

Взаимодействие дипольных и многодипольных систем. Гравитационные поля.

Н. Г. Зуб¹⁾

28 января 2014 г.

Анализируется взаимодействие поля диполя с однородным и неоднородным электрическим полем, с полем диполя, с полями многодипольных систем.

Для анализа сил действующих на диполь в электрических однородных и неоднородных полях возьмём систему состоящую из двух равных по абсолютной величине, но разноимённых: одного положительного $+p$ и одного отрицательного $-e$ электрических зарядов связанных между собой нерастяжимой нитью, т. е. находящихся на постоянном расстоянии l друг от друга. Такую пару принято считать диполем – двойным полюсом. Будем считать, что заряды спаренные в диполь между собой не взаимодействуют, а каждый из зарядов сосредоточен в одной точке, т. е. является точечным зарядом. Диполь – идеализированная система, служащая для приближённого описания распространения поля. В электродинамике поведение электромагнитного поля, генерацию магнитного поля движущимся электроном, взаимодействие электрических и магнитных зарядов хорошо описывает система уравнений Максвелла [1, 2]. Вдали от диполя напряжённость электрического поля диполя убывает с расстоянием как ($\sim \frac{1}{R^3}$), то есть быстрее, чем поле точечного заряда ($\sim \frac{1}{R^2}$). Из-за большой разницы отношения в эквивалентах массы протона и электрона $\frac{M_p}{M_e}$, которая составляет примерно 1836.15, подвижность отрицательного заряда намного превышает подвижность положительного заряда [3], поэтому можно считать, что положительный заряд неподвижен, а отрицательный вращается вокруг него.

1. Диполь в однородном электрическом поле.

Электрический дипольный момент, физическая величина, характеризующая свойства диполя, равная произведению положительного заряда электрического диполя на расстояние между зарядами и направлена от отрицательного заряда к положительному $\vec{d} = p \vec{l}$.

Поместим диполь во внешнее однородное электрическое поле \vec{E} , а поле самого диполя учитывать не будем.

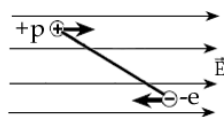


Рис. 1.

Во внешнем электрическом поле \vec{E} на диполь действуют силы приложенные к противоположным концам диполя направленные в разные стороны, стремящиеся переместить положительный заряд вправо, а отрицательный влево.

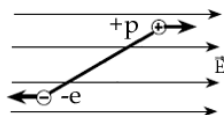


Рис. 2.

В результате, однородное внешнее электрическое поле \vec{E} создает вращающий момент, стремящийся повернуть диполь так, чтобы дипольный момент \vec{d} развернулся вдоль направления поля.

¹⁾nick@zoub.ru

2. Диполь в поле точечного заряда.

Посмотрим на силы действующие на диполь в неоднородном электрическом поле. В качестве неоднородного поля возьмем поле точечного заряда $+p'$.

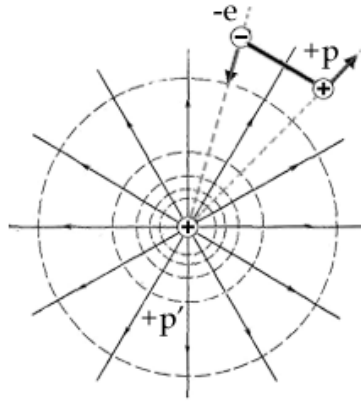


Рис. 3.

В поле точечного заряда силы приложенные к двум концам диполя, не будут совершенно одинаковыми, но будут противоположно направленными относительно точки неподвижного положительного заряда $+p'$ создающего поле.

В этой схеме, кроме вращающего момента, действует сила, стремящаяся втянуть диполь в область более сильного поля.

3. Отрицательный заряд в поле диполя.

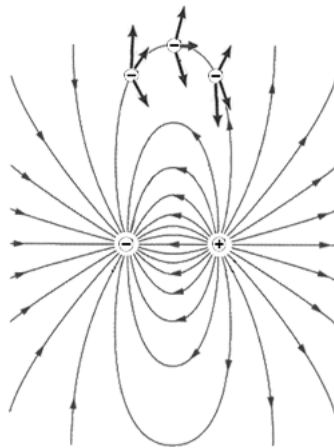


Рис. 4.

Напряженность поля системы зарядов равна векторной сумме напряженностей полей, которые создавал бы каждый из зарядов системы в отдельности, поэтому из рис. 4 видно, что движение отрицательного заряда находящегося в поле диполя не будет хаотическим, и под действием сил отрицательный заряд будет перемещаться вправо вдоль направления силовых линий.

4. Диполь в поле диполя.

Расположим два диполя, так как представлено в схеме на рис. 5.

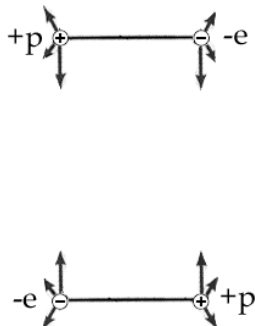


Рис. 5.

В анализируемой схеме мы видим, что одноименные заряды находятся на большем расстоянии, чем разноименные, а значит и величина силы действующей на любой из элементов со стороны одноименного заряда будет меньше, чем величина силы действующей со стороны разноименного заряда другого диполя. Эта схема характерна тем, что при таком расположении зарядов, между двумя диполями будут действовать силы сближающие эти два диполя друг к другу, до тех пор пока силы притяжения не уравновесятся с силами отталкивания. Так же эта ориентация диполей имеет минимальную потенциальную энергию, для поворота любого из диполей в любое другое положение необходимо затратить энергию. Поэтому, это положение диполей является энергетически устойчивым, так как обладает меньшим запасом энергии и поэтому является предпочтительным.

Следует отметить, что именно положение отображенное на рис. 5 является состоянием устойчивого равновесия. Диполи из любых других положений стремятся повернуться так, чтобы занять это положение. А все другие положения являются неустойчивыми.

Теперь предположим, что один из диполей зафиксирован в неподвижном положении или с ним связана система координат. А так как подвижность отрицательного заряда намного превышает подвижность положительного заряда, расположим положительный заряд второго диполя в любой точке пространства и тоже зафиксируем в неподвижном положении, а отрицательный заряд будет иметь возможность вращаться вокруг этой точки в любом направлении, образуя сферу.

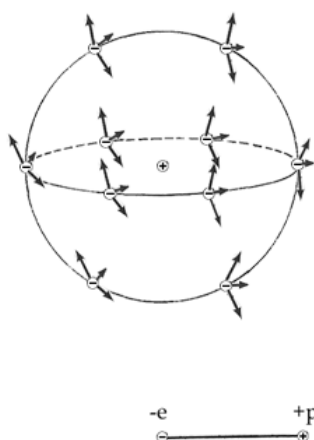


Рис. 6.

Для анализа возможного местоположения отрицательного заряда, проведем через нижний диполь и через этот отрицательный заряд плоскость. В результате в этой плоскости, независимо от того, в какой точке образуемой сферы не располагался бы заряд, получится однотипный упрощенный фрагмент,

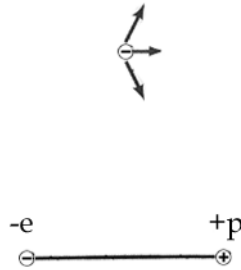


Рис. 7.

который представляет из себя, рассмотренный нами ранее отрицательный заряд в поле диполя (Рис. 4).

Разложим силу действующую на отрицательный заряд на составляющие, для этого проведем через отрицательный заряд координатные оси: x - параллельно, а y - перпендикулярно к прямой проведенной через зафиксированный диполь и посмотрим проекции действующей на заряд силы. В каком месте пространства не был бы размещен заряд, будет действовать две составляющих силы, одна из них притяжение или отталкивание, это зависит от положения заряда относительно неподвижного диполя, в левой части схемы будут преобладать силы отталкивания, в правой части - притяжения, вторая составляющая будет направлена в сторону и представлять из себя вращающий момент, стремящийся развернуть верхний диполь (Рис. 6), к которому она приложена. Поэтому, вероятность положения, в котором одноименные заряды максимально удалены, а разноименные максимально сближены выше, чем противоположного, а значит силы притяжения будут преобладать над силами отталкивания. Если вместо отрицательного заряда плоскость проводить через положительный заряд, то действующая на положительный заряд сила будет направлена в противоположную сторону, однако подвижность положительного заряда низкая.

5. Диполь в поле многодипольной системы.

Рассмотрим другую схему. В одном месте в неподвижном положении зафиксируем набор из трех диполей, причем положительные заряды расположим в центре оси. В другом месте оси закрепим положительный заряд четвертого диполя, но этому диполю предоставим возможность вращаться вокруг оси.

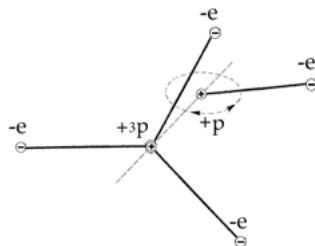


Рис. 8.

Как видно из этой схемы, наиболее устойчивыми, являются три положения, в которых отрицательный заряд четвертого диполя располагается на максимально возможном расстоянии от двух ближайших отрицательных зарядов первого набора диполей. На поведение этого диполя оказывают основное влияние только эти два ближайших одноименных заряда, влияние остальных зарядов можно игнорировать. Положение в котором между отрицательными зарядами минимальное расстояние будет неустойчивым.

Силы действующие в этой системе диполей будут стремиться установить эти наборы именно к положению имеющему минимальную потенциальную энергию и являющимся более устойчивым.

Выводы: Для правильного и полного описания взаимодействия диполей, нельзя рассматривать движение электрона вокруг ядра как хаотическое. Любой атом можно представлять как многодипольный набор, причем все положительные заряды которого находятся в одной точке, а отрицательные заряды на максимально возможном удалении друг от друга. Газ, жидкость или твердое тело можно рассматривать в виде матрицы или суммы таких наборов диполей. Каждый элемент такой многодипольной системы будет создавать электростатические силы не только для каждого элемента своей, но и для каждого элемента всех соседних систем. Во многих случаях электрический диполь является хорошим приближением для описания макроскопических систем на больших по сравнению с размерами диполя расстояниях, при этом расстояние между взаимодействующими друг с другом элементами может достигать огромных расстояний. А так как электроны находятся в постоянном движении, вращаясь вокруг ядер, то движение всех электронов во всех системах, а не только в изучаемой системе должно происходить синхронно, поэтому нельзя игнорировать влияние и очень удаленных свободных зарядов. В результате взаимодействия друг с другом полей этих систем, такие системы будут стремиться преимущественно занять положение, в котором расстояние между одноименными зарядами максимально, а между разноименными зарядами минимально. А в этом и вблизи этого положения результирующая сумма всех сил электростатических полей действующих на каждую взаимодействующую систему будут направлены друг к другу. Практически соотношение сил электростатических к силам гравитационным близко к $4.17 * 10^{42}$ и связано с наличием массивов соседних диполей, имеющих фоновое влияние и определяющих коэффициент этого соотношения.

После изучения данных дипольных систем можно утверждать, что данные схемы подтверждают, что гравитационные поля, так же как и электромагнитные являются частным случаем электростатических полей.

Именно, поэтому электростатическое поле по своим свойствам очень похоже на гравитационное, да и фундаментальные законы описывающие эти поля, закон Кулона и закон всемирного тяготения аналогичны.

Список литературы

1. J. C. Maxwell, "On Physical Lines of Force", Scientist Papers , 482 (1864), Vol. 1, [45].
2. J. C. Maxwell, Treatise on Electricity and Magnetism, Oxford Univ. Press, (1873).
3. Paul Langevin, Ann. Chim. Et phys., **28**, 317, (1903); **5**, 245 (1905).