

05:07

## О механизме влияния плотности ионизации в треке быстрой заряженной частицы на световыход сцинтилляций

© В.К. Ляпидевский, М.И. Рязанов

Московский государственный инженерно-физический институт,  
115409 Москва, Россия

(Поступило в Редакцию 4 июня 1999 г. В окончательной редакции 6 сентября 1999 г.)

Показано, что влияние созданной быстрой заряженной частицей плотности ионизации на световыход сцинтиллятора определяется процессом релаксационного перехода электрона от атома примеси к иону основного вещества.

1. Как известно, для всех видов органических сцинтилляторов независимо от их природы отношение световых выходов при прохождении  $\alpha$ -частиц и электронов ( $\alpha/\beta$ -отношение) примерно одинаково и составляет 0.1 [1,2]. Аналогичное явление наблюдалось и в неорганических сцинтилляторах [3]. Независимость  $\alpha/\beta$ -отношения от конкретных особенностей вещества сцинтиллятора и типа примеси означает, что причина такой закономерности должна быть достаточно общей, не зависящей от индивидуальных свойств сцинтиллятора. Поэтому и объяснение существования  $\alpha/\beta$ -отношения должно не основываться на конкретных особенностях сцинтиллятора, а использовать общие для всех сцинтилляторов закономерности. Универсальный механизм, объясняющий возникновение  $\alpha/\beta$ -отношения, ранее не рассматривался, хотя в [4] отмечалось, что причиной явления скорее всего должны быть взаимодействия возбужденных молекул с ионами и друг с другом.

2. Органические вещества, используемые для создания сцинтиллятора, в чистом виде слабо сцинтиллируют, одинаковым образом как под действием электронов, так и под действием  $\alpha$ -частиц. Это означает, что величина  $\alpha/\beta$ -отношения определяется различным состоянием сцинтиллирующих примесей при прохождении электронов и тяжелых частиц. Основное различие в действии на вещество быстрых электронов и тяжелых частиц состоит в том, что проходящая через вещество тяжелая частица создает намного большую плотность ионизации, чем проходящий через то же вещество электрон. Поэтому естественно искать объяснение величины  $\alpha/\beta$ -отношения через влияние различной плотности ионизации на примеси.

3. Ионизация атомов вещества проходящей частицей приводит к тому, что ионизированный атом основного вещества может появиться вблизи атома примеси. Как правило, потенциал ионизации атома примеси меньше, чем потенциал атома основного вещества. Это значит, что уровень энергии валентного электрона атома примеси лежит выше уровня энергии атома основного вещества и энергетически выгоден захват связанного электрона атома примеси основного вещества. Такой захват может происходить при любом релаксационном процессе в возбужденном веществе. Захват связанного электрона

атома примеси ионом основного вещества может также произойти и в результате возбуждения примесного атома в процессе сцинтилляции. В результате ионизации атома примеси в нем происходит как перераспределение заселенности возбужденных состояний электронов, так и сдвиг уровней энергии этих состояний. И то и другое уменьшает световыход на основной частоте.

4. Рассмотрим теперь, как влияет величина плотности ионизации на долю ионизированных примесей. Увеличение плотности ионизации приводит к росту среднего числа ионов на единицу объема вещества, а следовательно, и к уменьшению среднего расстояния между ионами. Поэтому увеличение плотности ионизации приводит к уменьшению среднего расстояния между ионом основного вещества и примесью. Из-за этого возрастает вероятность захвата связанного электрона примеси ионом основного вещества. Поэтому с увеличением плотности ионизации растет доля ионизированных примесей, что, как показано выше, приводит к уменьшению световыхода.

5. Универсальность  $\alpha/\beta$ -отношения для различных сцинтилляторов связана с тем, что энергетически выгодный захват связанного электрона примеси ионом основного вещества может сопровождать любой релаксационный процесс. Поэтому при данной плотности ионизации такой захват слабо зависит от конкретных значений энергии возбужденных уровней атомов примеси и свойств основного вещества сцинтиллятора.

6. Из сказанного следует, что все качественные особенности, наблюдаемые при исследовании зависимости световыхода сцинтиллятора от созданной частицей плотности ионизации (существование  $\alpha/\beta$ -отношения, его универсальность, появление излучения на других частотах с возрастанием плотности ионизации) могут быть объяснены единым механизмом — влиянием процесса захвата связанного электрона примеси ионом основного вещества на состояние сцинтиллирующих примесей.

7. Следует отметить, что внедрение в диэлектрик примесей, в которых электроны связаны слабее, чем в атомах основного вещества (в частности, сцинтиллирующих примесей [5]), приводит к уменьшению числа смещенных атомов в треке тяжелой частицы [6]. Таким образом, два различных эффекта (уменьшение световыхода

хода сцинтиллятора для тяжелых частиц и смещение атомов в треках тяжелых частиц) являются следствием одного и того же процесса — захвата слабосвязанного электрона примеси ионом основного вещества.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

## Список литературы

- [1] *Розман И.М., Килин С.Ф.* // УФН. 1959. Т. 69. № 3. С. 469–482.
- [2] *Галанин М.Д., Чижикова З.А.* // Опт. и спектр. 1958. Т. 48. Вып. 2. С. 196–202.
- [3] *Аверкиев В.В., Валбис Я.А., Григорян Ф.Х., Ляпидевский В.К.* и др. Люминесцентные приемники и преобразователи ионизирующего излучения. Новосибирск.: Наука, 1985. 191 с.
- [4] *Вяземский В.С., Ломоносов И.И., Писаревский А.Н.* и др. Сцинтилляционный метод в радиометрии. М.: Атомиздат, 1961. 430 с.
- [5] *Аверкиев В.В., Ляпидевский В.К., Хохлов Н.Б.* // Изв. АН СССР. Сер. физич. 1986. Т. 50. Вып. 4. С. 568–570.
- [6] *Ляпидевский В.К., Рязанов М.И.* // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. Вып. 16. С. 51–53.