

Связь между напряженностью электростатического поля и напряжением. Эквипотенциальные поверхности

Действие заряженного тела на окружающие тела проявляется в виде сил притяжения и отталкивания, стремящихся поворачивать и перемещать эти тела по отношению к заряженному телу. Это можно наблюдать также с помощью опыта.

Экспериментальная установка для получения картин электрического поля такова: источник света проектирует электрическое поле на экран. Электрическая машина непрерывно разделяет положительные и отрицательные заряды на металлических пластинах, которые опущены в кювету, содержащую касторовое масло с кристалликами хинина. Металлические пластины соединены с электрической машинкой проводами.

Если зарядить пластинки, то можно увидеть, как отдельные крупинки, расположенные вначале совершенно беспорядочно, начинают перемещаться и поворачиваться и, в конце концов, устанавливаются в виде цепочек, тянущихся от одного электрода к другому. На рисунках приведены изображения, когда в кювету опущены две параллельные металлические пластинки, два металлических шарика. Таким образом, можно судить о существовании электрического заряда в каком-нибудь месте по действиям, производимым им в различных точках окружающего пространства.

Понятием «электрическое поле» мы обозначаем пространство, в котором проявляются действия электрического заряда.

Если имеется несколько зарядов, расположенных в различных местах, то в любой точке окружающего пространства проявится совместное действие этих зарядов, электрическое поле, создаваемое всеми этими зарядами. В этом и выражается принцип суперпозиции электрического поля.

Электрическое поле – это самостоятельная физическая реальность, не сводящаяся ни к тепловым, ни к механическим явлениям.

Потенциалом электростатического поля называют отношение потенциальной энергии заряда в поле к этому заряду.

Практическое значение имеет не сам потенциал в точке, а изменение потенциала, которое не зависит от выбора нулевого уровня отсчета потенциала. Разность потенциалов называют также напряжением.

Единица разности потенциалов – Вольт (В). Каждую точку электростатического поля можно охарактеризовать как вектором напряженности, так и величиной потенциала, следовательно, между этими характеристиками должна быть однозначная связь. Определим ее.

Потенциал в данной точке пространства может быть любым. Однако изменение потенциала при переходе из данной точки в соседнюю точку вполне определено. Зная потенциал в каждой точке пространства, мы тем самым знаем все о поле. Можем найти напряженность поля. Между напряженностью электростатического поля и разностью потенциалов существует определенная зависимость. Пусть заряд (кю) q перемещается в направлении напряженности однородного электрического поля (e) \vec{E} из точки 1 в точку 2, находящуюся на расстоянии (дельта дэ) Δd от точки 1. Электрическое поле совершает работу, равную произведению этих величин: $A = qE\Delta d$. Эту работу можно выразить через разность потенциалов в точках 1 и 2.

Приравнивая оба выражения для работы, найдем модуль вектора напряженности поля, как отношение напряжения поля к перемещению.

Напряженность электрического поля направлена в сторону убывания потенциала. Напряженность электрического поля равна единице, если разность потенциалов между двумя точками на расстоянии 1 метр в однородном поле равна 1 вольт. Наименование этой единицы – вольт на метр (V/m).

Подчеркнем, что в макромире и микромире происходят аналогичные взаимодействия. Понятие электрического потенциала аналогично понятию изменение потенциальной энергии в механике. Например, для подъема локомотива в точку Б нужно затратить большую работу, чем для подъема его в точку А. Поэтому локомотив, поднятый на уровень (аш два) Н2, при спуске сможет совершить большую работу, чем локомотив, поднятый на уровень (аш два) Н2. За нулевой уровень, от которого производится отсчет высоты, принимают обычно уровень моря. Аналогично, разность потенциалов (U) между точками А и Б электрического поля определяет работу, которая затрачивается на перемещение заряда q между этими точками. Для перемещения заряда в точку Б необходимо совершить большую работу электрическому полю, чем для перемещения этого заряда в точку А. Точно так же за нулевой потенциал условно принимают потенциал, который имеет поверхность земли.

Линия, все точки которой имеют одинаковый потенциал, называется эквипотенциальной линией.

При перемещении заряда под углом 90° градусов к силовым линиям электрическое поле не совершает работы, так как сила перпендикулярна перемещению. Значит, если провести поверхность, перпендикулярную в каждой точке силовым линиям, то при перемещении заряда вдоль этой поверхности работа не совершается. А это означает, что все точки поверхности, перпендикулярной силовым линиям, имеют один и тот же потенциал. Поверхности равного потенциала называют эквипотенциальными.

Эквипотенциальной является поверхность любого проводника в электростатическом поле. Ведь силовые линии перпендикулярны поверхности проводника. Причем не только поверхность, но и все точки, внутри проводника имеют один и тот же потенциал. Напряженность поля внутри проводника равна нулю, значит, равна нулю и разность потенциалов между любыми точками проводника.

Зная разность потенциалов для всех точек поля, т. е. имея график эквипотенциальных поверхностей, можно просто определить и напряженность этого поля. Действительно, пусть 1,2,3,4,5— эквипотенциальные поверхности. Они в каждой точке перпендикулярны к линиям поля, и поэтому, прочерчивая линии (эл-эм) LM, перпендикулярные к эквипотенциальным поверхностям, мы сразу находим линии данного поля, т. е. определим направление поля в каждой точке. Указанное на рисунке направление линий LM соответствует случаю, когда при переходе от поверхности 1 к поверхности 2 и т. д. потенциал убывает.

Для того чтобы найти напряженность поля в точке а, лежащей на эквипотенциальной поверхности 1—1, перенесем мысленно положительный заряд из точки а вдоль линии поля в соседнюю точку б, лежащую на эквипотенциальной поверхности 2—2. Пусть разность потенциалов между поверхностями 1 и 2 равна (U)

1-2) U_{12} , а длина отрезка ab (т. е. расстояние между этими поверхностями) равна (эл) L . Тогда работа, совершаемая электрическими силами при этом перемещении равна произведению величины перемещаемого заряда и напряжения. С другой стороны, эта же работа равна произведению силы (эф) F на перемещение (эл) L , так как направление перемещения и направление силы в этом случае все время совпадают. Но сила электрического поля равна произведению заряда на напряженность поля. Поэтому искомая работа есть произведение заряда, напряженности и перемещения. Приравнивая оба соотношения получаем, что напряженность электрического поля на участке 1-2 равна отношению напряжения или разности потенциалов на расстоянии между эквипотенциальными поверхностями 1 и 2. Мы видим, что напряженность в каком-либо месте поля равна напряжению на единицу длины линии поля.

Из этой формулы следует, что для поля, напряженность которого равна единице, напряжение на единицу длины равно единице. В соответствии с этим единица напряженности электрического поля в СИ получила название вольт на метр (В/м).

Зная разность потенциалов между любыми двумя точками поля (или, как иногда говорят, зная распределение потенциала поля), мы можем определить в каждой точке поля и напряженность электрического поля, т. е. найти силы, действующие на заряды в этом поле. Таким образом, при помощи разности потенциалов можно охарактеризовать электрическое поле так же полно, как и при помощи напряженности. График эквипотенциальных линий представляет собой «электрическую карту» статистического поля. Если известно распределение потенциалов в поле, то можно очень просто решать важные задачи, относящиеся к электрическому полю.

Рассмотрим человеческий организм. Примерный ход эквипотенциальных поверхностей для определённого момента возбуждения сердца показан на рисунке. Пунктирные линии обозначают эквипотенциальные поверхности, цифры около них – величину потенциала в милливольтгах.

Земной шар можно назвать сферическим конденсатором, где ионосфера заряжена положительно, а поверхность земли – отрицательно. Разность потенциалов между потенциалом грозных туч и нулевым потенциалом Земли достигает миллионов вольт.