

СВЕТЛЯЧКИ

Пара
пароходов
говорит на рейде:
То один моргнёт,
а то
другой моргнёт.
Владимир Маяковский

Если тёплой летней или майской ночью не побояться пройтись по лесу без фонарика, можно увидеть чудесное явление: десятки зеленоватых огоньков то вспыхивают, то гаснут во мраке. Это «разговаривают» жуки-светляки: самки привлекают самцов вспышками света, а самцы отвечают им взаимностью. Ритм мигания у каждого вида этих жуков (а их на планете более 2000!) свой, так что самец и самка, немного поперемигивавшись, могут легко удостоверить, что не ошиблись с выбором партнёра.

Впрочем, самки некоторых тропических светляков умеют имитировать ритм миганий других видов и так подманивать их. Уверенный, что нашёл подругу, самец летит в её объятия... и попадает в челюсти коварной хищницы. Обмануть светляка под силу и человеку: симитировав ритм вспышек маленьким фонариком, можно легко привлечь несколько жуков.

Любопытно, что «фонарики» жуков отличает необычайно высокий КПД: в световую форму у них переходит 98% затраченной энергии. Для сравнения: у лампы накаливания – не более 5%,

и даже у современных светодиодов – только 40–50%. О свечке и говорить нечего: у неё в свет превращается менее 1% энергии, остальное выделяется в виде тепла. Светлячок же, испуская весьма яркий свет (посадив несколько жуков в банку, можно освещать ею дорогу, как фонарём), почти не нагревается.

Как жуки проделывают эти фокусы? И как им удаётся регулировать свечение: то «включать», то «выключать»?

Свечение живых существ – а кроме светляков оно встречается и у глубоководных рыб, и у медуз, рачков, и даже у грибов и бактерий (особенно у бактерий!) – называется *биолюминесценцией*. Люминесценция – это излучение света при низкой температуре с небольшим выходом теплового излучения, то есть с преобладанием видимого света. Свет пламени, свечение раскалённого металла, излучение Солнца – это не люминесценция, а результат нагрева до больших температур; при этом, помимо видимого света, излучается огромное количество тепловых (инфракрасных) лучей – мы даже на расстоянии чувствуем жар.



У животных же свечение возникает в ходе биохимической реакции окисления особого вещества люциферина под действием фермента люциферазы. (Фермент – это вещество, которое осуществляет реакцию, но само в ходе неё остаётся неизменным, не расходуется.) Люциферин соединяется с кислородом, и при этом выделяется энергия в виде света.

Но ведь горение свечи – тоже реакция окисления! И в нашем организме непрерывно идут такие реакции – именно за счёт них наше тело поддерживает довольно высокую температуру $36,6^{\circ}\text{C}$. Почему же мы не светимся, а в пламени лишь ничтожная часть энергии выделяется в форме видимого света? Что такого особенного в реакции окисления люциферина?

На самом деле, особенно не реакция, а сам люциферин. Но, чтобы понять, как он «светит, но не греет», нужно

сначала разобраться, как вообще излучается свет. А для этого... вспомнить строение атома.

В центре всех атомов находится ядро, вокруг которого вращаются по своим орбитам (правильнее называть их «орбиталями») электроны. Электрон может находиться на ближайшей к ядру свободной орбитали, а может перейти на более далёкую, внешнюю.

Находясь на внешней орбитали, электрон обладает большим запасом энергии, поэтому, чтобы его туда забросить, ему нужно эту энергию сообщить. И наоборот, когда электрон «спускается» на внутреннюю орбиталь, энергия высвобождается – в форме излучения (инфракрасного, видимого или иного).

Излучать энергию непрерывным потоком нельзя: она выделяется только квантами – порциями (квант света называется фотоном). Таков закон природы. Не вдаваясь в подробности,

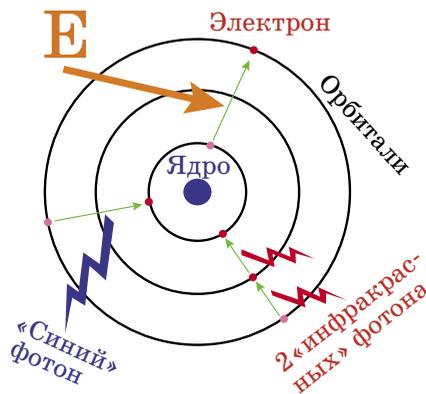


Схема поглощения и излучения энергии электронами при переходе с орбитали на орбиталь

ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ



отметим только, что размер этой «порции» может быть разным. Фотоны видимого света, особенно в синей части спектра, несут в себе гораздо больше энергии, чем «инфракрасные». Грубо говоря, энергия одного «синего» фотона примерно равна энергии двух-трёх «инфракрасных». То есть, получив избыток энергии, атом или молекула может избавиться от него, испустив либо один «синий» фотон, либо серию «инфракрасных».

У большинства веществ атомы, получив порцию энергии, излучают её в виде серии «инфракрасных» фотонов: «греют, но не светят». Условно говоря, их электроны спускаются с высокой орбитали на низкую «по ступенькам»: перепрыгивают помаленьку, каждый раз выделяя небольшой квант энергии. А вот устройство молекулы люциферина таково, что электрон, получив энергию, не может прыгать по ступенькам: он сразу же, одним махом, возвращается на внутреннюю орбиталь, излучая при этом фотон высокой энергии – квант видимого света.

Многие другие биохимические ре-

акции идут в несколько этапов, и, хотя итоговый выход энергии может быть колоссальным, на каждом этапе она выделяется по чуть-чуть: ни одна порция не достигает энергии даже «красного» фотона, не то что «синего». Эти порции клетка использует для своей жизнедеятельности, а их остатки «достаются» соседним молекулам, вызывая их движение, то есть попросту нагревая вещество клетки. В обоих случаях энергия в итоге превращается в тепловую. А при окислении люциферина происходит резкая перестройка молекулы с одномоментным выделением большого количества энергии – в световой форме.

Удивительно, но факт: резкое окисление меньше нагревает жука, чем серия плавных, постепенных реакций.

Думаю, теперь вы сами найдёте ответ на вопрос, как светлячки и другие организмы, способные к люминесценции, регулируют свечение, излучая свет не непрерывно, а вспышками.

Задача. Предложите несколько способов, которыми светящиеся организмы могли бы создавать вспышки.

Художник Артём Костюкевич

