

месе подвигное, чем катодное. Темп-ра поверхности в анодном пятне такая же или несколько ниже, чем в катодном. В нек-рых типах Д. р. при токах в десятки А на катоде и аноде возникают факелы, имеющие характер плазменных струй, вытекающих с большой скоростью нормально к поверхности электродов. При токах более 100÷300 А возникают добавочные факелы и столб Д. р. приобретает структуру пучка плазменных нитей. Природа и механизм образования факелов изучены пока недостаточно. При появлении факелов положит. столб соединяет две произвольно перемещающиеся точки катодного и анодного факелов и может быть ориентирован относительно них любым образом (напр., перпендикулярно); в столбе особенно легко проявляются многие неустойчивости.

Нагретый до высокой темп-ры и ионизованный газ в столбе находится в состоянии плазмы. В граничной зоне между катодным слоем и столбом ток эмиссии переходит в ток проводимости. Электропроводность плазмы в зависимости от вида Д. р. может принимать практически любые значения вплоть до значений электропроводности металлов, но, как правило, она на неск. порядков меньше. Выделяющаяся в столбе Джоулева теплота восполняет все потери энергии из столба плазмы, поддерживая неизменным её состояние, к-рое определяется характером распределения энергии по всем степеням свободы. Полностью равновесные распределения, строго говоря, в плазме Д. р. никогда не реализуются. Однако состояние сверхплотной плазмы при концентрации заряд. частиц  $N \geq 10^{18} \text{ см}^{-3}$  иногда можно считать близким к полному термодинамич. равновесию. При меньших плотностях (до  $N \sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ) может реализоваться состояние т. н. локального термического равновесия, при к-ром в каждой точке плазмы распределения любых частиц по скоростям в основном максвелловские, распределения атомов и молекул по возбуждённым состояниям — бoльшмановские, степени диссоциации и ионизации удовлетворяют закону действующих масс, а давление — уравнению состояния, причём во все эти распределения входит одно и то же значение темп-ры  $T$ , являющееся функцией координат. Исключение в этом случае составляет лишь излучение плазмы: оно далеко от равновесного (шланковского) и определяется составом плазмы и скоростями конкретных радиац. процессов (линейчатое излучение, сильное тормозное и рекомбинационное и т. д.). При очень ограниченных размерах столба Д. р. (неск. мм) даже в плотной плазме ( $N \leq 10^{18} \text{ см}^{-3}$  для He,  $N < 10^{16} \text{ см}^{-3}$  для др. газов) состояние локального термич. равновесия может нарушаться за счёт процессов переноса (см. *Переноса процессы в плазме*), включая радиационные. Это выражается в сильном отклонении состава плазмы и заключённой возбуждённых уровней от их равновесных значений. В таких случаях сохраняется обычно лишь частичное локальное термич. равновесие, характеризующееся равновесием между заселённостями самых верхних возбуждённых уровней и концентрацией свободных электронов, к-рые предполагаются в осн. максвелловскими. Т. о., кинетика плазмы в столбе Д. р. при высоких плотностях заряд. частиц определяется гл. обр. процессами соударений, а по мере снижения плотности все большую роль играют радиац. процессы. Границы применимости указанных выше приближений в каждом конкретном случае можно грубо оценить с помощью соответствующих критериев, но при этом всегда необходимо контролировать выполнение этих признаков применимости. Соблюдение этого условия необходимо для доказательства адекватности выбранных методов *диагностики плазмы*.

Диаметр столба Д. р. в принципе может быть произвольной, но его диаметр жёстко определяется условиями баланса выделяющейся и теряемой энергии. С ростом тока или давления тип осн. механизма потерь неоднократно меняется; при таких сменах может

происходить контракция столба (см. *Контрагированный разряд*). Для Д. р. наиб. характерны диссоциативная контракция (при токе  $i_D$ ) и *пинч-эффект* (при токе  $i_{II}$ ). Первая из них связана с резким изменением теплопроводности плазмы в молекулярных газах в зоне интенсивной диссоциации, вторая возникает при превышении *магнитного давления* над газокинетическим. Конкретные значения токов  $i_D$  и  $i_{II}$  очень сильно зависят от условий горения разряда; обычно  $1 \leq i_D < 10^2 \text{ А}$ ;  $i_{II} \geq 10^3 \text{ А}$ . Д. р. при  $i > i_D$  принято называть сильноточным, при  $i > i_{II}$  — сверхсильноточным.

Широкое развитие приобрело матем. моделирование столба Д. р. Матем. модели включают в себя уравнения кинетики, электродинамики, а при необходимости и *магнитной гидродинамики* плазмы. В большинстве случаев такие модели в принципе позволяют с достаточным приближением рассчитать на ЭВМ значения всех параметров столба плазмы, однако при этом необходим тщательный контроль адекватности модели, что само по себе представляет также очень сложную задачу.

Свойства и конкретные параметры Д. р. меняются в очень широких пределах в зависимости от его типа и условий горения. Классич. примером является Д. р. пост. тока, свободно горящий в воздухе между угольными электродами. Его типичные параметры: ток от ампера до сотен ампер, катодное падение потенциала  $\approx 10 \text{ В}$ , межэлектродное расстояние — от мм до см, темп-ра плазмы  $\sim 7000 \text{ К}$ , темп-ра поверхности в анодном пятне  $\sim 3900 \text{ К}$ . Д. р. применяется в технике (угольные лампы) и науке (эталонный источник света). Д. р. с угольным анодом, просверленным и заполненным исследуемыми веществами или пропитанным их растворами, широко используется в спектральном анализе руд, минералов, солей и т. п. Темп-ра плазмы при введении примесей исследуемых веществ снижается прибл. пропорционально эфф. потенциалу ионизации среды.

Д. р. пост. тока может устойчиво гореть в воздухе как между угольными, так и между металлич. электродами. Но разряд перемещаемого тока горит самостоятельно при любых токах только между угольными электродами. При использовании же металлич. электродов для поддержания разряда при токах  $< 10 \text{ А}$  необходим вспомогат. ионизатор (с этой целью в практике спектрального анализа, напр., применяется наложение ВЧ-разряда на дуговой, горящий при частоте 50 Гц).

Д. р. становится фактически самостоятельным и при применении накаливаемого катода (обычно при низких давлениях газа). Однако практически все характеристики разряда при этом остаются типично «дуговыми», за исключением величины катодного падения потенциала, к-рая ещё снижается. Аналогичное снижение происходит и при использовании плазменных катодов (см. также *Низковольтная дуга*).

Применение Д. р. в качестве спец. источника света в научных исследованиях требует обычно стабилизации положит. столба в пространстве. Такая стабилизация может осуществляться шайбами или стенками разрядной трубки, тангенциальными потоками жидкости или газа в узких каналах, вихревым потоком газа вдоль столба свободно горящей дуги, магн. полем и т. д.

Д. р. применяется также в разл. конструкциях генераторов плазмы (напр., в *плазмотронах*), в нек-рых плазмовых реакторах, в электросварке, в разл. электронных и осветит. приборах (коммутаторы, ртутные выпрямители, газотроны, газоразрядные источники света и т. д.).

Лит.: Г р а н о в с к и й В. Л., Электрический ток в газе, М., 1974; Экспериментальные исследования плазмотронов, под ред. М. Ф. Жукова, Новосибир., 1977. В. Н. Колесников.

**ДЫРКА** — *квазичастица* (фермион); наряду с электронном проводимости используется для описания электронной системы *полупроводников*, *полуметаллов* и *металлов*. Термин «Д.» применяется в двух близких, но различных смыслах. 1) Возбуждённое квантовое