

Член-корреспондент АН СССР Е. Ф. ГРОСС,
Б. П. ЗАХАРЧЕНЯ и Н. М. РЕЙНОВ

ЭКСИТОНЫ В КРИСТАЛЛЕ ЗАКИСИ МЕДИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ
ЖИДКОГО ГЕЛИЯ (4,2° К)

В предыдущих сообщениях были описаны явления, наблюдающиеся при поглощении света в кристалле закиси меди при низких температурах. При температуре жидкого азота ($T = 77,3^\circ \text{К}$) была обнаружена (1, 2) водородоподобная серия узких линий поглощения, которая была истолкована как оптический спектр экситона в решетке Cu_2O . В более тонких пластинках закиси меди при $T = 77,3^\circ \text{К}$ была обнаружена (3) вторая водородоподобная серия линий поглощения, расположенная в коротковолновую сторону от первой серии. Происхождение второй серии было нами также отнесено к экситонам второго типа в кристалле закиси меди.

В настоящем сообщении мы описываем дальнейшие исследования спектра поглощения в закиси меди при температуре жидкого гелия. Дисперсия спектрального прибора, использованного в этих исследованиях, составляла приблизительно $7 \text{ \AA}/\text{мм}$ в области спектра около $\lambda 5800 \text{ \AA}$, что в три раза превышало дисперсию ранее применявшегося спектрографа.

При охлаждении кристалла закиси меди до температуры жидкого гелия мы наблюдали следующие явления в области первой водородоподобной серии.

Ширина линий поглощения первой серии при понижении температуры до $4,2^\circ \text{К}$ убывала, и линии поглощения становились значительно уже, чем при температуре жидкого азота ($77,3^\circ \text{К}$). Вся серия линий смещалась дальше в коротковолновую часть спектра.

В табл. 1 сопоставлены длины волн линий поглощения первой серии при температурах $4,2$ и $77,3^\circ \text{К}$ *.

Частоты линий поглощения первой серии при температуре жидкого гелия попрежнему хорошо удовлетворяют серийной закономерности водородоподобного атома:

$$\nu_k = \nu_\infty - \frac{B}{k^2} = 17508 - \frac{775}{k^2}; \quad k = 2, 3, 4, \dots$$

* В табл. 1 в предыдущей работе (2) при переводе частот в электронвольты вкралась неточность, которая исправлена в табл. 1 настоящей работы.

Таблица 1

Длины волн линий поглощения первой серии и $4,2^\circ \text{К}$ при $T = 77,3$

Порядк. № линии k	77,3° К		4,2° К	
	Длины волн λ_k в \AA	Энергия в эв.	Длины волн λ_k в \AA	Энергия в эв.
1	6125,3	2,0234	6100,6	2,0316
2	5792,7	2,1396	5775,8	2,1458
3	5756,6	2,1530	5840,3	2,1591
4	5743,8	2,1578	5727,4	2,1640
5	5738,1	2,1599	5721,7	2,1661
6	5734,1	2,1615	5717,6	2,1677
∞	5727,4	2,1640	5711,7	2,1699

Значения постоянных ν_{∞} и B выражены в обратных сантиметрах. Исключение здесь, как и для температуры жидкого азота, составляет первый член серии ($k = 1$).

При температуре жидкого гелия в спектре поглощения кристалла закиси меди мы обнаружили еще семь более слабых и более тонких линий поглощения, расположенных между линиями первой серии. Частоты новых линий указаны в табл. 2.

Таблица 2

Положение новых линий поглощения в Cu_2O при $T = 4,2^\circ \text{K}$

№№ лп.	Длины волн λ_k	Энергия в эв	Частоты ν_k в см^{-1}
	в Å		
1	5762,5	2,1508	17353,5
2	5758,0	2,1525	17367,1
3	5751,5	2,1549	17386,7
4	5737,0	2,1604	17430,7
5	5734,5	2,1615	17438,3
6	5731,5	2,1624	17447,4
7	5724,4	2,1651	17469,0

Таблица 3

Порядк. № линии k	Длины волн λ_k в Å	Энергия в эв.	Частоты ν_k в см^{-1}	$\Delta\nu_k$ в см^{-1}	
				набл.	выч.
1	—	—	—	—	438,4
2	5751,5	2,1549	17386,7	109,6	109,6
3	5731,5	2,1624	17447,4	48,9	48,7
4	5724,4	2,1651	17469,0	27,3	27,4
.
.
.
.
∞	5715,4	2,1685	17496,3	0	0

Таким образом, при температуре $4,2^\circ \text{K}$ спектр поглощения Cu_2O представляет сложную систему перекрывающихся групп узких линий. Можно предположить, что, кроме обнаруженных нами семи новых линий, существуют еще другие линии поглощения, на которые накладываются более широкие и интенсивные члены первой серии экситона, не позволяющие наблюдать эти линии. На рис. 1 а и б графически показано относительное расположение наблюдаемых нами новых линий и линий первой серии.

На рис. 2 представлены фотографии членов первой серии, между которыми видны эти более слабые линии, наблюдающиеся при $4,2^\circ \text{K}$. Новые линии имеют различные коэффициенты поглощения и поэтому не могут быть выявлены с достаточной отчетливостью одновременно на одной спектрограмме. На рис. 2 поэтому представлены три спектрограммы а, б и в, которые для выявления новых линий получены с разными экспозициями: 20 мин., 5 мин. и 5 сек., соответственно. Новые линии на рис. 2 отмечены стрелками.

Обращает на себя внимание характерное распределение интенсивности членов первой серии, которое особенно ясно выступает у члена $k = 2$ на фотографии рис. 2 в, полученной с наименьшей экспозицией. Здесь хорошо видно, что поглощение света распределено около линии очень несимметрично: постепенно спадая в сторону длинных волн, поглощение резко обрывается в сторону коротких волн.

Среди новых линий можно выделить группу из трех линий $\lambda\lambda = 5751,5; 5731,5; 5724,4 \text{ Å}$, частоты которых, как показывает табл. 3,

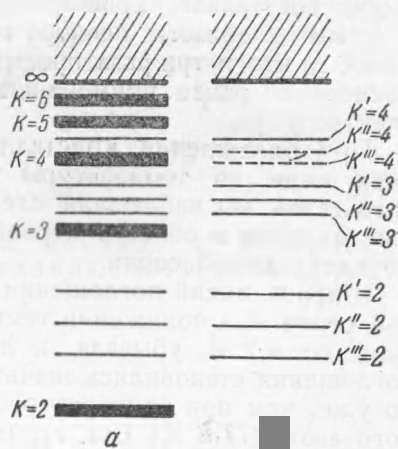


Рис. 1. а — относительное расположение членов первой экситонной серии (широкие линии) и новых линий в спектре поглощения кристалла закиси меди при $T = 4,2^\circ \text{K}$; б — сериальное распределение новых линий поглощения в Cu_2O при $T = 4,2^\circ \text{K}$. Пунктиром показаны предполагаемые линии

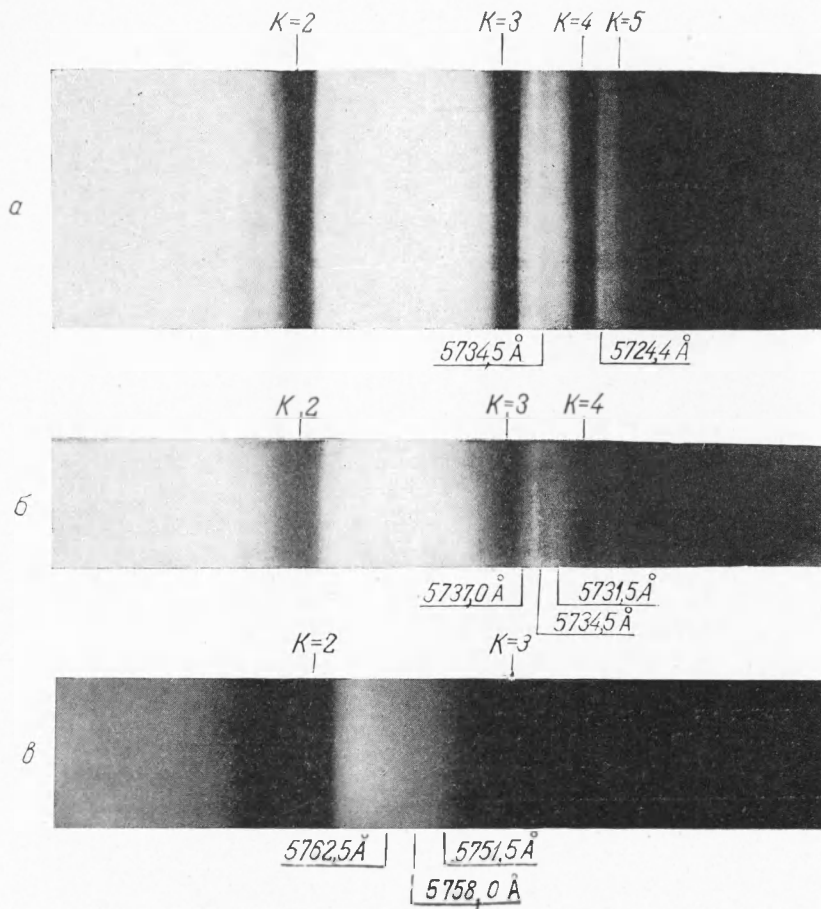


Рис. 2. Спектрограммы поглощения света в кристалле закиси меди при температуре жидкого гелия ($4,2^{\circ}\text{K}$) в области первой экситонной серии, полученные с тремя различными экспозициями

хорошо удовлетворяют сериальной зависимости водородоподобного атома:

$$\nu'_{k'} = \nu'_{\infty} - \frac{B'}{k'^2} = 17496 - \frac{438,4}{k'^2}; \quad k' = 2, 3, 4 \dots$$

Значения постоянных ν'_{∞} и B' выражены в обратных сантиметрах.

Если предположить существование двух линий $\lambda\lambda = 5726,3; 5729,0 \text{ \AA}$, показанных на рис. 1 б пунктирными линиями, почти совпадающих с четвертым членом первой экситонной серии $\lambda = 5727,4 \text{ \AA}$ и поэтому не наблюдаемых на спектрограмме, то можно выделить еще две группы линий $\lambda\lambda = 5758,0; 5734,5; 5726,3 \text{ \AA}$ и $\lambda\lambda = 5762,5; 5737,0; 5729,0 \text{ \AA}$, которые также удовлетворяют водородоподобной сериальной закономерности с частотами границ серий $\nu''_{\infty} = 17495,2$ и $\nu'''_{\infty} = 17493,1$ и постоянными $B'' = 512$ и $B''' = 560$.

Все четыре серии сходятся к одной и той же границе, так как значения $\nu_{\infty}, \nu'_{\infty}, \nu''_{\infty}, \nu'''_{\infty}$ в пределах ошибок измерения совпадают.

Кроме вышеуказанных семи новых линий, накладывающихся на члены первой серии, мы обнаружили при $T = 4,2^{\circ} \text{ K}$ еще новую границу сплошного поглощения (ступеньку), расположенную при $\lambda = 5841 \text{ \AA}$ (2,1219 эв), и еще одну очень слабую линию на этой ступеньке $\lambda = 5817 \text{ \AA}$ (2,1306 эв). Мы предполагаем, что эта линия является первым членом ($k = 1$) второй водородоподобной серии (3).

Обнаруженное нами тонкое строение первой серии экситона показывает, что спектр поглощения кристалла закиси меди имеет очень сложный характер. В настоящее время очень трудно дать надежную интерпретацию новых линий. Мы можем указать здесь только на некоторые возможные причины появления этих линий.

1) Расщепление уровней экситона согласно теории Давыдова (3,4).

2) Структура линий в спектре экситона, вызванная такого же рода причинами, какие вызывают появление тонкой структуры линий в спектре водорода.

3) Экситоны, связанные с наличием примесных атомов и ионов в решетке Cu_2O .

Ленинградский
физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступило
9 VII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. Ф. Гросс, Н. А. Каррыев, ДАН, 84, № 2, 261 (1952). ² Е. Ф. Гросс, Н. А. Каррыев, ДАН, 84, № 3, 471 (1952). ³ Е. Ф. Гросс, Б. П. Захарченя, ДАН, 90, № 5 (1953). ⁴ А. С. Давыдов, Теория поглощения света в молекулярных кристаллах, изд. АН УССР, Киев, 1951.