

являются сборка и активации НАДФН-оксидазы, а также выход МПО из азурофильных гранул.

Литература

1. Мальцева В. Н., Сафронова В. Г. Неоднозначность роли нейтрофила в генезе опухоли // Цитология. 2009. Т.51. №6. С. 467–474.
2. Lau, D., Baldus S. Myeloperoxidase and its contributory role in inflammatory vascular disease // Pharmacology. Therapeutics. 2006. V.111. №1. P. 16-26.
3. Соколов А. В. и др. Кинетический метод определения галогенирующей активности миелопероксидазы // Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем: Тез. докл. Междунар. науч. конф., сб. ст.: в 2 ч. Ч.2. Минск, 2012. С. 272 – 274.
4. Sokolov A. V. et al. Kinetic method for assaying the halogenating activity of myeloperoxidase based on reaction of celestine blue B with taurine halogenamines // Free Radical Research. 2015. V.49. №6. P. 777– 789.
5. Sheppard F. R. et al. Structural organization of the neutrophil NADPH oxidase: phosphorylation and translocation during priming and activation // J. Leukocyte Biology. 2005. V.78. №5. P. 1025–1042.
6. Галкин А. А., Демидова В. С. Роль Ca^{2+} в регуляции функций нейтрофилов // Успехи современной биологии. 2007. Т. 127. №1. С. 58–72.
7. Malle E. et al. Myeloperoxidase: a target for new drug development? // British J. Pharmacology. 2007. Т. 152. №6. С. 838–854.
9. Sokolov A. V. et al. Ceruloplasmin and myeloperoxidase in complex affect the enzymatic properties of each other // Free Radical Research. 2008. V.42. №11–12. P. 989–998.

ВЛИЯНИЕ АП-КОНВЕРСИИ НА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ИОНАХ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СРЕДЕ НА ПОТЕРИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Д. Д. Матюшевский

ВВЕДЕНИЕ

При ап-конверсии в системе ионов редкоземельных элементов, наиболее существенными механизмами являются поглощение из возбужденного состояния и перенос энергии между ионами [1].

В работе проводится точный расчет населенностей уровней системы ионов редкоземельного элемента тулия Tm^{3+} . Представлены результаты для двух концентраций ионов: низкой, когда процесс переноса энергии между ионами имеет маленькую вероятность и основным механизмом является поглощение из возбужденного состояния, и высокой, когда перенос энергии между ионами имеет большую вероятность.

Интерес к исследованию развития ап-конверсии в системе с низкой концентрацией ионов связан с проблемой контроля внутривибронаторных

лазерных недопированных элементов. Зависимость населенностей уровней от интенсивности возбуждающего излучения позволяет произвести расчет коэффициента поглощения системы. Таким образом, проводится оценка потерь возбуждающего излучения, обусловленная эффектом апконверсии.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Для расчета населенностей уровней в рассматриваемой модели учитываются первые 8 уровней. Изменение населённости уровня с номером i описывается выражением [2]:

$$\frac{dn_i}{dt} = -\sum_{k<i}(A_{ik} + W_{ik})n_i + \sum_{k>i}(A_{ki} + W_{ki})n_k - R_{ik}In_i + R_{ki}In_k, \quad (1)$$

где $n_i = \frac{N_i}{N}$, N_i – число частиц в единице объема, находящихся на уровне i , N – общее число частиц в единице объема, A_{ik} , W_{ik} – вероятности излучательного и безызлучательного перехода с уровня i на уровень k , R_{ik} – сечение поглощения между уровнями i и k , I – интенсивность излучения.

В выражение (1) следует добавить слагаемые, соответствующие переносу энергии между ионами. Такие слагаемые имеют вид: $W_{mn}^{ki}n_k n_m$ [2], где W_{mn}^{ki} – вероятность процесса переноса энергии, в результате которого донор переходит с уровня k на уровень i , а акцептор переходит с уровня m на уровень n .

Для численного решения системы уравнений, описывающей населенности уровней Tm^{3+} используются данные из работы [2]. В работе [2] представлены значения вероятностей излучательных и безызлучательных переходов между уровнями для Tm^{3+} в кристалле иттрий – литиевого фторида, а также сечения поглощения R_{13}, R_{25}, R_{46} для уровней, участвующих в поглощении, при возбуждении системы излучением с длиной волны 1.11 мк. Также, в работе [2] представлены вероятности переноса энергии между ионами, рассчитанные теоретическими и экспериментальными методами, для трех различных концентраций ионов.

В рассматриваемой модели предполагается, что перенос энергии является диполь-дипольным резонансным процессом, и его вероятность: $W_{mn}^{ik} \sim R^{-6}$, где R – расстояние между ионами [1]. С учетом такого упрощения, данные для вероятностей переноса энергии из работы [2] экстраполируются на случай различных концентраций ионов.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ

При исследовании ап-конверсионных свойств системы, важной характеристикой является тангенс угла наклона зависимости интенсивности ап-конверсионной люминесценции от интенсивности возбуждающего излучения, построенной в двойном логарифмическом масштабе [1]. Тангенс угла наклона показывает число фотонов, участвующих в заселении уровня, с которого происходит испускание, в результате чего наблюдается люминесценция. Если в системе возможен процесс кросс-релаксации, то, при некоторых параметрах системы, возникает эффект фотонной лавины [1]. При возникновении данного эффекта, тангенс угла наклона зависимости интенсивности люминесценции от интенсивности возбуждающего излучения, построенной в двойном логарифмическом масштабе, резко возрастает, и превышает число фотонов, участвующих в заселении уровня [1].

Интенсивность люминесценции пропорциональна населенности уровня, с которого происходит испускание. В результате решения системы уравнений, получена зависимость относительной населенности всех рассматриваемых в системе уровней от интенсивности возбуждающего излучения, для двух концентраций: $C_1=1.4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, расстояние между ионами 41 нм, $C_2=1 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$, расстояние между ионами 1 нм. На рисунке 1 представлена зависимость относительной населенности шестого уровня от интенсивности возбуждающего излучения в двойном логарифмическом масштабе в случае низкой C_1 и высокой C_2 концентрации ионов.

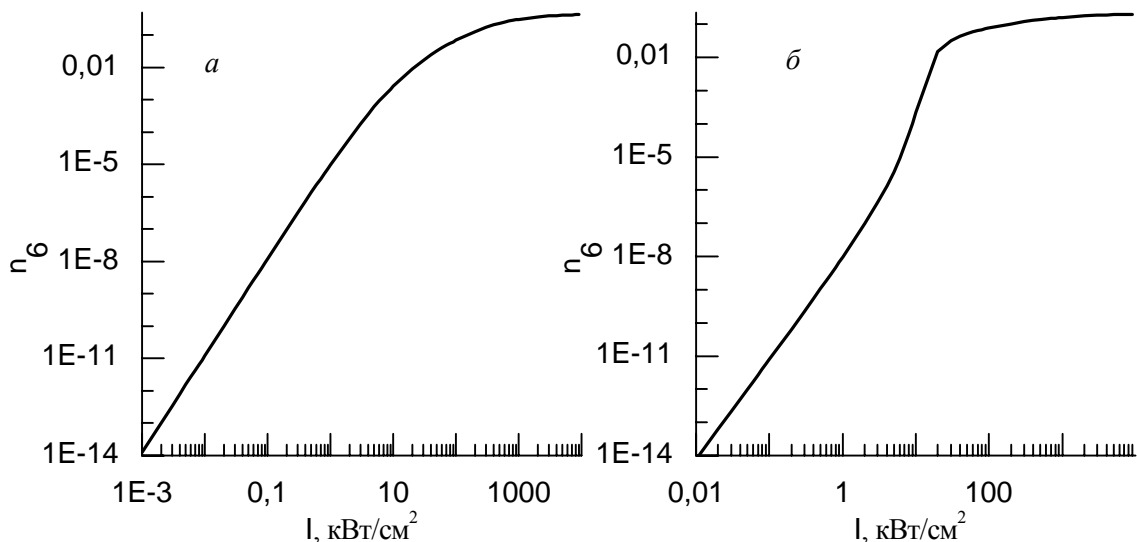


Рис. 1. Зависимость относительной населенности шестого уровня от интенсивности возбуждающего излучения:
а – низкая концентрация, б – высокая концентрация

В случае низкой концентрации, расстояние между ионами намного больше критического расстояния переноса энергии [1], таким образом основным механизмом ап-конверсии является поглощение из возбужденного состояния. Тангенс угла наклона зависимости на рисунке 1а, при низких интенсивностях возбуждающего излучения, равен 3, то есть числу фотонов, участвующих в заселении шестого уровня. При увеличении интенсивности, тангенс угла наклона монотонно уменьшается до нуля, населенность шестого уровня стремится к постоянному значению. Уменьшение тангенса угла наклона от максимального значения до нуля происходит в диапазоне изменения интенсивности возбуждающего излучения на несколько порядков. В работе [3] представлена экспериментальная зависимость интенсивности ап-конверсионной люминесценции в области 475нм (с шестого уровня) ионов тулия низкой концентрации $C1$ в кристалле ванадата иттрия, при возбуждении излучением с длиной волны 1.064мк. Эксперимент проводился в диапазоне интенсивностей возбуждающего излучения $4 - 20 \frac{\text{кВт}}{\text{см}^2}$. Экспериментальный тангенс угла наклона зависимости интенсивности люминесценции от интенсивности возбуждающего излучения в двойном логарифмическом масштабе равен 1.6 [3]. Тангенс угла наклона, полученный с помощью рассматриваемой модели, в аналогичном диапазоне интенсивностей равен 1.9.

При большой концентрации, расстояние между ионами меньше критического расстояния переноса энергии, таким образом перенос энергии играет существенную роль в рассматриваемой системе. В диапазоне интенсивности $10 - 20 \frac{\text{кВт}}{\text{см}^2}$ тангенс угла наклона зависимости на рисунке 1б равен 5.6. Таким образом, в данном диапазоне интенсивности наблюдается эффект фотонной лавины. Этот известный результат отмечен в работе [2].

На рисунке 2 представлены зависимости коэффициента поглощения системы, от интенсивности возбуждающего излучения.

При небольшой интенсивности возбуждающего излучения коэффициент поглощения не зависит от интенсивности. При повышении интенсивности излучения, коэффициент поглощения возрастает. Возрастание связано с тем, что сечения поглощения R_{25}, R_{46} на порядок больше чем R_{13} [2]. В случае большой концентрации ионов (рисунок 2б) возрастание коэффициента поглощения имеет резкий характер. Интенсивность возбуждающего излучения, при которой происходит возрастание коэффи-

циента поглощения совпадает с интенсивностью возникновения фотон-ной лавины.

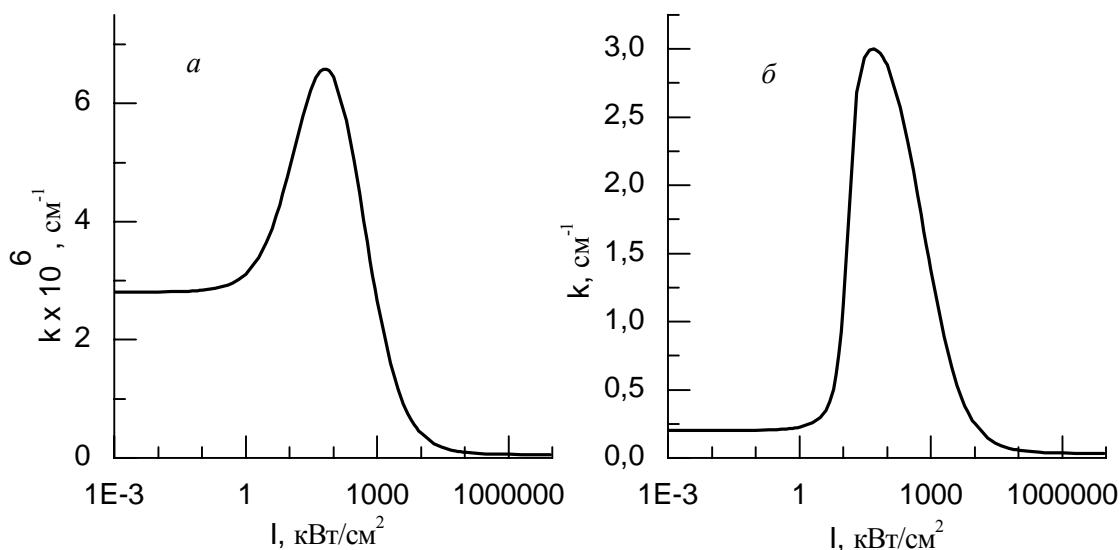


Рис. 2. Зависимость коэффициента поглощения от интенсивности возбуждающего излучения:
a – низкая концентрация, *б* – высокая концентрация

Литература

1. *Auzel F.* Upconversion and Anti-Stokes Processes with f and d ions in solids // *Chem. Rev.* – 2004. – V 104, No 1. – P. 139 – 173.
2. Cascade – avalanche up – conversion in Tm^{3+} : YLF crystals / *E. Yu. Perlin, A. M. Tkachuk, M. –F. Joubert, R. Moncorge* // *Optics and spectroscopy.* – 2001. – V.90, No 5. – P. 691 – 700.
3. Luminescence in YVO_4 and $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$ Crystals Excited by CW 1064-nm Radiation / *I. A. Khodasevich, A. S. Grabtchikov, A. A. Kornienko, E. B. Dunina* // *Optics and spectroscopy.* – 2015. – V.119, No 5. – P. 759 – 765.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЭФФЕКТОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРАН-ВОДНОЙ КРИТИЧЕСКОЙ СБОРКИ МЕТОДОМ ОБРАЩЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ КИНЕТИКИ

А. Е. Осадчев

Одним из основных нейтронно-физических параметров, характеризующих работу ядерного реактора, является реактивность. Измерение реактивности с помощью цифровых и аналоговых реактиметров, основанных на обратном решении уравнений кинетики реактора в точечной модели, получило довольно широкое распространение [1–4]. Однако при всех достоинствах данный метод имеет существенный недостаток: