

ных в электрическом поле плоского конденсатора и освещавшихся ультрафиолетовым светом небольшой интенсивности. Под действием света отрицательный заряд металлических пылинок уменьшался. Явление потери отрицательного электрического заряда металлами при освещении их ультрафиолетовым светом было изучено еще в 1888 г. русским ученым А. Г. Столетовым (впоследствии это явление было названо фотоэффектом). Опытами А. Ф. Иоффе было доказано, что уменьшение заряда металлических пылинок под действием света происходит прерывисто, внезапно, всегда на величину заряда электрона.

Милликен на основании своих многократно воспроизведенных опытов пришел к заключению, что численное значение заряда электрона равно  $4,770 \cdot 10^{-10}$  абс. эл.-ст. ед. количества электричества. В последние годы на основании всей совокупности экспериментов по определению заряда электрона считают, что заряд электрона равен

$$e = (4,8029 \pm 0,0002) \cdot 10^{-10} \text{ абс. эл.-ст. ед. количества электричества.}$$

Эта величина заряда электрона соответствует значению числа Авогадро

$$N_{\text{Ав}} = 6,025 \cdot 10^{23}$$

и значению заряда Фарадея

$$F = 96\,520 \text{ кулонов.}$$

Указанные значения  $N_{\text{Ав}}$  и  $F$  принимают в «физической» шкале, когда атомные веса элементов определяют, исходя из того, что атомный вес изотопа кислорода  $\text{O}^{16}$  равен в точности шестнадцати. Имеет применение и так называемая «химическая» шкала, в которой атомные веса элементов определяют, исходя из соглашения, что число 16 точно определяет атомный вес природной смеси нескольких изотопов кислорода. В этой «химической» шкале число Авогадро и заряд Фарадея получаются в 1,000272 раза меньшими, т. е.  $6,023 \cdot 10^{23}$  и 96 496 кулонов.

#### § 4. Напряженность электрического поля

*Электрическим полем* называют особую форму материи, скрытые, еще не разгаданные движения которой проявляются в пространстве (даже в абсолютном вакууме) в виде *электрических сил*, т. е. сил, действующих на электрические заряды и вызываемых электрическими зарядами, причем величина этих сил *не зависит от скорости движения зарядов*. В рассматриваемой части электрического поля может и не быть электрических зарядов; но когда туда внесен «пробный» электрический заряд, он сразу оказывается под действием электрической силы, вызванной в данной точке поля зарядами, которые расположены в других частях поля.

Исследуя электрическое поле посредством пробного заряда, предполагают, что пробный заряд мал и что поэтому он не изменяет существенно поля.

Вектор, изображающий силу, которая действует в какой-либо точке пространства на единицу количества положительного электричества, называют *напряженностью* электрического поля.

Поскольку может оказаться, что единица количества электричества является зарядом, который недостаточно мал как «пробный» заряд для изучаемого электрического поля, то более точным определением напряженности поля будет такое определение: напряженность электрического поля — это вектор, указывающий направление силы, действующей на положительный пробный заряд, и численно равный отношению величины этой силы к величине пробного заряда.

Наряду с названием «напряженность поля» иногда употребляют также другое — *сила поля*<sup>1)</sup>.

Электрическое поле в каждой своей точке характеризуется определенным численным значением и направлением напряженности поля в этой точке.

Если в каком-либо месте электрического поля, где напряженность поля есть  $E$ , мы поместим заряд, содержащий  $Q$  единиц количества электричества, то сила  $F$ , действующая на этот заряд, будет, очевидно, направлена в ту же сторону, что и напряженность поля  $E$ , когда взятый нами заряд положителен, или в сторону прямо противоположную, когда он отрицателен; по величине сила  $F$  будет в  $Q$  раз больше напряженности поля:

$$F = QE. \quad (4)$$

Из закона Кулона вытекает, что напряженность поля точно того заряда  $Q$  в точке  $A$ , удаленной на расстояние  $r$  от заряда, численно равна

$$E = \frac{Q}{\epsilon r^2} \quad (5)$$

и направлена по радиусу-вектору, проведенному из точки, в которой находится заряд, в точку  $A$  (в сторону *от* заряда, если заряд положителен, и *к* заряду, если заряд отрицателен).

Когда на небольшом расстоянии друг от друга имеются два равных и противоположных по знаку заряда, т. е. в случае электрического *диполя*<sup>2)</sup>, напряженность поля в какой-либо точке, лежащей на оси диполя и удаленной от центра диполя на расстояние  $r$  (большое сравнительно с расстоянием  $\lambda$  между зарядами диполя), равна, очевидно, разности напряженностей полей, образованных

<sup>1)</sup> Понятие «напряженность» поля не следует путать с термином *напряжен* и *е*. В электротехнической литературе слово «напряжение» употребляется почти как синоним слова «потенциал» (понятие напряжения пояснено в §§ 11 и 26).

<sup>2)</sup> От греч. *di(s)* — *дважды* и *polos* — *полюс*.

зарядами диполя  $+Q$  и  $-Q$ :

$$E = \frac{Q}{\varepsilon \left(r - \frac{\lambda}{2}\right)^2} - \frac{Q}{\varepsilon \left(r + \frac{\lambda}{2}\right)^2} \approx 2 \frac{M_e}{\varepsilon r^3}, \quad (6)$$

где  $M_e = Q\lambda$  — момент диполя.

Таким образом, в точках, лежащих на оси диполя, напряженность поля пропорциональна моменту диполя и обратно пропорциональна кубу расстояния от центра диполя.

В направлении, проходящем через центр диполя и перпендикулярном к оси диполя, напряженность поля численно оказывается в два раза меньшей, т. е. равной  $\frac{M_e}{\varepsilon r^3}$ . (Ориентация вектора напряженности в различных точках поля, образованного диполем, показана на рис. 4, стр. 25.)

В общем случае, когда поле образовано несколькими зарядами (сколь угодно большим числом зарядов), для того чтобы найти напряженность поля, надо геометрически сложить, последовательно применяя правило параллелограмма, напряженности полей, образованных отдельными зарядами.

Абсолютной электростатической единицей напряженности  $E$  электрического поля является напряженность такого поля, которое действует на электростатическую единицу количества электричества с силой, равной 1 дине. Эта единица напряженности поля не имеет особого названия.

На практике пользуются единицей, в 300 раз меньшей, которую обозначают так: *вольт, деленный на сантиметр*, или в  $1 \text{ в/см}$  (§ 8).

Если от некоторой точки поля передвигаться по направлению напряженности поля в данном месте к смежной точке, затем от этой второй точки — по направлению напряженности поля в этой точке к третьей и т. д., то в поле будет описана линия, которая называется *силовой линией*. Направление силовых линий в каждой точке поля совпадает, таким образом, с направлением напряженности поля.

*Электрические силовые линии соответствуют путям, вдоль которых стал бы двигаться в электрическом поле точечный заряд (если бы он был лишен инерции).*

Силовым линиям следует приписать направление: за положительное принято то направление силовой линии, по которому стал бы двигаться положительный заряд; противоположное направление назовем отрицательным. Положительному направлению силовой линии соответствует направление от положительного заряда к отрицательному.

*Положительный электрический заряд есть источник силовых линий, отрицательный — место их вхождения.*

В «источниках» и «местах вхождения», т. е. в положительных и отрицательных зарядах, начинаются и кончаются силовые линии.

*Две силовые линии поля никогда не пересекаются; если бы они пересеклись, это означало бы, что одной и той же точке пространства соответствуют два различных направления силы поля, что, понятно, невозможно.*

В расположении и в форме силовых линий сказываются все особенности поля. Силовые линии поля, образованного уединенным точечным зарядом, расходятся по радиусам. Силовые линии между двумя наэлектризованными плоскостями представляют собой семейство параллельных прямых.

### § 5. Теорема Остроградского — Гаусса

Представление о силовых линиях позволяет внести наглядность и простоту в изучение электрических явлений.

Через каждую точку поля можно провести силовую линию. Число силовых линий ничем не ограничено; вычерчивая поле, их можно было бы рисовать и очень густо и, наоборот, на больших расстояниях друг от друга. Сделаем соглашение выбирать *густоту линий*, изображающих поле, так, чтобы эта густота определяла величину напряженности поля: будем проводить столько линий, чтобы *через каждый квадратный сантиметр сечения, перпендикулярного к линиям, проходило число линий, равное численному значению напряженности поля*. Если напряженность поля равна  $E$  единиц, то через  $1 \text{ см}^2$  поперечного сечения нужно провести  $E$  линий.

Этот способ изображения электрических полей обладает весьма важным достоинством: одни и те же линии изображают поле на всем его протяжении, причем по общему числу линий, выходящих наружу из какой-либо замкнутой поверхности, можно судить о количестве электричества, содержащегося в пространстве, ограниченном этой поверхностью.

В самом деле, окружим какой-либо точечный заряд  $Q$  шаровой поверхностью с радиусом  $r$ . Так как силовые линии поля направлены по радиусам, а поверхность шара везде перпендикулярна к радиусу, то через каждый квадратный сантиметр поверхности шара, по условию, должно проходить число линий, равное напряженности поля на этой поверхности, т. е.  $\frac{Q}{\epsilon r^2}$  линий, где  $\epsilon$  есть диэлектрическая постоянная среды (мы предполагаем, что среда однородна). Поверхность шара равна  $4\pi r^2$ . Следовательно, общее число линий  $N$ , выходящих наружу из всей шаровой поверхности, равно

$$N = 4\pi r^2 \cdot \frac{Q}{\epsilon r^2} = \frac{4\pi Q}{\epsilon}.$$

Для положительного заряда число линий  $N$  положительно, для отрицательного заряда  $N$  отрицательно, т. е. линии **в о д я т** в поверхность шара.