**Мир глазами Альберта Эйнштейна: электрический заряд и электромагнитные взаимодействия**

**Электростатические взаимодействия.**

Как и другие фундаментальные понятия физики, понятие заряда не может быть строго определено. По существу заряженными мы называем тела, способные участвовать в электромагнитных взаимодействиях. В общем случае эти взаимодействия достаточно сложны и зависят не только от взаимного расположения тел и их свойств, но и от скоростей движения. В простейшем случае, когда оба заряженных тела покоятся, взаимодействие между ними называются электростатическими. В случае точечных заряженных тел (т.е. тел, размеры которых малы по сравнению с расстоянием между ними) электростатические взаимодействия описываются законом Кулона:

Сила, действующая между двумя точечными покоящимися зарядами обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и направленными вдоль прямой, соединяющие эти частицы:

(1) .



Т.о. заряженными можно назвать такие тела, которые, находясь в покое, взаимодействуют с силой (1). Такая зависимость от расстояния отличает электростатические взаимодействия от ядерных, убывающих с расстоянием значительно быстрее.

Гравитационные силы, как и электростатические, убывают обратно пропорционально квадрату расстояния. Имеются следующие принципиальные различия между этими силами:

1. Электростатические силы существенно превосходят гравитационные (например, электростатическое притяжение электрона к ядру атома превосходит гравитационные в раз.



2. Электростатические силы могут быть как силами притяжения, так и отталкивания, в то время как гравитационные - только притяжения.

3. Величина гравитационных сил пропорциональна массам взаимодействующих тел, что приводит к специфическому для гравитации явлению невесомости. Подобной зависимости от массы в электростатических силах не наблюдается.

**Электрический заряд.**

Как уже упоминалось, электростатические взаимодействия могут приводить к появлению сил притяжения и отталкивания. Опыт показывает, что все заряженные частицы можно разбить на две группы так, чтобы любая пара из одной группы отталкивалась, а из различных - притягивалась. Частицы, входящие в одну группу с электроном условно были названы отрицательными, в другую - положительными. Для количественной характеристики способности частиц участвовать в электростатических взаимодействиях была введения скалярная величина электрический заряд таким образом, чтобы возникающая сила оказывалась пропорциональной произведению взаимодействующих зарядов:



(коэффициент пропорциональности в (2) зависит от выбора системы единиц). Введение знаков “+” и “-“ для различия двух типов зарядов оказалось весьма удобным, т.к. позволило описать притяжение и отталкивание при помощи одной математической формулы (2).

Весьма примечательным является факт, что электрические заряды всех относительно стабильных заряженных элементарных частиц равны друг другу по модулю. Это позволило ввести понятие элементарного заряда (е). До настоящего времени не обнаружено способных существовать обособленно элементарных частиц с зарядом, не кратным элементарному (имеются основания полагать, что сами элементарные частицы “составлены” из “субчастиц” - кварков, заряды которых кратны e/3, однако до сих пор свободные кварки в экспериментах не обнаружены). Величина заряда любого макроскопического тела определяется разностью составляющих его положительных и отрицательных частиц и, разумеется, кратна элементарному заряду. Говорят, что электрический заряд дискретен.

Существование элементарного заряда делает привлекательным выбор такой системы единиц, в которой он равнялся бы единице. Однако, по историческим причинам и из соображений удобства ведения технических расчетов в качестве единицы заряда была выбрана другая, гораздо большая величина (единица заряда в системе Си превосходит элементарный в раз, в системе Гаусса заряд выбирается так, чтобы коэффициент в законе Кулона (2) равнялся 1).



Другим свойством электрического заряда является абсолютно точно выполняемый закон его сохранения: в замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов не изменяется во времени. Этот закон нетривиален, поскольку закона сохранения носителей зарядов (элементарных частиц) не существует: они могут превращаться друг в друга. Однако, при взаимопревращениях частиц суммарный заряд остается постоянным. Реакция типа



невозможна. Отсутствие экспериментальных данных о существовании некоторых допускаемых законом сохранения электрического заряда реакций превращения элементарных частиц делает привлекательным введение новых типов зарядов (лептонный, странность, очарование и т.д.), и соответствующих им законов сохранения.

**Концепция поля.**

Заряженные частицы взаимодействуют друг с другом на расстоянии в пустом пространстве. Возникает вопрос о механизме возникновения этих сил. Достаточно естественной выглядит полевая концепция, согласно которой каждый заряд создает вокруг себя в пространстве “нечто”, называемое электрическим полем, а действующая на другой заряд сила возникает вследствие его взаимодействия с полем в той точке пространства, где он находится. Т.о. поле выступает в роли переносчика взаимодействия между заряженными частицами.

В пользу объективного существования поля свидетельствуют следующие факты:

1. Конечность скорости распространения изменения поля, вызванного изменением его источника.

2. Наличие энергии в “пустом” пространстве, заполненным полем, которое в принципе может быть зарегистрировано не только при помощи электростатических взаимодействий.

3. Возможность существования поля после исчезновения его источника.

Введенная для электромагнитных взаимодействий, полевая концепция оказалась весьма удобной. Она позволяет разбивать задачу о взаимодействии тел на две: расчет поля в точке расположения частицы и расчет силы, возникающей при ее взаимодействии с этим полем. В настоящее время понятие поля используется для описания всех типов фундаментальных взаимодействий.

Электростатическое поле и его свойства. Электростатическое поле создается заряженными частицами. В случае нескольких частицы выполняется принцип суперпозиции: полное поле равно сумме полей, создаваемых каждым из источников. Количественной характеристикой электростатического поля является вектор напряженности Е, равный по определению силе, действующей со стороны поля на единичный заряд, помещенный в рассматриваемую точку пространства.

(4)



Графически поле удобно изображать в виде силовых линий, кривых, в каждой точке которых вектор Е направлен по касательной. Величина напряженности определяется густотой линий. Линии вектора Е начинаются на положительных зарядах или на бесконечности, оканчиваются - на отрицательных или на бесконечности. Замкнутых линий электростатического поля не существует (рис. 9\_1)

Потенциал электростатического поля.. Поля с перечисленными свойствами типа называются потенциальными, поскольку для помещенных в них тел может быть введено понятие потенциальной энергии как работы сил поля по перемещению заряда в точку, принятую за нулевую. При этом потенциальная энергия оказывается пропорциональной величине заряда помещенного в поле тела. Это позволяет ввести характеризующее только поле понятие потенциала как энергии единичного заряда в рассматриваемой точке:

(4) ,



где символ “( , )” использован для обозначения операции скалярного произведения векторов, определяемой равенством:

(5) ;



в простейшем геометрическом представлении вектором в виде стрелок скалярное произведение числено равно произведению длин векторов на косинус угла между ними.

Потенциал в системе единиц Си измеряется в вольтах . Человек способен ощущать разность потенциалов около 1В. Напряжение (разность потенциалов), превосходящее 30В, считается опасным для жизни.

Движение частиц в электростатических полях. Электрические силы (F=QE), направленные вдоль поля (в случае положительно заряженных частиц) и против (в случае отрицательных), способны изменять скорость зарядов как по величине, так и по направлению. Это обуславливает широкое использование электростатических полей для разгона и управления движением заряженных частиц. Так в электронно-лучевых трубках телевизоров и осциллографов электроны создаются и разгоняются в заряженном до разности потенциалов ок.30кВ конденсаторе - электронной пушке и посылаются в нужную точку флюоресцирующего при их ударах ударах экрана при помощи изменяемых во времени полей в конденсаторах, образующих отклоняющую систему (рис. 9\_2).

Магнитные взаимодействия. Опыт показывает, что силы, возникающие между зарядами при их движении, отличаются от электростатических. Для описания возникающих отличий был введен новый тип взаимодействий - магнитные и их переносчик - магнитное поле. Для количественного магнитных полей был введен вектор магнитной индукции В так, чтобы действующая на движущейся со скоростью v заряд Q сила вычислялась по формуле:

(6) ,



где символ “[ , ]” использован для обозначения операции векторного умножения, определяемой в трехмерном случае соотношением:

(7)



и представляет собой вектор, числено равный площади параллелограмма, построенного на перемножаемых векторах, и направленный перпендикулярно его плоскости в стороны, определяемую по правилу правой руки (рис. 9\_3).

Магнитное поле и его свойства. Магнитные поля создаются движущимися зарядами, подчиняются принципу суперпозиции и могут быть рассчитаны согласно:

(8) .



Обычно магнитные поля изображают с помощью линий, в каждой точке которых вектор В направлен по касательной. В случае движущегося равномерно и прямолинейно заряда линии В представляют собой семейство окружностей с центрами, лежащими на его траектории (рис. 9\_4). В общем случае линии магнитного поля представляют собой замкнутые кривые, нигде не возникающие и не обрывающиеся. Поля с такими свойствами называют вихревыми.

Движение заряженных частиц в магнитных полях в общем случае происходит по винтовым траектория, “накрученным” на линии В (рис.9\_4). Радиус кривизны траектории (при заданном поле) определяется перпендикулярной полю составляющей начальной скорости и удельным зарядом частицы (q/m), период вращения определяется только удельным зарядом, шаг траектории - направленной по полю составляющей скорости. При движении в магнитном поле кинетическая энергия частиц не меняется, действующие силы вызывают лишь изменения направления движения. Магнитные поля широко используются для управления пучками заряженных частиц (магнитная фокусировка в электронно-лучевых трубках), их сортировке по скоростям (монокинетизации электронных пучков) или удельным зарядам (масс-спектроскопия, пузырьковые камеры в магнитных полях и т.д.).

Магнитное поле Земли предохраняет биосферы от попадания опасных для жизни потоков заряженных частиц, приходящих из космоса. Эти частицы, закручиваясь вокруг линий В, “путешествуют” от одного магнитного полюса планеты к другому за среднее время порядка. 1.5 с.

Электрические и магнитные поля в веществе. С точки зрения теории электричества вещество при нормальных условиях можно рассматривать как вакуум с относительно небольшим количеством связанных зарядов и молекулярных токов. Первые представляют собой главным образом совокупности положительно заряженных ядер и окружающих их отрицательно заряженных электронных облаков; вторые - обусловлены движением электронов в атомах и специфическим (присущим микрообъектам) внутренним движением - спином. Полные электрическое и магнитное поля в веществе является суперпозицией внешних полей (создаваемых “свободными” зарядами и токами) и полей, создаваемых зарядами вещества. При отсутствии внешнего поля заряды и токи в веществе обычно распределяются так, что их средние электрическое и магнитное поля оказываются равными нулю. Внешние поля вызывают перераспределение связанных зарядов и молекулярных токов и, как следствие, появление дополнительных полей в веществе.

В большинстве веществ (диэлектрика) отрицательно заряженные электроны достаточно крепко связаны электрическими силами с положительными ядрами, и внешнее поле не способно привести к значительному перераспределению зарядов. В таких веществах электрическое поле оказывается меньшим по сравнению с полем, которое создавали бы свободные заряды в вакууме. В металлах электроны способны практически беспрепятственно перемещаться и под действием электрического поля двигаются до тех пор, пока не создадут в веществе конфигурации, при которой полное поле обратится в 0. В диэлектриках электрическое поле ослабевает, в металлах равно 0.

По отношению к реакции на внешнее магнитное поле вещества подразделяются на диамагнетики (ослабляют магнитное поле), парамагнетики (поле в веществе незначительно увеличивается) и ферромагнетики (поле возрастает в десятки тысяч раз и не исчезает после выключения внешнего поля). В отличие от электростатики, непротиворечивая теория магнитных свойств вещества может быть изложена лишь на языке квантовой механики.