

## ОТЗЫВ

официального оппонента, Кузнецова Андрея Викторовича,  
на диссертацию Софича Дмитрия Олеговича  
«Спектроскопия редкоземельных ионов в двойных молибдатах»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния

### Актуальность избранной темы

Исследования спектральных свойств кристаллических матриц, активированных лантаноидами, представляют как фундаментальную научную значимость для физики конденсированного состояния, так и практическую. В частности, молибдаты редкоземельных элементов перспективны для использования в качестве рабочего материала для температурных и химических датчиков. Интерес представляет также их применение в качестве люминофоров в источниках света, в том числе в светодиодах белого свечения. Актуальность этой области исследований подтверждается появлением новых научных работ.

### Обсуждение защищаемых положений

1) По спектру свечения  $\text{Eu}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$  при температуре жидкого азота надежно установлено, что ион европия в данном соединении находится в нецентросимметричном тетрагональном поле с точечной группой симметрии  $C_4$ . Для европия известно число полос излучения в кристаллическом окружении различных групп симметрии. Хотя подобный метод не может быть напрямую применен к остальным перечисленным составам, представляется убедительной аргументация, что сделанный для европия вывод может быть обобщен на празеодим, неодим и тербий ввиду близких значений радиусов ионов.

2) Формулировка второго защищаемого положения кажется неполной. Сильная температурная зависимость люминесценции  $\text{Pr}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$  объясняется малым расстоянием между ионами празеодима. Однако в других исследованных соединениях расстояние между соответствующими ионами (лантана, неодима, европия и тербия) имеет такой же порядок величины, а температурной зависимости не обнаружено. Следовательно, малое расстояние между ионами празеодима не является единственной причиной обсуждаемой температурной зависимости. Из текста диссертации (стр. 40-41) можно предположить, что второй причиной автор считает особое расположение энергетических уровней ионов празеодима, повышающее вероятность фонон-стимулированного перераспределения энергии между возбужденным и невозбужденным ионами празеодима по сравнению с другими ионами.

3) Третье защищаемое положение не вызывает сомнений. Спектры возбуждения молибдатов с различным соотношением европия и тербия, а также анализ зависимостей времен затухания люминесценции европия и тербия при их различных соотношениях убеждают в правильности сделанных выводов.

4) В четвертом защищаемом положении, с одной стороны, есть элемент неопределенности, связанный с тем, что не определен другой (не регулярный) тип кристаллического окружения ионов европия. С другой стороны, трудно представить другие объяснения наличия в спектрах люминесценции  $\text{Eu}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$  дополнительных полос, появляющихся только при определенных условиях.

### **Достоверность, обоснованность и новизна полученных результатов**

В диссертационном исследовании получены спектры люминесценции, поглощения и возбуждения ряда веществ, не обнаруженные в предшествовавшей литературе. Некоторые из веществ, по всей видимости, были синтезированы впервые.

Достоверность полученных экспериментальных результатов не вызывает сомнений. Методология проведения экспериментов соответствует поставленным задачам. Использовано необходимое оборудование. Обработка экспериментальных данных проведена корректно. Интерпретация экспериментальных результатов согласуется с известными физическим представлениям.

Результаты работы прошли апробацию на конференциях и достаточно полно опубликованы в рецензируемых изданиях.

### **Замечания, критика**

1) В работе исследуется соединение  $\text{La}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$ . Однако в разделе 2.1, где перечислены объекты исследования и описан способ их получения, данное вещество не указано среди прочих. По всей видимости, оно упущено по ошибке.

2) В первом пункте раздела о научной новизне записано, что впервые получены спектры свечения, поглощения и возбуждения двойных молибдатов нескольких составов, включая вышеупомянутый состав  $\text{La}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$ . Однако в разделе 3.1 автор пишет о сравнении полученных им спектров с известными из литературы спектрами для этого же вещества. Таким образом, есть определенное противоречие в тексте. При этом спектры в диссертации отличаются от спектров в литературе (по неизвестным причинам), поэтому новизна в полученном результате фактически имеется. Критика здесь относится только к формулировке новизны.

3) Автор не вполне ясно показывает последовательность рассуждений, через которую он идет от полученных им и известным из литературы фактов к защищаемым положениям. В частности, в тексте глав 3-5, где содержится исследователь-

ская часть работы, нет ясных отсылок к соответствующим утверждениям в защищаемых положениях, что затрудняет анализ работы. Данное замечание относится к стилю изложения. Фактически необходимые исходные данные, в том числе ссылки на литературу, в работе приводятся.

4) Не везде ясна логика исследования, выбор некоторых действий кажется непоследовательным. Например, в разделе 3.2 исследованы спектроскопические свойства  $\text{Pr}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$  при комнатной и азотной температурах. При этом спектры свечения получены при обеих температурах, спектр поглощения – только при комнатной, а спектр возбуждения – только при азотной. Не приводится какой либо аргументации, почему не зарегистрирован спектр поглощения при азотной температуре и возбуждения при комнатной.

Аналогичным образом, в разделе 3.1 показаны спектры возбуждения и свечения  $\text{La}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$  при температуре 7,7К, однако спектр поглощения не регистрируется и не упоминается, тогда как для других составов он регистрировался.

5) Чувствуется нехватка выводов в части исследования, относящейся к возможным применениям исследуемых материалов для создания источников света. В работе вычислены цветовые координаты люминесценции молибдатов пяти составов на диаграмме цветности (раздел 4.3). Однако нет интерпретации данного результата, из которой была бы понятна перспективность применения данных материалов. Например, появляются следующие вопросы. Какой из пяти составов наилучшим образом подходит для того или иного применения (в цветных дисплеях или в источниках белого света)? Как соотносится расположение найденных цветовых координат с координатами известных, широкоиспользуемых источников? Можно ли, комбинируя в некоторой пропорции исследованные составы с различным содержанием примесей, получить источник белого света с высоким индексом цветопередачи CRI, то есть с формой спектра, близкой к дневному свету?

Данные замечания не относятся к сути защищаемых положений. Работа производит в целом положительное впечатление.

### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней**

Рассматриваемая диссертационная работа удовлетворяет критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

Диссертация по своему содержанию соответствует специальности 01.04.07 (физика конденсированного состояния) и содержит решение научных задач, имеющих значимость для данной специальности.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, и представляет личный научный вклад автора.

Главные результаты диссертационного исследования опубликованы в достаточном объеме в рецензируемых научных изданиях.

Считаю, что автор диссертации Софич Дмитрий Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

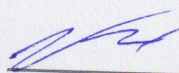
### Официальный оппонент

Старший научный сотрудник лаборатории фотофизики конденсированных сред, кандидат физико-математических наук, специальность 01.04.21 – лазерная физика.

Иркутский филиал федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики СО РАН (ИФ ИЛФ СО РАН).

Адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130а, ИФ ИЛФ СО РАН

Телефон: 8(3952)512160, e-mail: rubin@ilph.irk.ru



02.04.2021

Кузнецов Андрей Викторович

Подпись А.В. Кузнецова заверяю  
Директор ИФ ИЛФ СО РАН  
д.ф.-м.н., проф.



Е.Ф. Мартынович