

$E_{пр} \sim 10^8$  В/м, но и напряжённости возникновения частичных разрядов.

Лит.: Сканиви Г. И., Физика диэлектриков. (Область сильных полей), М., 1958; Франц В., Пробой диэлектриков, пер. с нем., М., 1961; Воробьев А. А., Воробьев Г. А., Электрический пробой и разрушение твердых диэлектриков, М., 1966; Электрические свойства полимеров, под ред. Б. И. Сажина, 3 изд., Л., 1986; Вершинин Ю. Н., Зотов Ю. А., Перегревная неустойчивость в кристаллических изоляторах в предпробивном электрическом поле, «ФТТ», 1975, т. 17, в. 3, с. 826; Борисова М. Э., Койков С. Н., Физика диэлектриков, Л., 1979.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК** — направленное движение носителей электрич. зарядов (электронов, ионов, дырок и т. п.). Количественно Э. т. характеризуется вектором *плотности электрического тока*  $j = qn\langle u \rangle$ , где  $q$  и  $n$  — заряд и концентрация носителей,  $\langle u \rangle$  — ср. скорость упорядоченного движения носителей (с учётом ф-ции распределения по скоростям или импульсам). Если ввести объёмную плотность заряда  $\rho = qn$ , то  $j = \rho\langle u \rangle$ . В системах с разнозарядовыми носителями производится векторное суммирование плотностей Э. т., обусловленных этими носителями. Интегральной характеристикой Э. т. является *сила тока*  $I$ , определяемая как поток вектора  $j$  через заданную площадку  $\Delta S$ :

$$I = \int_{\Delta S} j dS.$$

Ф-ции  $j(r, t)$  и  $\rho(r, t)$  связаны ур-нием непрерывности:

$$\nabla j + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0.$$

В интегральной форме это ур-ние восходит к закону сохранения электрич. заряда:

$$I_S = \oint j dS = - \frac{\partial Q}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV$$

( $S$  — поверхность, охватывающая объём  $V$ ,  $Q$  — заряд объёма  $V$ ), к-рый является одним из фундам. законов природы — отклонение от него не обнаружено ни в одном эксперименте или наблюдении. В пространственно-временной записи ур-ние непрерывности сводится к равенству нулю 4-дивергенции 4-тока, т. е. к утверждению, что 4-вектор плотности Э. т. всегда является чисто вихревым.

Помимо разделения Э. т. на *переменные токи* и *постоянные токи*, до нек-рой степени условно различают токи проводимости и *конвекционные токи*. К первым относят Э. т. в проводящих средах, где носители заряда (электроны, ионы, дырки в проводниках и полупроводниках, анионы и катионы в электролитах) перемещаются сами или эстафетно передают один другому импульсы внутри неподвижных макросред, испытывая индивидуальные или коллективные соударения с формирующими эти среды частицами (нейтралями, ионными решётками и т. п.). Для компенсации потерь и обеспечения протекания Э. т. (за исключением Э. т. в сверхпроводниках) необходимо прикладывать сторонние силы — обычно электрич. поле  $E$ . При достаточно малых  $E$  почти всегда справедлива линейная связь между  $j$  и  $E$  (*Ома закон*); для линейных однородных изотропных сред  $j = \sigma E$ ,  $\sigma = \text{const}$ . В общем случае *электропроводность*  $\sigma$  может зависеть от координат (неоднородные среды), направлений (анизотропные среды), внеш. магн. поля, изменяться со временем (параметрич. среды) и т. п. С увеличением напряжённости  $E$  электропроводность любой среды становится нелинейной:  $\sigma = \sigma(E)$ . Напр., под действием поля  $E$  даже в исходно нейтральных (непроводящих) газах может возникать лавинно возрастающая ионизация — пробой (см. *Лавина электронная*) с прохождением иногда весьма значительных Э. т. В естественных земных условиях разряды в грозовых облаках характеризуются Э. т. до  $10^5$  А. Обычно это достигается в гл. стадии молнии, называемой обратным ударом, когда основной лидер заканчивает «прокладку» проводящего тракта до самой Земли.

В технике важное значение имеют токовые цепи, состоящие из последовательных и параллельных соединений тонких проводников (называемых линейными по их геом. признакам) со включёнными сосредоточенными элементами: ёмкостями, сопротивлениями, транзисторами, переключателями и т. п. Иногда говорят о сильноточных и слабых системах в зависимости от назначения соответствующих устройств — передачи (преобразования) больших энергий или переработки информации. Распределение Э. т. в линейных цепях подчинены *Кирхгофа правилам*. При отсутствии нелинейных элементов справедливы *взаимности принцип* и различные его разновидности.

К собственно конвекционным Э. т. относятся в осн. токи в электронных и ионных пучках, транспортируемые или дрейфующие в вакуумных полостях. Для пучков с некомпенсированным пространственным зарядом расталкивающее кулоновское поле ограничивает длину транспортировки (если, конечно, не приняты надлежащие меры по его фокусировке внешними, а иногда и собственными полями). Однако магн. поле пучка всегда меньше собственного кулоновского электрич. поля и магн. самофокусировка (*ниж-эффekt*) возможна только при наличии компенсации поля пространственного заряда (напр., электронные пучки в квазинейтральной плазме). При этом бывает уже совсем трудно отличить токи проводимости от конвекционных. При нек-рых значениях Э. т. пучка носители зарядов «вымораживаются» в собственное магн. поле Э. т. и транспортировка пучка прекращается. Этот Э. т. наз. предельным током Альвена  $I_A$ . Для сплошного пучка  $I_A \approx I_0 \gamma \beta$ , где  $\beta = u/c$ ,  $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ ,  $u$  — скорость носителей. Для электронов величина  $I_0 = mc^3/e = 17,04$  кА и является одним из универсальных характеристических значений Э. т., выражаемых через фундаментальные постоянные. Это Э. т., равный изменению заряда на величину  $e$  за время  $t = r_e/c$ , где  $r_e$  — классический радиус электрона. Ток  $I_0$  фигурирует во всех выражениях, описывающих поведение интенсивных *электронных пучков*, и в принципе является исходной единицей Э. т. в соответствующей безразмерной системе единиц. Н. Ф. Ковалёв, М. А. Миллер.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ** — векторное поле, определяющее силовое воздействие на заряд. частицы, не зависящее от их скоростей. Э. п. является одной из компонент единого *электромагнитного поля*.

В электродинамич. вакууме свойства Э. п. полностью описываются *напряжённостью электрического поля*  $E(t, r)$ . Сила, действующая на заряд  $q$  со стороны Э. п., равна  $F = qE$ . Кроме того, на движущийся заряд действует ещё и сила со стороны *магнитного поля* (см. *Лоренца сила*).

Различают потенциальную  $E_p$  и вихревую (соленоидальную)  $E_s$  компоненты Э. п. ( $E = E_p + E_s$ ). Источником потенц. полей являются заряды:

$$\text{div } E_p = 4\pi \rho(t, r), \text{rot } E_p = 0,$$

где  $\rho$  — плотность электрич. заряда.

Вихревая составляющая Э. п. возникает при изменении во времени магн. поля:

$$\text{rot } E_s = - \frac{1}{c} \frac{\partial B}{\partial t}, \text{div } E_s = 0,$$

где  $B$  — *магнитной индукции* вектор.

При макроскопич. описании эл.-магн. явлений в материальных средах силовой характеристикой Э. п. остаётся вектор напряжённости  $E(t, r)$ , являющийся результатом усреднения по физически малому объёму и характерным временам микропulsesаций вакуумного Э. п.  $e$  ( $E = \langle e \rangle$ ) (см. *Лоренца — Максвелла уравнения*). Другой усреднённой характеристикой Э. п. в среде является вектор электрической индукции  $D(t, r) = E + 4\pi P$ , где  $P$  — плотность электрич. дипольного момента среды. Связь между  $D$  и  $E$  устанавливается материальным ур-нием — в общем случае интегральным нелинейным соотношением. В приближении слабых полей, когда нелинейными эффектами можно пренебречь, материальное ур-ние имеет вид