

вновь наблюдается сравнительно резкое изменение потенциала, связанное с процессом генерации положительных ионов. В ряде случаев положительный столб распадается на отдельные светящиеся участки — **страты**, разделенные темными промежутками.

Положительный столб не играет существенной роли в поддержании тлеющего разряда, поэтому при уменьшении расстояния между электродами трубки длина положительного столба сокращается и он может исчезнуть совсем. Иначе обстоит дело с длиной катодного темного пространства, которая при сближении электродов не изменяется. Если электроды сблизилась настолько, что расстояние между ними станет меньше длины катодного темного пространства, то тлеющий разряд в газе прекратится. Опыты показывают, что при прочих равных условиях длина d катодного темного пространства обратно пропорциональна давлению газа. Следовательно, при достаточно низких давлениях электроны, выбиваемые из катода положительными ионами, проходят через газ почти без столкновений с его молекулами, образуя **электронные, или катодные, лучи**, свойства которых известны из курса средней школы.

3. Тлеющий разряд используется в газосветных трубках, лампах дневного света, стабилизаторах напряжения, для получения электронных и ионных пучков. Если в катоде сделать щель, то сквозь нее в пространство за катодом проходят узкие ионные пучки, часто называемые **канальными лучами**.

Широко используется явление **катодного распыления**, т.е. разрушение поверхности катода под действием ударяющихся о него положительных ионов. Ультрамикроскопические осколки материала катода летят во все стороны по прямым линиям и покрывают тонким слоем поверхность тел (особенно диэлектриков), помещенных в трубку. Таким способом изготавливают зеркала для ряда приборов, наносят тонкий слой металла на селеновые фотоэлементы и т.д.

§ 12.5. Самостоятельный разряд при нормальном и больших давлениях

1. Различают несколько форм самостоятельного газового разряда при нормальном и больших давлениях, а именно: **коронный, кистевой, искровой и дуговой разряды**.

Коронный разряд возникает при нормальном давлении в газе, находящемся в сильно неоднородном электрическом поле (например, около остриев или проводов линий высокого напряжения). При коронном разряде ионизация газа и его свечение происходят лишь вблизи коронирующих электродов. В случае коронирования катода (отрицательная корона) электроны, вызывающие ударную ионизацию молекул газа, выбиваются из катода при бомбардировке его положительными ионами. Если коронирует анод (положительная корона), то рождение электронов происходит вследствие фотоионизации газа вблизи анода. Корона — вредное явление, сопровождающееся утечкой тока и потерей электрической энергии. Для уменьшения коронирования увеличивают радиус кривизны проводников, а их поверхность делают воз-

можно более гладкой. При достаточно высоком напряжении между электродами коронный разряд переходит в искровой.

2. При повышенном напряжении коронный разряд на острие приобретает вид исходящих из острия и перемежающихся во времени светлых линий. Эти линии, имеющие ряд изломов и изгибов, образуют подобие кисти, вследствие чего такой разряд называется **кистевым**.



Рис. 12.6

3. **Искровой разряд** имеет вид ярких зигзагообразных разветвляющихся нитей-каналов (рис. 12.6), которые пронизывают разрядный промежуток и исчезают, сменяясь новыми. Исследования показали, что каналы искрового разряда начинают расти иногда от положительного электрода, иногда от отрицательного, а иногда и от какой-либо точки между электродами. Это объясняется тем, что ионизация ударом в случае искрового разряда происходит не по всему объему газа, а по отдельным каналам, проходящим в тех местах, в которых концентрация ионов случайно оказалась наибольшей. Искровой разряд сопровождается выделением большого количества теплоты, ярким свечением газа, треском или громом. Все эти явления вызываются электронными и ионными лавинами, которые возникают в искровых каналах и приводят к огромному увеличению давления, достигающему $10^7 \div 10^8$ Па, и повышению температуры до $10\ 000$ °С.

Характерным примером искрового разряда является молния. Главный канал молнии имеет диаметр от 10 до 25 см, а длина молнии может достигать нескольких километров. Максимальная сила тока импульса молнии достигает десятков и сотен тысяч ампер.

4. При малой длине разрядного промежутка искровой разряд вызывает специфическое разрушение анода, называемое **эрозией**. Это явление было использовано в электроискровом методе резки, сверления и других видах точной обработки металла.

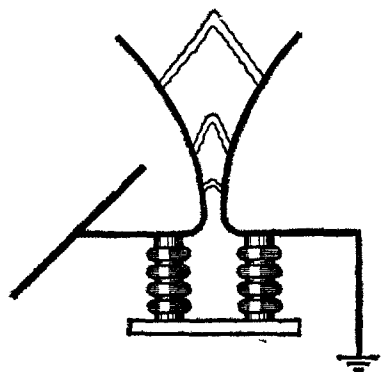


Рис. 12.7

Искровой промежуток применяется в качестве предохранителя от перенапряжений в электрических линиях передач (например, в телефонных линиях). Если вблизи линии проходит сильный кратковременный ток, то в проводах этой линии индуцируются напряжения и токи, которые могут разрушить электрическую установку и опасны для жизни людей. Во избежание этого используют специальные предохранители (рис. 12.7), состоящие из двух изогнутых электродов, один из которых присоединен к линии, а другой заземлен. Если потенциал линии относительно

земли сильно возрастает, то между электродами возникает искровой разряд, который вместе с нагретым им воздухом поднимается вверх, удлинняется и обрывается.

Наконец, электрическая искра применяется для измерения больших разностей потенциалов с помощью шарового разрядника, электродами которого служат два металлических шара с полированной поверхностью. Шары раздвигают, и на них подается измеряемая разность потенциалов. Затем шары сближают до тех пор, пока между ними не проскочит искра. Зная диаметр шаров, расстояние между ними, давление, температуру и влажность воздуха, находят разность потенциалов между шарами по специальным таблицам. Этим методом можно измерять с точностью до нескольких процентов разности потенциалов порядка десятков тысяч вольт.

5. **Дуговой разряд** был открыт В. В. Петровым в 1802 г. Этот разряд представляет одну из форм газового разряда, осуществляющуюся при большой плотности тока и сравнительно небольшом напряжении между электродами (порядка нескольких десятков вольт). Основной причиной дугового разряда является интенсивное испускание термоэлектронов раскаленным катодом. Эти электроны ускоряются электрическим полем и производят ударную ионизацию молекул газа, благодаря чему электрическое сопротивление газового промежутка между электродами сравнительно мало. Если уменьшить сопротивление внешней цепи, увеличить силу тока дугового разряда, то проводимость газового промежутка столь сильно возрастает, что напряжение между электродами уменьшается. Поэтому говорят, что дуговой разряд имеет падающую вольт-амперную характеристику. При атмосферном давлении температура катода достигает 3000 °С. Электроны, бомбардируя анод, создают в нем углубление (кратер) и нагревают его. Температура кратера около 4000 °С, а при больших давлениях воздуха достигает 6000—7000 °С. Температура газа в канале дугового разряда достигает 5000—6000 °С, поэтому в нем происходит интенсивная термоионизация.

В ряде случаев дуговой разряд наблюдается и при сравнительно низкой температуре катода (например, в ртутной дуговой лампе).

6. В 1876 г. П. Н. Яблочков впервые использовал электрическую дугу как источник света. В «свече Яблочкова» угли были расположены параллельно и разделены изолирующей прослойкой, а их концы соединены проводящим «запальным мостиком». Когда ток включался, запальный мостик сгорал и между углями образовывалась электрическая дуга. По мере сгорания углей изолирующая прослойка испарялась.

Дуговой разряд применяется как источник света и в наши дни, например в прожекторах и проекционных аппаратах.

Высокая температура дугового разряда позволяет использовать его для устройства **дуговой печи**. В настоящее время дуговые печи, питаемые током очень большой силы, применяются в ряде областей промышленности: для выплавки стали, чугуна, ферросплавов, бронзы, получения карбида кальция, окиси азота и т. д.

В 1882 г. Н. Н. Бенардосом дуговой разряд был впервые исполь-

зован для резки и сварки металла. Разряд между неподвижным угольным электродом и металлом нагревает место соединения двух металлических листов (или пластин) и сваривает их. Этот же метод Бенардос применил для резания металлических пластин и получения в них отверстий. В 1888 г. Н. Г. Славянов усовершенствовал этот метод сварки, заменив угольный электрод металлическим.

Дуговой разряд нашел применение в **ртутном выпрямителе**, преобразующем переменный электрический ток в ток постоянного направления.

7. В заключение этой главы остановимся на понятии плазмы. **Плазмой** называют состояние газа, отличающееся столь высокой степенью ионизации, что концентрация электронов и ионов в газе очень велика. Таково, например, состояние газа в положительном столбе тлеющего разряда, в дуговом разряде, в канале искрового разряда. В нейтральной плазме концентрации электронов и положительных ионов одинаковы, так что суммарный пространственный заряд равен нулю. Скорости теплового движения электронов плазмы удовлетворяют закону Максвелла (см. т. I, § 11.2). Под действием электрического поля электроны медленно перемещаются к аноду. Однако упругие соударения, непрерывно испытываемые электронами в плазме, хаотически изменяют направления их скоростей. Поэтому энергия, сообщаемая электронам электрическим полем, идет на усиление их теплового движения, благодаря чему средняя кинетическая энергия электронов в плазме газового разряда (**газоразрядной плазме**) очень велика. Она может быть в зависимости от природы плазмы порядка десятков электронвольт и значительно превосходить среднюю энергию теплового движения ионов и нейтральных частиц газа. Соответствующая этой энергии температура электронного газа в плазме достигает десятков тысяч градусов и значительно превосходит действительную температуру газа. В плазме непрерывно происходят два компенсирующих друг друга процесса — термоионизация и рекомбинация. Газоразрядная плазма устойчива только при наличии электрического поля, ускоряющего электроны. Прекращение действия электрического поля приводит к почти мгновенному исчезновению газоразрядной плазмы в результате рекомбинации электронов и положительных ионов. При сверхвысоких температурах порядка миллионов градусов атомы газа полностью ионизируются, т. е. распадаются на электроны и ядра. Свойства такой высокотемпературной плазмы и способы ее получения приобрели в последнее время большое значение в связи с проблемой осуществления управляемых термоядерных реакций. Этот вопрос рассмотрен в третьем томе курса.

Вопросы для повторения

1. В чем состоит ионизация газа и чем она может быть вызвана?
2. Что называется работой ионизации и потенциалом ионизации и от чего они зависят?
3. Однаковые ли разности потенциалов должны пройти в ускоряющем электрическом поле электроны и ионы, чтобы приобрести энергию, достаточную для ударной ионизации молекул одного и того же газа?