

в электроотрицат. газе  $v_i = v_d + v_{\phi}$ . Порог пробоя  $E_i(p)$  имеет минимум в зависимости от давления (рис. 4). Это объясняется следующим. При больших  $p$ , когда  $v_m \gg \omega$ , электрон набирает в перем. поле энергию примерно так же, как в постоянном, и  $\epsilon \propto E/p$ . Ионизация идёт интенсивно,

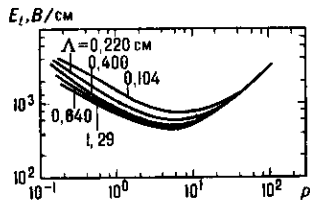


Рис. 4. Среднеквадратичные пробивающие поля в воздухе на частоте 9,4 ГГц;  $\Lambda$  — диффузионная длина.

если ср. энергия электрона  $\bar{\epsilon}$  порядка  $I$ , т. е.  $\bar{\epsilon}$  не меняется, и, следовательно,  $E \propto p$ . При низких  $p$ , когда  $v_m \ll \omega$ , очень сильна диффузия, и чтобы произошёл пробой (т. е. было выполнено условие  $v_i = v_d \propto 1/p$ ), поле должно возрасти при уменьшении  $p$ . Минимум соответствует такому  $p$ , когда  $v_m \approx \omega$ . Для СВЧ-диапазона  $p_{\min} \sim 1-10$  тор,  $E_{\min} \sim 10^2-10^3$  В/см. В качеств. отношении сказанное справедливо и для оптич. пробоя, но для оптич. частот  $p_{\min} \sim 10^3$  атм (см. *Оптические разряды*). При понижении частоты в ВЧ-диапазоне амплитуды дрейфовых колебаний могут оказаться сравнимыми с размерами сосуда. Тогда электроны начинают ударяться о стенки, их потери и порог пробоя скачкообразно возрастают.

**Глеющий разряд.** Неотъемлемым элементом глеющего разряда является катодный слой положительного пространственного заряда с сильным полем у катода ( $E/p)_k \sim 10^3$  В/(см · тор) и значит. катодным падением потенциала  $V_k \sim 150-400$  В. Именно им обусловлено т. н. отрицательное глеющее свечение за катодом, откуда и название разряда. Положит. плазменный столб играет роль проводника, соединяющего катодные части разряда с анодом (рис. 5). При уменьшении расстояния между электродами сначала сокращается именно он, потом фарадеево тёмное пространство (см. *Глеющий разряд*), а катодный слой не изменяется, и лишь когда не хватает места для него (и отчасти для отрицат. свечения), горение разряда сильно затрудняется. Разряд может гореть и в сосудах замысловатой формы. Вследствие оседания электронов на стенках возникает дополнит. поле, к-рое векторно складывается с внешним. Силовые линии результирующего поля, протягиваясь от анода к катоду, повторяют все изгибы трубки.

Самоподдержание тока в глеющем разряде осуществляется за счёт катодного слоя, благодаря неравномерному распределению потенциала между электродами (рис. 5). Часть межэлектродного промежутка заполняет хорошо проводящий, положит. столб со слабым полем  $E/p \sim 1-10$  В/(см · тор). Тем самым сокращается толщина области  $d$ , где должно происходить

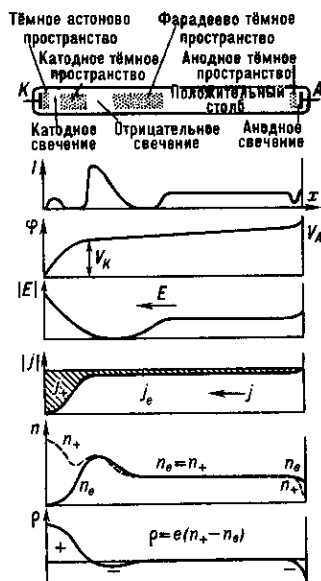


Рис. 5. Структура глеющего разряда в трубке. Показаны распределения интенсивности свечения  $I$ , потенциала  $\phi$ , поля  $E$ , плотностей электронного  $j_e$  и ионного  $j_+$  токов, плотностей ионов  $n_+$  и электронов  $n_-$ , плотности объёмного заряда  $\rho = e(n_+ - n_-)$ .

осн. размножение электронов и осуществляется самоподдержание тока. Уменьшение  $d$  приводит к наиб. выгодным для размножения условиям, отвечающим минимуму напряжения на кривых Пашена (рис. 3) и ф-лам (5).

Когда ток занимает не весь катод, плотность тока на катоде  $j_k$  имеет вполне определённое «нормальное» значение, удовлетворяющее закону подобия:

$$j_k/p^2 = (1 + \gamma) \mu + p V_n^2 / 4\pi (pd)_n^2, \quad (6)$$

где  $V_n \approx 1,1 V_{i\min}$ ,  $(pd)_n \approx 1,4 (pd)_{\min}$ . Обычно  $V_n \approx 150-400$  В,  $(pd)_n \approx 0,5-1$  тор · см,  $j_k/p^2 \approx 10-500$  мкА/см<sup>2</sup> · тор<sup>2</sup>. При увеличении тока растёт площадь свечения на катоде, а  $j_k$ ,  $V_n$  остаются неизменными (участок DE на ВАХ, рис. 1). Такой разряд наз. нормальным. Когда свечение занимает весь катод,  $j$ ,  $V_k$  и  $V$  при росте тока возрастают. Это — аномальный разряд (участок EF на рис. 1).

В любом сечении длинного однородного положит. столба ионизация компенсирует гибель электронов за счёт рекомбинации, амбиполярной диффузии к стенкам, прилипания (к-рое может частично компенсироваться отлипанием). Этим определяется зависимость поля в столбе от плотности зарядов в плазме (эквивалент ВАХ столба). При сильном нагреве газа ВАХ — падающая. В тлеющем разряде возникают разл. неустойчивости. Наиб. распространена ионизационно-перегревная, связанная с увеличением частоты ионизации при тепловом расширении газа, вызванном случайным локальным перегревом. Рост  $v_i$  ведёт к увеличению  $n_+$ , дополнит. тепловыделению  $jE$  и дальнейшему росту  $T$ . Эта неустойчивость вызывает *контракцию газового разряда* — стягивание разряда в токовый шнур. Др. неустойчивости приводят к возникновению *страт* — расслоению положит. столба вдоль тока на сильно и слабо ионизованные участки. Чаще всего страты бегут от анода к катоду и глазом не видны (см. также *Низкотемпературная плазма*).

**Дуговой разряд.** Его отличит. черта — малость катодного падения,  $V_k \sim 10$  В. Разогретый интенсивным потоком ионов катод или его токонесущие участки (катодные пятна) испускают достаточно сильный электронный ток. Плазма положит. столба дугового разряда при атм. давлении равновесна, её проводимость определяется темп-рой  $T$ . Поле в столбе  $E$  и ВАХ  $E(j)$  определяются балансом энергии: джоулево тепло  $\sigma(T)E^2$  выносится за счёт теплопроводности к охлаждаемым стенкам (если дуга горит в трубке), либо рассеивается в пространстве (дуга в свободной атмосфере). Типичным примером последнего является дуга с угольными электродами в воздухе (рис. 6). ВАХ

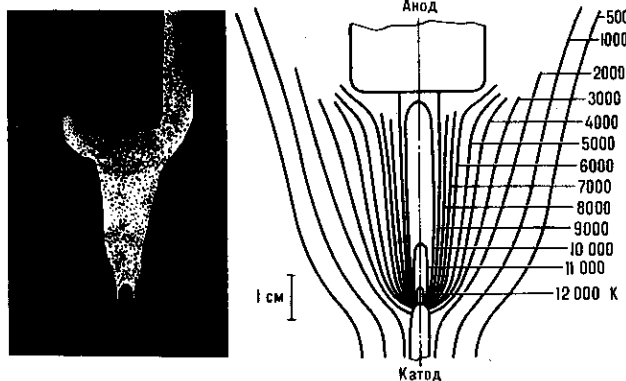


Рис. 6. Угольная дуга в воздухе при  $i=200$  А: слева — фотография, полученная с помощью метода Теллера; справа — измеренное поле температур.

столба и всей дуги падающая (рис. 7). Напряжение горения дуги складывается из напряжения на положит. столбе, пропорционального его длине, катодного ( $V_k \sim 10$  В) и анодного падения напряжения. Когда на аноде образуется анодное пятно с  $j \approx 5 \cdot 10^4$  А/см<sup>2</sup>, анодное напряжение