

## ОТВЕТ НА КОММЕНТАРИЙ Н. Е. СЛУЧАНКО, В. В. ГЛУШКОВА, С. В. ДЕМИШЕВА

*Ю. С. Поносов<sup>a,b\*</sup>, С. В. Стрельцов<sup>a,b</sup>, А. В. Левченко<sup>c</sup>, В. Б. Филиппов<sup>c</sup>*

<sup>a</sup> *Институт физики металлов им. М. Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук  
620990, Екатеринбург, Россия*

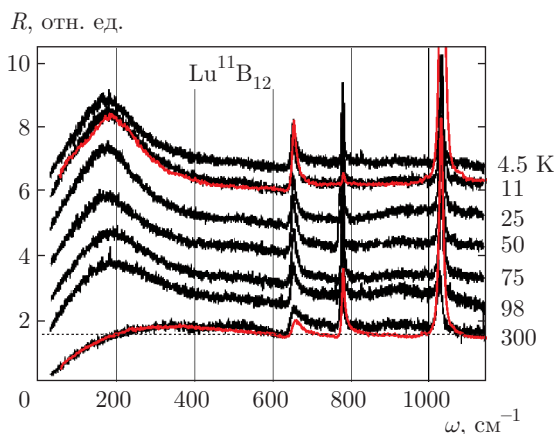
<sup>b</sup> *Уральский федеральный университет им. Б. Н. Ельцина  
620002, Екатеринбург, Россия*

<sup>c</sup> *Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича Национальной академии наук Украины  
03680, Киев, Украина*

Поступила в редакцию 6 сентября 2016 г.

DOI: 10.7868/S0044451017010000

1. Авторы комментария отмечают «существенные различия в полученных результатах» в комментируемой статье [1] и статье [2], «которые и обуславливают предложенную их авторами различную интерпретацию наблюдаемых эффектов». Это не соответствует действительности, что следует из рисунка, где мы наложили полученные нами при двух температурах спектры КРС  $\text{Lu}^{11}\text{B}_{12}$  на спектры рис. 5 из работы [2]. Очевидно, что наши спектры и спектры из работы [2] практически совпадают при  $T = 11$  К и  $T = 300$  К. В высокотемпературных спектрах рис. 5 в работе [2], как и в спектрах нашей статьи, ясно виден широкий пик в области  $300\text{--}400\text{ см}^{-1}$ , который сдвигается в область более высоких частот при дальнейшем нагреве. Интенсивность этого пика, как показано авторами [2], увеличивается линейно от нуля при нулевой частоте для всех температур, а его частота сдвигается в область более высоких частот при дальнейшем нагреве [1]. Как известно, появление бозонного пика в разупорядоченных системах связано с избыточным вкладом колебательных возбуждений именно в области акустических фононов [3]. Поскольку граница спектра акустических фононов в  $\text{LuB}_{12}$  не превышает  $16\text{ мэВ}$  (около  $130\text{ см}^{-1}$ ) [4, 5], температурная эволюция исследуемого пика однозначно свидетельствует о неколебательной природе наблюдаемых возбуждений. Подробные темпе-



(В цвете онлайн) Показан фрагмент рис. 5 из работы [2], где представлены «Спектры рамановского отклика  $R(\omega)$ , измеренные на свежих сколах монокристалла  $\text{Lu}^{11}\text{B}_{12}$  в интервале температур  $4.5\text{--}98$  К. Для сравнения представлен также спектр при комнатной температуре». Эти спектры сравниваются со спектрами  $\text{Lu}^{11}\text{B}_{12}$ , измеренными в нашей работе [1] при  $T = 10$  К и  $T = 300$  К (красные линии)

ратурные зависимости в статье [2] и комментарии действительно показывают слабые изменения спектров при низких температурах (как и в наших измерениях), но эти изменения, тем не менее, явно демонстрируют рост частоты максимума и его уширение. Очевидно, что результаты, представленные авторами в работе [2], не дают возможности идентифицировать наблюдаемое рассеяние как бозонный пик.

\* E-mail: ponosov@imp.uran.ru

2. По поводу наших «методических ошибок». Действительно, в некоторых случаях использование большой мощности лазерного излучения в узком фокальном пятне может привести к значительному росту температуры в области фокуса. Ситуация хорошо описана в недавней статье [6], где показано, как увеличение температуры в нагретой области кристалла зависит от величины поглощенной мощности, диаметра фокальной области и теплопроводности материала. Для  $\text{LuV}_{12}$  оценки показывают, что даже при фокусировке 10 мВт в пятно диаметром 10 мкм температура в фокусе может превышать температуру образца примерно на  $2^\circ$  при комнатной температуре. При низких температурах эта разница значительно уменьшается из-за сильного роста теплопроводности образца [7]. В реальности используемые мощности меньше, а фокальное пятно на образце в криостате несколько размывается. Поэтому в случае  $\text{LuV}_{12}$  не приходится говорить о «неконтролируемом нагреве» и «температурно-неравновесном состоянии кристалла». Кроме того, наличие интенсивных фонных линий дает возможность оценить возможный нагрев экспериментально, исследуя их частоты при разных уровнях лазерной мощности и температурах. Это всегда необходимый элемент эксперимента.

3. Нет никаких сомнений в том, что наблюдаемые широкие пики в спектрах — это неупругое рассеяние света, поскольку они наблюдались при возбуждении различными лазерными линиями 488, 514, 532, 633, 785 нм. При этом спектры с возбуждением на близких длинах волн 514, 532 нм практически совпадают. Как известно, в случае нерезонансного рассеяния света электронными возбуждениями [8] только часть энергии возбуждающего излучения (т.е. примерно 23 мэВ из приблизительно 1.96 эВ (633 нм) при  $T = 10$  К) идет на создание электронно-дырочной пары. Дополнительным подтверждением как существования внутризонных электронных возбуждений в  $\text{LuV}_{12}$ , так и рассеяния света на них является наблюдение интерференционных эффектов в спектрах КРС вследствие их взаимодействия с колебаниями решетки [9]. Поэтому совершенно непонятно, какую связь с термоэмиссией усматривают авторы комментария, пытаясь объяснить особенности наблюдаемого нами электронного рассеяния света характеристиками работы выхода электронов?

4. Использование в расчетах значения частоты электронной релаксации из-за примесного рассеяния  $\nu = 10$  см $^{-1}$  дает хорошее описание низкотем-

пературных данных. Увеличение этого значения до 50 см $^{-1}$  приводит к ужесточению частоты пика примерно на 10 см $^{-1}$  и его уширению. Таким образом, реальное значение  $\nu$  не превышает 50 см $^{-1}$ , именно это дает возможность наблюдать бесстолкновительный режим для электронных возбуждений при низких температурах. Использование  $\nu = 250$  см $^{-1}$  из статьи [10] приводит к тому, что рассчитанный спектр практически совпадает со спектром, измеренным при  $T = 300$  К, что не соответствует эксперименту. В оптическом эксперименте [11] измерения отражения выполнены при энергиях выше 100 см $^{-1}$ , где уже присутствует частотно-зависимое электрон-фонное рассеяние, в то время как примесные эффекты можно надежно регистрировать при более низких частотах. Кроме того, в этом исследовании остаточное сопротивление образца  $\text{LuV}_{12}$  было на порядок больше обычного. Поэтому мы полагаем, что в статье [9] значение  $\nu$  существенно завышено, хотя при высоких температурах это будет слабо сказываться на форме и положении рассчитанных спектров из-за превосходящего вклада электрон-фонного рассеяния.

5. Изложенные выше ответы на комментарий в полной мере относятся к нашим предыдущим КРС-исследованиям  $\text{LaV}_6$  и  $\text{YV}_6$  [11, 12], где также несомненно наблюдалось неупругое рассеяние света внутризонными электронными возбуждениями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. С. Поносов, С. В. Стрельцов, А. В. Левченко, В. Б. Филиппов, ЖЭТФ **150**, 586 (2016).
2. Н. Е. Случанко, А. Н. Азаревич, А. В. Богач, И. И. Власов, В. В. Глушков, С. В. Демишев, А. А. Максимов, И. И. Тартаковский, Е. В. Филатов, К. Флахбарт, С. Габани, В. Б. Филиппов, Н. Ю. Шицевалова, В. В. Мошчалков, ЖЭТФ **140**, 536 (2011).
3. A. I. Chumakov, G. Monaco, A. Monaco et al., Phys. Rev. Lett. **106**, 225501 (2011).
4. A. V. Rybina, K. S. Nemkovski, P. A. Alekseev et al., Phys. Rev. B **82**, 024302 (2010).
5. П. А. Алексеев, УФН **185**, 353 (2015).
6. H.-M. Eiter, P. Jaschke, R. Hackl, A. Bauer, M. Gangl, and C. Pfleiderer, Phys. Rev. B **90**, 024411 (2014).

7. H. Misiorek, J. Mucha, A. Jezowski, Y. Paderno, and N. Shitse, *J. Phys.: Cond. Matt.* **7**, 8927 (1995).
8. T. P. Devereaux and R. Hackl, *Rev. Mod. Phys.* **79**, 175 (2007).
9. Yu. S. Ponosov, A. A. Makhnev, S. V. Streltsov, V. B. Filippov, and N. Yu. Shitsevalova, <https://arxiv.org/abs/1608.02379>.
10. J. Teyssier, R. Lortz, A. Petrovich, D. van der Marel, V. Filippov, and N. Yu. Shitsevalova, *Phys. Rev. B* **78**, 135504 (2008).
11. Ю. С. Поносов, С. В. Стрельцов, *Письма в ЖЭТФ* **97**, 517 (2013).
12. Ю. С. Поносов, А. А. Махнев, С. В. Стрельцов, В. Б. Филиппов, Н. Ю. Шицевалова, *Письма в ЖЭТФ* **102**, 565 (2015).