

ные исследования показали, что в своей начальной стадии искра и молния развиваются б ы с т р е е, чем это могло бы быть вследствие распространения электронных лавин, образуемых соударением электронов с частицами газа. Обнаружилось, что здесь главную роль играет ф о т о н н а я и о н и з а ц и я газа (о которой сказано в последнем абзаце предыдущего параграфа). Фотонная ионизация приводит к развитию в газе каналов повышенной электропроводности — так называемых *стримеров*. Теория стримеров была предложена Миком и Лебом в 1940 г. и уточнена советскими учеными.

В областях неравномерного электрического поля — у поверхности электродов с малым радиусом кривизны — при нормальной и повышенной плотностях газа наблюдается особый тип разряда — *коронный разряд*. При коронном разряде, так же как и при искровом, большую роль играют фотонная ионизация газа и вызываемое ею развитие стримеров. В короне имеют место прерывистые явления, которые сказываются в характерном шипении короны.

§ 46. Катодные и анодные лучи

В 1879 г. Крукс обнаружил существование особых *катодных лучей*, представляющих собой не что иное, как *поток электронов в вакууме*.

Явление разряда в трубках с разреженным газом давно привлекало внимание физиков красотой и загадочностью, но долгое время самое важное в нем — образование катодных лучей — ускользало от научного исследования.

При пропускании тока довольно высокого напряжения через атмосферный воздух, заключенный в трубку длиной 15—20 см, ни искрового, ни тлеющего разряда при нормальном давлении воздуха не наблюдается. Происходит тихий разряд, зависящий от действия внешних ионизаторов. Однако достаточно, не изменяя разности потенциалов, удалить из трубки часть воздуха при помощи насоса, как начинается *тлеющий разряд*, происходящий при полном отсутствии внешних ионизаторов. При этом между электродами появляется в виде колеблющейся ленты фиолетово-розовое сияние (если трубка была наполнена другим газом, а не воздухом, то цвет этого сияния будет другой, в зависимости от химической природы газа). Недалеко от катода сияние это слегка сужается и принимает голубоватый оттенок. При близком рассмотрении легко обнаружить, что сияние не во всех частях одинаково ярко и что в двух-трех местах оно прерывается почти совершенно темными полосами. Особенно заметны эти полосы при давлении приблизительно в одну тысячную атмосферы.

От анода сияние исходит в виде сплошной кисти, простирающейся почти на две трети всей длины трубки — *положительное свечение*, затем следуют *темное пространство Фарадея*, тонкий, ярко светя-

щийся *второй катодный слой*, темное пространство Крукса и сияние, со всех сторон окружающее катод,— *первый катодный слой* (рис. 157).

При постепенном увеличении степени разрежения область положительного свечения отступает все ближе к аноду, причем иногда (в зависимости от напряжения и от природы взятого для опыта газа) также разбивается на целый ряд полос, отмежеванных друг от друга темными промежутками.

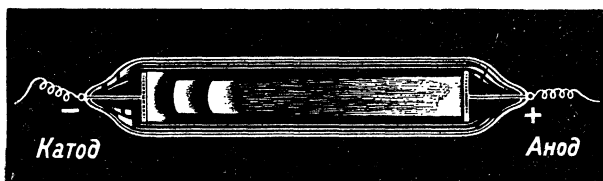


Рис. 157. Глеющий разряд в эвакуированной трубке.

При разрежении в одну стотысячную атмосферы (менее 0,01 мм рт. ст.) круксово темное пространство распространяется на всю трубку, и несмотря на то, что ток все еще протекает через газ, свечение совершенно исчезает. Только при пристальном рассматривании на

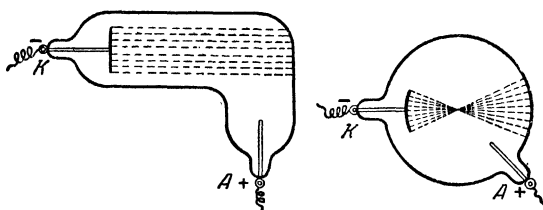


Рис. 158. Катодные лучи направлены перпендикулярно к катоду независимо от положения анода.

темном фоне можно уловить пучок лучей, выходящих нормально к поверхности катода и придающих окружающему газу по большей части фиолетовый оттенок. Падая на стекло, лучи эти, получившие название катодных лучей, заставляют последнее *флуоресцировать* ярко-зеленым светом. Следя за местонахождением пятна флуоресценции при изменении положения катода, легко видеть, что катодные лучи распространяются прямолинейно (рис. 158).

Проникающая способность катодных лучей невелика. Помещая на их пути тонкие металлические пластинки, например медные, серебряные, цинковые и т. п., можно получить на флуоресцирующем стекле трубки резко очерченную тень. Слой воздуха толщиной в несколько сантиметров для «медленных» катодных лучей (получаемых

при напряжении в несколько киловольт) является уже совершенно непрозрачным. Однако, применяя для хорошо эвакуированных трубок большие напряжения (десятки киловольт), можно получить катодные лучи («быстрые»), обладающие довольно значительной проникаемостью. Для исследования явлений, вызываемых катодными лучами, Ленард применил трубки с окошком, сделанным из металлической решетки, прикрытой тончайшим лепестком алюминия или стекла.

Почти все твердые тела флуоресцируют под действием катодных лучей, причем, как общее правило, можно заметить, что цвет флуоресценции не зависит от цвета тела в обыкновенных световых лучах. Красивое зрелище представляет собой флуоресценция алмазов (ярко-зеленого цвета). Способность катодных лучей вызывать

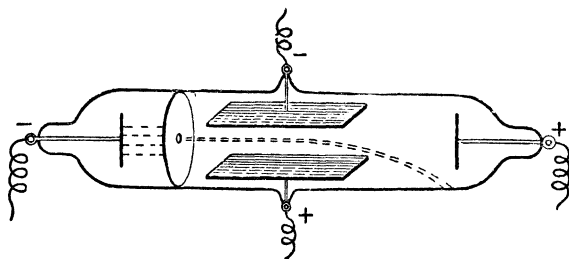


Рис. 159. Отклонение катодных лучей в электрическом поле.

флуоресценцию использована в устройстве важного прибора — катодного осциллографа (§ 68). Катодные лучи действуют на фотографическую пластинку (вызывают ее почернение).

Вопрос о природе катодных лучей в свое время породил много споров, продолжавшихся 15 лет. Немецкие физики во главе с Герцом и Гольдштейном утверждали, что катодные лучи имеют такую же волновую природу, как и световые лучи, и отличаются от них только меньшей длиной волны. Большинство английских физиков, и в особенности Крукс, настаивало, что катодные лучи следует рассматривать как поток движущихся с громадной скоростью материальных частиц. В 1895 г. это было доказано Перреном.

Что катодные лучи действительно представляют собой поток электронов, это можно подтвердить целым рядом опытов. Во-первых, катодные лучи отклоняются электрическим полем (рис. 159), во-вторых, характер этого отклонения соответствует отрицательному заряду (тот же рисунок), в-третьих, в наличии отрицательных зарядов можно убедиться и непосредственным исследованием катодных лучей с помощью электроскопа (рис. 160) и, наконец, катодные лучи производят несравненно больший механический и тепловой эффект, чем возможно было бы того ожидать в случае, если бы они имели волновую природу.

Наряду с катодными лучами при специальном устройстве разрядной трубки можно наблюдать *анодные лучи*, представляющие

собой молекулярный пучок движущихся с большой скоростью положительных ионов газа. Анодные лучи были открыты в 1886 г. Гольдштейном. Экспериментально их свойства были впервые всесторонне исследованы Дж. Томсоном и Вином.

Анодные лучи часто называют также *канальовыми лучами*. Это название возникло в связи с тем, что в катоде разрядной трубки, предназначенной для наблюдения положительных ионных лучей, просверливали каналы, чтобы через них положительные ионы проникали в другую часть трубки (рис. 161); в исследовательских приборах в этой второй части трубки откачкой поддерживается более высокий вакуум.

Часть положительных ионов при случайных соударениях со свободными электронами и с отрицательными ионами газа нейтрализуются или даже заряжаются отрицательно. Наряду

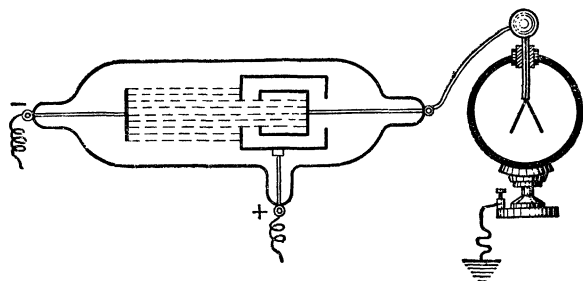


Рис. 160. Опыт Перрена. Внутри трубки помещен цилиндр; соединенный с ним электроскоп обнаруживает, что цилиндр благодаря падающим на него катодным лучам приобретает отрицательный заряд.

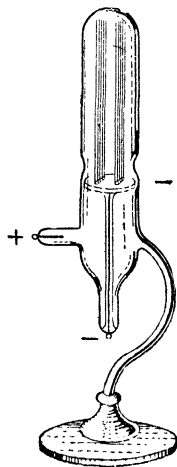


Рис. 161. Разрядная трубка для наблюдения анодных лучей.

с этим удары, наносимые ионами анодных лучей встречным молекулам, увлекают нейтральные молекулы (иногда распадающиеся на атомы) в общий поток лучей. Таким образом, состав анодных лучей оказывается неоднородным: преобладают положительные ионы, но встречаются и нейтральные молекулы и атомы.

Дж. Томсон использовал анодные лучи для точного сопоставления массы ионов (т. III, § 85). Этот метод «масс-спектрального анализа» в 1919 г. был усовершенствован Астоном и позже многими другими физиками. В масс-спектрографах и в различных других современных приборах для получения потока положительных ионов применяются разнообразные конструкции *ионных источников*. Часто ионизацию разреженного газа вызывают электронами, испускаемыми накаливаемой (вспомогательным током) вольфрамовой спиралью, служащей катодом, причем электроны в некоторых конструкциях ионных источников ускоряются постоянным электрическим полем, тогда как в других случаях необходимую им для ионизации газа энергию сообщают переменным электрическим полем высокой частоты.

Анодные лучи можно получить не только состоящими из частиц газа, находящегося в трубке, но и из частиц самих электродов. Для этого изготавливают один из электродов — анод — из иодистых соединений металлов, а для увеличения его электропроводности прибавляют к ним угольный порошок. При пропускании постоянного электрического тока с напряжением около 4000 в из анода исходят лучи, представляющие собой поток положительных ионов металла (например, ионов натрия, лития, стронция и т. д. в зависимости от того, какой металл в соединении с иодом был взят в качестве материала для изготовления анода).

§ 47. Тлеющий разряд

Явления, происходящие в вакуум-трубке при тлеющем разряде, уже были описаны выше (§ 46). Там же пояснены термины, определяющие основные зоны тлеющего разряда: первый катодный слой, темное катодное (круиково) пространство, второй катодный слой, темное анодное (фарадеево) пространство, анодное свечение.

Когда мы соединяем электроды эвакуированной трубки с полюсами источника высокого напряжения, то свободные положительные ионы, всегда имеющиеся в газе, устремляются к катоду. При небольших разрежениях скорости их недостаточны для того, чтобы при соударении с поверхностью катода вызвать вырывание из вещества катода электронов, однако если разрежение и, следовательно, средний свободный путь значительны, то скорость положительных ионов достигает «критической величины», и *катод под влиянием бомбардировки ионами становится источником электронов, выбрасываемых* в окружающее катод пространство и устремляющихся к аноду.

Удары электронов о нейтральные молекулы газа возбуждают свечение газа и частично ионизацию газа. В *темном круиковом пространстве* (которое в действительности тоже светится, но кажется темным по контрасту с яркими катодными слоями) *с к о р о с т ь* электронов быстро возрастает. *Второй катодный слой* является областью наиболее интенсивных *с о у д а р е н и й* электронов с нейтральными молекулами. Эти соударения тормозят движение электронов. В темном фарадеевом пространстве электроны движутся к аноду с меньшей скоростью, чем в круиковом пространстве.

Движение электронов и ионов с неравномерной скоростью создает неравномерное распределение их зарядов в пространстве между электродами; это существенно деформирует поле между электродами; падение потенциала вдоль вакуум-трубки делается неравномерным, что в свою очередь усугубляет неравномерность распределения зарядов по пространству.