

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электрический заряд. Закон сохранения заряда

Электрический заряд — это связанное с телом свойство, позволяющее ему быть источником *электрического поля* и участвовать в *электромагнитных взаимодействиях*.

--- Существует *два типа электрических зарядов: заряды*, подобные возникающим на стекле, потертом о кожу (их назвали *положительными*), и заряды, подобные возникающим на эбоните, потертом о мех (их назвали *отрицательными*).

Все тела в природе способны электризоваться, т. е. приобретать электрический заряд. Электризация тел может осуществляться различными способами: соприкосновением (трением), электростатической индукцией и т. д. Как правило, процесс заряджения сводится к разделению зарядов, при котором на одном из тел (или части тела) появляется избыток положительного заряда, а на другом (или другой части тела) — избыток отрицательного заряда.

Электрический заряд — одна из *основных характеристик тел* — обладает следующими фундаментальными свойствами:

- *существует в двух видах*: положительный и отрицательный. Одноименные заряды отталкиваются, разноименные — притягиваются;
- *инвариантен*: величина заряда не зависит от системы отсчета, т. е. не зависит от того, движется он или покоится;
- *дискретен*: заряд любого тела составляет целое кратное *элементарному электрическому заряду e* ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл). *Электрон* ($m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг) и *протон* ($m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг) являются носителями элементарного соответственно отрицательного и положительного заряда;

- *аддитивен*: заряд любой системы тел (частиц) равен сумме зарядов тел (частиц), входящих в систему.

Единица электрического заряда в СИ — 1 **кулон** (1 Кл — электрический заряд, проходящий через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А за время 1 с). Кулон — *производная единица*.

В результате обобщения опытных данных и экспериментального подтверждения Фарадеем (1843) был сформулирован **закон сохранения электрического заряда**: общее количество зарядов обоих знаков, содержащихся в телах, не изменяется: эти заряды только перераспределяются между телами.

Замкнутой называют *систему*, не обменивающуюся зарядами с внешними телами.

Закон Кулона

Для описания взаимодействия электрических зарядов вводится **точечный заряд** — заряд, сосредоточенный на теле, линейные размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием до других заряженных тел, с которыми он взаимодействует. Это, конечно, *физическая абстракция*.

Закон взаимодействия *неподвижных* относительно друг друга точечных электрических зарядов — **закон Кулона** (1785) — установлен опытным путем: сила взаимодействия F между двумя неподвижными точечными зарядами, находящимися *в вакууме*, пропорциональна зарядам Q_1 и Q_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2}. \quad (63.1)$$

Сила \vec{F} , называемая также **кулоновской силой**, направлена по прямой, соединяющей взаимодействующие заряды, т. е. является *центральной*, и соответствует притяжению ($F < 0$) в случае разноименных зарядов (рис. 73, а) и отталкиванию ($F > 0$) в случае одноименных (рис. 73, б).

Кулоновские силы подчиняются третьему закону Ньютона (см. § 10), так как они равны по модулю; направлены противоположно друг другу вдоль прямой, соединяющей точечные заряды; действуют парами; являются силами одной природы; приложены к разным телам (зарядам).

В формуле (63.1)

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \quad (63.2)$$

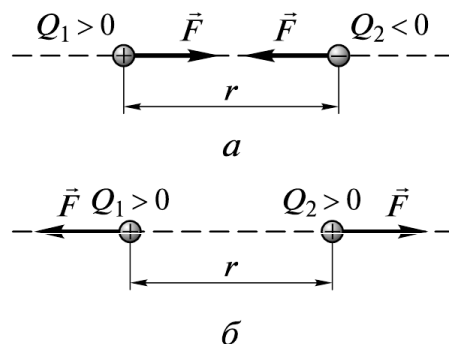


Рис. 73

— *электрическая постоянная*, относящаяся к числу *фундаментальных физических постоянных*, где фарад (Ф) — единица электрической емкости (см. § 76).

При решении задач удобно пользоваться величиной

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф.}$$

Точность выполнения закона Кулона на больших расстояниях, вплоть до 10^7 м, установлена с помощью спутников в околоземном пространстве. Считается, что закон Кулона должен соблюдаться и для больших расстояний, однако прямых экспериментов не проводилось. Этот закон выполняется и для малых расстояний, вплоть до 10^{-15} м (доказано в опытах Резерфорда).

Дальнейшие эксперименты по упругому рассеянию электронов с большими энергиями убедительно доказали выполнимость закона Кулона на расстояниях $\approx 10^{-17}$ м.

Напряженность электростатического поля

Если в пространство, окружающее электрический заряд, внести другой заряд, то на него будет действовать кулоновская сила (см. § 63), значит, в пространстве, окружающем электрические заряды, существует *силовое поле*, посредством которого взаимодействуют электрические заряды. *Поля*, создаваемые неподвижными электрическими зарядами, называют *электростатическими*.

Для обнаружения и опытного исследования электростатического поля используется *пробный точечный положительный заряд* — такой заряд, который не искажает исследуемое поле (не вызывает перераспределения зарядов, создающих поле).

Если в поле, создаваемое зарядом Q , поместить пробный заряд Q_0 , то на него действует сила \vec{F} , различная в разных точках поля, которая, согласно закону Кулона (63.1), пропорциональна пробному заряду Q_0 . Поэтому отношение $\frac{\vec{F}}{Q_0}$ не зависит от Q_0 и характеризует

электростатическое поле в той точке, где пробный заряд находится. Эта величина называется *напряженностью* и является *силовой характеристикой электростатического поля*. Подчеркнем, что напряженность не зависит ни от силы, ни от величины электрического заряда, а определяется только их отношением.

Напряженность электростатического поля в данной точке есть физическая величина, определяющая силу, действующую на единичный положительный заряд, помещенный в эту точку поля

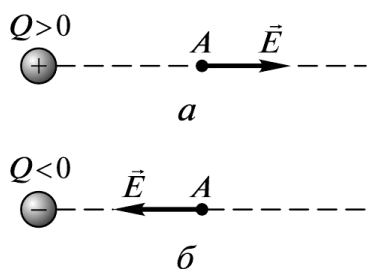


Рис. 74

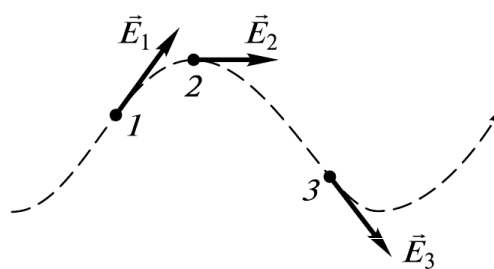


Рис. 75

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_0}. \quad (64.1)$$

Согласно формуле (64.1), единица напряженности электростатического поля в СИ — *ньютон на кулон* (Н/Кл); 1 Н/Кл — напряженность такого поля, которое на точечный заряд 1 Кл действует силой 1 Н; 1 Н/Кл = 1 В/м, где В (вольт) — единица потенциала электростатического поля (см. § 66).

Напряженность поля точечного заряда в вакууме

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

[учли выражения (64.1) и (63.1)].

Направление вектора \vec{E} совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд. Если поле создается положительным зарядом, то вектор \vec{E} направлен вдоль радиуса-вектора от заряда во внешнее пространство (отталкивание пробного положительного заряда, рис. 74, а); если поле создается отрицательным зарядом, то вектор \vec{E} направлен к заряду (рис. 74, б).

Электростатическое поле называют **однородным**, если его вектор напряженности в любой точке постоянен по модулю и направлению.

Графически электростатическое поле изображают с помощью **линий напряженности** — линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора \vec{E} (рис. 75). Им приписывается направление, совпадающее с направлением вектора \vec{E} в рассматриваемой точке линии. Так как в каждой данной точке пространства вектор напряженности имеет лишь одно направление, то линии напряженности никогда не пересекаются.

Если поле создается точечным зарядом, то линии напряженности — радиальные прямые, выходящие из заряда, если он положителен (рис. 76, а), и входящие в него, если заряд отрицателен (рис. 77, б).

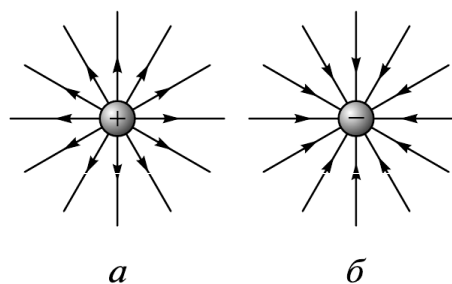


Рис. 76

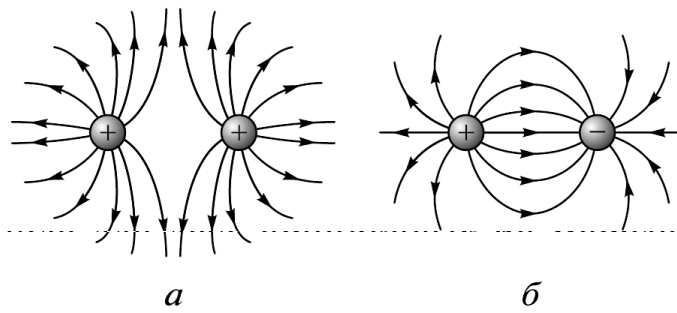


Рис. 77

Линии напряженности электростатического поля начинаются на положительных электрических зарядах и заканчиваются на отрицательных либо уходят в бесконечность.

На рис. 77 для примера показаны линии напряженности электростатического поля для двух *одинаковых по модулю* одноименных (рис. 77, *а*) и разноименных (рис. 77, *б*) точечных зарядов.