**Электростатическое поле в вакууме**

**1. Заряд и поле**

В настоящее время известны четыре типа взаимодействий: гравитационное, электромагнитное, ядерное (сильное), слабое. Они проявляются при различных расстояниях; гравитационное - сказывается лишь при больших массах тел и астрономических расстояниях; сильное - при малых массах и малых(10-15м) расстояниях.Слабое - проявляется при взаимном превращении частиц, и только электромагнитное взаимодействие существенно в тех пространственных масштабах, в которых мы живем. Поэтому для нас электромагнитное взаимодействие играет важную роль и, в определенном смысле, является главным**.**

Проявление этого взаимодействия связано с понятием заряда. Заряд - это аксиоматика в электромагнетизме. Два знака взаимодействия - притяжение и отталкивание - привели к двум знакам зарядов. Б. Франклин предложил, чтобы заряды одного типа (например, полученные при электризации стекла шелком) назывались положительными, другого - отрицательными. Заряд квантован: существуют наименьшие заряды  и . Элементарные носители этих зарядов: электрон и протон. Заряд электрона =1.6Ч10-19 Кл; заряд протона  с относительной точностью , т.е.

.

Заряды обладают следующими фундаментальными свойствами:

. Заряд сохраняется в замкнутой системе при всех процессах и движениях, связанных с носителями зарядов.

. Время жизни электрических частиц бесконечно, а их заряды инвариантны и не зависят от скорости.

Проявление зарядов - взаимодействие между заряженными телами, осуществляется через создаваемое вокруг заряда силовое поле. Если заряды неподвижны - поле электростатическое. Движущиеся заряды порождают магнитное поле.

**2. Закон Кулона**

В основе теории электростатического поля лежит закон, установленный Кулоном в 1785 г. путем прямых измерений сил взаимодействия между заряженными телами, размеры которых были много меньше, чем расстояния между ними (точечные заряды).

Сила взаимодействия двух точечных зарядов  и , находящихся на расстоянии , равна:

. (1.1)

где  (СИ).

Закон Кулона формулируется так: сила взаимодействия двух точечных зарядов пропорциональна произведению зарядов  и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Проверка справедливости закона и установление границ его применимости - одна из основных задач, так как этот экспериментальный закон положен в фундамент построения учения об электричестве.

Примерно за 11 лет до Кулона закон был получен Кавендишем на значительно более точных, но косвенных измерениях, однако его работа не была опубликована и оставалась неизвестной еще более 100 лет. Таким образом, в 1772 г. в экспериментах Кавендиша была выполнена первая проверка справедливости закона.

Представим закон в виде:

.

Задача сводилась к следующему: требовалось найти порядок малости . Кавендиш получил . Максвелл провел аналогичные опыты и нашел . Сейчас усовершенствованный метод Кавендиша позволяет считать .

Далее стоит вопрос о том, на каких расстояниях справедлив закон Кулона. Экспериментально установлено, что он выполняется вплоть до  м со стороны больших расстояний и до  м со стороны малых:

м.

В векторной форме закон Кулона запишем так:

, (1.2)

где  это сила со стороны заряда 1, действующая на заряд 2, -орт, направленный от  к . Соответственно, сила, действующая на заряд :



Эти две силы приложены в различных пространственных точках, хотя и равны по модулю. В случае системы зарядов действует принцип суперпозиции:

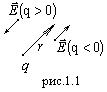
, , (1.3)

 - для трех зарядов.

В простейшей форме закон Кулона справедлив для точечных зарядов или равномерно заряженных шаров на соответствующих расстояниях. При этом не объясняется, каким образом один заряд влияет на другой. М. Фарадей, чтобы описать это влияние, ввел понятия «поля», создаваемого в пространстве зарядом (или системой зарядов). Такие силовые поля мы описываем, вводя понятие «напряженности».

**3. Напряженность поля**

Будем считать, что заряд создает вокруг себя в пространстве электрическое поле. Это поле обнаруживается при внесении в него других зарядов из-за действия на них силы Кулона. Рассмотрим действие заряда  на , разделив его на два этапа:



Точечный заряд  создает в пространстве электрическое поле, напряженность которого:

, (1.4)

где  - радиус - вектор точки определения поля,  - орт, направленный от заряда при .

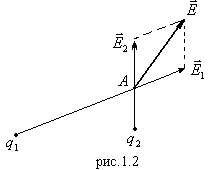
Точечный заряд , находящийся в точке измерения, испытывает действие силы:

. (1.5)

В таком случае, напряженность поля в точке - это величина, равная силе, испытываемой единичным пробным зарядом, помещенным в эту точку, со стороны поля.

Единицы измерений в СИ: F - Ньютон, q - Кулон, Е - В/м.

На основании (1.5) определение механической силы, действующей на заряд, сводится к определению поля , в котором находится заряд. F, E, q - определяются в одной точке (локально). Принцип суперпозиции применим для . Для системы зарядов:



.

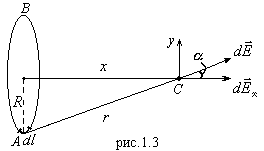
Напряженность поля любого числа точечных зарядов равна сумме напряженностей полей каждого точечного заряда.

При непрерывном распределении заряда по объему тела принцип суперпозиции можно записать в виде рис. 1.2

, (1.6)

где  - полный заряд тела объема V, - объемная плотность заряда.

Примеры.



1. Вычислить напряженность поля на оси тонкого равномерно заряженного зарядом q кольца радиуса R.

Выберем элементарный заряд, распределенный на длине :

.

Напряженность поля от этого элементарного заряда:

.

Из рис. 1.3 видно, что имеются две проекции

 -  и :

;

,

, (1.7)

,

так как для каждой точки А имеется симметричная точка В, заряд в которой создает противоположно направленную относительно у проекцию напряженности поля. При х>>R,  - т.е. совпадает с полем точечного заряда.

Найти поле равномерно заряженной прямой бесконечной нити. Линейный заряд нити .

Выберем элементарный заряд , распределенный на длине :

;

Напряженность поля, создаваемая этим зарядом в точке А, . Имеются две проекции  (см. рис. 1.5) -  и :

. (1.8)

Так как , то ; . Подставим  и  в формулу (1.8); учтем вторую половину нити и получим:

. (1.9)

 в силу симметрии задачи.

**4. Теорема Гаусса. Дифференциальная формулировка закона Кулона**

Введем понятие «потока вектора напряженности сквозь поверхность площади ».

. (1.10)

Направление  для поверхности, охватываемой контуром , выбирается по правилу буравчика. Для замкнутой поверхности:

. (1.11)

Для замкнутой поверхности в качестве положительного всегда выбирается направление  в сторону внешней нормали.

Определим поток вектора напряженности от точечного заряда q сквозь замкнутую поверхность, окружающую заряд.

По закону Кулона напряженность поля точечного заряда:

.

Тогда, подставив в (1.11), получим:

. (1.12)

Учтем, что , т.е. выражение в скобках представляет собой проекцию  на радиус-вектор. По определению,  - это телесный угол, под которым элемент  виден из начала отсчета радиуса - вектора (рис. 1.7).

Тогда

. (1.13)

Поток сквозь замкнутую поверхность вектора напряженности электрического поля равен заряду, заключенному внутри поверхности.

Если заряд находится вне замкнутой поверхности, то формула (1.12) не изменяется. Но теперь подынтегральное выражение принимает положительные значения в тех точках поверхности, где угол

, 

и отрицательные значения, когда:

, .

Поэтому:

.

В этом случае .

Обобщая, запишем:

 . (1.14)

Эта формула называется теоремой Гаусса для точечного заряда.

Обобщение на систему точечных зарядов производится с помощью принципа суперпозиции. Для системы точечных зарядов :

, 

Для  верна теорема Гаусса для точечного заряда, т.е.

,

где V - показывает, что суммируются лишь заряды, находящиеся внутри объема. Общая формула, выражающая фундаментальную теорему Гаусса, запишется теперь так:

. (1.15)

Поток вектора напряженности поля  через произвольную замкнутую поверхность равен полному заряду, расположенному внутри этой поверхности.

При непрерывном изменении заряда внутри объема заключен заряд:

,

где интегрирование производится только по объему, заключенному внутри замкнутой поверхности.

Физическая основа справедливости теоремы Гаусса связана с законом Кулона, так как для точечного заряда, к которому мы приводим вывод, в любом случае справедливой считается зависимость:



Таким образом, теорема Гаусса в вышеприведенном виде - это интегральная формулировка закона Кулона.

Запишем теорему Гаусса в дифференциальной форме.

В математике вводится понятие дивергенции вектора :

, (1.16)

где - бесконечно малая замкнутая поверхность, ограничивающая объем . Показывается, что:

, (1.17)

или, если ввести векторный оператор  (набла):

, (1.18)

. (1.19)

Разделив левую и правую части формулы (1.15) на  и учитывая, что объемная плотность заряда , получим:

, (1.20)

 - дифференциальная форма теоремы Гаусса.

Поток вектора  из элементарного объема равен объемной плотности заряда в нем. - Это локальная формулировка теоремы Гаусса.

Из формулировки следует понятие источника и стока . Вектор  начинается там, где , т.е. ; оканчивается там, где , .

Силовой линией электрического поля называется линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с вектором напряженности поля.

Понятие «силовая линия», как и понятие «поля», впервые было введено Фарадеем. Силовые линии можно «увидеть», если продолговатые кристаллики какого-либо диэлектрика (например, хинина) взболтать в вязкой жидкости (касторовом масле) и поместить в электрическое поле.

**Найти поле равномерно заряженного по объему шара. Объемная плотность заряда** 

В качестве гауссовой поверхности из соображения симметрии (см. пример 1) выберем сферу.

Если , то

,

.

Тогда:

. (1.24)

Если  - внутри замкнутой поверхности заключен весь заряд сферы:

.

Тогда:

. (1.25)

заряд поле вакуум электростатический

**Литература**

1. Вихман Э. Берклеевский курс физики. Квантовая физика. - М.: Наука, 2001.

. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. - М.: Наука, 2003.

. Гершензон Е.М. и др. Курс общей физики. т.т. 1-2. Механика. - М.: Академия, 2000.

. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс общей физики. - М.: Высшая школа, 1989

. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. - М.: Бином, 2004.

. Иродов И.Е. Механика. Основные законы. - М.: Лаборатория базовых знаний, 2001.

. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. - М.: Лаборатория базовых знаний, 2001.

. Калашников С.Г. Электричество. - М.: Наука, 2005.

. Китель И., Найт У., Рудерман М. Берклеевский курс физики. Механика. - М.: Наука, 2003.

. Матвеев А.Н. Курс физики. т.т. 1-4. - М.: Высшая школа, 1976-1989.

. Парселл Э. Берклеевский курс физики. Электричество и магнетизм. - М.: Наука, 1983.

. Рейф Ф. Берклеевский курс физики. Статистическая физика. - М.: Наука, 1989.

. Савельев И.В. Курс физики, т.т. 1-5. - М.: Наука, 2004.

. Сивухин Д.В. Общий курс физики, т.т. 1-5. - М.: Высшая школа, 2001.

. Трофимова Т.И. Краткий курс физики. - М.: Высшая школа, 2000.

. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. т.т. 1-9. - М.: Мир, 1978.

. Хайкин С.Э. Физические основы механики. - М.: Наука, 2003.

. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики, т.т. 1-2. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2000.