

Применение этих несложных правил дает оценки величин погрешностей σ_a , σ_b и σ_k , вполне удовлетворительные при выполнении учебных лабораторных работ.

Литература

1. Анализ, обработка и представление результатов измерения физических величин: Лаб. практикум / В.Н. Холяво и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 54 с.
2. Механика и термодинамика: Лабораторный практикум. Вводное занятие / В. Г. Дубровский и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005.
3. Лабораторные занятия по физике: Учеб. пособие / Л.Л. Гольдин, Ф.Ф. Игошин, С.М. Козел и др. – М.: Наука, 1983. – 704 с.
4. *Зайдель А.Н.* Погрешности измерений физических величин. – Л.: Наука, 1985.
5. *Сквайрс Дж.* Практическая физика. – М.: МИР, 1971. – 246 с.
6. *Худсон Д.* Статистика для физиков. – М.: Мир, 1967. – 243 с.

Лабораторная работа № 10

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цель работы – получить экспериментально семейство эквипотенциальных поверхностей и силовых линий методом моделирования электрических полей электрическими токами, протекающими по проводящей среде между парами электродов – аналогов заряженных тел, и качественно сравнить их с ожидаемыми теоретически семействами; найти величины напряженности электрического поля в нескольких точках.

Описание метода и установки

Пусть имеются два заряженных тела, например два точечных заряда ($+q$) и ($-q$) (рис. 1). Тогда, как известно, в окружающем тела пространстве создается электростатическое поле, характеризующееся напряженностью поля \vec{E} и потенциалом φ . Картина силовых и потенциальных линий качественно изображена на рис. 1.

Если теперь эти заряженные тела окружить проводящей средой, например, просто погрузив их в ванну 1 с электролитом (рис. 2), то по этой среде потечет электрический ток.

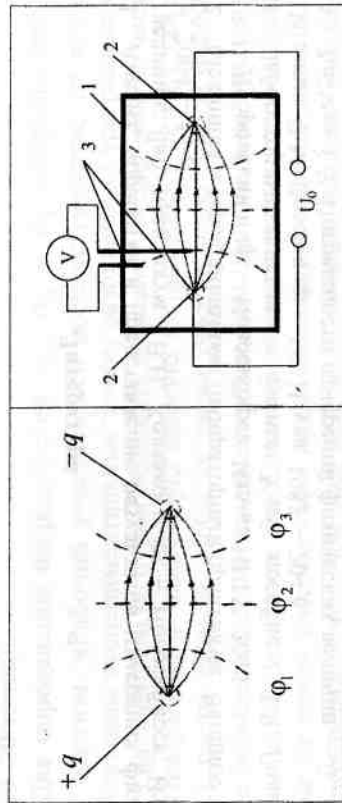


Рис. 1

Рис. 2

При непрерывном возобновлении исходных зарядов путем подключения этих тел (которые в дальнейшем будут называться *электродами 2*) к внешнему источнику ток будет течь непрерывно.

Опыт и теория показывают, что между плотностью тока j и напряженностью электрического поля E существует связь $j = \sigma E$. Это соотношение называется *законом Ома в дифференциальной форме*. Здесь σ — удельная электропроводность электролита (величина, обратная удельному сопротивлению); величина плотности тока j численно равна току, протекающему через поперечное сечение единичной площади.

В силу справедливости закона Ома в дифференциальной форме силовые линии и линии электрического тока в ванне с электролитом совпадают. При этом линиям равного потенциала — эквипотенциальным линиям (линии получаются при пересечении эквипотенциальных поверхностей с плоскостью ванны) соответствуют линии — геометрические места точек, между которыми отсутствует напряжение.

Отсутствие напряжения между эквипотенциальными точками, т. е. принадлежность их к одной и той же эквипотенциальной линии, легко обнаружить вольтметром, если соединить его с *зондами 3* (рис. 2) в виде проводящих штырьков, погруженных в исследуемые точки в электролите.

Таким образом, *электрическое поле, создаваемое заряженными телами, моделируется электрическими токами, протекающими по электролиту между электродами* — аналогами заряженных тел.

В данной работе в качестве электролита используется обыкновенная водопроводная вода. Напряжения измеряются цифровым вольтметром. В качестве заряженных тел берутся электроды различной формы — в виде плоских пластин, цилиндров, полуколец и др. На электроды подается переменное напряжение с амплитудой U_0 порядка нескольких единиц вольт. Ванна снабжена координатной сеткой, которую следует перенести на миллиметровую бумагу. Положение и форму электродов необходимо также аккуратно изобразить на миллиметровой бумаге.

Определение точек, равноотстоящих по значению потенциала

Эквипотенциальные линии принято проводить так, чтобы между любыми соседними линиями разность потенциалов была одна и та же. Поэтому вначале необходимо на одной горизонтальной линии в середине ванны отметить точки, равноотстоящие друг от друга по потенциалу. Соседние эквипотенциальные линии тогда будут проходить через соседние отмеченные точки.

Проведем следующие простые манипуляции. Погружаем в ванну электроды — аналоги заряженных тел. Подаем на них напряжение. Погружаем теперь зонды в ванну — один зонд вблизи левого электрода, другой — вблизи правого (*зонды следует ставить строго вертикально и не касаться ими электродов*). При этом цифровой вольтметр покажет значение U , несколько отличающееся от величины U_0 . Положение зондов отмечаем на миллиметровой бумаге. Приписываем левой точке значение потенциала 0 вольт, правой точке — значение U вольт.

Теперь правой зонд приставляем к левому и, перемещая его от левого зонда по выбранной горизонтальной линии в середине ванны, отмечаем точки, соответствующие напряжениям в $1/6, 2/6, 3/6, 4/6, 5/6$ от значения U . В итоге мы получаем семь точек, равноотстоящих по потенциалу.

Примечание. При погружении электродов в проводящую среду (воду) вследствие ограниченности размера ванны и различия в уровнях воды в разных ее местах картина электрического поля в ней может отличаться от картины в отсутствие ванны. Это следует учесть при сопоставлении теоретических и экспериментальных схем силовых и эквипотенциальных линий.

Определение эквипотенциальных линий

Для заданной пары электродов мы будем определять пять эквипотенциальных линий, соответствующих значениям $U/6 \dots 5U/6$ В. Для построения каждой из этих пяти линий найдем не менее 10 точек равного потенциала вдоль ожидаемой эквипотенциальной линии.

Определим, к примеру, эквипотенциальную линию, соответствующую значению потенциала $U/6$ В. Для этого один зонд (например, левый) ставим в уже отмеченную точку этого потенциала и в дальнейшем все время удерживаем в данном месте, не перемещая и не вынимая его из ванны. Вторым зондом будем вести поиск других точек того же потенциала, т.е. точек, напряжение между которыми равно нулю. Для этого удобно вторым (правым) зондом водить попеременно поперек ожидаемой эквипотенциальной линии вблизи второй, третьей и т. д. ожидаемой точки того же потенциала. В искомым точкам вольтметр должен показывать *минимально возможное значение* напряжения (нулевого значения напряжения иногда невозможно добиться из-за наличия наводок и других несовершенств методики эксперимента).

После того как первая эквипотенциальная линия вычерчена, переходим к нахождению второй эквипотенциальной линии. Для этого первый (левый) зонд помещаем в точку потенциала $2/6U$ В и вторым зондом ведем поиск других точек того же потенциала и т. д. Зонды следует ставить *строго вертикально*. Особенно следите за неподвижностью левого, неподвижного зонда.

Возможен, конечно, и иной способ определения эквипотенциальных точек. Например, левый зонд ставим в точку, которой приписан потенциал 0 В, а вторым зондом по всей ванне ищем точки потенциала $U/6$ В. Так мы находим эквипотенциальную линию с данным значением потенциала. Затем аналогично ищем эквипотенциальную линию со значением потенциала $2/6U$ В и т. д. Однако точность определения эквипотенциальных точек этим способом несколько ниже, чем первым способом.

Построение силовых линий напряженности электрического поля

Пять силовых линий напряженности электрического поля проводятся исходя из теоретически известного взаимного расположения силовых линий и эквипотенциальных поверхностей. При этом необходимо соблюдать соглашение о густоте силовых линий: там, где поле сильнее, линии должны проводиться гуще.

Погрешность определения координат эквипотенциальных точек

Погрешность определения координат эквипотенциальных точек обусловлена погрешностью отсчета по координатной сетке σ_{x1} и погрешностью σ_{x2} , определяемой чувствительностью экспериментальной установки:

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2} \quad (1)$$

Вследствие грубости координатной сетки установки первая погрешность σ_{x1} зависит в основном от глазомера экспериментатора, а также от точности переноса найденной точки на миллиметровую бумагу.

Вторая погрешность σ_{x2} оценивается как

$$\sigma_{x2} = 0,3\Delta x, \quad (2)$$

где Δx — максимальное расстояние в поперечном к эквипотенциальной линии направлении, при смещении зонда на которое показание вольтметра заметно не изменится. Величина Δx может быть названа *зоной нечувствительности*.

Задания к лабораторной работе

1. * Изобразить ожидаемые картины эквипотенциальных и силовых линий для двух заряженных разноименно тел: достаточно большой тонкой пластины и точечного тела, размещаемого близ пластины.
2. * Изобразить ожидаемые картины эквипотенциальных и силовых линий для двух заряженных разноименно тел: точечного и цилиндрического.
3. В лаборатории для пары электродов — аналогов заряженных тел получить экспериментально семейство эквипотенциальных линий. Тип электродов задает преподаватель.
4. Оценить погрешность определения положений эквипотенциальных точек.
5. Провести пять силовых линий исходя из теоретически известного взаимного расположения силовых линий и эквипотенциальных поверхностей. Точки на электродах, из которых надо «выпускать» эти линии, определяет преподаватель.

6. Вычислить величины напряженности электрического поля в точках, которые задает преподаватель. При этом следует исходить из связи напряженности поля и потенциала.

7. Сделать выводы по лабораторной работе.

Примечание. Задания, помеченные звездочкой, выполняются студентами дома.

Контрольные вопросы

1. Какова цель работы?
2. Что такое напряженность и потенциал электрического поля?
3. Дайте определение силовой линии и эквипотенциальной поверхности.
4. Какова связь между потенциалом и напряженностью электрического поля?
5. Каково взаимное расположение силовых линий и эквипотенциальных поверхностей? Почему?
6. Каковы ожидаемые картины эквипотенциальных поверхностей и силовых линий в случае точечного и цилиндрического тел?
7. Как вы будете определять точки, равностоящие по потенциалу?
8. Как вы будете находить точки равного потенциала?
9. Как проводить силовые линии напряженности электрического поля?
10. Как вычислять напряженность электрического поля по экспериментальным данным?
11. Каков класс точности вашего прибора?
12. Как вычисляется максимальная приборная погрешность?
13. Какими факторами определяется погрешность измерений?
14. Получили ли вы ожидаемую картину эквипотенциальных линий?
15. Подумайте, от чего и как зависит экспериментально определяемая картина эквипотенциальных поверхностей (рода электролита, формы электродов, взаимного их размещения, формы и расположения зондов, уровня жидкости в ванне и т.д.)?

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Академия, 2004.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2. – М.: Астрель, 2001.
3. Калашников С.Г. Электричество. – М.: Физматлит, 2003.