***Ионизация газов.***

Газы в естественном состоянии не проводят электричества. Если поместить в сухом атмосферном воздухе хорошо изолированное заряженное тело, например заряженный электрометр с хорошей изоляцией, то заряд электрометра долгое время практически остается неизменным.

Однако, подвергая газ различным внешним воздействиям, можно вызвать в нем электропроводность. Так, например, помещая вблизи заряженного электрометра пламя горелки, можно видеть, что заряд электрометра быстро уменьшается. Мы сообщили газу электропроводность, создавая в нем высокую температуру. Если бы вместо пламени горелки мы поместили вблизи электрометра подходящий источник света, мы также наблюдали бы утечку зарядов с электрометра.

Это показывает, что в газах под влиянием высокой температуры и различных излучений появляются заряженные частицы. Они возникают потому, что от атомов газа отщепляется один или несколько электронов, в результате чего вместо нейтрального атома возникают положительный ион и электроны. Часть образовавшихся электронов может быть при этом захвачена другими нейтральными атомами, и тогда появятся еще и отрицательные ионы.

Отрыв электрона от атома (ионизация атома) требует затраты определенной энергии - энергии ионизации. Она зависит от строения атома и поэтому различна для разных веществ.

После прекращения действия ионизатора число ионов в газе с течением времени уменьшается и конце концов ионы исчезают вовсе. Исчезновение ионов объясняется тем, что ионы и электроны участвуют в тепловом движении и поэтому соударяются друг с другом. При столкновении положительного иона и электрона они воссоединяются в нейтральный атом. Точно так же при столкновении положительного и отрицательного ионов отрицательный ион может отдать свой избыточный электрон положительному иону и оба они превратятся в нейтральные атомы. Это процесс взаимной ионизации ионов называется ***рекомбинацией ионов***.

При рекомбинации положительного иона и электрона или двух ионов высвобождается определенная энергия, равная энергии, затраченной на ионизацию. Она излучается в виде света, и поэтому рекомбинация ионов сопровождается свечением (свечение рекомбинации). Если концентрация положительных и отрицательных ионов велика, то и число ежесекундно происходящих актов рекомбинации будет большим, и свечение рекомбинации может быть очень сильным. Излучение света при рекомбинации является одной из причин свечения многих форм газового разряда.

***Ионизация электронными ударами.***

В явлениях электрического разряда в газах большую роль играет ионизация атомов электронными ударами. Процесс заключается в том, что движущийся электрон, обладающий достаточной кинетической энергией, при соударении с нейтральным атомом выбивает из него один или несколько атомных электронов, в результате чего нейтральный атом превращается в положительный ион, а в газе появляются новые электроны.

Схема типичного опыта для изучения ионизации электронными ударами показана на рис. 1 (опыты Джеймса Франка и Густава Герца). Исследуемый газ при давлении порядка 0,1 - 0,01 мм рт.ст. вводится в стеклянную трубку, которая сначала откачивается до высокого вакуума (для удаления других газов). Трубка имеет накаливаемый катод ***К***, сетку ***С*** и коллектор ионов ***Кл.*** На сетку подается положительный ( относительно катода) потенциал, который можно изменять при помощи делителя напряжения ***Д1*** и измерять вольтметром ***V***. На коллектор ионов накладывается отрицательный потенциал, на 0,5 - 1,0 В больший, чем потенциал катода. Эта небольшая разность потенциалов снимается с делителя напряжения ***Д2,*** положительный конец которого соединен с катодом.

Расстояние катод-сетка в таких трубках делают значительно меньшим, чем расстояние сетка-коллектор, и подбирают давление газа так, чтобы средняя длина свободного пробега электронов в газе была больше расстояния между сеткой и катодом. Поэтому электроны, испущенные катодом, движутся в пространстве катод-сетка практически без соударений, и если разность потенциалов (выраженная в вольтах), между сеткой и катодом равна ***U*** , то каждый электрон приобретает кинетическую энергию (выраженную в электронвольтах). Электроны, ускоренные сеткой, испытывают затем соударения с атомами газа в пространстве между сеткой и коллектором.

Так как потенциал коллектора ниже, чем потенциал катода, то в отсутствии ионизации все электроны тормозятся, не долетая до коллектора, и поэтому ток через гальванометр равен нулю. Если, однако, постепенно повышать разность потенциалов ***U*** между сеткойи катодом , то, когда энергия электронов сделается равной энергии ионизации, то в пространстве сетка - коллектор появятся положительный ионы. Поэтому, измеряя наименьший потенциал сетки ***U***, при котором впервые появляется ток коллектора, можно найти энергию ионизацию атомов исследуемого газа.

Метод Франка и Герца не является единственным методом измерения энергии ионизации. Она может быть определена также из исследования линейчатых спектров свечения разреженных газов и паров, причем с довольно большой точностью. Значения энергии ионизации, найденные по спектрам, хорошо совпадают с ее значениями, определенными методом электронных ударов.

В таблице даны значения энергии ионизации некоторых атомов.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Элемент | He | Ne | Ar | Hg | Na | K | Rb |
| Энергия ионизации, эВ | 24.5 | 21.5 | 13.9 | 10.4 | 5.12 | 4.32 | 4.68 |

***Самостоятельные и несамостоятельные разряды.***

Рассмотрим цепь, содержащую источник напряжения, газовый промежуток и переменное сопротивление ***r*** , которое можно измерять в широких пределах (рис.2). Цепь содержит также амперметр ***А*** и вольтметр ***V.***  Предположим сначала, что на газовый промежуток воздействует какой-либо ионизатор, например, ультрафиолетовые лучи, падающие на отрицательный электрод и освобождающие из него фотоэлектроны. От этого газ приобретает некоторую электропроводность и в цепи появится ток. Если плавно уменьшать сопротивление ***r*** в цепи газового промежутка, то сила тока будет сначала увеличиваться, что связано с увеличением напряжения между электродами и объясняется уменьшением пространственного заряда между ними. При дальнейшем уменьшении сопротивления напряжение на электродах достигнет такого значения, при котором все образующиеся ионы доходят до положительного электрода. И мы получим ток насыщения is, сила которого зависит только от интенсивности ионизатора (рис.3). Наблюдаемые при этом токи очень малы (обычно микроамперы и меньше, в зависимости от интенсивности ионизатора).

Если в оном из режимов разряда, изображаемых ветвью характеристики ***Оа***, прекратить действие ионизатора, то и разряд прекращается. Подобные разряды, существующие только при действии внешнего ионизатора, получили название ***несамостоятельных*** газовых разрядов.

Если продолжать уменьшать сопротивление цепи ***r*** , то ток через разрядный промежуток начинает сильно возрастать, хотя напряжение повышается сравнительно мало. Это соответствует участку характеристики ***аб*** (рис.3). Возрастание тока на участке характеристики ***аб*** показывает, что в газовом промежутке появляются новые ионы.

Если еще уменьшить сопротивление ***r***, то разряд приобретает совсем другой характер. Сила тока в разряде резко возрастает (в сотни и тысячи раз) и в газе появляются сильно выраженные световые и тепловые эффекты. Ели теперь прекратить действие ионизатора, то разряд продолжается. Это значит, что ионы, необходимые для поддержания электропроводности газа, создаются самим разрядом в результате процессов, происходящих в разряде. Такие газовые разряды называют ***самостоятельными*** разрядами. Напряжение, при котором возникает самостоятельный разряд, называется *напряжением* *пробоя* газового промежутка или *напряжением* *зажигания* газового разряда.

В зависимости от того, какие именно процессы образования ионов в разряде играют главную роль, мы говорим о различных формах или типах самостоятельных разрядов. Так, например, различают коронный, искровой, дуговой, тлеющий и другие разряды. Эти разряды отличаются друг от друга свойствами и внешним видом.

***Искровой разряд.***

Если постепенно увеличивать напряжение между двумя электродами, находящимися в атмосферном воздухе и имеющими такую форму, что электрическое поле между ними не слишком сильно отличается от однородного (например, два плоских электрода с закругленными краями или два достаточно больших шара), то при некотором напряжении возникает электрическая искра. Она имеет вид ярко светящегося канала, соединяющего оба электрода, который обычно бывает сложным образом изогнут и разветвлен (рис 4).

Рис.4

Электрическая искра возникает в том случае, если электрическое поле в газе достигает некоторого определенного значения *Ек* (критическая напряженность поля) или напряженность пробоя. Для воздуха при нормальных условиях *Ек*  ≈ 3\*106 В/м

Значение *Ек* увеличивается с увеличением давления. Отношение критической напряженности поля к давлению газа *р* для данного газа остается приблизительно постоянным в широкой области изменения давлений:

*Ек/р*  ≈ const

Напряжение пробоя понижается при воздействии на газ внешнего ионизатора. Если приложить к газовому промежутку напряжение, несколько меньшее пробойного, и внести в пространство между электродами зажженную газовую горелку, то возникает искра. Такое же действие оказывает и освещение отрицательного электрода ультрафиолетовым светом, а также другие ионизаторы.

Для объяснения искрового разряда вначале казалось естественным предположить, что основными процессами в искре являются ионизация электронными ударами в объеме и ионизация положительными ионами (в объеме или на катоде). Однако впоследствии выяснилось, что эти процессы не могут объяснить многие особенности образования искры. Остановимся для примера на скорости развития искрового заряда. Если бы в искре существенную роль играла ионизация положительными ионами, то время развития искры было бы по крайней мере того же порядка, что и время перемещения положительных ионов от анода до катода. Это время легко оценить - оно оказывается порядка 10-4 - 10-5 с. Между тем, опыт показывает, что время ее развития на несколько порядков меньше.

Объяснение большой скорости развития искры дано так называемой стримерной теорией искры, в настоящее время обоснованной экспериментальными данными. Согласно этой теории, возникновению ярко светящегося канала искры предшествует появление слабо светящихся скоплений ионизированных частиц ***(стримеров).*** Пронизывая газоразрядный промежуток, стримеры образуют проводящие мостики, по которым в последующие стадии разряда и устремляются мощные потоки электронов. Причиной возникновения стримеров является не только образование электронных лавин посредством ударной ионизации, но еще и ионизация газа излучением, возникающим в самом разряде (фотоионизация).

Наряду со стримерами, распространяющимися от катода к аноду (отрицательные стримеры), существуют также стримеры, движущиеся от анода к катоду (положительные стримеры).

*Молния как пример искрового разряда.*

Молния представляет собой гигантскую электрическую искру. Электрическая природа молнии была впервые доказана известными опытами Франклина с воздушным змеем и многочисленными исследованиями Ломоносова и Рихмана. Ломоносов создал первую теорию возникновения электрических разрядов в атмосфере и этим положил начало науки об атмосферном электричестве.

Молнии возникают либо между облаками, либо между облаком и землей. Сила тока в молнии огромна (от 10 до 1000 кА), а напряжение между облаком и землей перед возникновением молнии достигает 108 до 109 В. Длительность отдельного разряда порядка микросекунды. Поэтому общий заряд, переносимый отдельной молнией, обычно невелик (0,1 - 10 Кл). Число разрядов молнии может достигать нескольких десятков, а общая длительность - 1 секунду.

Кроме обычных молний, наблюдаются так называемые шаровые молнии. Они имеют вид светящихся шаров диаметром 10-20 см, которые либо медленно движутся, либо прикрепляются к неподвижным предметам. Шаровые молнии обычно зарождаются при ударе очень сильных молний и через несколько секунд исчезают с сильным взрывом.

***Коронный разряд.***

Разряд, получивший такое название, наблюдается при сравнительно высоких давлениях газов в сильно неоднородном поле. Для получения значительной неоднородности поля электроды должны иметь очень неодинаковую поверхность, то есть, один - очень большую, другой - очень малую.

Линии напряженности электрического поля сгущаются по мере приближения к проволоке, а, следовательно, напряженность поля возле проволоки имеет наибольшее значение. Когда она достигает приблизительно 3\*106 В/м, между проволокой и цилиндром зажигается разряд и в цепи появляется ток. При этом возле проволоки возникает свечение, имеющее вид оболочки или короны, окружающей проволоку, откуда и произошло название разряда.

Коронный разряд возникает как при отрицательном потенциале на проволоке (отрицательная корона), так и при положительном (положительная корона), а также при переменном напряжении между проволокой и цилиндром. При увеличении напряжения между проволокой и цилиндром растет и ток в коронном разряде. При этом увеличивается толщина светящегося слоя короны.

Процессы внутри короны сводятся к следующему : если проволока заряжена отрицательно, то по достижении напряженности пробоя у поверхности проволоки зарождаются электронные лавины, которые распространяются от проволоки к цилиндру. В случае положительной короны электронные лавины зарождаются на внешней поверхности короны и движутся по направлению к проволоке.

Коронный разряд возникает не только возле проволок, но и возле любых проводников с малой поверхностью. Корона возникает также в природе под влиянием атмосферного электрического поля и появляется на верхушках деревьев, корабельных мачт и т.п.

***Тлеющий разряд.***

Тлеющий разряд удобно наблюдать при пониженном давлении газа. Если к электродам, впаянным в стеклянную трубку длиной 30-50 см, приложить постоянное напряжение в несколько сот ампер и затем постепенно откачивать воздух из трубки, то наблюдается следующее явление : при атмосферном давлении приложенное напряжение недостаточно для пробоя газа и трубка остается темной. При уменьшении давления газа в некоторый момент в трубке возникает разряд, имеющий вид светящегося шнура. При дальнейшем уменьшении давления этот шнур расширяется и заполняет все сечение трубки.

Особое значение в тлеющем разряде имеют только две его части - катодное темное пространство и тлеющее свечение, в которых и происходят основные процессы, поддерживающие разряд.

Характерным для тлеющего разряда является особое распределение потенциала по длине трубки. Его можно определить, впаивая в трубку ряд дополнительных электродов - зондов, расположенных в различных местах трубки, и присоединяя между катодом и соответствующим зондом вольтметр с большим сопротивлением. Тогда получается кривая распределения потенциала, изображенная на рисунке 5. Она показывает, что почти все падения потенциала в разряде приходятся на область катодного темного пространства. Эта разность потенциалов между катодом и границей тлеющего свечения получила название катодного падения потенциала.

Существование катодного темного пространства объясняется тем, что электроны начинают сталкиваться с атомами газа не сразу, а лишь на некотором расстоянии от катода. Ширина катодного темного пространства приблизительно равна средней длине свободного пробега электронов : она увеличивается с уменьшением давления газа. Следовательно, в катодном темном пространстве электроны движутся практически без соударения.

Катодное падение потенциалов необходимо для поддержания тлеющего разряда. Именно благодаря его наличию положительные ионы приобретают необходимую энергию для образования интенсивной вторичной электронной эмиссии с катода, без которой тлеющий разряд не мог бы существовать. Поэтому катодное падение потенциала есть наиболее характерный признак тлеющего разряда, отличающий эту форму газового разряда от всех других форм.

Тлеющий разряд широко используют в качестве источника света в различных газоразрядных трубках. В лампах дневного света излучение тлеющего разряда поглощается слоем специальных веществ, нанесенных на внутреннюю поверхность трубки, которые под действием поглощенного излучения в свою очередь начинают светиться. Такие трубки оказываются более экономичными нежели обычные лампы накаливания.

Газоразрядные трубки применяются также для рекламных и декоративных целей, для чего им придают очертания различных фигур и букв. Наполняя трубки различными газами, можно получить свечение разной окраски.

В лабораторной практике используют тлеющий разряд для катодного распыления металлов, так как вещество катода в тлеющем разряде постепенно переходит в парообразное состояние и оседает в виде металлического налета на стенках трубки.

***Дуговой разряд.***

Если после зажигания искового разряда постепенно уменьшат сопротивление цепи, то сила тока в искре будет увеличиваться. Когда сопротивление цепи станет достаточно малым, возникает новая форма газового разряда, называемая дуговым разрядом. При этом сила тока резко увеличивается, а напряжение на разрядном промежутке уменьшается до нескольких десятков вольт. Это показывает, что в разряде возникают новые процессы, сообщающие газу очень большую проводимость.

В настоящее время электрическую дугу чаще всего получают между специальными угольными электродами. Наиболее горячим местом дуги является углубление, образующееся на положительном электроде и называемое «кратером дуги». Его температура равна 4000 К, а при давлении в 20 атм превышает 7000 К.

Дуговой разряд возникает во всех случаях, когда вследствие разогревания катода основной причиной ионизации газа становится термоэлектронная эмиссия. Например, в тлеющем разряде положительные ионы, бомбардирующие катод, не только вызывают вторичную эмиссию электронов, но и нагревают катод. Поэтому, если увеличивать силу тока в тлеющем разряде, то температура катода увеличивается, и когда она достигает такой величины, что начинается заметная термоэлектронная эмиссия, тлеющий разряд переходит в дуговой. При этом исчезает и катодное падение потенциала.

Электрическая дуга является мощным источником света и широко применяется в проекционных, прожекторных и других установках. Расходуемая ею удельная мощность меньше, чем у ламп накаливания.

В качестве источников света употребляют также дуговые лампы высокого давления. Зажигание дуги производится разрядом от источника высокого напряжения с помощью третьего электрода. Вследствие высокой температуры дуги ее применяют для сварки и резанья металлов. Автоэлектронные дуги с ртутным катодом применяют для выпрямления переменного электрического тока.