

§ 120. Дуговой разряд

1. Если после получения искрового разряда от мощного источника постепенно уменьшать расстояние между электродами (или сопротивление внешней цепи), то разряд из прерывистого становится *непрерывным* — возникает новая форма газового разряда, называемая *дуговым разрядом*. При этом ток резко увеличивается, достигая десятков и сотен ампер, а напряжение на разрядном промежутке падает до нескольких десятков вольт.

Дуговой разряд можно получить от источника низкого напряжения, минуя стадию искры. Для этого электроды сближают до соприкосновения. В месте соприкосновения они сильно раскаляются электрическим током, после чего их разводят, получая при этом яркую *электрическую дугу*. Именно таким путем электрическая дуга была впервые получена в 1802 г. русским физиком В. В. Петровым (1761—1834). Электродами в его опытах служили два куска древесного угля, включенные в цепь мощной гальванической батареи. Угли раскалялись до ослепительного свечения, а между ними возникал яркий столб светящегося газа. Работа Петрова была опубликована на русском языке и осталась неизвестной заграничным ученым. В России на нее не обратили внимания, и она была основательно забыта. Явление электрической дуги было вновь открыто в 1808 г. английским химиком Дэви (1778—1829) и без достаточных на то оснований названо *вольтовой дугой*.

В настоящее время электрическая дуга, горящая при атмосферном давлении, чаще всего получается между специальными угольными электродами, изготовляемыми из прессованного графита со связывающими веществами. Во время горения расстояние между электродами дуги бывает порядка 5 мм при токе 10—20 А и напряжении между ними 40—50 В. По мере горения дуги угольный катод заостряется, а на аноде образуется углубление, называемое *кратером*. Кратер — наиболее горячее место дуги. Его температура при атмосферном давлении достигает 4000 °С, а при давлении в 20 атм превышает 7000 °С (выше температуры границы фотосферы Солнца). В электрических дугах с металлическими электродами температура меньше (2000—2500 °С) из-за высокой теплопроводности электродов и быстрого испарения металлов, требующего большого количества тепла.

2. Согласно В. Ф. Миткевичу (1872—1951), дуговой разряд поддерживается главным образом за счет *термоэлектронной эмиссии с поверхности катода*. Подтверждением этой точки зрения может служить установленный на опыте факт, что во многих случаях устойчивая дуга получается только при условии, что температура катода достаточно высока. При охлаждении катода дуга горит неустойчиво, периодически гаснет и снова зажигается. Охлаждение же анода не вызывает нарушения устойчивого режима горения дуги.

С этим согласуется также поведение тлеющего разряда при увеличении тока в нем. Когда в результате бомбардировки положительными ионами катод газоразрядной трубки разогревается, появляется термоэлектронный ток, усиливающий электронный ток вторичной эмиссии. Вследствие этого пространственный положительный заряд вблизи катода, а с ним и катодное падение потенциала начинают уменьшаться. При дальнейшем возрастании разрядного тока последнее становится порядка потенциалов ионизации или возбуждения газа, т. е. около 10 В. Проводимость газового промежутка увеличивается, и тлеющий разряд переходит в дуговой. При охлаждении катода вследствие уменьшения термоэлектронной эмиссии дуга не возникает или работает неустойчиво. Наоборот, тлеющий разряд можно перевести в дугу, нагревая проволочный катод газоразрядной трубки с помощью специальной батареи.

С возрастанием разрядного тока сопротивление дуги R сильно уменьшается из-за увеличения термоэлектронной эмиссии с катода и ионизации газа в разрядном промежутке. При этом сопротивление R убывает сильнее, чем возрастает ток \mathcal{I} . Вследствие этого с увеличением тока \mathcal{I} напряжение на разрядном промежутке $V = R\mathcal{I}$ не возрастает, а убывает. Говорят, что дуга имеет *падающую вольтамперную характеристику*, т. е. такую характеристику, когда напряжение на разрядном промежутке уменьшается с возрастанием тока. Поэтому для поддержания устойчивого горения дуги при случайных изменениях тока, например вследствие охлаждения катода, напряжение на электродах дуги должно быть повышено. Иначе дуга погаснет. С этой целью в цепь дуги включают последовательно *балластное сопротивление*. При случайном уменьшении тока напряжение на балластном сопротивлении уменьшается. Поэтому при неизменном подводимом общем напряжении напряжение на газоразрядном промежутке должно увеличиться, чем и обеспечивается стабильное горение дуги.

3. Наряду с дуговыми разрядами, обусловленными термоэлектронной эмиссией, существуют и разряды другого типа. Примером могут служить дуговые разряды в ртутных лампах. *Ртутная лампа* представляет собой предварительно откачанный кварцевый или стеклянный баллон, наполненный парами ртути. Дуговой разряд зажигается электрической искрой между двумя столбиками ртути, служащими электродами лампы. Ртутная дуга является мощным источником ультрафиолетовых лучей. Поэтому такие лампы применяют в медицине и в научных исследованиях. Баллоны ламп делают из кварца или специальных сортов стекла, пропускающих ультрафиолетовые лучи.

Экспериментальные исследования показали, что источником мощной эмиссии электронов в ртутной лампе является небольшое, ярко светящееся пятно, возникающее на катоде и непрерывно бегающее по его поверхности (так называемое *катодное пятно*).

Плотность тока в катодном пятне огромна и может достигать $10^6 - 10^7$ А/см². Катодное пятно может возникнуть не только у поверхности ртутного, но и любого другого металлического электрода.

Ртутные дуги и аналогичные дуги с металлическими электродами получили название *электрических дуг с холодным катодом*. Дело в том, что раньше считалось, что катод действительно является холодным по всей его поверхности. Поэтому термоэлектронная эмиссия с катода не происходит или практически не играет никакой роли. Ленгмюр высказал предположение, что в случае холодного катода дуговой разряд поддерживается *автоэлектронной эмиссией с катода*. Действительно, катодное падение потенциала (~ 10 В) происходит на протяжении порядка длины свободного пробега электрона. Поэтому вблизи катода возникает сильное электрическое поле, достаточное, чтобы вызвать заметную автоэлектронную эмиссию. Несомненно, автоэлектронная эмиссия в дугах с «холодным» катодом играет существенную роль. Позднее появились указания на возможность нагрева таких катодов в отдельных точках до температур, при которых происходит большая термоэлектронная эмиссия, которая вместе с автоэлектронной эмиссией и поддерживает дуговой разряд. Этот вопрос еще недостаточно исследован.

§ 121. Плазма

1. *Плазмой называется ионизованный квазинейтральный газ, занимающий настолько большой объем, что в нем не происходит сколько-нибудь заметного нарушения квазинейтральности из-за тепловых флуктуаций.* Квазинейтральность газа означает, что количества положительных и отрицательных зарядов в нем почти одинаковы.

Оценим размеры области, в которой могут происходить заметные нарушения квазинейтральности, предполагая для простоты, что заряды положительных и отрицательных частиц одинаковы и равны элементарному заряду e . Пусть такая плазма заполняет пространство между плоскостями AB и MN (рис. 288). Допустим, что из-за тепловых флуктуаций отрицательные заряды сместились вверх на расстояние l . Тогда на границах плазмы возникнут макроскопические заряды противоположных знаков с поверхностной плотностью $\sigma = nle$, где n — концентрация частиц одного знака заряда. Напряженность электрического поля в плазме будет $E = 4\pi\sigma = 4\pi nle$, а плотность электрической энергии $E^2/(8\pi) = 2\pi(nle)^2$. Поскольку энергия электрического поля черпается из кинетической энергии теплового движения частиц газа, величина $E^2/(8\pi)$ не может превосходить $3nkT$. (На долю отрицательных частиц единицы

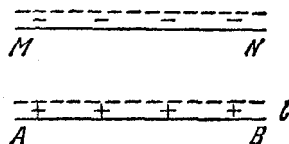


Рис. 288.