

Работа №

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОЧЕЧНОГО ЗАРЯДА С ПРОВОДЯЩЕЙ ПЛОСКОСТЬЮ

Дифференциальное уравнение для потенциала (уравнение Пуассона) имеет вид

$$\Delta \varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}, \quad (1)$$

где Δ – оператор Лапласа, а ρ – объемная плотность распределения заряда. Если заряды сосредоточены на проводниках, а в пространстве между проводниками зарядов нет, то уравнение Пуассона переходит в следующее уравнение, которое носит название уравнения Лапласа:

$$\Delta \varphi = 0. \quad (2)$$

Основная задача электростатики заключается в определении функции $\varphi(x,y,z)$, которая удовлетворяет уравнению (2), а также определенным граничным условиям. Граничные условия – это значения $\varphi(x,y,z)$ во всех точках поверхности, охватывающей область, в которой определена функция φ . При этом на поверхности, удаленной в бесконечность, потенциал φ принимается равным нулю. На проводящих поверхностях могут быть заданы потенциалы каждого проводника или величина полного заряда на каждом проводнике. Объемные заряды предполагаются отсутствующими, ибо заряды проводников сосредоточены на их поверхности. В теории доказывается, что существует только одна функция $\varphi(x,y,z)$, удовлетворяющая уравнению Лапласа и принимающая на границах заданные значения, т.е., что решение задачи единственно. Однозначность решения позволяет заключить, что как угодно найденная любая функция $\varphi(x,y,z)$, являющаяся решением уравнения (2) и удовлетворяющая граничным условиям есть единственное и потому истинное решение задачи. Свойство единственности решения уравнения для потенциала позволяет в ряде случаев найти это решение при помощи метода изображений.

Метод изображений – это способ решения основной задачи электростатики, основанный на подмене исходной конфигурации проводников некоторым другим распределением зарядов, потенциал которого на поверхности проводников и в бесконечности совпадает с

граничными условиями исходной задачи. Новая задача, разумеется, должна иметь простое решение. Поскольку решение при данных граничных условиях единственно, то оно является и решением исходной задачи.

Пусть точечный заряд q находится на расстоянии d от бесконечного проводника в виде плоскости и требуется определить поле в правом

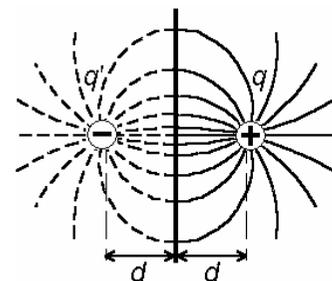


Рис. 1

полупространстве (рис. 1). Заряд точечного проводника задан и равен q . Потенциал проводника, уходящего в бесконечность, естественно принять за нуль. Этими условиями решение определяется однозначно. Чтобы найти это решение, предположим, что на продолжении перпендикуляра, опущенного из заряда на поверхность проводника, на расстоянии d находится заряд $q' = -q$ (см. рис. 1) и затем мысленно уберем сам проводник. Тогда плоскость, совпадавшая ранее с поверхностью проводника, будет обладать требуемым нулевым потенциалом, ибо все точки этой плоскости будут равно отстоять от равных по величине и противоположных по знаку зарядов. Стало быть, поле совокупности этих зарядов в правом полупространстве удовлетворяет условиям задачи, из чего на основании того, что решение единственно следует, что поле это в правом полупространстве тождественно искомому полю заряда q и зарядов, индуцированных им на поверхности бесконечного проводника. Таким образом, задача сведена к простой задаче двух зарядов.

В работе измеряется сила взаимодействия заряженного небольшого сферического проводника, принимаемого за точечный заряд, с зарядом, индуцированным им на заземленной проводящей плоскости. Исходя из вышесказанного, следует, что эта сила должна быть равна силе взаимодействия двух одинаковых по величине зарядов противоположного знака, разделенных расстоянием, в два раза превышающим расстояние заряда от плоскости.

Приборы и оборудование

Для зарядки сфер в работе используется высоковольтный источник (рис. 2). Одна из выходных клемм источника (+ или –) соединяется с общей точкой (центральной клеммой), и тогда на высоковольтный электрод, которым заканчивается присоединенный к другой клемме кабель, подается высокое напряжение противоположной полярности. Если прикоснуться к высоковольтному электроду проводником, то проводник приобретет заряд, пропорциональный потенциалу электрода. Выходное напряжение источника может быть установлено от 0 до 25 кВ. Несмотря на то, что источник является высоковольтным, опасности для жизни и здоровья он не представляет. Дело в том, что емкость выходных цепей источника чрезвычайно мала, т.е. он не может обеспечить ток, вызывающий серьезное физиологическое воздействие на организм человека. Однако прикосновение к высоковольтному электроду вызывает неприятные ощущения и потому его следует избегать.

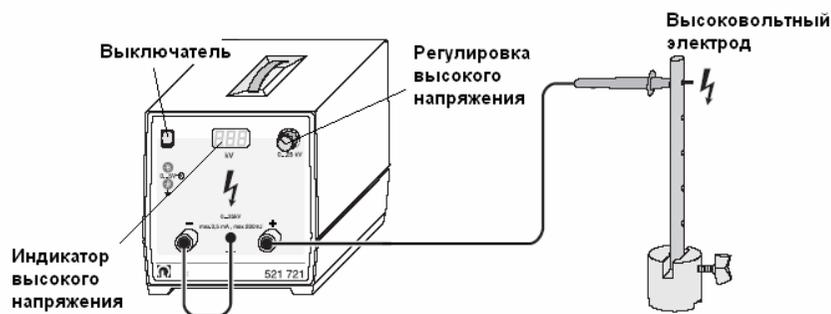


Рис. 2

При работе с высоковольтным источником необходимо соблюдать следующие правила. Устанавливать высокое напряжение на выходе источника только на время зарядки сфер, после чего немедленно уменьшать его до нуля. Переключение полярности производить при нулевом напряжении на выходе источника. При поданном на электрод высоком напряжении не приближать к нему части тела ближе, чем на 10 см. Также следует отметить, что наличие неподалеку от взаимодействующих тел и измерительных приборов электрода с высоким

потенциалом создает в пространстве электрическое поле, искажающее результаты опыта. Поэтому, все измерения следует проводить только после установки выходного напряжения высоковольтного источника на ноль.

Для зарядки взаимодействующих сфер в работе используется вспомогательная сфера, закрепленная на диэлектрической рукоятке. Порядок выполнения зарядки следующий:

- 1) установить требуемое напряжение на высоковольтном источнике;
- 2) кратковременно прикоснуться вспомогательной сферой к высоковольтному электроду;
- 3) уменьшить выходное напряжение высоковольтного источника до нуля;
- 4) прикоснуться вспомогательной сферой к заряжаемой сфере (при этом, поскольку сферы имеют одинаковую геометрию и, следовательно, одинаковую емкость, на заряжаемую сферу переместится половина заряда вспомогательной сферы);
- 5) разрядить вспомогательную сферу, прикоснувшись к ней заземленным электродом разрядника.

Общий вид установки для проведения опытов показан на рис. 3. Сфера радиусом 20 мм, укрепленная на диэлектрическом стержне, закрепляется в датчике силы. Плоскость и вторая сфера (показана на рис. 3 пунктиром) закрепляются на подвижной каретке. Показания измерителя силы даются в мН. Приборная погрешность измерителя силы составляет 1%. Расстояние между сферами определяется по делениям на направляющем рельсе.

Измеряемая сила весьма мала, и потому при ее измерении следует избегать сотрясений стола и прикосновений к частям установки. Перед началом измерений измеритель силы должен быть прогрет в течение не менее 30 мин. Для предотвращения утечки зарядов диэлектрические стержни должны поддерживаться в чистоте. Самопроизвольное изменение показаний измерителя силы в процессе измерений указывает на необходимость очистки диэлектрических стержней, которая выполняется при помощи смоченного спиртом тампона. Для поддержания стержней и сфер в чистоте к ним нельзя прикасаться руками.

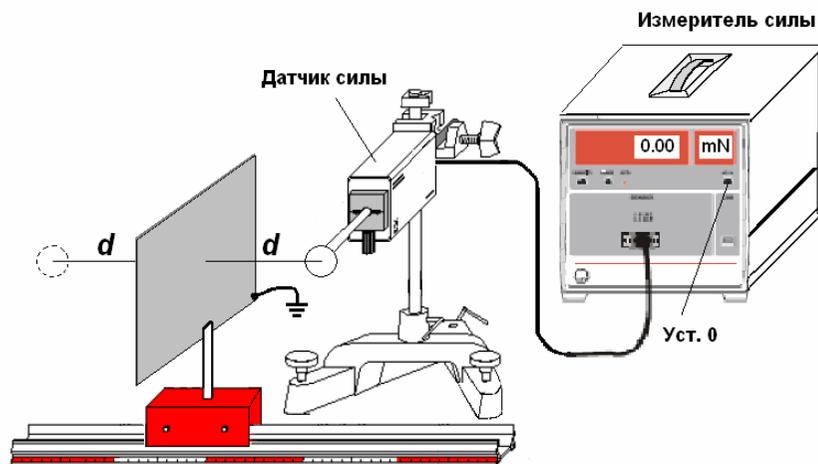


Рис. 3

Выполнение работы

- 1) Включить в сеть блок измерителя силы и прогреть его в течение 30 мин (рекомендуется сделать это заблаговременно).
- 2) Установить измеритель силы на 0, нажатием соответствующей кнопки (см. рис. 4).
- 3) Установить заземленную проводящую плоскость так, чтобы закрепленная в датчике силы сфера оказалась приблизительно в центре плоскости.
- 4) Привести плоскость в легкое соприкосновение со сферой и записать координату положения подвижной каретки с плоскостью относительно направляющего рельса. Момент соприкосновения зафиксировать по изменению показаний измерителя силы. При соприкосновении знак силы соответствует, очевидно, силе отталкивания. Записать знак силы отталкивания в журнал.
- 5) Установить плоскость на таком расстоянии от начального положения, чтобы расстояние между центром сферы и плоскостью d (см. рис. 4) составляло 6 см.
- 6) Установить на высоковольтном блоке выходное напряжение +25 кВ.

- 7) При помощи вспомогательной сферы зарядить сферу (см. описание методики зарядки в предыдущем разделе).
- 8) Уменьшить выходное напряжение высоковольтного блока до нуля.
- 9) При помощи разрядного электрода разрядить вспомогательную сферу.
- 10) Произвести отсчет величины силы по индикатору измерителя силы и записать результат в таблицу в лабораторном журнале.
- 11) Убрать плоскость и установить на рельсе сферу на расстоянии $2d=12$ см (между центрами сфер).
- 12) При помощи вспомогательной сферы зарядить вновь установленную сферу при напряжении высоковольтного блока –25 кВ.
- 13) Произвести отсчет величины силы по индикатору измерителя силы и записать результат в таблицу в лабораторном журнале.
- 14) Разрядить сферы при помощи разрядника и повторить измерения еще два раза.
- 15) Разрядить сферы при помощи разрядника и повторить всю процедуру по п.п. 5-13, при $d=8$ см и $d=10$ см. Каждое измерение выполнять 3 раза.
- 16) Найти средние значения силы и их погрешности для всех измерений.
- 17) Построить график зависимости силы взаимодействия сферы с плоскостью от расстояния d между ними. На этом же графике изобразить точки, соответствующие силе взаимодействия с «зеркально отраженной» сферой (для тех же d).

Литература

1. И.В.Савельев. Курс общей физики, т.2. Наука, М. 1988.

Контрольные вопросы

1. Где начинаются и где заканчиваются силовые линии электрического поля?
2. Запишите явный вид оператора Лапласа в декартовой системе координат.
3. Какой результат был бы получен в проведенной работе, если бы сфера заряжалась не положительным, а отрицательным зарядом?

4. На каком основании делается утверждение, что решение задачи для заряда и его «отражения» совпадает с решением задачи для заряда и плоскости?
5. Справедливо ли решение уравнения (2), полученное методом изображений для правой полуплоскости (см. рис. 1), также и в области «отражения заряда»?