

P. KASK, T. SOOVIK

## ВЕРОЯТНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЕРЕХОДОВ в $V_h + e$ -ЦЕНТРЕ В КВг

P. KASK, T. SOOVIK. ELEKTRONÜLEMINEKUTE TÕENÄOSUSED KBr  $V_h + e$ -TSENTRISP. KASK, T. SOOVIK. THE ELECTRONIC TRANSITION PROBABILITIES IN THE  $V_h + e$ -CENTER IN KBr

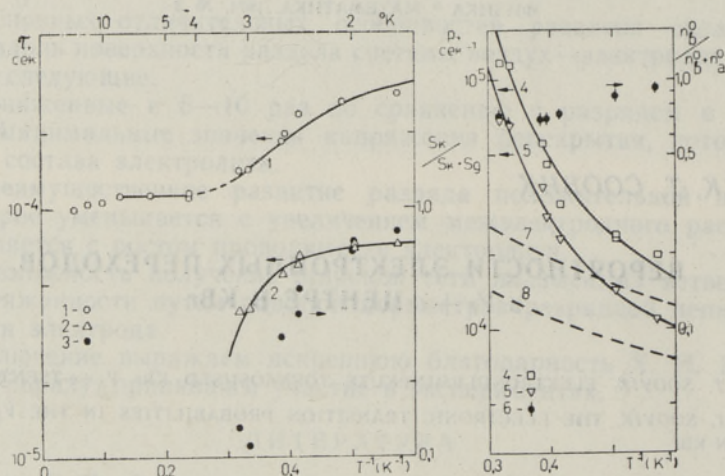
Центром, обуславливающим собственное свечение чистых щелочно-галогидных кристаллов, служит квазимолекула (галоген) $_2^{2-}$  — автолокализованный экситон или  $V_h + e$ -центр. Модель этого центра свечения установлена М. Н. Каблером [1, 2], а свойства его исследованы наиболее полно в щелочных йодидах. Возбужденным состоянием, с которым связана длинноволновая полоса излучения, является триплет  $^3\Sigma_u^+$ . Под влиянием спин-орбитального и электростатического взаимодействия триплет расщепляется на нижележащий метастабильный и вышележащий излучательные уровни (соответственно  $A_u$  и  $B_{2u}, B_{3u}$  в поле симметрии  $D_{2h}$ ). Это малое расщепление проявляется в магнито-оптических эффектах [3, 4] и в кинетике послесвечения [5-8]. Затухание люминесценции при достаточно низких температурах состоит из двух экспоненциальных компонент. Из кинетических уравнений, описывающих временной ход заселенностей отдельных подуровней триплета, найдены вероятности излучательных переходов  $A_u \rightarrow A_g$  ( $p_{ag}$ ),  $B_{2u}, B_{3u} \rightarrow A_g$  ( $p_{bg}$ ) и безызлучательных переходов  $B_{2u}, B_{3u} \leftrightarrow A_u$  ( $p_{ba}$  и  $p_{ab}$ ).

Хотя триплетный характер первого возбужденного состояния  $V_h + e$ -центра в КВг экспериментально доказан [2, 3], проявление его расщепления в кинетике послесвечения пока не обнаружено. Поэтому представляет интерес детальное исследование кинетики послесвечения  $V_h + e$ -центров в КВг (полоса 2,27 эВ) при температурах ниже 4° К, позволяющее найти параметры модели (указанные выше вероятности и начальные относительные заселенности подуровней триплета) в этом конкретном случае. Это и послужило задачей настоящей работы.

Методика измерения параметров затухания описана в [7, 9]. Импульсная стимуляция рентгенизованного кристалла проводилась через светофильтр КС-11, излучение детектировалось через монохроматор ЗМР-3. Временное распределение люминесцентных фотонов (кривая затухания люминесценции) регистрировалось с помощью ФЭУ-64 на многоканальном временном анализаторе NTA-512В.

При  $T < 3,2^\circ \text{K}$  затухание люминесценции состояло из двух экспоненциальных компонент. Они (и фон) были разделены на ЭВМ «Наир-2» методом наименьших взвешенных квадратов [9, 10].

При  $T > 3,2^\circ\text{K}$  короткой компоненты выделить не удалось. Измеренные времена затухания ( $\tau$ ) этих компонент и относительная светосумма короткой компоненты в зависимости от температуры показаны на рисунке.



Результаты эксперимента и обработки. Точки: 1 — измеренное  $\tau$  длительной компоненты, 2 —  $\tau$  короткой компоненты, 3 — относительная светосумма короткой компоненты, 4 — вычисленное по результатам эксперимента  $p_{ab}$ , 5 —  $p_{ba}$ , 6 — начальная относительная заселенность уровней  $B_{2u}$ ,  $B_{3u}$ . Кривые: 4 и 5 — гладкая аппроксимация результатов для  $p_{ab}$  и  $p_{ba}$ , учитывающая условие (1), 1 и 2 —  $\tau$ , вычисленные по кривым 4 и 5, 7 и 8 — теоретические кривые для  $p_{ab}$  и  $p_{ba}$ , учитывающие только однофотонные переходы.

Данные опыта интерпретированы следующим образом. На участке температур  $T < 3,2^\circ\text{K}$  изменение времен затухания определяется изменением вероятностей  $p_{ba}$  и  $p_{ab}$ . Количественно это определяется выражением

$$\tau^{-1} = \frac{1}{2} [p_{bg} + p_{ag} + p_{ba} + p_{ab} \pm \sqrt{(p_{bg} + p_{ag} + p_{ba} + p_{ab})^2 - 4(p_{bg}p_{ag} + p_{ag}p_{ba} + p_{bg}p_{ab})}]. \quad (1)$$

На участке температур, где короткая компонента ничтожно мала ( $T > 4^\circ\text{K}$ ), вероятности безызлучательных переходов  $p_{ba}$  и  $p_{ab}$  намного превышают вероятности излучательных (плюс безызлучательных) переходов в основное состояние  $p_{bg}$  и  $p_{ag}$ . Поэтому заселенность подуровней триплета описывается распределением Больцмана, а время затухания длительной компоненты определяется вероятностями  $p_{ag}$  и  $p_{bg}$  через заселенности исходных подуровней:

$$\tau^{-1} = \frac{p_{ag} + 2 \exp\left(-\frac{E_{ab}}{kT}\right) p_{bg}}{1 + 2 \exp\left(-\frac{E_{ab}}{kT}\right)}. \quad (2)$$

Множитель «2» учитывает приблизительное вырождение верхнего уровня. При  $T > 10^\circ\text{K}$  начинается спад  $\tau$ , связанный с ростом вероятностей

$p_{bg}$  и (или)  $p_{ag}$  (сокращение  $\tau$  не может быть сведено к тем безызлучательным переходам, которые приводят к тепловому тушению при  $T > 30^\circ \text{K}$  [11]). При расчетах мы этот участок не учитывали.

На базе выражений (1) и (2) с помощью условия

$$\frac{p_{ab}}{p_{ba}} = 2 \exp\left(-\frac{E_{ba}}{kT}\right) \quad (3)$$

методом наименьших квадратов (на ЭВМ «Наири-2») определены параметры  $p_{ag}$ ,  $p_{bg}$  и  $E_{ab}$  в предположении, что последние от температуры не зависят. Они следующие:

$$\begin{aligned} p_{ag} &= (0,22 \pm 0,04) \cdot 10^4 \text{ сек}^{-1}, \\ p_{bg} &= (1,26 \pm 0,02) \cdot 10^4 \text{ сек}^{-1}, \\ E_{ab} &= 90 \pm 40 \text{ мкэв}. \end{aligned} \quad (4)$$

Использование более надежного значения  $E_{ab} = 30,4 \pm 0,2 \text{ мкэв}$ , определенного недавно более точным методом ЭПР [12], дает мало отличающиеся от (4) значения:

$$\begin{aligned} p_{ag} &= (0,17 \pm 0,03) \cdot 10^4 \text{ сек}^{-1}, \\ p_{bg} &= (1,27 \pm 0,02) \cdot 10^4 \text{ сек}^{-1}. \end{aligned} \quad (4')$$

В правой части рисунка приведены соответствующие вычисленные значения вероятностей  $p_{ab}$  и  $p_{ba}$  в зависимости от температуры. Кривые 7 и 8 вычислены при учете только однофоновых переходов (при значении вероятности спонтанного безызлучательного перехода  $p_{ba}^0 = 0,7 \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$ ). Видно, что многофоновые переходы при гелиевых температурах сильно преобладают, как и можно было ожидать

$$\left(T \gg \frac{E_{ab}}{k} = 0,35^\circ \text{K}\right).$$

Отметим, что в отличие от К1 [8] начальная относительная заселенность уровней  $A_u$  и ( $B_{2u}$ ,  $B_{3u}$ ) в КВг зависит от температуры (точки  $b$  на рисунке, вычисленные с помощью экспериментальных данных и значений параметров (4)).

Предполагается [5, 7, 8], что запрет по симметрии излучательного (или безызлучательного) перехода  $A_u \rightarrow A_g$  снимается локальными статическими искажениями  $V_h + e$ -центра, приводящими к равновесному положению ядер, отличающемуся от  $D_{2h}$ .

Авторы выражают искреннюю благодарность Г. Г. Лийдья за обсуждение результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kabler M. N., Phys. Rev., **136**, 1296 (1964).
2. Kabler M. N., Patterson D. A., Phys. Rev. Lett., **19**, 652 (1967).
3. Marrone M. N., Kabler M. N., Phys. Rev. Lett., **27**, 1283 (1971).
4. Каблер М. Н., Марроне М. Дж., Фаулер В. Б., Изв. АН СССР, сер. физ.-матем., **37**, 341 (1973).
5. Fischbach J. U., Fröhlich D., Kabler M. N., J. Luminescence, **6**, 29 (1973).
6. Кинк Р. А., Лийдья Г. Г., Соовик Т. А., Опт. и спектр., **30**, 279 (1971).
7. Каск П. А., Кинк Р. А., Лийдья Г. Г., Соовик Т. А., Изв. АН СССР, сер. физ., **38**, 1264 (1974).
8. Каск П., Кинк Р., Вайданич В., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **23**, 72 (1974).

9. Каск П., Соовик Т., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., 23, 258 (1974).
10. Higbie J., Nucl. Instr. Methods, 105, 279 (1972).
11. Ikezawa M., Kojima T., J. Phys. Soc. Japan, 27, 1551 (1969).
12. Marrone M. J., Patten F. W., Kabler M. N., Phys. Rev. Lett., 31, 467 (1973).

Институт физики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
13/1 1974

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. 23. KÕIDE  
FÜSIKA \* МАТЕМАТИКА. 1974. NR. 3

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ 23  
ФИЗИКА \* МАТЕМАТИКА. 1974. № 3

УДК 681.327.2

Р. МИХКЕЛЬСОН

## СИСТЕМА ГРАФИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ЧЕЛОВЕКА с ЭВМ «МИНСК-32»

R. MIHKELSON. GRAAFILISE SIDE SÜSTEEM INIMENE-ARVUTI «MINSK-32»

R. MIHKELSON. MAN-MACHINE GRAPHICAL COMMUNICATION FOR COMPUTER «MINSK-32»

Описываемая система предназначена для вывода графической информации на экран устройства отображения (УО) и реализована в виде приставки к ЭВМ «Минск-32». Система позволяет осуществлять преобразование изображений объектов на экране электроннолучевой трубки (ЭЛТ). От существующих систем графической связи [1] рассматриваемая система отличается меньшими аппаратными затратами.

Блок-схема системы приведена на рис. 1 и не требует пояснений.

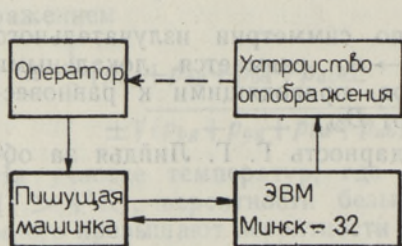


Рис. 1.

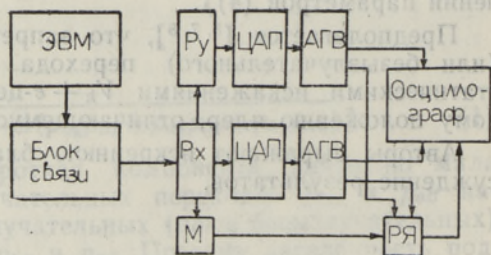


Рис. 2.

Отображаемый на экране УО объект представляется в памяти ЭВМ цифровой моделью в виде значений координат точек объекта в прямоугольной системе координат. На основании этой модели в ЭВМ вычисляется центральная проекция объекта на плоскости проекции, совпадающей с плоскостью экрана УО. При вычислении в ЭВМ координат точек на центральной проекции оператор определяет центр проекции и место плоскости проекции относительно объекта. Это позволяет