaVO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1.5-5; {4.2-300}	[118]
171	11270.2	11738.0	23008.2	NdBGeO <sub>5</sub>	100; {4.2-300}	[115]
172	11273.0	11703.0	22976.0	NdAlO <sub>3</sub>	100; {4.2-300}	[119]
173	11273.5	11800.5	23074.0	KLa(MoO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup>	5.28; {10}	[120]
174	11275.0	11724.0	22999.0	Nd <sub>0.4</sub> Y <sub>0.6</sub> Al <sub>3</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	40; {10-300}	[121]
175	11275.1	11783.5	23058.6	Nd <sub>0.15</sub> Gd <sub>1.85</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (II)		
176	11278.2	11762.0	23040.2	PbWO <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.1; {77}	[122]
177	11278.5	11765.8	23044.3	SrWO <sub>4</sub> -Na <sup>+</sup> -Nd <sup>3+</sup> (A1)	0.6; {10}	[123]
178	11281.0	11771.0	23052.0	NdCl <sub>3</sub>	100; {4.2-77}	[124]
179	11281.3	11744.5	23025.8	Nd(C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> COO) <sub>3</sub> Phen	100; {4.2-77}	[125]
180	11281.6	11779.0	23060.6	[C(NH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> ] <sub>2</sub> [Nd(Dtpa)(H <sub>2</sub> O)] · 7H <sub>2</sub> O	100	[126]
181	11285.5	11892.5	23178.0	K <sub>2</sub> LuF <sub>5</sub> -Nd <sup>3+</sup>		
182	11287.2	11799.0	23086.2	CsLa(WO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.5-7; {77}	[127]
183	11291.2	11789.0	23080.2	LaBGeO <sub>5</sub> -Nd <sup>3+</sup>	10; {77}	[115]
184	11291.2	11797.0	23088.2	LaBGeO <sub>5</sub> -Nd <sup>3+</sup>	0.1-5; {77}	[115]
185	11292.4	11776.1	23068.5	LaCl <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{4.2}	[128]
186	11292.8	11776.0	23068.8	LaCl <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[129]

Таблица 1. Продолжение

Номер соединения	$\Delta_1(^4F_{3/2} - ^4I_{9/2})$	$\Delta_3(^2P_{1/2} - ^4F_{3/2})$	$\Delta_2(^2P_{1/2} - ^4I_{9/2})$	Химическое соединение (тип центра)	Ат. % (мол. %); {T, K}**	Литература**
187	11293.3	11737.5	23030.8	YAl <sub>3</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{10}	[130]
188	11294.1	11776.5	23070.6	Na <sub>3</sub> NdDgt <sub>3</sub> · 2NaClO <sub>4</sub> · 6H <sub>2</sub> O	100; {12-300}	[131]
189	11294.2	11790.0	23084.2	LaAlGe <sub>2</sub> O <sub>7</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[132]
190	11294.6	11805.0	23099.6	K <sub>2</sub> (Gd-Nd)F <sub>5</sub>	0.3-30; {77}	[133]
191	11298.6	11793.0	23091.6	NdSc <sub>3</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	100; {77}	[134]
192	11299.0	11786.0	23085.0	K <sub>2</sub> YF <sub>5</sub> -Nd <sup>3+</sup>	5; {77}	[135]
193	11301.2	11820.0	23121.2	[Nd(C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub> )(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> ]ClO <sub>4</sub>	100; {77}	[136]
194	11303.0	11761.0	23064.0	Na <sub>3</sub> NdDgt <sub>3</sub> · 2NaClO <sub>4</sub> · 6H <sub>2</sub> O	100; {77}	[131]
195	11310.7	11806.5	23117.2	Nd(PO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>		
196	11310.9	11789.5	23100.4	Nd(OH)CO <sub>3</sub> (1)	100; {4.2-300}	[137]
197	11312.7	11809.5	23122.2	Nd(PO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>		
198	11314.3	11806.5	23120.8	Nd(PO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>		
199	11318.4	11800.0	23118.4	NdPO <sub>4</sub>	100; {77-300}	[138]
200	11320.3	11799.5	23119.8	NdCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	100; {77-300}	[139]
201	11323.0	11765.0	23088.0	Nd(OH) <sub>3</sub>	100; {77-300}	[139]
202	11323.0	11775.0	23098.0	NdBO <sub>3</sub>	100; {4.2-300}	[140]
203	11325.2	11785.0	23110.2	Nd(CH <sub>3</sub> COO) <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O	100; {4.2-293}	[141]
204	11325.8	11808.0	23133.8	KLiYF <sub>5</sub> -Nd <sup>3+</sup>	3; {300}	[142]
205	11327.1	11806.5	23133.6	Nd(PO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	100; {77}	[143]
206	11328.0	11790.0	23118.0	POCl <sub>3</sub> -NdCl <sub>3</sub> · AlCl <sub>3</sub> (1)	{77}	[144]
207	11328.2	11792.0	23120.2	NdPO <sub>4</sub>	100; {4.2-300}	[138]
208	11329.1	11818.5	23147.6	KLiYF <sub>5</sub> -Nd <sup>3+</sup>	3; {7}	[142]
209	11329.7	11813.5	23143.2	RbNd(PO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> (b)	100; {77}	[145]
210	11329.8	11809.0	23138.8	KLiYF <sub>5</sub> -Nd <sup>3+</sup>	3; {77}	[133]
211	11330.0	11791.0	23121.0	Nd(Gly-Gly) <sub>2</sub> (ClO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · 4H <sub>2</sub> O	100; {5}	[146]
212	11330.1	11804.5	23134.6	POCl <sub>3</sub> -SnCl <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup> (D)	{4.2}	[147]
213	11330.4	11776.0	23106.4	NdMoAl <sub>11</sub> O <sub>19</sub>	100	[148]
214	11331.0	11821.0	23152.0	BaF <sub>2</sub> -LaF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	(0.5-1); {77}	[149]
215	11331.7	11797.5	23129.2	Nd(HF <sub>2</sub> CCOO) <sub>3</sub> · 3H <sub>2</sub> O	100; {4.2}	[150]
216	11331.9	11749.5	23081.4	NdMg(BO <sub>2</sub> ) <sub>5</sub>	100; {9}	[151]
217	11332.5	11816.5	23149.0	NaNd(PO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	100; {77}	[145]
218	11332.5	11873.5	23206.0	POCl <sub>3</sub> -SnCl <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup> (B)	{4.2-77}	[147]
219	11331.1	11767.5	23098.6	NdH[O <sub>3</sub> P(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>3</sub> ]		
220	11333.7	11817.5	23151.2	LiNd(PO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	100; {77}	[145]
221	11335.7	11808.5	23144.2	KNd(PO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	100; {77}	[145]
222	11336.1	11810.5	23146.6	POCl <sub>3</sub> -AlCl <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup> (1)	{77}	[113]
223	11336.4	11812.0	23148.4	CsNd(PO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	100; {77}	[145]
224	11336.9	11803.5	23140.4	(La-Nd) <sub>0.9</sub> Mg <sub>0.5</sub> Al <sub>11.6</sub> O <sub>19</sub> (3)	{77}	[93]
225	11337.7	11808.5	23146.2	POCl <sub>3</sub> -NdCl <sub>3</sub> · AlCl <sub>3</sub> (2)	{77}	[144]

Таблица 1. Продолжение

Номер соединения	$\Delta_1(^4F_{3/2} - ^4I_{9/2})$	$\Delta_3(^2P_{1/2} - ^4F_{3/2})$	$\Delta_2(^2P_{1/2} - ^4I_{9/2})$	Химическое соединение (тип центра)	Ат. % (мол. %); {T, K}**	Литература**
226	11337.8	11811.0	23148.8	LiNdP <sub>4</sub> O <sub>12</sub> (C <sub>3</sub> )	100; {19–77}	[145]
227	11338.0	11794.0	23132.0	(La-Nd)Mg <sub>0.7</sub> Al <sub>11.2</sub> O <sub>19</sub> (II)	{6}	[148]
228	11338.7	11766.5	23105.2	Na <sub>3</sub> NdTetat · 2.5NaClO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O		
229	11338.7	11790.5	23129.2	[(Nd(CiH <sub>2</sub> CCOO) <sub>3</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>5</sub> ] <sub>2</sub>	100; {4.2}	[152]
230	11339.8	11811.0	23150.8	KNdP <sub>4</sub> O <sub>12</sub> (C <sub>5</sub> )	100; {19–77}	[153]
231	11340.2	11805.0	23145.2	(La-Nd)Mg <sub>0.7</sub> Al <sub>11.2</sub> O <sub>19</sub> (I)	{6}	[93]
232	11340.8	11801.0	23141.8	K <sub>5</sub> Li <sub>2</sub> NdF <sub>10</sub>	100; {81}	[154]
233	11340.9	11810.5	23151.4	(La-Nd) <sub>0.9</sub> Mg <sub>0.5</sub> Al <sub>11.4</sub> O <sub>19</sub> (1)	{6}	[148]
234	11343.8	11824.0	23167.8	BaY <sub>2</sub> F <sub>8</sub> –Nd <sup>3+</sup>	0.3; {77}	[155]
235	11344.0	11822.0	23166.0	K <sub>5</sub> Li <sub>2</sub> NdF <sub>10</sub>	100; {4.2}	[156]
236	11344.4	11808.0	23152.4	POCl <sub>3</sub> –SnCl <sub>4</sub> –Nd <sup>3+</sup> (E)	{77}	[147]
237	11344.5	11798.5	23143.0	POCl <sub>3</sub> –SnCl <sub>4</sub> –Nd <sup>3+</sup> (A)	{77}	[147]
238	11344.5	11797.5	23142.0	NdTfat <sub>3</sub> · 3H <sub>2</sub> O	100; {77–300}	
239	11344.8	11627.0	23171.8	BaY <sub>2</sub> F <sub>8</sub> –Nd <sup>3+</sup>	0.4; {1.6}	[155]
240	11345.7	11823.5	23169.2	Nd <sub>0.5</sub> Bi <sub>0.5</sub> P <sub>5</sub> O <sub>14</sub>	50; {4.2}	
241	11345.7	11815.5	23161.2	Nd <sub>0.95</sub> Y <sub>0.05</sub> P <sub>5</sub> O <sub>14</sub>	95; {4.2}	
242	11346.8	11820.0	23166.8	NdP <sub>5</sub> O <sub>14</sub>	100; {4.2}	[157]
243	11346.9	11823.5	23170.4	Nd <sub>0.5</sub> Bi <sub>0.5</sub> P <sub>5</sub> O <sub>14</sub>	50; {4.2}	
244	11349.3	11811.5	23160.8	LuF <sub>3</sub> –Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
245	11349.7	11850.5	23200.2	LiYF <sub>4</sub> –Nd <sup>3+</sup>		[159]
246	11350.0	11820.0	23170.0	NdP <sub>5</sub> O <sub>14</sub>	100; {4.2}	[160]
247	11351.4	11831.0	23182.4	La <sub>0.5</sub> Nd <sub>0.5</sub> P <sub>5</sub> O <sub>14</sub>	50; {4.2}	[161]
248	11351.7	11820.5	23172.2	Nd(OH) <sub>3</sub> (ClO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · 5H <sub>2</sub> O		[162]
249	11351.9	11827.5	23179.4	Ce <sub>0.5</sub> Nd <sub>0.5</sub> P <sub>5</sub> O <sub>14</sub>	50; {4.2}	
250	11352.3	11850.5	23202.8	LiYF <sub>4</sub> –Nd <sup>3+</sup>	1.5; {10–300}	[163]
251	11353.0	11831.0	23184.0	La <sub>0.5</sub> Nd <sub>0.5</sub> P <sub>5</sub> O <sub>14</sub>	50; {4.2}	[164]
252	11353.1	11813.5	23166.6	YbF <sub>3</sub> –Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
253	11354.0	11777.0	23131.0	POCl <sub>3</sub> –SnCl <sub>4</sub> –Nd <sup>3+</sup> (C)	{77}	[147]
254	11354.3	11833.5	23187.8	LiYF <sub>4</sub> –Nd <sup>3+</sup>	1.5; {4.2–150}	[165]
255	11356.0	11832.0	23188.0	LiYF <sub>4</sub> –Nd <sup>3+</sup>	{4.2–300}	[166]
256	11356.8	11762.0	23118.8	K <sub>2</sub> YF <sub>5</sub> –Nd <sup>3+</sup>	3; {12}	[167]
257	11357.8	11820.0	23177.8	YF <sub>3</sub> –Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
258	11359.0	11818.0	23177.0	Ca <sub>0.75</sub> Nd <sub>0.25</sub> Mg <sub>0.23</sub> Al <sub>11.77</sub> O <sub>19</sub>	{77}	[168]
259	11359.5	11814.5	23174.0	TmF <sub>3</sub> –Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
260	11359.7	11798.2	23158.2	Nd(NO) <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	100; {4.2}	
261	11360.4	11804.0	23164.4	LiYF <sub>4</sub> –Nd <sup>3+</sup>	1; {9}	[169]
262	11362.9	11761.5	23124.4	Nd[Co(CN) <sub>6</sub> ] · 4H <sub>2</sub> O		
263	11365.3	11815.7	23181.0	NdEst <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O		

Таблица 1. Продолжение

Номер соединения	$\Delta_1(^4F_{3/2} - ^4I_{9/2})$	$\Delta_3(^2P_{1/2} - ^4F_{3/2})$	$\Delta_2(^2P_{1/2} - ^4I_{9/2})$	Химическое соединение (тип центра)	Ат. % (мол. %); {T, K}**	Литература**
264	11365.9	11816.5	23182.4	ErF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
265	11366.1	11824.5	23190.6	TbF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
266	11366.2	11826.0	23192.2	GdF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
267	11367.9	11819.5	23187.4	HoF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
268	11368.4	11812.0	23180.4	NdEst <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O	100; {77}	
269	11368.6	11822.0	23190.6	DyF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
270	11370.7	11833.5	23204.2	POCl <sub>3</sub> -SnCl <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup> (B)	{77}	[147]
271	11370.8	11838.0	23208.8	POCl <sub>3</sub> -SnCl <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup> (F)	3-5; {77}	[147]
272	11371.2	11827.0	23198.2	EuF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
273	11372.4	11832.0	23204.4	SmF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
274	11375.0	11797.0	23172.0	Sr <sub>0.95</sub> Nd <sub>0.05</sub> Mg <sub>0.05</sub> Al <sub>11.95</sub> O <sub>19</sub>	5; {77}	[168]
275	11375.2	11815.0	23190.2	Nd(BrO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O		
276	11376.3	11792.1	23168.4	[Nd(C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> O <sub>2</sub> N) <sub>3</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> ](ClO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>		
277	11380.4	11772.0	23152.4	POCl <sub>3</sub> -SnCl <sub>4</sub> -Nd <sup>3+</sup> (K)	{4.2-77}	[147]
278	11382.0	11748.0	23130.0	LaAlO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {10-77}	[170]
279	11382.2	11802.0	23184.2	(La-Nd)MgAl <sub>11</sub> O <sub>19</sub> (1)	1-10; {77}	[93]
280	11384.5	11827.5	23212.0	Nd <sub>2</sub> (SeO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O		
281	11386.4	11751.0	23137.4	LaAlO <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[171]
282	11387.0	11817.0	23204.0	CaF <sub>2</sub> -Ce <sup>3+</sup> -Nd <sup>3+</sup> (M+)	{10}	[172]
283	11387.5	11814.9	23202.4	CaF <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup> (M)		
284	11388.6	11796.0	23184.6	La <sub>0.8</sub> Nd <sub>0.2</sub> MgAl <sub>11</sub> O <sub>19</sub>	120; {77}	[93]
285	11392.9	11822.5	23215.4	NdCl <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O	{77-300}	[174]
286	11398.4	11827.0	23225.0	CaF <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup> (N)		[173]
287	11400.0	11700.0	23100.0	CaF <sub>2</sub> -Nd <sup>3+</sup> (L)		[173]
288	11408.3	11852.5	23260.0	PrF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
289	11410.0	11851.0	23261.0	NdF <sub>3</sub>	100; {77}	[158]
290	11411.5	11846.1	23257.6	LaF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{95}	[175]
291	11412.1	11854.5	23266.0	CeF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[158]
292	11413.7	11857.5	23271.0	LaF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	{77}	[176]
293	11415.5	11834.5	23250.0	CaF <sub>2</sub> -GdF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[177]
294	11415.5	11843.5	23259.0	CaF <sub>2</sub> -GdF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[177]
295	11416.4	11851.5	23267.0	CaF <sub>2</sub> -GdF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[178]
296	11416.4	11848.0	23264.6	NdF <sub>3</sub>	100; {4.2}	[179]
297	11417.6	11855.0	23272.6	LaF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {4.2}	[175]
298	11417.7	11864.5	23282.2	LaF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	2; {77}	[180]
299	11418.5	11856.5	23275.0	LaF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	1; {2}	[175]
300	11420.1	11839.5	23279.6	CeF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>	6; {4.2}	[181]

Таблица 1. Окончание

Номер соединения	$\Delta_1(^4F_{3/2} - ^4I_{9/2})$	$\Delta_3(^2P_{1/2} - ^4F_{3/2})$	$\Delta_2(^2P_{1/2} - ^4I_{9/2})$	Химическое соединение (тип центра)	Ат. % (мол. %); {T, K}**	Литература**
301	11425.0	11845.0	23270.0	LaF <sub>3</sub> -Nd <sup>3+</sup>		[177]
302	11442.1	11836.5	23278.6	La <sub>0.95</sub> Nd <sub>0.05</sub> MgAl <sub>11</sub> O <sub>19</sub>	5; {77}	[93]
303	11698.5	12090.4	23788.9	Nd <sub>iv</sub> ***		[182]

\* Соединения под номерами 1, 11, 13, 17, 19, 40, 41, 43, 50, 63, 68, 72, 83, 86, 99, 103, 107, 123, 125, 130, 132, 134, 141, 147, 166, 169, 173, 174, 177, 179, 180, 187, 191, 193, 211, 215, 226, 228, 229, 230, 235, 256, 268, 274, 278, 293, 294, 295 имеют образцы для спектроскопических исследований в монокристаллическом агрегатном состоянии, образцы 58, 93, 149, 163, 222 – поликристаллическое агрегатное состояние, образцы 44, 212, 218, 225, 236, 237, 253, 270, 271, 277, 280, 285 – аморфное агрегатное состояние.

\*\* Пустые ячейки означают, что данные отсутствуют.

\*\*\* Nd<sub>iv</sub> – трехвалентный ионный газ.

сти для некоторых соединений может быть обусловлено особенностями строения комплекса активного иона и своеобразным перекрытием электронных облаков лигандов.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Ч.М. Брискиной, В.М. Маркушеву и М.Н. Поповой за полезные советы при обсуждении материала статьи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Jorgensen Ch.K.* // J. Mol. Phys. 1962. V. 5. № 3. P. 271.
2. *Jorgensen Ch.K.* // Progr. Inorg. Chem. 1962. № 4. P. 73.
3. *Кондон Е., Шортли Т.* Теория атомных спектров. М.: ИЛ, 1949. 440 с.
4. *Judd B.R.* Operator Techniques in Atomic Spectroscopy. N.Y.: McGraw. Hill, 1963. P. 242.
5. *Gruen D.M., DeKocr C.W.* // J. Chem. Phys. 1966. V. 45. P. 455.
6. *Antic-Fidancev E., Krupa J.-C., Kulagin N.A.* // Phys. Laser Cryst. (the Netherlands): Kluwer Academic Publ., 2003. P. 75.
7. *Antic-Fidancev E., Lemaitre-Blaise M., Caro P.* // New J. Chem. 1987. V. 11. № 6. P. 467.
8. *Henrie D.E., Choppin G.R.* // J. Chem. Phys. 1968. V. 49. № 2. P. 477.
9. *Toledano J.C.* // J. Chem. Phys. 1972. V. 54. P. 1046.
10. *Vetkina S.N., Zolin V.F.* // J. Appl. Spectrosc. 1988. V. 49. № 2. P. 809.
11. *Антонов В.А., Арсенов П.А., Багдасаров Х.С. и др.* // Журн. прикл. спектроскопии. 1982. Т. 36. № 6. С. 947.
12. *Свиридова Р.К., Арсеньев П.А.* // Журн. прикл. спектроскопии. 1972. Т. 1. С. 888.
13. *Guttenberger C., Unrecht B., Reddmann H., Amberg-er H.-D.* // Inorgan. Chim. Acta. 2003. V. 348. P. 165.
14. *Максимова Г.В., Соболев А.А.* // Спектроскопия лазерных кристаллов с ионной структурой. М.: Наука, 1972. С. 57.
15. *Chang N.C.* // J. Chem. Phys. 1966. V. 44. P. 4044.
16. *Moune O.K.* // J. Alloys Compd. 1997. V. 250. P. 310.
17. *Antonov V.A., Arsenov P.A., Vakhitov Sh.A. et al.* // Phys. Status Solidi. A. 1977. V. 41. № 1. P. 45.
18. *Ohlmann R.C., Steinbruegge K.B., Mazelsky R.* // Appl. Opt. 1968. № 7. P. 310.
19. *Kaminskii A.A.* // Phys. Status Solidi. A. 1970. № 1. P. 573.
20. *Ивлева Л.И., Каминский А.А., Кузьминов Ю.С., Шпаков В.Н.* // Докл. АН СССР. 1968. Т. 183. С. 1068.
21. *Евланова Н.Ф., Ковалев А.С., Кончик В.А. и др.* // Письма в Журн. эксперим. и теорет. физики. 1967. № 5. С. 351.
22. *Caro P., Antic-Fidancev E., Beaury L. et al.* // Colloque Intern. C.N.P.C. "Spectroscopic des Elements de transition et des elements lourds dans les solides" Paris, 1977. P. 71.
23. *Каминский А.А., Саркисов С.Э.* // Изв. АН СССР. Сер. неорган. материалы. 1973. № 9. С. 505.
24. *Henderson J.R., Muramoto M.* // J. Chem. Phys. 1967. V. 46. P. 2515.
25. *Klimin S.A., Popova M.N., Antic-Fidancev E., Porcher P.* // J. Solid. State Chem. 2001. V. 162. P. 42.
26. *Gabrielyan V.T., Kaminskii A.A.* // Phys. Status Solidi. A. 1970. V. 3. P. K37.
27. *Брискина Ч.М., Пономарев Н.М., Логинова Е.М. и др.* Тугоплавкие соединения редкоземельных металлов. Новосибирск, 1978. С. 34.
28. *Amberger H.D., Edelstein N.M.* // Inorg. Chim. Acta. 1988. V. 94. P. 90.
29. *Зуев М.Г., Цветкова М.П.* Химия твердого тела. Свердловск, 1985. С. 66.
30. *Ananyan S.N., Arsenov P.A., Bagdasarov Kh.S. et al.* // J. Appl. Spectrosc. 1983. V. 88. № 3. P. 343.
31. *Alves R.V., Buchanan R.A., Wickerheim K.A., Yates F.A.* // J. Appl. Phys. 1971. V. 42. P. 3043.
32. *Arsenov R.V., Bienert K.E., Sviridova R.K.* // Phys. Status Solidi. A. 1972. № 9. P. K103.

33. *Quagliano J.R., Richardson F.S., Reid H.F.* // *J. Alloys Compd.* 1992. V. 180. № 1–2. P. 131.
34. *Caro P., Derouet J., Brun P.* // *Bull. Soc. Chim. Fr.* 1972. № 1. P. 46.
35. *Iwai M., Kobayashi T., Furya H. et al.* // *Jpn. J. Appl. Phys.* Pt 2. 1997. V. 36. № 3. P. 1562.
36. *Александров В.И., Воронько Ю.К., Михалевич В.Г.* // Докл. АН СССР. 1971. Т. 199. С. 1282.
37. *Burdick G.W., Jagasankar C.K., Richardson F.S., Reid M.F.* // *Phys. Rev. B.* 1994. V. 50. № 22. P. 16309.
38. *Kaminskii A.A.* // *J. App. Phys. A.* 1988. V. 46. P. 173.
39. *Kunpeng W., Jigang W.* // *J. Rare Earths.* 2010. V. 28. № 4. P. 538.
40. *Cui X.J., Pan W.* // *Key Eng. Mater.* 2012. V. 512–515. P. 479.
41. *Hurrell J.P., Porto S.P.S., Chang I.F. et al.* // *Phys. Rev.* 1968. V. 173. P. 851.
42. *Arsenev P.A., Bagdasarov Kh.S., Kevorkov A.H. et al.* // *Phys. Stat. Sol.* 1980. V. 62. № 1. P. 53.
43. *Geusic J.E., Marcos H.M., van Uitert L.G.* // *Appl. Phys. Lett.* 1964. № 4. P. 182.
44. *Rez I.S.* // *Soviet J. Quantum Electronics.* 1986. V. 16. № 10. P. 74.
45. *Каминский А.А., Богомолова Г.А., Кеворков А.М.* // Изв. АН СССР. Сер. неорган. материалы. 1975. № 11. С. 884.
46. *Koningstein J.A.* // *J. Chem. Phys.* 1966. V. 44. № 10. P. 3957.
47. *Бакрадзе Р.В., Зверев Г.М., Колодный Г.Я. и др.* // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1967. № 11. С. 884.
48. *Каминский А.А., Богомолова Г.А., Багдасаров Х.С., Петросян А.Г.* // *Оптика и спектроскопия.* 1975. Т. 39. № 3. С. 142.
49. *Pollack S.A.* // *J. Chem. Phys.* 1971. V. 54. P. 291.
50. *Каминский А.А., Клевцов П.В., Лу Л., Павлюк А.А.* // Изв. АН СССР. Сер. неорган. материалы. 1972. Т. 8. С. 2153.
51. *Foster D.R., Richardson F.S., Schwartz R.W.* // *J. Chem. Phys.* 1985. V. 82. P. 601.
52. *Каминский А.А., Осико В.В.* // Изв. АН СССР. Сер. неорган. материалы. 1967. № 3. С. 417.
53. *Каминский А.А., Лу Л.* // Изв. АН СССР. Сер. неорган. материалы. 1970. № 6. С. 294.
54. *Xianju Zhou, Chris S.K., Mak O. et al.* // *Phys. Rev. B.* V. 73. № 7. P. 075113.
55. *Weber M.J., Bass M., Andringa K. et al.* // *Appl. Phys. Lett.* 1969. V. 15. P. 342.
56. *Арсеньев П.А., Бинерт К.Э.* // Журн. прикл. спектроскопии. 1972. Т. 17. С. 1084.
57. *Jenssen H.P., Berley R.F., Webb R., Morris R.C.* // *J. Appl. Phys.* 1976. V. 47. P. 1496.
58. *Барбанель Ю.А., Колин В.В., Котлин В.П.* // *Расплавы.* 1990. № 5. С. 51.
59. *Багдасаров Х.С., Каминский А.А.* // *Письма в Журн. экмперим. и теорет. физики.* 1969. № 9. С. 501.
60. *Каминский А.А.* *Спектроскопия кристаллов.* М.: Наука, 1975. С. 92.
61. *Каминский А.А.* // Журн. эксперим. и теорет. физики. 1969. Т. 56. С. 83.
62. *Каминский А.А., Богомолова Г.А., Лу Л.* // Изв. АН СССР. Сер. неорган. материалы. 1969. С. 673.
63. *Johnson L.F., Ballman A.A.* // *J. Appl. Phys.* 1969. V. 40. P. 297.
64. *Bagdasarov Kh.S., Kaminskii A.A., Krylov V.S. et al.* // *Phys. Status Solidi.* V. 27. P. K1.
65. *Мочалов И.В.* // *Оптический журн.* 1995. № 11. С. 4.
66. *Багдасаров Х.С., Каминский А.А., Кеворков А.М. и др.* // Докл. АН СССР. 1974. Т. 218. С. 810.
67. *Loro H., Vasquez D., Camarillo E. et al.* // *Phys. Rev. B.* 2007. V. 75. P. 125405.
68. *Manasinghe M., Linz A.* // *Phys. Rev. B.* 1971. № 4. P. 3833.
69. *Gruber J.B., Satten R.A.* // *J. Chem. Phys.* 1963. V. 39. P. 1455.
70. *Kimani M.M., Thompson Li, Snider W. et al.* // *Inorg. Chem.* 2012. V. 51. № 24. P. 13271.
71. *O'Conner J.R.* // *Trans. Metallurg. Soc. AIME.* 1967. V. 239. P. 362.
72. *Багдасаров Х.С., Богомолова Г.А., Каминский А.А. и др.* // Докл. АН СССР. 1968. Т. 180. С. 1347.
73. *O'Conner J.R.* // *Appl. Phys. Lett.* 1966. V. 9. P. 407.
74. *Kaminskii A.A., Sarcisov S.E., Li L.* // *Phys. Status Solidi. A.* 1973. V. 15. P. K141.
75. *Carcales C., Zaldo C.* // *Chem. Mater.* 2006. V. 18. № 16. P. 3742.
76. *Guibot M.* // *J. Appl. Phys.* 2003. V. 93. P. 8005.
77. *Каминский А.А., Лу Л.* // Изв. АН СССР. Сер. неорган. материалы. 1970. № 6. С. 294.
78. *Герман М.А., Васильев Е.В., Евдокимов А.А., Ковба Л.М.* // Изв. АН СССР. Сер. неорган. материалы. 1985. № 7. С. 1247.
79. *Каминский А.А., Богомолова Г.А., Кеворков А.М.* // Изв. АН СССР. Сер. неорган. материалы. 1975. № 11. С. 884.
80. *Gruber J.B., Hills M.E., Morrison C.A. et al.* // *Phys. Rev. B.* 1988. V. 37. № 15. P. 8564.
81. *Monteil A., Boulon G., Garapon C.* // *Proc. French-Israeli Workshop on SolidState Lasers.* 1989. V. 1182. № 10. P. 1117.
82. *Rukmini E., Jajasankar C.K.* // *Physica. B.* 1995. V. 212. № 2. P. 167.
83. *Monteseguro V., Rathaia M., Linganna K. et al.* // *Opt. Mater. Express.* 2015. V. 5. № 8. P. 1661.
84. *Багдасаров Х.С., Богомолова Г.А., Гриценко М.М. и др.* // Докл. АН СССР. 1974. Т. 216. С. 1018.
85. *Geusic J.E., Marcos H.M., van Uitert L.G.* // *Appl. Phys. Lett.* 1964. № 4. P. 182.
86. *Yang X., Li Ch., Zheng D. et al.* // *Russ. J. Phys. Chem. A.* 2015. V. 89. № 10. P. 1781.
87. *Antonov V.A., Arsenev P.A., Vakhidov Sh.A. et al.* // *Phys. Status Solidi. A.* 1977. № 10. P. 1002.
88. *Каминский А.А., Павлюк А.А., Клевцов П.В.* // *Оптика и спектроскопия.* 1970. Т. 28. С. 292.
89. *Зуев М.Г.* // *Рос. хим. журн.* 2000. № 7. С. 129.

90. *Holsa J., Sailynoja E., Ylha P. et al.* // Faraday Trans. 1998. V. 94. № 4. P. 481.
91. *Savytskii D.I., Sugak D.Yu., Suchcki A. et al.* // Proc. Solid State Cryst.: Growth and Charact. 1997. V. 3178. № 10. P. 1117.
92. *Арсеньев П.А., Бинерт К.Э.* // Журн. прикл. спектроскопии. 1972. Т. 17. С. 1084.
93. *Антонов В.А., Арсеньев П.А., Багдасаров Х.С., Махмудов И.Т.* // Кристаллография. 1988. Т. 33. № 4. С. 1026.
94. *Багдасаров Х.С., Богомолова Г.А., Гриценко М.М. и др.* // Кристаллография. 1972. Т. 17. С. 415.
95. *Rukmini E., Jajasanakar C.K., Reid M.F.* // J. Phys.: Condens. Matter. 1994. V. 6. № 30. P. 213.
96. *Viana B., Lejus A.M., Saber D. et al.* // Opt. Mater. 1994. V. 3. № 4. P. 307.
97. *Hua H., Mirov S., Vohra Y.K.* // Phys. Rev. B. 1996. V. 54. P. 6200.
98. *Karbowiak M., Edelstein N.M., Drozdrynski J. et al.* // Chem. Phys. 2002. V. 277. № 3. P. 361.
99. *Багдасаров Х.С., Богомолова Г.А., Каминский А.А. и др.* // Докл. АН СССР. 1971. Т. 197. С. 557.
100. *Irraraguirre I., Balda R., Voda M. et al.* // J. Opt. Soc. Am. B. 2002. V. 19. № 12. P. 2911.
101. *Dexpert H., Antic-Fidancev E., Svoronos D. R. et al.* // J. Crystallogr. Spectrosc. Res. 1982. V. 12. № 2. P. 143.
102. *Максимова Г.В., Соболев А.А.* // Изв. АН СССР. Сер. неорганич. материалы. 1970. № 6. С. 307.
103. *Gevay G.* // Prog. Cryst. Growth Charact. Mater. 1987. V. 15. № 3–4. P. 145.
104. *Guillot-Noel O., Belamy B., Viana B. et al.* // Phys. Rev. B. 1999. V. 60. P. 1668.
105. *Cavalli E., Zannoni E., Bellete A. et al.* // Appl. Phys. 1999. V. 68. № 4. P. 677.
106. *Weber J., Berthou H., Jorgensen C.K.* // Chem. Phys. 1977. V. 26. № 1. P. 69.
107. *Li Q., Feng B., Zhang D. et al.* // Appl. Opt. 2009. V. 48. № 10. P. 1898.
108. *Каминский А.А.* // Лазерные кристаллы. М.: Наука, 1975. 254 с.
109. *Cascales C., Zaldo C., Caldino U. et al.* // J. Phys.: Condens. Matter. 2001. V. 13. № 35. P. 427.
110. *Kaminskii A.A., Sarcisov S.E., Bohm J. et al.* // Phys. Status Solidi. A. 1977. P. 168.
111. *Oreera V.M., Trinkler L.E., Merino R.I.* // J. Spectrosc. Lumin. 2006. V. 135. № 1–4. P. 173.
112. *Морозов А.И., Канашивили Н.В., Ральченко В.И.* // Коорд. химия. 1977. Т. 3. № 4. С. 470.
113. *Ральченко В.И., Брискина Ч.М., Лебедев В.Г. и др.* // Тез. докл. V Всесоюз. конф. по спектроскопии кристаллов. Казань, 1976. С. 48.
114. *Minhas I.S., Sharma K.K.* // Phys. Rev. B. 1973. V. 8. P. 385.
115. *Bitar L., Capmany J., Vausa L.E. et al.* // J. Spectrosc. Lumin. 2006. P. 183.
116. *Каминский А.А., Хохлов А. Клевцов П.В., Хафизов С.Х.* // Изв. АН СССР. Сер. неорганич. материалы. 1989. Т. 25. № 6. С. 1054.
117. *Antic-Fidancev E., Lemaitre-Blaise M., Beaurty L. et al.* // J. Chem. Phys. 1980. V. 73. P. 4613.
118. *Zhang L., Hu Z., Lin Z. et al.* // J. Cryst. Growth. 2004. V. 260. P. 420.
119. *Antic-Fidancev E., Lemaitre-Blaise H., Beaurty L. et al.* // J. Chem. Phys. 1980. V. 73. P. 613.
120. *Liu Ch., Liu Y., Lin Z. et al.* // J. Mater. Sci.: Mater. Electron. 2016. V. 27. № 6. P. 5735.
121. *Luo Z.D., Un J.T., Jiang A.D. et al.* // Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. 1989. V. 1104. P. 132.
122. *Дунинос Е.В., Валявко В.В., Корниенко А.А.* // Вестн. Віцеб. дзяржавун. ун-та. 2000. № 3. С. 66.
123. *Lupei A., Lupei V., Gheorghie C. et al.* // J. Appl. Phys. 2008. V. 104. P. 083102.
124. *Varsanyi F., Dieke G.H.* // J. Chem. Phys. V. 33. № 6. P. 1616.
125. *Порай-Кошиц М.А., Анцышкина А.С., Садилов Г.Г. и др.* // Журн. неорганич. химии. 1995. Т. 40. № 5. С. 748.
126. *Mondry A., Starynowicz A.* // Polyhedron. 2000. V. 19. № 7. P. 771.
127. *Золин В.Ф., Веткина С.Н., Маркушев В.М.* // Журн. квант. электроники. 1988. Т. 18. № 2. С. 204.
128. *Carlson E.H., Dieke G.H.* // J. Chem. Phys. 1961. V. 34. № 5. P. 1602.
129. *Rajnak K., Couture L.* // J. Chem. Phys. 1981. V. 55. № 3. P. 331.
130. *Xueyuan Ch., Zundu L.* // J. Phys.: Condens. Mater. 1998. V. 10. № 23. P. 48.
131. *Vala M., Nath D., Chowdhury M. et al.* // J. Chem. Phys. Lett. V. 134. № 6. P. 610.
132. *Kaminskii A.A., Mill B.V., Butashin A.V. et al.* // Phys. Status Solidi. A. 1987. № 2. P. 575.
133. *Kaminskii A.A., Mironov U.S., Bagaev S.N. et al.* // Phys. Status Solidi. A. 1994. V. 145. № 2. P. 177.
134. *Балабаев С.И., Быковский П.И., Лебедев В.А. и др.* // Сб. тез. докл. Всесоюз. конф. по люминесценции, посвященной 100-летию со дня рождения акад. С.И. Вавилова. М.: Наука, 1991. С. 119.
135. *Min Yin, Yunfeng Li, Ning Dong et al.* // J. Alloys Compd. 2003. V. 353. № 1–2. P. 95.
136. *Glowiak T.G., Legendziewicz J., Dao C.N. et al.* // J. Less. Comm. Met. 1987. V. 134. № 2. P. 153.
137. *Dexpert H., Antic-Fidancev E., Coutures J.P.* // J. Cryst. Spectrosc. Res. 1982. V. 12. № 2. P. 129.
138. *Rukmini E., Jajasanakar C.K., Reid M.F.* // J. Phys.: Condens. Matter. V. 6. № 30. P. 176.
139. *Dieke G.H.* Spectra and Energy Levels of Rare Earths Ions in Crystals. N.Y.: Intersc. Publ., 1968. P. 208.
140. *Antic-Fidancev E., Aride J., Chaminade I.-P. et al.* // J. Solid State Chem. 1992. V. 97. P. 74.
141. *Bukietynska K., Mondry A.* // Inorg. Chem. Acta. 1985. V. 110. № 1. P. 1.
142. *Summers P.L., Weidner H., Peale R.F.* // J. Appl. Phys. 1994. V. 75. № 4. P. 2184.
143. *Jonini A., Gacon J.C., Branier A.* // J. Lumin. 2002. V. 99. № 4. P. 365.
144. *Гиляров О.Н., Куликовский Б.Н., Лебедев В.Г. и др.* // Коорд. химия. 1981. Т. 7. № 3. С. 367.



145. *Сажеников А.Ю., Маслобоев В.А.* // Сб. тез. докл. VIII Всесоюз. школы по актуальным проблемам физики и химии редкоземельных соединений. Апатиты, 1991. С. 28.
146. *Legendziewicz J., Csoregh I., Huskowsra E.* // Collect. Abstracts. 12th Eur. Cryst. Meeting. Moscow, 1989. V. 2. P. 322.
147. *Андреева Т.К., Жаботинский М.Е., Левкин Л.В., Ральченко В.И.* // Оптика и спектроскопия. 1974. Т. 37. № 5. С. 927.
148. *Dai D.C., Luo O., Yu X.Y. et al.* // J. Matter. Sci. Lett. 2000. V. 19. P. 49.
149. *Каминский А.А.* // Журн. эксперим. и теорет. физики. 1970. Т. 58. С. 407.
150. *Oczko G.* // J. Mol. Strut. 2000. V. 519. № 1–3. P. 131.
151. *Cascalesa C., Saez P.R., Porcher C.* // J. Chem. Phys. 1999. V. 240. № 1–2. P. 291.
152. *Crazyuna O.* // J. Alloys Compd. 2000. V. 300–301. P. 414.
153. *Malinowski M., Wolinski W.* // J. Lumin. 1984. V. 29. № 3. P. 275.
154. *Ryba-Romanowski W., Solarz P., Dominiak-Dzik G., Gusowski M.* // Opt. Mater. 2006. V. 28. P. 77.
155. *Karbowiak M., Gnutek P., Rudowicz C.* // Spectrochim. Acta. A. 2012. V. 87. P. 46.
156. *Lempicki A., Mecollum B., Chinn R., Hong H.Y.P.* // 10th Intern. Quantum Elektron. Conf. 1976. Washington (DC), 1978. P. 630.
157. *Blatte H., Danielmeyer H.G., Ulrich R.* // J. Appl. Phys. 1973. V. 1. P. 275.
158. *Лебедев В.Г., Левкин Л.В., Сафронов Г.М. и др.* // Изв. АН СССР. Сер. неорган. материалы. 1985. Т. 21. № 1. С. 1778.
159. *Harmer A.L., Linz A., Gabbe D.R. et al.* // Bull. Am. Phys. Soc. 1967. № 12. P. 1068.
160. *Лавров А.В., Павлова Н.И., Ральченко В.И., Склезнев А.Г.* // Изв. АН СССР. Сер. неорган. материалы. 1980. С. 1462.
161. *Weber H.P., Tofield B.C., Damen T.C.* // IEEE/OSA J. Opt. Commun. Network. 1973. P. 14 B-2.
162. *Huskowska E., Legendziewicz J., Hanuza J.* // Polyhedron. 1990. № 5. P. 659.
163. *Gabbe D.R., Harmer A.R.* // J. Cryst. Growth. 1968. № 3–4. P. 544.
164. *Damen T.C., Weber H.P., Tofield B.C.* // Appl. Phys. Lett. 1973. V. 23. P. 519.
165. *Sengupta D., Artman J.O.* // J. Chem. Phys. 1970. V. 53. P. 838.
166. *Harmer A.L., Linz A., Gabbe D.R.* // J. Phys. Chem. Sol. 1969. V. 30. P. 1483.
167. *Дубинский Б.А., Хайдуков Н.М., Гаринов И.Г. и др.* // Сб. тез. Всесоюз. конф. по люминесценции, посвященной 100-летию со дня рождения акад. С.И. Вавилова. М.: Наука, 1991. Ч. 2. С. 117.
168. *Alablanche S., Kahn-Harari A., Thery J. et al.* // J. Solid State Chem. 1992. V. 98. № 1. P. 105.
169. *Wortman D.E.* // J. Phys. Chem. Solids. 1972. V. 33. P. 311.
170. *Deren P.I., Bednarkiewicz A., Goldner Ph. et al.* // J. Appl. Phys. 2008. V. 103. P. 043102.
171. *Багдасаров Х.С., Богомолова Г.А., Гриценко М.М. и др.* // Кристаллография. 1972. Т. 17. С. 415.
172. *Воронько Ю.К., Каминский А.А., Осико В.В., Фурсиков М.М.* // Кристаллография. 1966. Т. 11. С. 936.
173. *Карусс Я.Э., Толстой М.Н., Феофилов П.П.* // Оптика и спектроскопия. 1965. Т. 18. С. 440.
174. *Carnall W.T., Fields P.R., Rajnek K.* // J. Chem. Phys. 1968. V. 49. P. 4424.
175. *Caspers H.H., Rast H.E., Buchanan R.A.* // J. Chem. Phys. 1965. V. 42. № 9. P. 3214.
176. *Вылегжанин Д.Н., Каминский А.А.* // Журн. эксперим. и теорет. физики. 1972. Т. 62. С. 685.
177. *Kaminskii A.A., Sobolev B.H., BagdasarovKh.S. et al.* // Phys. Stat. Sol. A. 1974. V. 26. P. K63.
178. *Kaminskii A.A., Agamalyan N.R., Denisenko G.A. et al.* // Phys. Stat. Sol. A. 1982. V. 70. № 2. P. 397.
179. *Caro P., Derouet J., Beaury L. et al.* // J. Chem. Phys. 1981. V. 74. P. 2698.
180. *Воронько Ю.К., Осико В.В., Савостьянова Н.В. и др.* // Физика твердого топлива. 1972. Т. 14. С. 2656.
181. *Дмитрук М.В., Каминский А.А., Щербаков И.А.* // Журн. эксперим. и теорет. физики. 1968. Т. 54. С. 1680.
182. *Wyart J.F.* // J. Phys. B. 2008. V. 41. P. 85.