

11 класс

Люминесценция

В этой задаче погрешности оценивать не нужно!

Оборудование. Люминесцирующее вещество; фотодиод; фиолетовый лазер; секундомер с памятью этапов, мультиметр; штатив; пластиковая трубка; ножницы; канцелярский зажим (для фиксации кнопки лазера).

Теоретическое введение.

Люминесценция — свечение вещества после поглощения энергии возбуждения. Если возбуждение вещества происходит с помощью света, такой процесс будет носить название фотолюминесценции. Фотолюминесценцию делят на два типа по длительности послесвечения: флуоресценцию (характерные времена послесвечения $10^{-12} - 10^{-6}$ с) и фосфоресценцию (большие характерные времена).

Рассмотрим с квантовой точки зрения процессы, происходящие в молекуле и приводящие к возникновению люминесценции (см. Рис.1). Как известно, атомы и молекулы могут находиться в состояниях только с определенными значениями энергии (говорят, на определенных энергетических уровнях). Состояния с минимальной энергией называются основными. При отсутствии возбуждения все молекулы находятся в основных состояниях. При поглощении кванта света молекулы переходят в возбужденные состояния, которые можно разделить на две группы: короткоживущие (времена жизни $10^{-12} - 10^{-6}$ с) и долгоживущие (времена жизни $10^{-3} - 10^{+3}$ с и более).

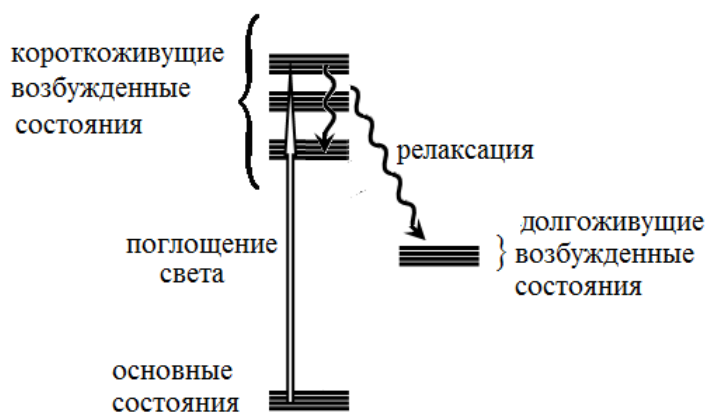


Рис. 1.

При поглощении света молекулы переходят из основного в одно из короткоживущих возбужденных состояний. Далее за очень короткие времена (порядка $10^{-14} - 10^{-13}$ с) происходит процесс релаксации, в результате которого молекулы теряют энергию и переходят

в нижние возбужденные состояния: большая часть оказывается в нижнем короткоживущем состоянии, а малая их часть попадает в долгоживущие состояния.

Молекулы, оказавшиеся в нижнем короткоживущем состоянии могут перейти в основное состояние как с испусканием кванта света (это процесс флуоресценции), так и без излучения. В любом случае эти процессы завершаются за времена меньше 10^{-8} с, поэтому в данном эксперименте не наблюдаются. Те же молекулы, которые попали в долгоживущие состояния, могут находиться в них заметное время, превышающее несколько секунд. Часть из них с некоторой вероятностью могут перейти в основное состояние с испусканием света, который мы наблюдаем как фосфоресценцию (см. Рис.2).

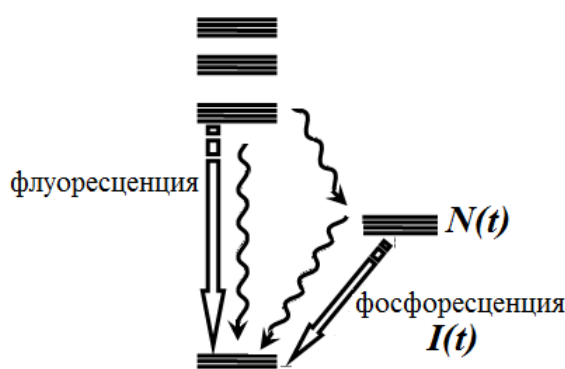


Рис. 2.

В любом случае интенсивность фосфоресценции $I(t)$ пропорциональна числу молекул $N(t)$, находящихся в возбужденном долгоживущем состоянии: $I(t) \propto N(t)$. Таким образом, изучая зависимость интенсивности фосфоресценции от времени, можно делать выводы о процессах, происходящих с молекулами, находящимися в долгоживущих состояниях.

Если молекула не взаимодействует с другими молекулами, находящимися в возбужденных состояниях, то скорость убывания числа возбужденных молекул пропорциональна числу этих молекул

$$\frac{dN}{dt} = -\alpha N \quad (1)$$

Из-за того, что в рассматриваемых состояниях молекулы в возбужденных состояниях живут достаточно долго, заметную роль играют взаимодействия между ними.

Самым существенным является процесс, получивший название аннигиляция (см. Рис.3). При взаимодействии двух возбужденных молекул возможен безызлучательный перенос энергии с одной возбужденной молекулы на другую, в результате чего последняя переходит в одно из короткоживущих состояний и затем в результате быстрой релаксации она оказывается в основном состоянии. В итоге обе молекулы быстро переходят в основное состояние. Если этот процесс является преобладающим, то скорость убывания числа

возбужденных молекул оказывается пропорциональной квадрату их числа, т.е.

$$\frac{dN}{dt} = -\beta N^2 \quad (2)$$

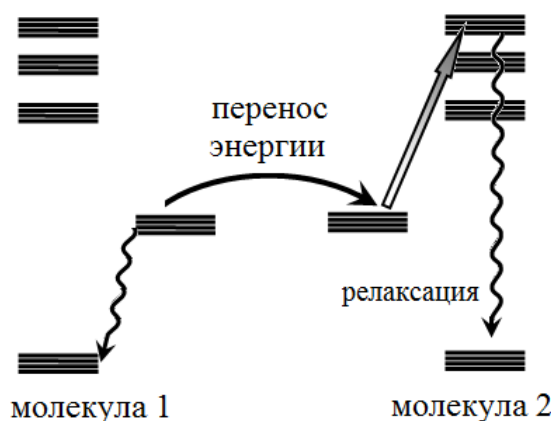


Рис. 3.

В реальности присутствуют оба механизма уменьшения числа молекул в возбужденных состояниях. Тем не менее, можно рассматривать два предельных случая (две модели):

- преобладающую роль играют процессы внутри одной молекулы, в этом случае динамика изменения числа возбужденных молекул описывается уравнением (1);
- преобладающую роль играет процесс парной аннигиляции, в этом число изменение числа молекул описывается уравнением (2).

Задание.

Часть 1. Инженерная.

Соберите установку, в которой лазерное излучение попадало бы на флуоресцирующее вещество, а после выключения лазерного излучения можно было бы зафиксировать сигнал (напряжение) на фотоприемнике от флуоресценции вещества. Соберите установку таким образом, чтобы во время проведения измерений на вещество могло бы попасть только излучения лазера, а от внешнего света вещество было изолировано. Конструкция установки должна обеспечивать сбор как можно большего количества света от процесса флуоресценции. Зарисуйте собранную Вами установку, обозначьте на ней все основные элементы. Поясните, как Вы выполнили вышеуказанные требования к установке.

Часть 2. Измерительная.

Снимите зависимость напряжения на фотоприемнике от времени после выключения лазерного излучения. Считайте, что напряжение на фотоприемнике пропорционально суммарной мощности попадающего на него света. Освещайте вещество в течение 1 минуты перед каждым измерением зависимости сигнала на фотоприемнике от времени.

Подробно опишите методику проведения измерений. Постройте график измеренной зависимости.

Часть 3. Теоретическая.

Представленные модели будут соответствовать разной временной зависимости количества молекул в возбужденном состоянии. Запишите, как для каждой из моделей должно изменяться количество молекул в возбужденном состоянии от времени.

Предложите координаты для каждой из моделей, в которых график зависимости напряжения от времени будет линейным.

Часть 4. Обработка.

С помощью линеаризации полученных Вами данных в соответствии с моделями (1) и (2), определите, какой из предложенных моделей подчиняется процесс фосфоресценции в вашем эксперименте.