



## Опыты со светящимися веществами

Е. Э. КОЛОМЕЙЦЕВ



Существуют вещества, которые под воздействием света начинают светиться сами, причем, как правило, светом другого цвета (например, при облучении синим светом они испускают желтый или зеленый свет). Явление это называют *фотолюминесценцией* — свечением под действием света (от греческого «фотос» — свет и латинского «люминесценция» — слабое свечение). Основные особенности фотолюминесценции были выявлены благодаря работам известного советского физика С. И. Вавилова и его сотрудников.

Механизм этого явления был выяснен лишь после создания квантовой теории света. Попробуем очень кратко проиллюстрировать его на примере одной молекулы какого-либо органического люминесцирующего вещества. Такую молекулу можно считать практически самостоятельным «приемником» и «излучателем» света. Сначала она поглощает квант падающего на нее видимого света и переходит в возбужденное состояние. Затем молекула возвращается в исходное состояние, но при этом излучает квант видимого света уже меньшей энергии. Оставшаяся часть по-

глощенной энергии переходит в энергию теплового движения.

Процесс переизлучения может происходить очень быстро, практически мгновенно. В таких случаях говорят о *флуоресценции*. Стоит прекратить облучение флуоресцирующего вещества светом, и сразу же пропадает его свечение. Так бывает обычно с газообразными и жидкими люминофорами (веществами, способными к люминесценции).

В других случаях вещество может продолжать светиться и после того, как погас возбуждающий источник света (иногда свечение длится до нескольких часов и даже дней). Тогда говорят о *фосфоресценции*. Наибольшее распространение получили кристаллические фосфоресцирующие вещества, называемые кристаллофосфорами.

Впрочем, разделение по длительности послесвечения достаточно условное, поскольку четкой временной границы не существует.

Надо сказать, что люминесценцию можно вызвать не только светом. Энергию, необходимую для излучения света, молекулы вещества могут позаимствовать, например, у электрического поля (электрOLUMИнесценция), при химических превращениях (хемилуминесценция), под воздействием проникающей радиации (например, катодOLUMИнесценция, рентгенолуминесценция и тому подобное).

Автор этой статьи — Евгений Коломейцев — сейчас учится в 9 классе специальной (с преподаванием ряда предметов на немецком языке) школе № 57 г. Москвы. Женя принимает активное участие в работе Школы естественных наук при Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова. (Примеч. ред.)



Однако мы ограничимся лишь фотолюминесценцией.

Начнем с опытов, в которых исследуются свойства флуоресцирующих жидкостей.

**Опыт 1.** Нам потребуется источник света и прозрачная кювета. В домашних условиях в качестве источника можно использовать диапроектор, в который вместо диапозитива надо вставить кусочек картона или фольги с вырезанной в центре дырочкой (диаметром 2—3 мм). Это позволит получить слаборасходящийся пучок света. Кюветой может служить флакон из-под одеколona и тому подобное. Если сосуд наполнить чистой водой и посмотреть на него сбоку (как показано на рисунке 1), то луч света в воде практически виден не будет (его видно только на границах вода — стекло). Если же воду заменить керосином, то внутри кюветы мы увидим синевато-белесую полосу. Причина этому — флуоресценция керосина.

Флуоресценцию можно наблюдать и на других растворах: желто-зеленое свечение — для риваноля (продается в аптеке), голубое — для отработанного фотопроявителя. Красивые эффекты переизлучения получаются, если использовать некоторые шампуни (мы испробовали «Яблочный» и «Сосна»), которые содержат флуоресцирующие добавки. Правда, оказалось, что для получения яркой флуоресценции необходимо сильно разбавить шампунь водой. Почему — можно понять, проделав следующий опыт.

**Опыт 2.** Наполним сосуд раствором шампуня в воде, таким, чтобы яркость флуоресценции была достаточно большой. Затем начнем добавлять понемногу раствор йодистого калия. Яркость свечения будет убывать,

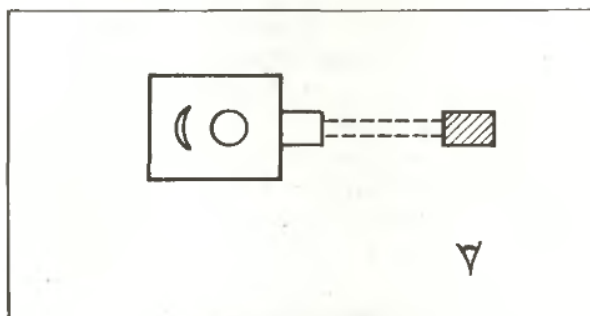


Рис. 1.

пока, наконец, раствор не перестанет флуоресцировать совсем. Явление это носит название тушения люминесценции. Качественно объяснить его можно так. Молекула жидкости, облучаемой светом, находится в возбужденном состоянии в течение ничтожного, по обычным меркам, промежутка времени — порядка  $10^{-8}$ — $10^{-9}$  с. Но и за это малое время она может столкнуться с молекулой тушащего вещества (в нашем случае — йодистого калия) и передать ей часть или всю энергию возбуждения, которая в конечном итоге перейдет в тепло. Таким образом, процесс переизлучения не осуществится.

Аналогичные события происходят и при большой концентрации флуоресцирующего вещества. Его молекулы интенсивно сталкиваются, и при этом их избыточная энергия (энергия возбуждения) легко переходит в тепло. Именно поэтому растворы с большой концентрацией шампуня слабее излучают свет.

Понятно, что вероятность столкновения между молекулами тем выше, чем выше температура раствора. Значит, повышение температуры тоже оказывает тушащее действие. Это вы можете проверить самостоятельно.

**Опыт 3.** В предыдущем эксперименте мы тушили флуоресценцию. Теперь попробуем усилить яркость свечения.

Как показывает опыт, в водных растворах довольно сильное тушащее действие оказывают водородные ионы. Попробуем уменьшить их концентрацию, добавив в раствор шампуня несколько капель раствора щелочи (KOH или NaOH) — яркость флуоресценции заметно увеличится.

**Опыт 4.** Поставим на пути луча от диапроектора синий светофильтр (рис. 2). Раствор риваноля в кювете продолжает светиться характерным для него цветом. То же происходит и при зеленом светофильтре, а вот красный приводит к исчезновению флуоресценции. Почему?

В 1852 году английский физик и математик Дж. Г. Стокс установил, что при фотолюминесценции длина волны излучаемого света больше длины волны возбуждающего света (правило Стокса). Эту закономерность легко понять, если вспомнить объяснение механизма фотолюминесценции, приведенное в начале статьи.



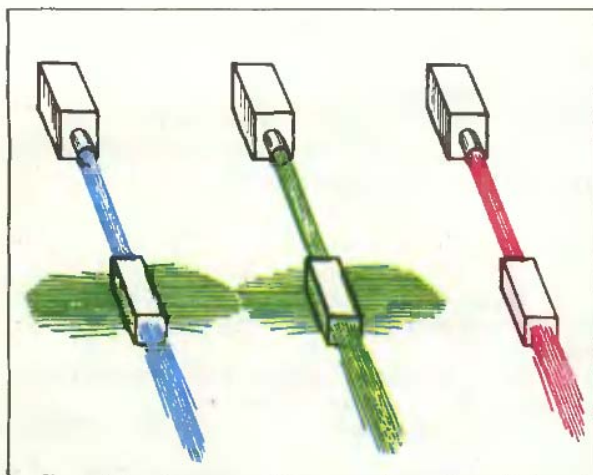


Рис. 2.

Иногда, правда, правило Стокса нарушается, и энергия переизлученного кванта оказывается больше энергии поглощенного кванта. Это означает, что молекула, находясь в возбужденном состоянии, получила дополнительную порцию тепловой энергии, перешла в еще более высокое энергетическое состояние, а затем всю свою избыточную энергию отдала световому кванту.

Вернемся к опыту. Если учесть, что

$\lambda$  синего света  $>$   $\lambda$  зеленого света  $>$   $\lambda$  желтого света  $>$   $\lambda$  красного света,  
то становится ясным, что в нашем случае закон Стокса выполняется.

\* \* \*

Во всех рассмотренных до сих пор опытах мы наблюдали флуоресценцию жидкостей. Теперь переходим к опытному изучению фосфоресценции кристаллов.

Внешние различия этих разновидностей люминесценции — по длительности послесвечения — обусловлены различиями в протекании самого процесса переналаживания. В первом случае «ячейкой» фотолюминесценции является отдельная молекула. Внутри нее происходят процессы возбуждения и возвращения в невозбужденное состояние, которое и сопровождается излучением света. Во втором же случае в люминесценции участвует не отдельная молекула, а их большое число — практически вся кристаллическая решетка. Объяснение механизма фосфоресценции для этого случая можно найти в литературе, указанной в конце статьи.

К кристаллофосфорам относятся некоторые сульфиды (химические соединения металлов с серой), прежде всего — сульфиды металлов II группы периодической системы элементов:  $\text{CaS}$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{SrS}$ ,  $\text{BaS}$ . Наиболее известный из них — сернистый цинк ( $\text{ZnS}$ ), с которым мы и будем экспериментировать.

Для приготовления сульфида цинка необходимо взять 1 весовую часть порошка серы (серного цвета) и 2 весовые части порошка цинка. Смешав эти вещества, их нагревают. (Из-за резкого запаха выделяющихся газов опыт лучше проводить либо на открытом воздухе, либо в вытяжном шкафу школьного химического кабинета.) Получившийся сернистый цинк перемешивают с клеем и наносят на лист картона — фосфоресцирующий экран готов.\*)

Сразу же можно приготовить и другой фосфоресцирующий экран, добавив к первоначальной смеси порошков серы и цинка немного медных опилок.

Затем приступим к опытам.

**Опыт 5.** Осветим лучом от диапроектора экран с сернистым цинком (сами постараемся на свет не смотреть) и выключим источник. В наступившей темноте в течение нескольких десятков секунд экран будет светиться слабым зеленым светом. Прделаем тот же опыт с экраном, активированным медью. Свечение его будет другим по оттенку, ярче и продолжительнее по времени.

**Опыт 6.** Оказывается, если фосфор нагреть, скорость его высвечивания возрастет. Нагреем монету и (после выключения света) приложим ее к обратной стороне экрана. В месте соприкосновения с монетой экран ярко вспыхнет, но зато и быстро погаснет — место монеты в дальнейшем будет отмечено темным пятном на затухающем свете экрана.

**Опыт 7.** До сих пор мы облучали люминофоры только видимым светом. Интересно, как они поведут себя, если на них подействовать лучами невидимой части спектра, например ультрафиолетовой?

Воспользуемся ультрафиолетовой лампой, продающейся в магазине. В темноте направим пучок ультрафиолетовых лучей на экран из сернистого цинка. Мы увидим, как сернистый цинк ярко вспыхнет.

Способностью люминесцировать в ультрафиолетовых лучах обладают многие вещества, даже те, которые не люминесцируют при обычном освещении.

\*) Сульфид цинка можно «раздобыть», соскоблив его с елочных игрушек, светящихся в темноте.



Люминесценция нашла свое практическое применение, прежде всего, в лампах дневного света (люминесцентных лампах). В таких лампах, содержащих пары ртути, возбуждается газовый разряд, который сопровождается свечением, содержащим, в основном, ультрафиолетовые лучи. Стенки ламп, покрытые люминофорами специального состава, поглощают ультрафиолетовый свет и превращают его в видимый.

Такие лампы значительно более экономичны, чем лампы накаливания. Кроме того, спектральный состав их света ближе к дневному и поэтому более приятен для глаз.

\* \* \*

Вы познакомились лишь с небольшой частью опытов, которые можно

провести с люминесцирующими веществами. Одни из них мы попытались объяснить, другие оставили без объяснения, поскольку оно существенно выходило бы за рамки школьной программы по физике.

В заключение приводим список литературы, которая использовалась при подготовке этой статьи.

1. Н. С. Ахметов. Общая и неорганическая химия.— М.: Высшая школа, 1981.
2. Г. С. Ландсберг. Оптика.— М.: Наука, 1976.
3. С. Э. Фриш и А. В. Тиморева. Курс общей физики, т. III.— М.: Физматгиз, 1961.
4. Элементарный учебник физики/Под редакцией Г. С. Ландсберга, т. III.— М.: Физматгиз, 1958.
5. Журнал «Химия и жизнь»: 1983, № 11 и 1984, № 11.

## Конвекция и само-организующиеся структуры

(Начало см. на с. 8)

В стакане с чаем, так же как и в рассмотренной нами системе двух цилиндров, вращение в горизонтальной плоскости приводит к вертикальным потокам (рисунок 6). Для выливающейся из раковины воды изменение направления скорости в вертикальной плоскости, возникающее при

втекании жидкости в отверстие, приводит к появлению вращения в горизонтальной плоскости (рисунок 7).

Во всех описанных нами примерах мы имели дело с гидродинамической жидкостной неустойчивостью. Но упорядоченные структуры возникают и во многих других случаях, когда в системе имеет место достаточно интенсивный поток энергии или вещества.

Условиями возникновения и свойствами таких структур занимается очень молодая и бурно развивающаяся наука — синергетика. Но это — тема для отдельного разговора.

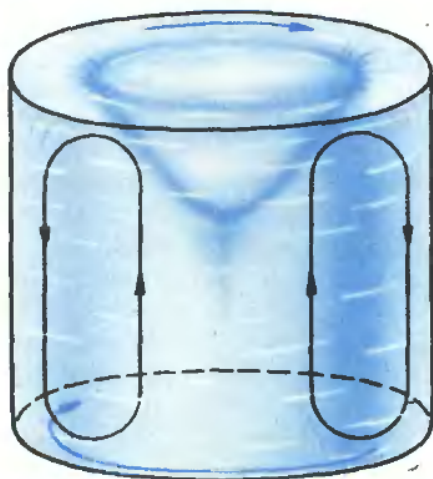


Рис. 6.

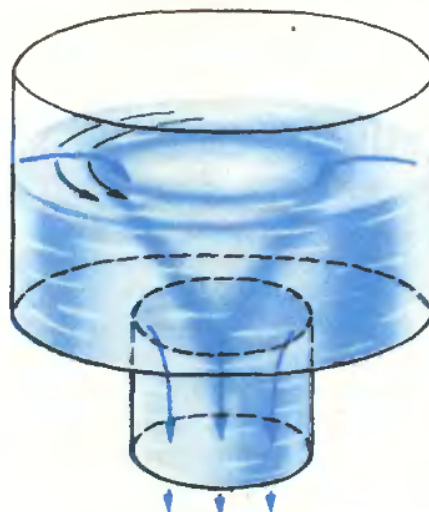


Рис. 7.