

5. Одновременно с ионизацией газа в его объеме происходит рекомбинация ионов в нейтральные частицы. Рассмотрим опыт, иллюстрирующий процесс рекомбинации (рис. 12.1). В стеклянный цилиндр *A*, расширяющийся внизу, впаяны электроды *B*, *C* и *D*, соединенные с одинаковыми электроскопами. Электроскопы заряжаются так, чтобы листочки их разошлись на одинаковые углы (рис. 12.1, *a*).

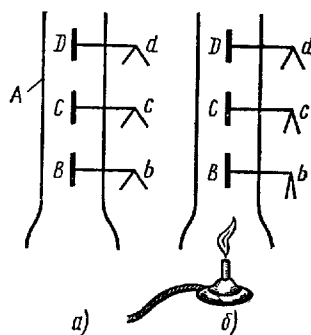


Рис. 12.1

Затем под цилиндр подводится горелка, пламя которой ионизирует воздух. Струя горячего ионизированного воздуха поднимается вверх. Листочки электроскопа *b* спадают, так как он теряет свой заряд (рис. 12.1, *b*); листочки электроскопа *c* показывают лишь небольшое уменьшение заряда, а отклонение листочков электроскопа *d* вообще не изменяется.

Из этого опыта следует, что в течение времени, необходимого для достижения ионами электродов *C* и *D*, происходит постепенное их воссоединение в нейтральные частицы и струя газа, поднимаясь в цилиндре *A*, постепенно теряет свою электропроводность.

§ 12.2. Несамостоятельный газовый разряд

1. Процесс прохождения электрического тока через газ называется **газовым разрядом**. Если электропроводность газа создается внешними ионизаторами, то электрический ток, возникающий в нем, называется **несамостоятельным газовым разрядом**. С прекращением действия внешних ионизаторов несамостоятельный разряд прекращается. Несамостоятельный газовый разряд не сопровождается свечением газа.

2. Для исследования зависимости силы тока I при несамостоятельном газовом разряде от напряжения U между электродами воспользуемся установкой, схема которой изображена на рис. 12.2. Напряжение,

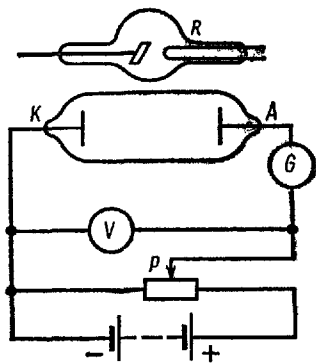


Рис. 12.2

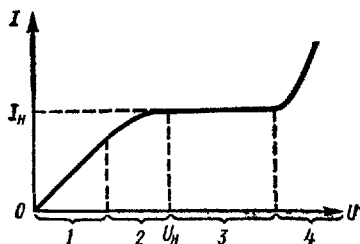


Рис. 12.3

приложенное к электродам A и K , регулируется при помощи потенциометра P и измеряется вольтметром V . Для измерения силы тока служит чувствительный гальванометр G . Газ ионизируется рентгеновскими лучами, испускаемыми трубкой R . Интенсивность ионизации во время опыта остается неизменной. Результаты измерений представлены в виде кривой на рис. 12.3.

Рассмотрим эту кривую. При небольших напряжениях сила тока пропорциональна напряжению (1-я область напряжений). Это легко понять, если учесть, что несамостоятельный газовый разряд подобен току в электролитах: оба они осуществляются упорядоченно движущимися ионами¹. Следовательно, в данном случае для плотности тока в разряде можно воспользоваться выражением (11.11'):

$$j = q_+ n_{0+} (u_+ + u_-) E, \quad (12.5)$$

где u_+ и u_- — подвижности положительных и отрицательных ионов, а q_+ и n_{0+} — заряд и концентрация положительных ионов. При ионизации в газах обычно образуются электроны и одновалентные положительные ионы, поэтому можно принять, что $q_+ = e$ и $n_{0+} = n_0$, где n_0 — число пар ионов в единице объема. Тогда формула (12.5) примет вид

$$j = en_0 (u_+ + u_-) E. \quad (12.5')$$

Как показывает опыт, подвижность газовых ионов в широком интервале давлений (от 10 до 10^7 Па) обратно пропорциональна давлению.

3. При дальнейшем увеличении напряжения U между электродами линейная зависимость силы тока I от U нарушается (2-я область напряжений). Это явление связано со следующим существенным отличием несамостоятельного газового разряда от тока в электролитах: убыль ионов, участвующих в проводимости и нейтрализующихся у электродов, непрерывно пополняется в объеме жидкости вследствие диссоциации новых молекул электролита. Поэтому число пар ионов в единице объема (n_0) в первом приближении не зависит от плотности тока и остается постоянным. В несамостоятельном разряде пополнение ионов целиком зависит от мощности внешнего источника ионизации, поэтому лишь при малых плотностях тока (т.е. при малых E и U) можно считать, что $n_0 = \text{const}$ и j пропорционально E . При дальнейшем увеличении напряженности E поля концентрация ионов убывает и линейная зависимость силы тока от напряжения нарушается: с возрастанием напряжения U сила тока растет все медленнее.

4. Начиная с некоторого значения напряжения U_n сила тока при несамостоятельном разряде остается неизменной, несмотря на дальнейшее увеличение напряжения (3-я область напряжений). Это явление объясняется тем, что в сильных электрических полях скорость ионов достигает больших значений и все ионы, возникающие в газе, на пути к электродам не успевают воссоединиться в нейтральные

¹ Электроны, образующиеся при ионизации молекул газа, представляют собой простейшие отрицательные «ионы».

молекулы. Поэтому при неизменной интенсивности ионизации не происходит дальнейшего возрастания тока.

Максимальная сила тока $I_{\text{н}}$, возможная при данной интенсивности ионизации, называется **током насыщения**. При токе насыщения к электродам ежесекундно прибывает электрический заряд eN_0 , где N_0 — число пар одновалентных ионов, образующихся в объеме газа под действием ионизатора за одну секунду. Очевидно, что ток насыщения

$$I_{\text{н}} = eN_0. \quad (12.6)$$

Из уравнения (12.6) видно, что если увеличить в несколько раз интенсивность ионизации, т.е. число N_0 пар ионов, образующихся за одну секунду, то во столько же раз увеличится и ток насыщения $I_{\text{н}}$. Существование тока насыщения подтверждает ионную природу проводимости газов.

При дальнейшем увеличении напряжения между электродами сила тока снова начинает резко возрастать (4-я область напряжений). Это явление, обусловленное возникновением ударной ионизации и резким возрастанием числа носителей заряда в газе, будет подробнее рассмотрено в следующем параграфе.

§ 12.3. Самостоятельный газовый разряд

1. Электрический разряд в газе, сохраняющийся после прекращения действия внешнего ионизатора, называется **самостоятельным газовым разрядом**. Для его осуществления необходимо, чтобы в результате самого разряда в газе непрерывно образовывались свободные заряды. Основным источником их возникновения является ударная ионизация молекул газа.

2. Рассмотрим влияние напряжения U между электродами газоразрядной трубки, изображенной на рис. 12.2, на проводимость газа и процессы, происходящие в нем при прохождении электрического тока. При некотором достаточно большом значении напряжения электроны, возникающие в газе под действием внешнего ионизатора R , настолько сильно ускоряются электрическим полем, что, сталкиваясь с молекулами газа, ионизируют их: При этом образуются вторичные электроны и ионы. Вторичные электроны тоже ускоряются электрическим полем и в свою очередь ионизируют новые молекулы газа. Таким образом, число носителей тока в газе и его проводимость сильно возрастают. В этом и состоит причина резкого увеличения тока в начале 4-й области напряжений на рис. 12.3. Однако ударная ионизация, производимая одними электронами, недостаточна для поддержания разряда при удалении внешнего ионизатора, т.е. для осуществления самостоятельного разряда. В самом деле, каждый электрон движется в электрическом поле газоразрядной трубки в направлении от катода к аноду. Поэтому он может ионизировать только те молекулы газа, которые лежат близ анода по сравнению с местом его собственного возникновения. Иными словами, если энергия положительных ионов недостаточна для ударной ионизации молекул газа