

# Рассказ про лампочки

*Л. АШКИНАЗИ*

**З**НАЕТЕ ЛИ ВЫ, ЧТО ОНИ ВЕРНО служат нам полтора века? Верите ли вы, что они будут делать это и дальше? Они – это лампы накаливания, в которых осуществляется один из способов преобразования электроэнергии в свет, существующий уже полтора века. Большую часть этого времени они были основным способом освещения, особенно в быту. Но эта статья – не дань уважения; причина ее написания и публикации сложнее и важнее. Дело в том, что лампы накаливания – это объект, рассказывая о котором можно рассказать «на пальцах» о нескольких физических законах.

Начнем с того, что исправные лампочки выглядят все одинаково, а вышедшие из строя, как говорят «сгоревшие», могут выглядеть четырьмя разными способами, показанными на рисунках 1–4.<sup>1</sup> Один вариант – чистый прозрачный баллон, другой – полупрозрачный и зеркальный, третий вариант – бело-желтый, четвертый – коричневый, причем с разводами. Внутри чистого баллона

<sup>1</sup> В этой статье все фотографии – авторские. (Прим. ред.)

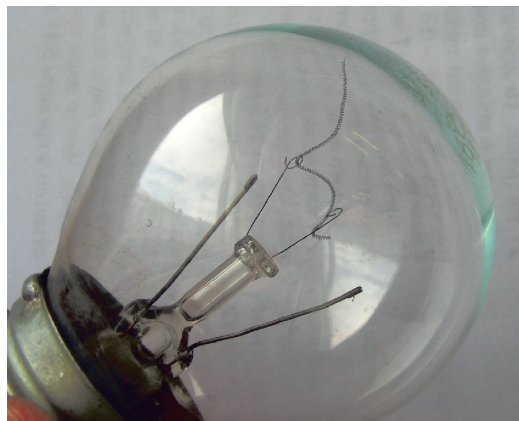


Рис. 1. Оборванная спираль висит, касаясь баллона



Рис. 2. Полупрозрачный и совсем почти не прозрачный зеркальный баллон

могут быть видны куски вольфрамовой спирали, по которой еще недавно шел ток, причем эти куски могут валяться свободно, могут болтаться, прикрепленные одним концом к молибденовому токовводу, а могут быть приклеены (!?) изнутри к баллону – редкий случай (как раз и показанный на рисунке 1).

Разумеется, с клеем в лампу никто не проникал, так что единственный вариант –



Рис. 3. Баллон с бело-желтым напылением



Рис. 4. Баллон с разводами

расплавление стекла. Если нить разрывается, то, пока она падает на стекло, ее конец не успевает остыть до температуры, при которой стекло уже не плавится. Исходная температура нити – более 2000 °С, температура размягчения стекла – ну, скажем, 5000 °С. Кстати, к кварцу нить тоже припаивается, а ведь кварц для этого надо нагреть, наверное, до 1500 °С. На рисунке 5 приведена фотография галогеновой лампы (о ней будет рассказано ниже), нить оторвалась от вводов и упала на баллон. Темные полосы по обе стороны от бывшей нити – след от припайки нити к баллону.

Обратите внимание, что нить в данном случае оторвалась от обоих вводов. Этот случай не слишком частый, но и не уникальный. Выглядит это странно, и вот почему. Если по какой-то причине нить рвется в одной точке, то ток должен прекращаться.



Рис. 5. Галогеновая лампа, нить оборвалась и припаялась к баллону

Тогда нить должна перестать греться и нет причин для второго обрыва – даже если на нити есть еще одно «слабое место». Почему же нить рвется в двух местах?

По-видимому, процесс обрыва бывает устроен сложнее. В момент первого обрыва, когда нить в месте обрыва истончается, ее температура на какое-то мгновение резко возрастает, вольфрам испаряется и происходит пробой в газе – смеси того газа, что был в лампе, и паров вольфрама. Еще два фактора способствуют возникновению пробоя – малый зазор в момент разрыва (пробой начинается с ситуации, когда зазора вообще нет) и острый конец проволоочки, т.е. высокая напряженность электрического поля. Поэтому ток не прекращается сразу, наоборот – сопротивление плазмы пробоя в данном случае уменьшается, ток на короткое время увеличивается и этого оказывается достаточно для второго перегорания. Кстати, именно в момент перегорания ламп накаливания иногда срабатывают предохранители, что как раз и говорит о броске тока. Существенное тепло-выделение приводит к оплавлению токоподвода из молибдена, его температура плавления около 2660 °С. На рисунке 6 – фотография именно этой ситуации. Видны оба токоподвода, в дальний зажат кончик нити, а ближний как раз и оплавлен – на его конце капля, там и был разрыв (видимо, из-за плохого контакта с нитью).

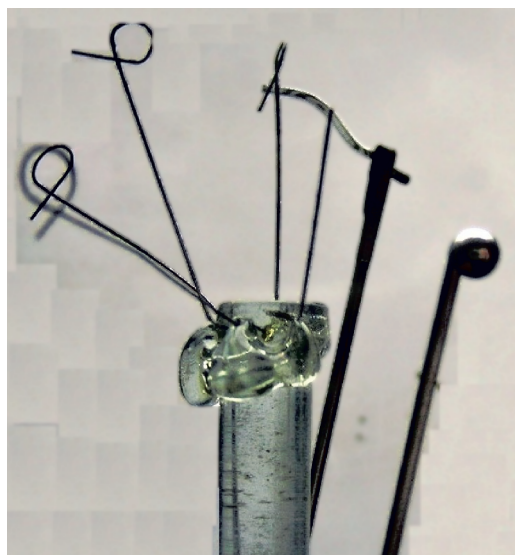


Рис. 6. Токоввод из молибдена (Mo), его конец оплавлен

Теперь обратимся к баллону. Самый простой – прозрачный, на нем нечего нет, т.е. нить перегорела так быстро, что на баллон ничего не попало. Следующий вариант – «зеркало». Это тонкая пленка вольфрама – нить, нагретая до 2100 – 2600 °С, испаряется, атомы, попутешествовав по газу, наполняющему баллон, оседают на стекле. Баллон наполнен инертными газами, не взаимодействующими с накаленным вольфрамом. Они уменьшают скорость испарения, причем чем больше атомная масса газа, тем скорость меньше (к сожалению, тем газ дороже). Испаряться может не только вольфрам, но и молибденовые держатели, если их соответственно нагреть. На рисунке 7 вы видите фотографию редкого случая – по оси лампы проходит стеклянный цилиндр, и то, что испарилось с держателей, осело на него, это зеркальные участки. Тонкий слой вещества, в том числе и металла, всегда полупрозрачен (в качестве примера обычно приводится золото).

Цвет того, что осело на баллоне, зависит от того, что это за вещество. Обычно пишут, что у вольфрама два оксида: желтый  $WO_3$  и коричневый  $WO_2$ . На фотографиях вы видели бело-желтый и нечто вроде темно-коричневого. Какой оксид получается, зависит от того, много ли газа было в баллоне и с какой скоростью поступал туда (через трещинку) воздух. Разводы на баллоне – результат конвекции, т.е. того, что газ перемещался в баллоне и переносил молекулы оксида. Известно, что у вольфрама есть еще два оксида, синий и красно-фиолетовый, так что в каких-то ситуациях могут появиться и другие цвета.

Есть еще одна причина, по которой оседание на баллоне может быть неравномерным, причем даже в вакуумной лампе, где нет газа, переносящего молекулы оксида. На



Рис. 7. Молибден, напыленный на стекло

рисунке 8 приведена фотография лампочки, которая жила в холодильнике, а перегорела потому, что на баллон попала вода, из-за термических напряжений баллон треснул и внутрь попал кислород, который, как вы знаете, есть в атмосфере. Но почему баллон не равномерно белый, а участками? Возможно, потому, что снаружи кое-где была вода, она охлаждала баллон и оксид вольфрама конденсировался на холодном.

Цель нагрева нити – получить излучение, преобразовать электрическую энергию в излучение. Часть этого излучения приходится на диапазон, который видит глаз, т.е. на свет. К сожалению, на видимую часть спектра приходится лишь несколько процентов, остальное – инфракрасное излучение, которое глаз не видит. Доля видимого излучения увеличивается с увеличением температуры нити, но с ростом температуры растет скорость испарения любого вещества. Соответственно, вольфрамовая нить испаряется быстрее и уменьшается срок службы. То, что лампа работает при указанных выше температурах, имеет еще некоторые неприятные следствия. Сопротивление металлов увеличивается с ростом температуры, поэтому в момент включения лампа потребляет примерно в десять раз больший ток, чем при последующей работе. Этот импульс длится сотые доли секунды, и предохранители не успевают сработать. Но этот импульс вреден для ламп, и иногда они выходят из строя именно в момент включения. Возможно, это происходит, если нить изначально была с дефектом или она



Рис. 8. Лампочка из холодильника, видна конденсация оксида на холодном

уже доработалась до дефекта – утоньшения, на котором из-за роста сопротивления выделяется повышенная мощность.

Заметим, что при включении электронагревателя или электрочайника такого броска тока нет. Их нагреватель работает при существенно меньшей температуре, поэтому в них применяется не вольфрам, а более дешевые материалы – сплавы железа, никеля, хрома и алюминия. У них выше сопротивление, что уже очень удобно, нить накала делается короче; вдобавок оно слабо зависит от температуры. Их, кстати, так и называют – сплавы сопротивления.

В баллоне лампы накаливания находится инертный газ – для уменьшения испарения вольфрама и увеличения срока службы. При этом увеличивается потребляемая лампой мощность – потому что теперь тепло отводится от нити не только излучением, но и конвекцией. Эта дополнительная мощность невелика, но знать об этом надо. И вообще, в технике почти всегда так – улучшая один параметр, мы ухудшаем другой (например, стоимость). Поэтому инженер должен хорошо знать соответствующие разделы физики и условия применения того, что он создает.

Но есть особый класс ламп накаливания – так называемые галогеновые лампы, или галогенки. В эти лампы добавляют галоген – бром или йод. Когда испарившиеся с нити атомы вольфрама оседают на баллон, пары галогена вступает с ними в реакцию, получается летучее соединение – баллон очищен. Далее, это соединение разлагается на горячей нити – вольфрам возвращен на нить. Это называется «газотранспортная реакция», таких реакций много, и для техники они важны. Например, газотранспортные реакции используются в полупроводниковой технике для очистки материалов. Но есть проблема – в данном случае нужно, чтобы баллон был очень горячим. Поэтому используется не стекло, а кварц, и он приближен к нити – чтобы нагревался ее излучением. Все гармонично, но раз стекло заменено кварцем, то возникает одна новая проблема. У кварца очень низкий коэффициент термического расширения и приходится делать выводы в виде тонких ленточек из молибдена (рисунок 9), которые деформируются, «подчиняясь» кварцу и не требуя для деформации больших усилий.



*Рис. 9. Галогеновая лампа во всей красе. В кварц впаяны не проволочки, а ленточки из весьма тонкой фольги*

Нить накала в галогенной лампе имеет температуру более 2000 °С, а кварц размягчается при 1500 – 1700 °С, поэтому нить подвешивают на молибденовых спейсерах, дистанционерах (рис. 10 слева). Но бывает, что их нет (рис. 10 справа и рис. 11). В этих двух случаях нить касается кварца, и возникает вопрос: почему он не плавится? Ответ на этот вопрос можно найти на одном из этих снимков, если посмотреть на него внимательно. Оказывается, здесь используется нить не в виде спирали, а одинокая нить, что сильно уменьшает температуру.

Лампы бывают странные. Например, лампы на рисунке 12 не два контакта, а три. Дело в том, что у этой лампы не одна спираль, а две. Раз у нее несколько спиралей, значит, она может работать в нескольких режимах, потребляя разные мощности. Но в скольких разных режимах? Теоретически – в четырех, это вы наверно сами понимаете. А на практике – в трех; поскольку если включить нити последовательно, то



*Рис. 10. Галогенки. Слева нить висит на специальных кольцах, спейсерах, а справа обошлись без них*



Рис. 11. Галогенка. Решение, аналогичное показанному на рисунке 10 справа

температура упадет так, что почти все излучение будет в инфракрасном диапазоне.

А теперь обратимся к понятию КПД – коэффициента полезного действия. Сделаем мы это по двум причинам. Первая – это принципиально важный параметр для ламп. Вторая – это вообще для большинства того, что нас окружает, важный параметр. И даже для нас самих, для людей. Итак, обсудим, кого зовут КПД, почему у лампы накаливания он зависит от того, для чего ее применяют, и есть ли он у рычага и блока.

Пишут его именно так, прописными буквами, потому что он – аббревиатура, сокращение от «коэффициент полезного действия». В школьном учебнике он упоминается, в частности, в разделе «Термодинамика», когда речь заходит о двигателях. Это устройства, в которые мы вводим тепловую энергию одним из трех способов. Первый способ – мы вводим в двигатель что-то горячее (воду, воздух), а достаем оттуда это уже холодное, так что тепло остается в устройстве. Это «что-то» называют «теплоноситель» – очень хорошее



Рис. 12. Лампа накаливания с тремя выводами

название. Второй способ – мы это что-то не вводим, но наше устройство контактирует с чем-то горячим и нагревается от него (например, когда мы моемся горячей водой). Третий способ – когда мы вводим в устройство вещества, которые выделяют тепло при каких-то физических или химических процессах. Так действует и бензиновый двигатель в автомобиле, и мы с вами, когда пьем горячий чай или кофе с сахаром (без сахара – это первый случай).

Что касается физических процессов, при которых выделяется тепло, то про некоторые из них вы, наверное, знаете, а про некоторые узнаете сейчас. Знаете про тепловыделение при фазовых переходах – при замерзании и конденсации. А узнаете про тепловыделение при ассоциации, объединении атомов в молекулы. Если мы возьмем какой-нибудь молекулярный газ, например водород, и нагреем его так, что произойдет диссоциация, т.е. распад молекул на атомы, то при обратном процессе тепло будет выделяться. В технике это выделение тепла используется для сварки и пайки, называется такое устройство «атомно-водородная горелка».

Все двигатели потребляют тепловую энергию и совершают работу – для этого они и предназначены, поэтому их так и называют. Но превращать всю энергию в работу они не могут. Отношение полезной работы к потребленной энергии и называется КПД. Работа и энергия имеют одинаковую размерность, джоули (Дж), поэтому КПД – безразмерная величина.

Но само понятие КПД может применяться не только к двигателям, а ко всем ситуациям, когда мы тратим или получаем энергию в любом виде. Так, комнатный нагреватель даже с высоким КПД тратит на нагрев воздуха не всю энергию, потребленную из электрической сети. Солнце греет нас излучением, и вообще любое тело при любой температуре излучает. Излучает и пламя свечи, но, конечно, не так, как Солнце. Излучаете – не надо этого стесняться – и вы. Часть этого излучения мы видим (Солнечный свет, пламя свечи), а часть не видим – если температура тела низкая, то излучение невидимое, инфракрасное. Его называют «тепловое», хотя это название неудачное, потому что любое излучение можно назвать тепловым – поглотившись тем, до кого оно долетело, оно его нагревает.

Комнатный нагреватель греет воздух при контакте с ним (кондуктивная теплопередача), но часть энергии излучает. Это излучение частично поглощается воздухом, частично окружающими предметами и от них передается опять же в воздух. Однако есть два исключения. Во-первых, часть излучения

поглощается стенами, от них лишь часть возвращается в воздух, а часть тепла уходит в глубину стен. Во-вторых, часть излучения через стекла оконные уходит в атмосферу, оно греет веселых синичек и деловитых ворон в наших дворах. Зато то тепло, которое выделяется в проводах и в моторе, который крутит вентилятор, и в самом воздухе в результате его перемещения, не пропадает зря – оно все в итоге достается воздуху, повышает его температуру.

И в заключение вернемся к обычным осветительным лампам. Они есть трех типов – лампы накаливания, которым посвящена почти вся эта статья, газоразрядные, их часто называют «энергосберегающие», и светодиодные. Первые, которые полтора века верно служат людям, потребляют энергии много больше, чем остальные. Иными словами, у них намного ниже КПД, а почему? Потому, что они большую часть энергии переводят в то самое невидимое излучение, о котором говорилось выше. Поэтому если вы будете использовать эти лампы для обогрева, то КПД у них будет больше, чем если вы будете их использовать для освещения.