Имитационная лабораторная работа

Изучение потенциала электрического диполя

Цель работы: Измерение потенциала реального диполя и сравнение его с потенциалом точечного диполя.

Инструменты: Компьютерная программа «Открытая физика»

Теоретическая часть

Электростатическое поле обладает двумя характеристиками: *силовой* – напряженностью электрического поля **E** и *энергетической* – потенциалом φ. Напряженность электрического поля численно равна силе, действующей на положительный точечный заряд и отнесенной к величине этого заряда:

$$\mathbf{E}=\mathbf{F}/q;$$

потенциал численно равен потенциальной энергии заряда $E_п$ в электростатическом поле, отнесенной к величине этого заряда:

$$\varphi=E_п/q$$

Согласно закону Кулона для точечного заряда, находящегося в вакууме

$$E=kq/r^2$$

$$\varphi=kq/r.$$

Здесь $k = 9\cdot10^9$ Н•м^2/Кл^2, q – величина заряда, r- расстояние от заряда до точки, где определяется напряженность электрического поля или потенциал.

Если электрическое поле создано совокупностью точечных электрических зарядов, то согласно принципу суперпозиции

$$\mathbf{E}=\mathbf{E_1}+\mathbf{E_2}+\ldots=\sum\mathbf{E_i}\ .$$

Равным образом, принцип суперпозиции выполняется и для потенциала:

$$\varphi=\varphi_1+\varphi_2+\ldots=\sum\varphi_i\ . \qquad (1)$$

Воображаемые линии в пространстве, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора E, называются силовыми линиями (линии со стрелками на рис. 3,4).

Важное значение в медицинской практике приобрело электрическое поле **диполя.** Диполем будем называть два точечных заряда q, равных по абсолютной величине, но противоположных по знаку, находящихся на расстоянии d друг от друга. Величина d получила название плеча диполя, а вектор $\mathbf{p}=q\mathbf{d}$ - дипольного момента. За направление диполя принято направление от отрицательного заряда к положительному (рис.1).

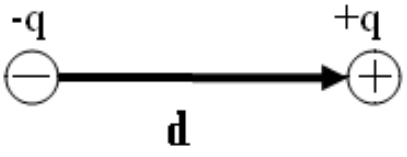

Рис.1

Электрическими диполями являются полярные молекулы, например молекула воды, совокупность диполей представляют мембраны клеток, в том числе клетки сердечной мышцы – миокарда. Потенциал реального диполя может быть найден по формуле (1), где под знаком суммы находятся всего два слагаемых:

$$\varphi_d = qk(1/r_1-1/r_2) \qquad (2)$$

Если расстояния r_1 и r_2 будут много больше плеча диполя l, то можно показать [1], что потенциал может быть найден по приближенной формуле(см. рис.2):

$$\varphi_d \approx kp\cos\theta/r^2, \quad (3)$$

где r – среднее расстояние от диполя до точки,

θ – угол, который составляет вектор **p** с радиусом - вектором **r.**

Такой диполь получил название точечного. Целью работы является определение потенциала диполя по формуле (2) («измеряется» с помощью компьютера) и сравнение его с рассчитанным значением по формуле (3).

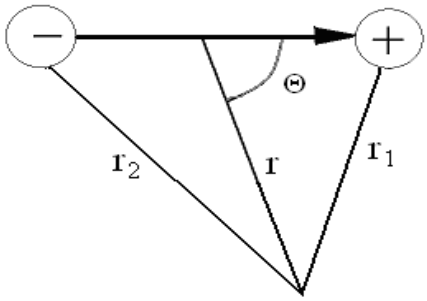

Рис.2

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ:

КОМПЬЮТЕР ДОЛЖЕН БЫТЬ ВКЛЮЧЕН ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ ИЛИ ЛАБОРАНТОМ.

1. На рабочем столе ПК активировать программу «Открытая физика» → «Электричество и магнетизм» → «Электрическое поле точечных зарядов».
2. В окне «Электрическое поле точечных зарядов» установить расстояние d между зарядами равным 2 м, величины зарядов q_1= 5 мкКл и q_2 =-5 мкКл. Также должны быть установлены флажки «Силовые линии», «Эквипотенциали» и переключатель «Конфигурация» на «Два заряда».

Перемещая указатель мыши по рабочему полю окна и нажимая левую клавишу мыши, можно определить потенциал получившегося диполя в любой точке. Однако в работе требуется снять зависимость потенциала от расстояния r от центра диполя до указателя при заданном угле θ. Расстояние r можно определить косвенным образом, «измерив» потенциал одиночного заряда q, помещенного в «центр» диполя. Поскольку в этом случае

$$\varphi = kq/r,$$

из последней формулы можно найти r:

$$r=kq/\varphi, \quad (4)$$

«Измеряя» потенциал φ вдоль выбранной силовой линии находим r, а по наклону силовой линии – можно определить cos θ и определить приблизительное значение потенциала по формуле (3).

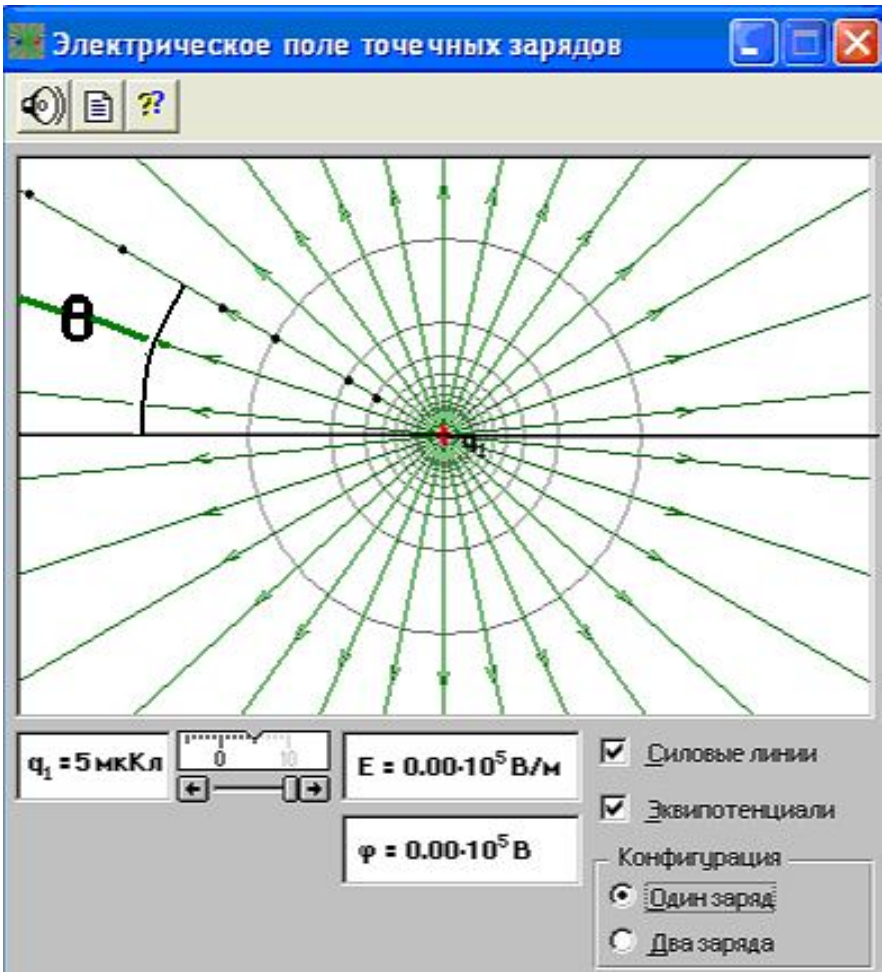

Рис.3

3. Переключатель «Конфигурация» переключите на «Один заряд» и перейдите в режим отображения потенциала единичного заряда. Подведя указатель мыши к первой от центра выделенной на рис. 3 черной точке, нажав и удерживая левую клавишу мыши, снимите показание потенциала φ и запишите его в первый столбец таблицы 1. Затем, ***не передвигая мышь*** (это важно!), нажмите на клавиатуре клавишу ↓, перейдя в конфигурацию «два заряда» (рис.4) снимите показания потенциала от диполя в этой же точке нажав левую клавишу мыши. Значение потенциала φ_d занесите в третий столбец таблицы 1.
4. Переключатель «Конфигурация» снова переключите на «Один заряд» и продолжите измерения в следующих точках № 2,3…6 силовой линии, указанной на рис. 3.
5. Пользуясь формулой (4) для каждого значения φ вычислите и занесите в столбец 2 таблицы значения расстояния r от рассматриваемой точки до заряда.
6. Пользуясь рис.3 данного методического пособия и измеряя необходимые расстояния линейкой, определите cos θ. Напомним, что cos θ – это отношение прилежащего катета к гипотенузе. Из рисунков 4 и 3 видно, что направление вектора дипольного момента p совпадает с горизонтальной линией на рисунке 3. Для всех точек значение cos θ для данной силовой линии одинаково! Выполните и запишите расчет.

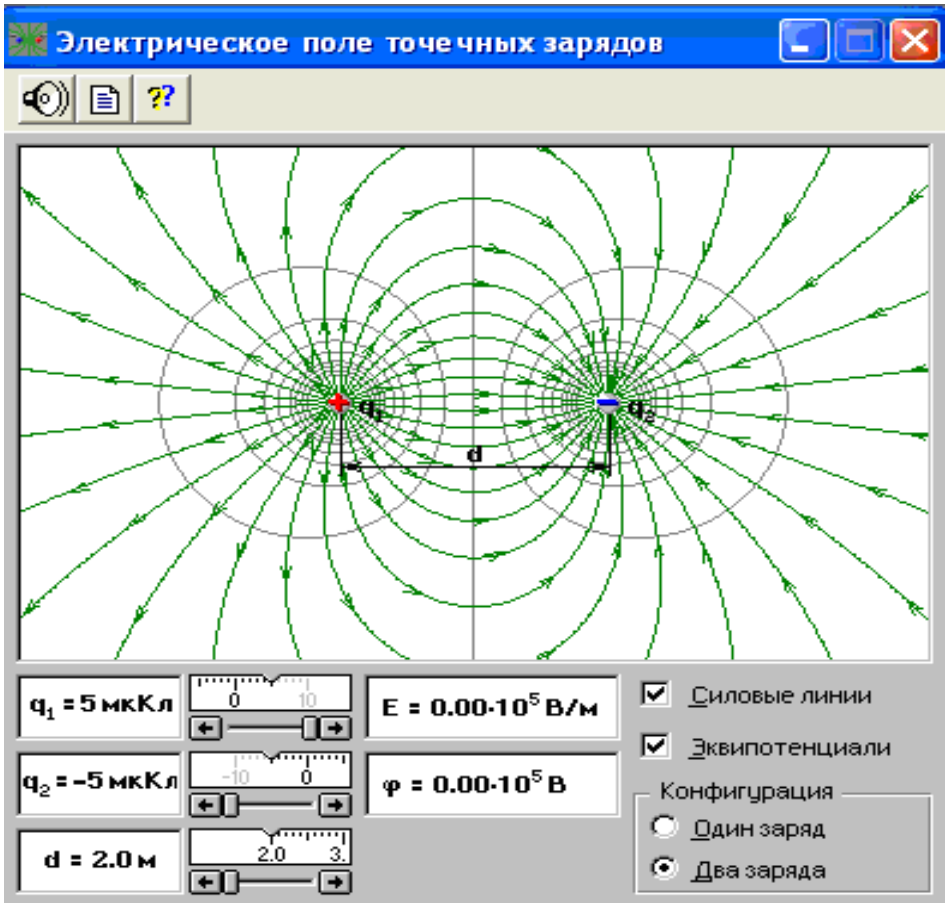

Рис.4

7. По формуле p=qd рассчитайте величину дипольного момента.
8. Зная p, cosθ и r, рассчитайте для каждого r по формуле (3) значение φ_d (потенциал точечного диполя) и занесите его в четвертый столбец таблицы.
9. Постройте график зависимости от расстояния r потенциала реального диполя и график для точечного диполя. Убедитесь, что на больших расстояниях потенциалы, рассчитанные по формулам (2) и (3) совпадают. Найдите на графике минимальное расстояние r, при котором значения потенциалов реального и точечного диполей различаются менее чем на 10%.
10. Сделайте выводы по работе.

Таблица 1

1	2	3	4
φ(точ.заряд) 10^5, В	r, м	φ_d (реал) 10^5, В	φ_d (точечн) 10^5,в

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение диполя
2. Как направлен вектор дипольного момента?
3. От чего зависит потенциал точечного диполя?
4. Почему при увеличении расстояния r потенциал реального диполя сначала увеличивается, а затем уменьшается?
5. Чему равен потенциал диполя на оси, перпендикулярной дипольному моменту и проходящей через середину диполя?
6. Как изменится потенциал точечного диполя, если при прочих равных условиях расстояние от диполя увеличить в два раза?

Литература:

1. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. М., Высшая школа, 1999 г., 256 с.