



# ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ. ФОТО- И ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

Разработал А. С. Иванов

**Люминесценция** - нетепловое свечение вещества, происходящее после поглощения им энергии возбуждения.

Будем называть «люминесценцией избыток над температурным излучением тела в том случае, если это избыточное излучение обладает конечной длительностью примерно  $10^{-10}$  секунд и больше». Таково каноническое определение люминесценции, данное русским учёным С. И. Вавиловым в 1948 году. Это значит, что яркость люминесцирующего объекта в спектральном диапазоне волн его излучения существенно больше, чем яркость абсолютно чёрного тела в этом же спектральном диапазоне, имеющего ту же температуру, что и люминесцирующее тело. Первая часть определения позволяет отличить люминесценцию от теплового излучения, что особенно важно при высоких температурах, когда термоизлучение приобретает большую интенсивность. Важной особенностью люминесценции является то, что она способна проявляться при значительно более низких температурах, так как не использует тепловую энергию излучающей системы. За это люминесценцию часто называют «холодным свечением». Критерий длительности, введённый Вавиловым, позволяет отделить люминесценцию от других видов нетеплового излучения: рассеяния и отражения света, комбинационного рассеяния, излучения Черенкова. Длительность их меньше периода колебания световой волны (то есть  $< 10^{-10}$  с).

Физическая природа люминесценции состоит в излучательных переходах электронов атомов или молекул из возбуждённого состояния в основное. При этом причиной первоначального их возбуждения могут служить различные факторы: внешнее излучение, температура, химические реакции и др.

**Вещества**, антрацен, нафталин, белки, содержащие ароматические аминокислоты и некоторые простетические группы, многие пигменты растений и в частности хлорофилл, а также ряд лекарственных препаратов обладают ярко выраженной способностью к люминесценции. Органические вещества, способные давать люминесцирующие комплексы со слабо люминесцентными неорганическими соединениями, часто используются в люминесцентном анализе. Так, в люминесцентной титриметрии часто применяется вещество флуоресцеин.

Люминофоры - это вещества, способные люминесцировать.

Чтобы вещество было способно люминесцировать, его спектры должны иметь дискретный характер, то есть его энергетические уровни должны быть разделены зонами запрещённых энергий. Поэтому металлы в твёрдом и жидком состоянии, обладающие непрерывным энергетическим спектром, не дают люминесценции.



## Типы Люминесценции

Фотолюминесценция - свечение под действием света (видимого и УФ-диапазона).

Делится на:

Флуоресценцию (время жизни  $10^{-9}$ – $10^{-6}$  с);

Фосфоресценцию ( $10^{-3}$ –10 с);

Хемилюминесценция - свечение, использующее энергию химических реакций;

Катодолюминесценция - вызвана облучением быстрыми электронами (катодными лучами);

Сонолюминесценция - люминесценция, вызванная звуком высокой частоты;

Радиолюминесценция - при возбуждении вещества ионизирующим излучением;

Триболлюминесценция - люминесценция, возникающая при растирании, раздавливании или раскалывании люминофоров. Триболлюминесценция вызывается электрическими разрядами, происходящими между образовавшимися наэлектризованными частями - свет разряда вызывает фотолюминесценцию люминофора.

Биолюминесценция - способность живых организмов светиться, достигаемая самостоятельно или с помощью симбионтов.

Электролюминесценция- возникает при пропускании электрического тока через определённые типы люминофоров.

Кандоллюминесценция - калильное свечение.

Термолюминесценция - люминесцентное свечение, возникающее в процессе нагревания вещества.

В настоящее время наиболее изучена фотолюминесценция.

У твёрдых тел различают три вида люминесценции:

мономолекулярная люминесценция - акты возбуждения и испускания света происходят в пределах одного атома или молекулы;

метастабильная люминесценция - акты возбуждения и испускания света происходят в пределах одного атома или молекулы, но с участием метастабильного состояния;

рекомбинационная люминесценция - акты возбуждения и испускания света происходят в разных местах.

## Выход люминесценции

**Выход** - одна из важнейших характеристик люминесценции. Выделяют квантовый выход и энергетический выход. Под квантовым выходом понимают величину, показывающую отношение среднего числа излучённых квантов к числу поглощённых

$$\varphi = \frac{N_i}{N_p}$$

где:

$N_i$  — число излучённых квантов,

$N_p$  — число поглощённых квантов.

Вавиловым было показано, что квантовый выход в растворах не зависит от длины волны возбуждающего света. Это связано с огромной скоростью колебательной релаксации, в ходе которой возбуждённая молекула передаёт избыток энергии молекулам растворителя.

Энергетический выход - отношение энергии излучённых квантов к энергии поглощённых:

$$B_{en} = \frac{N_i E_i}{N_p E_p} = \frac{\varphi \nu_i}{\nu_p}$$

Где  $\nu$  — частота излучения. Энергетический выход с ростом длины волны возбуждающего света сначала растёт пропорционально длине волны возбуждающего её света, затем остаётся постоянным и после некоторой граничной длины волны резко падает вниз (закон Вавилова).

## Фотолюминесценция

**Фотолюминесценция** - свечение, возбуждаемое в среде **светом** разной длиной волны. В зависимости от способа возбуждения наряду с фотолюминесценцией в оптике широкие исследования проводятся с электролюминесценцией, биолюминесценцией, трибиолюминесценцией и т. д. По-видимому, понятие **флуоресценция** описывает то же явление, что и фотолюминесценция. Что касается понятия **фосфоресценция**, то оно связано в первую очередь с твердотельными средами, носившими ранее название кристаллофосфоров.

### **Виды фотолюминесценции:**

**Резонансное излучение** - простейший случай фотолюминесценции. В этом случае, излучение на выходе среды происходит на той же **частоте**, что и частота падающего света. Этот случай хорошо иллюстрируют опыты американского физика Вуда (**R. Wood**), наблюдавшего резонансное взаимодействие светового излучения с помещенными в кювету атомарными парами **натрия**.

При фотолюминесценции **молекулярных** и других - **атомарных**, **наноразмерных** сред излучение обычно подчиняется **правилу Стокса**, то есть частота испускаемого света фотолюминесценции обычно меньше, чем частота падающего. Однако это правило часто нарушается и наряду со стоксовой наблюдается антистоксова часть **спектра**, то есть происходит излучение частоты, большей, чем частота возбуждающего света. Отметим, что, как правило, в общем случае, в отличие от резонансного излучения, упомянутого в начале статьи, ширина спектра фотолюминесценции оказывается большей, чем ширина спектра возбуждающего фотолюминесценцию излучения.

## Электролюминесценция

**Электролюминесценция** - люминесценция, возбуждаемая электрическим полем.

Наблюдается в веществах - полупроводниках и кристаллофосфорах, атомы (или молекулы) которых переходят в возбуждённое состояние под воздействием пропущенного электрического тока или приложенного электрического поля.

Электролюминесценция - результат излучательной рекомбинации электронов и дырок в полупроводнике. Возбужденные электроны отдают свою энергию в виде фотонов. До рекомбинации электроны и дырки разделяются - либо посредством активации материала для формирования р-п перехода (в полупроводниковых электролюминесцентных осветителях, таких как светодиод) - либо путём возбуждения высокоэнергетическими электронами (последние ускоряются сильным электрическим полем) - в кристаллофосфорах электролюминесцентных панелей.

**Применение:** Электролюминесцентные осветители (панели, провода и т.д.) широко используются в бытовой электронике и светотехнике, в частности - для подсветки жидкокристаллических дисплеев, подсветки шкал приборов и пленочных клавиатур, декоративного оформления строений и ландшафта и пр.

Для военных и промышленных применений выпускаются электролюминесцентные графические и знаковосинтезирующие дисплеи. Эти дисплеи отличаются высоким качеством изображения и относительно низкой чувствительностью к температурным режимам.



**Спасибо за внимание**