

ИЗЛОЖЕНИЕ ТРУДНОЙ ДЛЯ ПОНИМАНИЯ ШКОЛЬНИКАМИ ТЕМЫ: «ПОНЯТИЕ ПОТЕН- ЦИАЛА В ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ

Выпускная аттестационная работа слушателя
(ей) программы переподготовки педагогиче-
ских и управленческих кадров для реализации
программ выявления и поддержки одаренных
детей и молодежи «Большие вызовы»

Гуковой Оксаны Валентиновны

Научный руководитель

доцент кафедры общей физики МФТИ, За-
служенный работник высшей школы, кан-
дидит физико-математических наук

Чивилев Виктор Иванович

Сочи

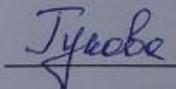
2018

ЗАЯВЛЕНИЕ О САМОСТОЯТЕЛЬНОМ ХАРАКТЕРЕ ВЫПУСКНОЙ АТТЕСТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Я, Гукова Оксана Валентиновна, слушатель программы переподготовки педагогических и управленческих кадров для реализации программ выявления и поддержки одаренных детей и молодежи «Большие вызовы», заявляю, что в выпускной аттестационной работе на тему «Изложение трудной для понимания школьниками темы: «Понятие потенциала в электростатике», представленной для публичной защиты, не содержится элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных аттестационных и квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлена с действующим регламентом учебного процесса, согласно которому обнаружение плагиата (прямых заимствований из других источников без соответствующих ссылок) в соответствующей части выпускного аттестационного проекта является основанием для выставления члену проектной команды, ответственному за ее разработку, за выпускную аттестационную работу оценки «неудовлетворительно».

 Подпись слушателя

01.11.18 Дата

ОГЛАВЛЕНИЕ:

Аннотация работы.....	4
Введение.....	4
Глава 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ СЛОЖНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ШКОЛЬНИКАМИ ТЕМЫ: "ПОНЯТИЕ ПОТЕНЦИАЛА В ЭЛЕКТРО- СТАТИКЕ" (ГИПОТЕЗА).....	5
1.1. Некорректная формулировка физической величины.....	5
1.2. Знаки.....	5
1.3. Путаница между потенциальной энергией и потенциалом.....	6
Глава 2. СПОСОБЫ ВВЕДЕНИЯ ПОНЯТИЯ ПОТЕНЦИАЛА В ЭЛЕКТРОСТАТИ- КЕ (ПЛАНЫ УРОКОВ).....	6
2.1. Материал из методических разработок по учебнику Г.Я. Мякишева (автор не известен).....	6
2.2. Материал из методических разработок Анатолия Анатольевича Найдина.....	9
2.3. Материал из методических разработок Сергей Валериевич Колебошина.....	14
Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ РАЗНЫХ МЕТОДИК.....	21
3.1.Итоговый контроль знаний по теме: «Электростатический потенциал».....	21
3.2.Аналитическая справка по результатам контроля.....	23
Глава 4. КРУГЛЫЙ СТОЛ С УЧЕНИКАМИ РАЗНЫХ ГРУПП.....	25
4.1.Вопросы круглого стола (Что было непонятно).....	25
4.2.Предложения по «улучшению» плана.....	26
Глава 5. «ИДЕАЛЬНЫЕ» ПЛАНЫ УРОКОВ.....	26
5.1. Урок 1. Работа электростатического поля. Потенциал.....	26
5.2. Урок 2. Связь между напряженностью электростатического поля и разностью потенциалов.....	31
5.3. Урок 3,4 Решение задач.....	35
Заключение.....	43
Список использованной литературы.....	44
Приложения.....	45

АННОТАЦИЯ

Основная идея данного проекта в том, чтобы выявить причины, влияющие на сложность восприятия учениками темы «Потенциал в электростатике» и составить план урока, который максимально доступно раскрывал бы эту тему. В данной работе был проведен анализ различных методик, с помощью которых учащимся объясняется «Электростатический потенциал». Определены недостатки существующих уроков и создан план урока, который максимально доступно и понятно объясняет данную тему.

ВВЕДЕНИЕ

Выпускная работа посвящена проблеме «Изложение трудной для понимания школьниками темы: «Понятие потенциала в электростатике». Тема электростатического потенциала достаточно сложная. Она имеет удивительную особенность: когда идет изложение нового материала, ученикам все понятно, все доступно; когда приходит время решать задачи, появляется куча вопросов и проблем. Так в чем же уникальность этой темы? Или причина в неправильной подаче материала? В своей выпускной работе я отвечу на эти вопросы, разберусь в «тонкостях» электрического потенциала и создам «идеальный» урок по данной теме.

Теоретическая и практическая значимость проекта заключается в том, чтобы у учеников больше не было проблем с восприятием темы «электростатический потенциал». Если ученик понимает тему, то с ним можно разбирать задачи различного уровня. Если не понимает, то способен решать задачи только на репродуктивном уровне (по образцу).

Для нашей гимназии тема данного проекта очень актуальна. Ведь благодаря разработанным урокам учителям физики можно повысить качество обучения учащихся по предмету, а также увеличить результативность участия в олимпиадах.

Также данными планами уроков смогут воспользоваться другие учителя, у кого есть сложности в понимании этой темы.

Цель работы: создание «идеального» урока по теме: «Потенциал в электростатике»

Задачи:

1. Определить основные факторы сложности восприятия темы электростатического потенциала.
2. Найти различные подходы к изучению новой темы, и определить какой из них наилучший.

3. Создать итоговый контроль, показывающий уровень усвоения материала.

4. Провести анализ результатов, выбрав самый лучший подход за основу написания плана «идеального» урока.

В начале своего проекта я попробую сама определить факторы, которые влияют на сложность усвоения материала по теме: «Электростатический потенциал» (гипотеза). Затем в просторах интернета найду три разных урока с разными подходами к изучению данной темы. Разобью 10А класс на три группы для апробации уроков. Проведу три разных урока для трех разных групп. Для чистоты эксперимента будет выбран один класс (физико-математический) и будет разделен в алфавитном порядке. разработаю итоговый тест, который сможет выявить степень усвоения материала. По результатам теста определю лучший урок и возьму его за основу написания плана. После проведенных уроков и теста, соберу круглый стол с учениками, где мы проанализируем ошибки теста и определим недостающие причины, которые влияют на понимание данной темы. В итоге, учитывая все факторы создам «идеальный» план урока по физике на тему: «Потенциал в электростатике».

Основным источником информации будет интернет. Где я найду планы уроков, а также интересные задачи и вопросы по данной теме.

Глава 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ СЛОЖНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ШКОЛЬНИКАМИ ТЕМЫ: "ПОНЯТИЕ ПОТЕНЦИАЛА В ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ" (ГИПОТЕЗА)

Если окунуться в просторы интернета, то можно с легкостью найти кучу вопросов: «Объясните простым языком что такое электрический потенциал?» или «Я все понял в определении, но не могу разобрать задачи» и т.д. Так что же мешает понять суть такой казалось бы простой физической величины?

1.1. Некорректная формулировка физической величины.

Сама формулировка потенциала достаточно обширная. Когда детям произносишь слово потенциал, у них сразу возникает ассоциация – возможности. Потенциал человека – его возможности, способности. И поэтому его достаточно сложно представить. Если термины сила, расстояние, масса, время и т.д. это что то, что можно грубо говоря «пощупать», измерить, то потенциал можно только представить.

1.2. Знаки.

Когда «+», когда «-»? Что взять за нуль? Помимо того, что сама потенциальная энергия имеет знак, так и заряд тоже может быть положительным и отрицатель-

ным. Соответственно от нуля (что тоже надо понимать, можно принять любую точку) нужно понимать, когда будет «+», а когда «-».

1.3. Путаница между потенциальной энергией и потенциалом

Многие думают, что потенциал – это потенциальная энергия, т.к. по определению – это энергетическая характеристика электрического поля. Таким образом, получается игра слов: «потенциал, энергия» и мозг выдает - «потенциальная энергия».

Глава 2. СПОСОБЫ ВВЕДЕНИЯ ПОНЯТИЯ ПОТЕНЦИАЛА В ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ (ПЛАНЫ УРОКОВ)

2.1. Материал из методических разработок по учебнику Г.Я. Мякишева (автор не известен) [1].

Потенциальная энергия

Заряженные тела притягивают или отталкивают друг друга. При перемещении заряженных тел, действующие на них силы совершают работу. Из механики известно, что система, способная совершить работу благодаря взаимодействию тел друг с другом, обладает потенциальной энергией. Значит, система заряженных тел обладает потенциальной энергией, называемой электростатической или электрической.

Работа при перемещении заряда в однородном электростатическом поле.

Однородное поле создают, например, большие параллельные металлические пластины, имеющие заряды противоположного знака. Это поле действует на заряд q с постоянной силой $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$.

$$A = q \cdot E \cdot (d_1 - d_2) = q \cdot E \cdot \Delta d$$

Работа не зависит от формы траектории.

Следовательно, электростатическая сила является консервативной.

Работа консервативной силы равна изменению потенциальной энергии, взятому с противоположным знаком: $A = -(W_{n2} - W_{n1}) = -\Delta W_n$

Потенциальная энергия заряда в однородном электростатическом поле равна $W_n = qEd$.

Если поле совершает положительную работу, то потенциальная энергия заряженного тела в поле уменьшается: $\Delta W_n < 0$.

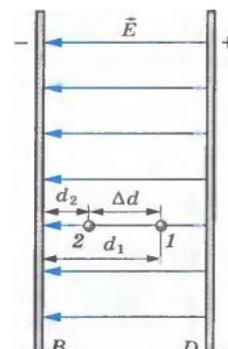


Рис. 1
Работа по перемещению заряда в однородном электростатическом поле

Одновременно согласно закону сохранения энергии растет его кинетическая энергия.

Если работа отрицательна, то $\Delta W_n > 0$. Кинетическая энергия уменьшается.

На замкнутой траектории работа поля равна нулю $A = -\Delta W_n = -(W_{n1} - W_{n2}) = 0$

Поля обладающие таким свойством, называют потенциальными.

Потенциальная энергия заряда в электростатическом поле пропорциональна заряду $W_n = qEd$. Следовательно, отношение потенциальной энергии к заряду не зависит от помещённого в поле заряда.

Потенциалом точки электростатического поля называют отношение потенциальной энергии заряда, помещённого в данную точку, к этому заряду $\varphi = \frac{W_n}{q} = Ed$.

φ -скаляр, энергетическая характеристика поля.

Изменение потенциала не зависит от выбора нулевого уровня отсчёта потенциала

$$A = -(W_{n2} - W_{n1}) = -q(\varphi_2 - \varphi_1) = q \cdot U$$

Здесь $U = \varphi_1 - \varphi_2$ - разность потенциалов (напряжение). $U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}$.

Разность потенциалов (напряжение) между двумя точками равна отношению работы поля при перемещении положительного заряда из начальной точки в конечную к величине этого заряда.

Единица разности потенциалов $1В = 1Дж/1Кл$.

Связь между напряжённостью электростатического поля и разностью потенциалов.

Электрическое поле совершает работу $A = q \cdot E \cdot \Delta d$, $A = -q(\varphi_2 - \varphi_1) = q \cdot U$

Приравняв правые части, получим $E = \frac{U}{\Delta d}$.

Единица напряжённости

$$1 \frac{В}{м} = 1 \frac{Дж}{Кл \cdot м} = 1 \frac{Н \cdot м}{Кл \cdot м} = 1 \frac{Н}{Кл}$$

Эквипотенциальные поверхности

Поверхности равного потенциала называют эквипотенциальными.

Эквипотенциальные поверхности однородного поля представляют собой плоскости, а поля точечного заряда – концентрические сферы.

Напряжённость электрического поля направлена в сторону убывания потенциала.

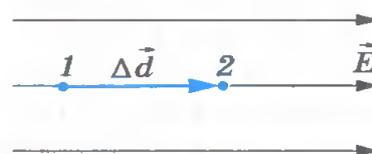


Рис. 2
Перемещение заряда в однородном электростатическом поле

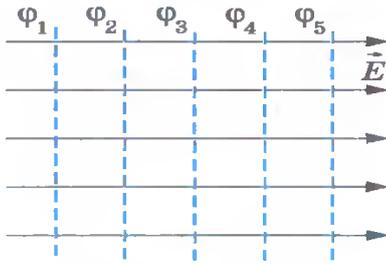


Рис. 3
Эквипотенциальные поверхности однородного электростатического поля

Закрепление

1. Докажите, что система заряженных тел обладает потенциальной энергией. (Заряженные тела притягивают или отталкивают друг друга. При перемещении заряженных тел, действующие на них силы совершают работу. Из механики известно, что система, способная совершить работу благодаря взаимодействию тел друг с другом, обладает потенциальной энергией.)

2. Как рассчитать потенциальную энергию заряда? (Потенциальная энергия заряда в однородном электростатическом поле равна $W_n = qEd$)

3. Как связано изменение потенциальной энергии заряженной частицы с работой электрического поля? (Работа консервативной силы равна изменению потенциальной энергии, взятому с противоположным знаком: $A = -(W_{n2} - W_{n1}) = -\Delta W_n$)

4. Дайте определение потенциала. (Потенциалом точки электростатического поля называют отношение потенциальной энергии заряда, помещённого в данную точку, к этому заряду $\varphi = \frac{W_n}{q} = Ed$.)

5. Чему равна разность потенциалов между двумя точками? (Разность потенциалов (напряжение) между двумя точками равна отношению работы поля при перемещении положительного заряда из начальной точки в конечную к величине этого заряда)

6. Какова связь между напряжённостью и разностью потенциалов? ($E = \frac{U}{\Delta d}$)

7. Какие поверхности называются эквипотенциальными? (Поверхности равного потенциала называют эквипотенциальными)

Задача:

Разность потенциалов между точками, лежащими на одной силовой линии на расстоянии 3 см друг от друга, равна 120 В. Определите напряжённость поля, если известно, что оно однородно.

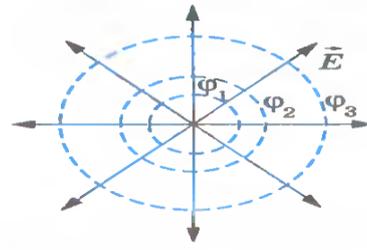


Рис. 4
Эквипотенциальные поверхности поля точечного заряда

Дано:	Решение:
$\Delta d = 3\text{см} = 0,03\text{м}$	$E = \frac{U}{\Delta d} = \frac{120\text{В}}{0,03\text{м}} = 4000 \frac{\text{В}}{\text{м}}$
$\varphi_1 - \varphi_2 = U = 120\text{В}$	
$E - ?$	

2.2. *Материал из методических разработок Анатолия Анатольевича Найдина [2]*

Работа электростатического поля

Понятие потенциального поля на примере гравитационного поля.

$A' = mg(h_1 - h_2)$ – работа поля не зависит от вида траектории, поэтому по замкнутому пути она равна нулю.

Вывод: Гравитационное поле – потенциально, а сила тяжести – консервативная сила. $A' = E_{\Pi_1} - E_{\Pi_2}$. По последней формуле работу поля рассчитать легче, если мы научимся определять потенциальную энергию тела в любой точке поля. Из сравнения двух формул для работы видно, что E_n в гравитационном поле Земли определяется формулой: $E_n = mgh$.

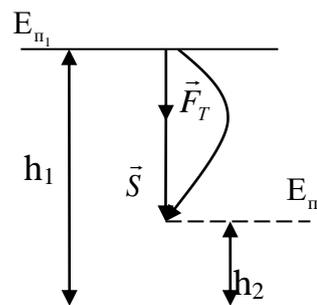


Рис. 5
Работа гравитационного поля

Электростатическое поле. Положительно заряженное тело в однородном электростатическом поле у положительно заряженной обкладки. Сила, действующая на заряженное тело (других полей нет): $\vec{F}_3 = q\vec{E}$.

Работа электростатического поля при перемещении заряженного тела (аналогия с гравитационным полем): $A' = qE(d_1 - d_2)$. Работа не зависит от вида траектории, а по замкнутому пути равна нулю.

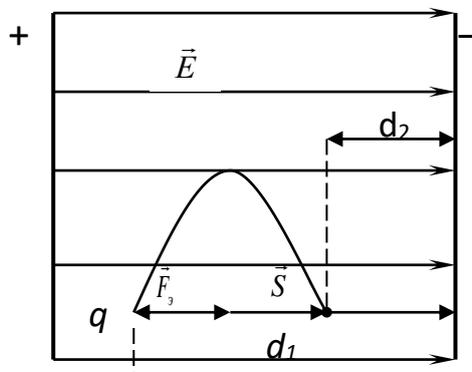


Рис. 6
Работа электростатического поля по переносу электрического заряда

Вывод: Электростатическое поле потенциально, а электрическая сила – консервативная сила. Тогда $A' = E_{\Pi_1} - E_{\Pi_2}$. Из сравнения двух формул для работы видно, что потенциальная энергия заряда в однородном электростатическом поле определяется формулой: $E_n = qEd$.

Потенциальная энергия заряженного тела в электростатическом поле. Как ее определить в любой точке поля?

Потенциал (φ) – энергетическое свойство данной точки электростатического поля, измеряемое отношением потенциальной энергии взаимодействия пробного заряда с полем к величине этого заряда (измеряемое отношением работы, совершаемой внешними силами по переносу пробного заряда из бесконечности в данную точку поля, к величине этого заряда).

$$\varphi = \frac{E_{\text{п}}}{q}.$$

Поле задано, если известен потенциал каждой его точки.

$$\text{Единица потенциала в Си: } 1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}.$$

Работа электростатического поля при перемещении заряженного тела: $E_{\text{п}_1} = q\varphi_1$, $E_{\text{п}_2} = q\varphi_2$;

$$A' = E_{\text{п}_1} - E_{\text{п}_2} = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU$$

Электрическое напряжение (U) – свойство электростатического поля совершать работу, перемещая электрический заряд из одной точки поля в другую, измеряемое отношением произведенной работы к перенесенному заряду.

Энергию можно запастись, перемещая заряд против действия электрической силы. Работа внешних сил при перемещении заряженного тела в электростатическом поле: $A = q\Delta\varphi$. Измерение разности потенциалов. Единица разности потенциалов в СИ: $1 \text{ В} = 1 \text{ Дж/Кл}$. Связь между разностью потенциалов и напряжением: $U = -\Delta\varphi$.

В некоторых простых случаях потенциал можно рассчитать по простым формулам. Например, потенциал данной точки однородного электростатического поля рассчитывается по формуле: $\varphi = Ed + C$. Потенциал точки определяется с точностью до произвольной постоянной (показать). Обычно за нуль принимается потенциал Земли или бесконечно удаленной точки.

Работа электростатического поля точечного заряда

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \quad \Delta A'_1 = \frac{kqq_0}{r_1^2} \Delta r = \frac{kqq_0}{r_1 r_2} (r_2 - r_1) = kqq_0 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

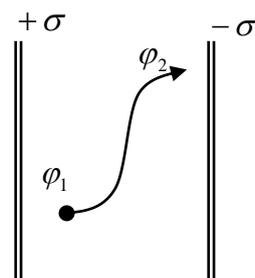


Рис. 7
Перемещение заряда по действию электрической силы

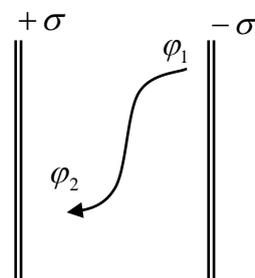


Рис. 8
Перемещение заряда против действия электрической силы

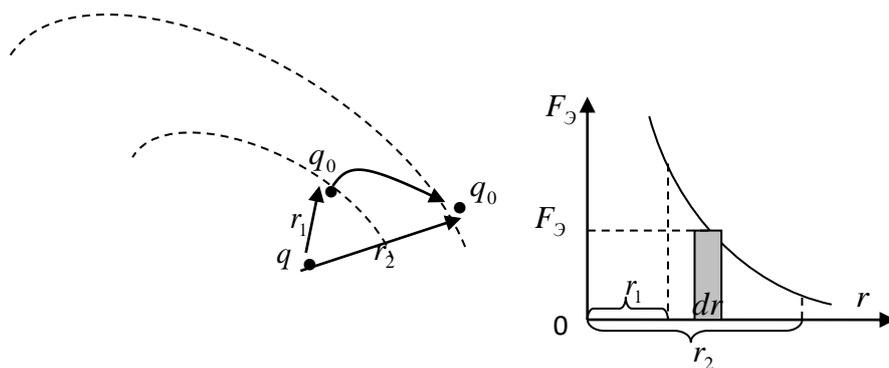


Рис. 9 Зависимость электрической силы от расстояния в поле точечного заряда

$$\Delta A'_2 = kq q_0 \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} \right), \dots, \Delta A'_n = kq q_0 \left(\frac{1}{r_{n-1}} - \frac{1}{r_n} \right) \quad A' = \frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_n} \right)$$

$$F_э = q_0 \cdot E, \quad E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad dA' = F_э \cdot dr,$$

$$A' = \int_{r_1}^{r_2} \frac{q q_0 dr}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0 r_1} - \frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0 r_2} = q_0 (\varphi_1 - \varphi_2); \quad \boxed{\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}} \text{ — потенциал поля точечного}$$

заряда.

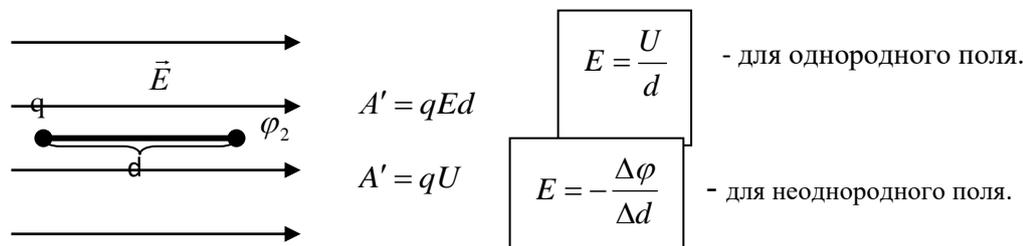
Связь между напряженностью электростатического поля и разностью потенциалов

В направлении напряженности электрического поля потенциал убывает.

Связь между напряженностью электростатического поля и разностью потенциалов.

φ_1

Рис. 10 Связь между напряженностью электростатического поля и разностью потенциалов



Единица напряженности электрического поля в СИ: $[E] = [В/м]$. Демонстрация с раздвижным конденсатором и электростатическим маятником (уменьшение расстояния между пластинами при постоянном напряжении на них приводит к увеличению напряженности поля между пластинами). Эксперименталь-



Рис. 11 В направлении напряженности электрического поля потенциал убывает

но определить напряжение между пластинами раздвижного плоского конденсатора, если известно, что пробой воздуха наступает при напряженности поля: $E = 3 \cdot 10^6$ В/м.

Эквипотенциальные поверхности. Изображение электростатических полей с помощью эквипотенциальных поверхностей. Направление и модуль вектора напряженности электрического поля: $E_d = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta d}$.

$$E_d = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta d}$$

Вывод: Вектор напряженности электростатического поля направлен в сторону наиболее быстрого убывания потенциала.

Другой способ определения направления \vec{E} . Определим потенциальную энергию заряда на одной и на другой эквипотенциальной поверхности. Заряд будет перемещаться из точки, где его потенциальная энергия больше, в точку, где она меньше (от одной эквипотенциальной поверхности к другой) по траектории, прохождение которой требует минимального времени (принцип наименьшего действия).

Почему поверхность проводника эквипотенциальна? Потенциал поля проводящего шара (равномерно заряженной сферы). Связь между потенциалом и напряженностью на сферической поверхности: $\varphi = E \cdot R$. Поскольку поверхность проводника эквипотенциальная, то в областях с малым радиусом кривизны напряженность поля больше и наоборот. Сканирующий микроскоп. Когда тончайшее заряженное металлическое острие подводится к противоположно заряженному металлическому образцу на дистанцию, равную нескольким межатомным расстояниям, электроны начинают свободно проходить через зазор (туннельный эффект). Величина туннельного тока сильно зависит от величины зазора.

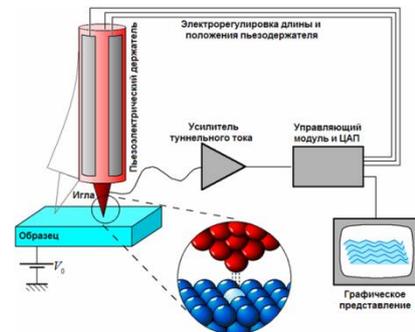


Рис. 12
Сканирующий микроскоп

Потенциал точки поля, создаваемого произвольным распределением зарядов:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_N$$

Измерение разности потенциалов. Электромтр. Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных электрических зарядов:

$$E_{II} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$$

Энергия уединенного проводника: $E_s = \frac{1}{2} q\varphi$.

Вопросы:

1. Где потенциал больше, у положительной или отрицательной пластины конденсатора? (*У положительной, отрицательную пластину принимаем за 0 подобно поверхности Земли*)

2. Потенциал электростатического поля некоторого заряда убывает (возрастает) по мере удаления от него. Каков знак этого заряда? (*Если потенциал убывает, то заряд положительный, если возрастает, то отрицательный. Чем дальше от «-», тем больше потенциал.*)

3. Электрическое поле создается положительным зарядом q . Как изменится потенциал электрического поля в точке A , если за этой точкой поместить незаряженный проводящий шар? (*В проводящем шаре будет индуцироваться заряд, т.е. произойдет перераспределение заряда. «-» скопятся за точкой A , создав дополнительное электрическое поле. Значит потенциал увеличится*)

4. Как можно изменить потенциал проводника, не касаясь его и не изменяя заряда? (*Изменить расположение окружающих его проводников и заземлить их.*)

5. Потенциал электростатического поля возрастает в направлении снизу вверх. Куда направлен вектор напряженности поля? (*Обратно сверху вниз, т.к. вектор напряженности электростатического поля направлен в сторону наиболее быстрого убывания потенциала. Или если потенциал возрастает по мере подъема, значит внизу «-», сверху «+», а напряженность направлена от «+» к «-».*)

Задачи:

1. Двигаясь между двумя точками в однородном электростатическом поле заряженная частица на пути 2 см приобрела скорость $2 \cdot 10^6$ м/с. Чему равна напряженность поля? Заряд частицы $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, а ее масса $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Дано:	Решение:
$d = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$	$\Delta E_{\text{к}} = A' = qU = qEd$ $\Rightarrow E = \frac{E_{\text{к}2}}{qd} = \frac{m\vartheta^2}{2qd} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 4 \cdot 10^{12}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,02} = 568,75 \frac{\text{В}}{\text{м}}$
$v_0 = 0$	
$v = 2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$	
$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	
$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$	
$E - ?$	

2. Электрон вылетает из точки, потенциал которой 600 В, со скоростью $12 \cdot 10^6$ м/с в направлении силовой линии однородного поля. Найти потенциал точки,

дойдя до которой электрон затормозится.

Дано:	Решение:
$\varphi_1 = 600\text{В}$ $v_0 = 12 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ $v = 0$ $q = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$	По закону сохранения энергии $E_{к1} + E_{п1} = E_{к2} + E_{п2}$ $\frac{m v_0^2}{2} + q \varphi_1 = 0 + q \varphi_2 \rightarrow \varphi_2 = \frac{\frac{m v_0^2}{2} + q \varphi_1}{q}$
$\varphi_2 = ?$	$= \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 144 \cdot 10^{12}}{2} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 600$ $= \frac{655,2 \cdot 10^{-19} - 960 \cdot 10^{-19}}{-1,6 \cdot 10^{-19}} = 190,5\text{В}$

2.3. *Материал из методических разработок Колебошин Сергей Валериевич [3].*

На данном уроке, тема которого: «Потенциал электрического поля. Разность потенциалов», мы поговорим о потенциале электрического поля, вспомним связь между работой и потенциальной энергией, а также развяжем несколько задач.

Введение

Электрическое поле действует на помещенный в него заряд с силой, которая определяется величиной заряда и напряженностью поля в данной точке.

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

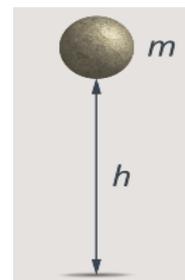
Если эта сила перемещает заряд – то она совершает работу. Даже если заряда в поле нет, то потенциально эта работа все равно может быть совершена, как только он там окажется. Из опыта других разделов физики мы знаем, что работа связана с энергией.

Для решения некоторых задач удобно использовать энергетическую модель описания электрического поля. Проведем аналогию с гравитационным полем.

Понятие потенциала

Если мы поднимем тело массы m , лежащее на земле на высоту h , мы изменим его потенциальную энергию на величину mgh . Именно такую работу A и необходимо совершить для этого подъема.

$$\Delta E = mgh = A$$



Для любой массы m разница энергий на высоте 0 и h будет равна mgh (см. рис. 2).

Если разделить значение потенциальной энергии mgh на массу, мы получим величину, характеризующую гравитационное поле в данной точке. Выражение gh уже не зависит от массы, оно показывает работу, которую необходимо совершить для переноса тела, с некоторой массой, на высоту h , деленную на эту массу.

Теперь посмотрим, как ввести аналог потенциальной энергии приведенной на единицу массы в электрическом поле.

На заряд q , находящийся в поле другого заряда Q , закрепленного в некоторой точке пространства, действует сила Кулона $F = \frac{kqQ}{r^2}$. Эта сила может переместить заряд q , совершив при этом работу. Значит, система двух зарядов, находящихся на определенном расстоянии, обладает потенциальной энергией, зависящей от величины зарядов и расстояния между ними.

Если по аналогии с гравитационным полем рассмотреть величину, равную этой энергии, деленной на заряд q , то она уже не будет зависеть от заряда q и охарактеризует только поле заряда Q в данной точке. То есть будет являться функцией заряда Q и расстояния между зарядами. Эта величина и называется потенциалом электрического поля.

Разность потенциалов двух точек, умноженная на величину заряда q , равна работе, необходимой для перемещения этого заряда между этими точками. То есть разность потенциалов двух точек поля – это работа по перемещению между ними единичного заряда.

Как и в поле сил тяжести, эта работа не зависит от траектории и определяется только положением точек, между которыми перемещается единичный заряд. Такие поля называют консервативными. В разделе «Механика» мы уже говорили, что энергия – величина, требующая для измерения задания «начала отсчета». Например, в гравитационном поле мы можем считать нулевой потенциальную энергию тела, находящегося на уровне земли. В случае электростатического поля, создаваемого зарядом, естественно считать нулевой потенциальной энергией некоторого заряда, находящегося в поле, его энергию на бесконечном удалении от заряда, в поле которого он находится. Это и есть «точка отсчета» для потенциальной энергии поля заряда.

Потенциал поля в некоторой точке равен работе по перемещению единичного заряда из этой точки на бесконечность.

Рис. 13 Изменение потенциальной энергии

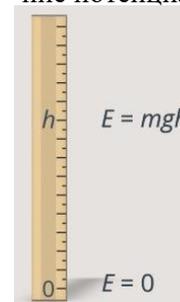


Рис. 14 Разница потенциальных энергий

Выражение для потенциала поля точечного заряда

Пусть положительный заряд q находится на расстоянии r_1 от положительного заряда Q .

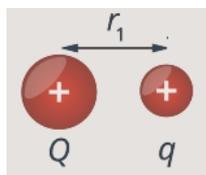


Рис. 15. Изначальное положение заряда q

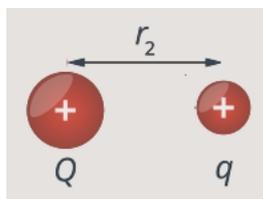


Рис. 16. Конечное положение заряда q

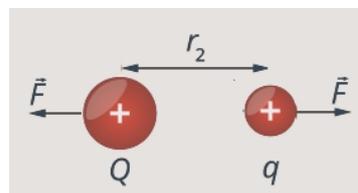


Рис. 17. Действие силы электрического взаимодействия

Какую работу совершит электрическое поле при перемещении заряда q вдоль радиуса в точку, отдаленную на $r_2 > r_1$ от Q ?

По определению работа силы равна этой силе, умноженной на перемещение:

$$A = F \cdot (r_2 - r_1) \cdot \cos \alpha$$

В данном случае действует сила электрического взаимодействия, по закону Кулона $F = \frac{kqQ}{r^2}$.

Сила и перемещение в нашем случае сонаправлены, $\alpha = 0$ и $A = F \cdot (r_2 - r_1)$. Так мы можем находить работу для случая, когда сила постоянна на всей траектории. Здесь же сила изменяется по мере отдаления зарядов друг от друга.

Обозначим перемещение заряда $H = r_2 - r_1$.

По мере перемещения заряда q сила изменяется, но на малом (в сравнении с расстоянием до заряда Q) отрезке можем считать ее постоянной и находить работу по определению, которое мы привели выше.

Работа, совершаемая силой Кулона на таком малом отрезке h равна Fh , где силу F можно считать постоянной на всем отрезке h . Тогда работа при перемещении на расстояние H будет равна сумме работ на N участках ($N = \frac{H}{h}$), на каждом из которых сила Кулона постоянна и равна $F_i = k \frac{Qq}{(r+ih)^2}$.

$$\text{Эта сумма будет равна } A = k \frac{Qq}{r_1} - k \frac{Qq}{r_2}$$

Подробный вывод этой формулы вы можете проследить в ответвлении.

Работа при перемещении электрического заряда

$$\text{Работа по перемещению заряда на малом участке } h \text{ равна: } A = F_i h = k \frac{Qqh}{(r+ih)^2}$$

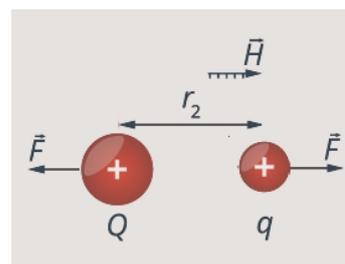


Рис. 18. Перемещение заряда

Работа на участке H равна сумме работ на каждом участке h :

$$A = \sum_{i=1}^N A_i = \sum_{i=1}^N k \frac{Qqh}{(r_1 + ih)^2} = kQq \sum_{i=1}^N \frac{h}{(r_1 + ih)^2}$$

Воспользуемся приближенным равенством:

$$\frac{h}{(r + ih)^2} \approx \frac{1}{r + (i-1)h} - \frac{1}{r + ih}$$

Прежде чем его применить, покажем, что равенство справедливо. Приведем правую часть к общему знаменателю:

$$\frac{1}{r + (i-1)h} - \frac{1}{r + ih} = \frac{r + ih - (r + (i-1)h)}{(r + (i-1)h) \cdot (r + ih)} =$$

Раскроем скобки:

$$= \frac{r + ih - r - ih + h}{(r + ih - h) \cdot (r + ih)} = \frac{h}{r^2 + ihr + ihr + (ih)^2 - hr - ih^2} =$$

Заметим, что h – пренебрежимо малая по сравнению с r величина, ih не может считаться пренебрежимо малой, т. к. количество i участков h велико. Поэтому в знаменателе можем пренебречь членами hr и $ih^2 = ih \cdot h$.

$$= \frac{h}{r^2 + 2ihr + (ih)^2} = \frac{h}{(r + ih)^2}$$

Вернемся к нахождению работы. Распишем выражение по полученной формуле:

$$A = kQq \sum_{i=1}^N \frac{h}{(r_1 + ih)^2} = kQq \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{r_1 + (i-1)h} - \frac{1}{r_1 + ih} \right) =$$

Распишем сумму:

$$= kQq \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1 + h} + \frac{1}{r_1 + h} - \frac{1}{r_1 + 2h} + \dots + \frac{1}{r_1 + (N-1)h} - \frac{1}{r_1 + Nh} \right) =$$

$$= kQq \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1 + H} \right) = k \frac{Qq}{r_1} - k \frac{Qq}{r_2}$$

Мы знаем, что работа связана с энергией. Система обладает энергией, если силы, возникающие в системе, могут выполнить работу (в нашем случае это сила электростатического взаимодействия зарядов). Работа равна уменьшению потенциальной энергии:

$$A_{1 \rightarrow 2} = -\Delta W_{\Pi} = W_{\Pi 1} - W_{\Pi 2}$$

Сравнив с выражением $A_{1 \rightarrow 2} = k \frac{Qq}{r_1} - k \frac{Qq}{r_2}$, делаем вывод, что $W_{\Pi} = k \frac{Qq}{r}$ – это потенциальная энергия W_n взаимодействия двух зарядов. Ранее мы приняли, что потенциальная энергия заряда, отдаленного от источника электрического поля на

бесконечность, равна нулю. Посмотрим, как с этим согласуется полученная формула:

$$W_{\text{п}} = k \frac{Qq}{r}$$

Действительно, $W_{\text{п}}$ будет равна нулю на бесконечном отдалении от заряда Q , т. к. $\frac{kQq}{r} \rightarrow 0$ при $r \rightarrow \infty$.

Теперь проверим, как полученный результат соотносится с моделью, в которой разноименные заряды обозначены знаками плюс и минус. Если заряды одноименные, то потенциальная энергия взаимодействия положительна $k \frac{Qq}{r} > 0$. Система стремится к состоянию с наименьшей потенциальной энергией (как и, например, камень на некоторой высоте h над поверхностью земли, предоставленный сам себе, будет падать вниз, т. е. уменьшать высоту и с ней потенциальную энергию mgh)

Действительно, заряды будут отталкиваться и сила электрического взаимодействия будет вызывать перемещение заряда на большее расстояние, потенциальная энергия $k \frac{Qq}{r}$ будет уменьшаться.

Если заряды разноименные, то потенциальная энергия взаимодействия $k \frac{Qq}{r}$ имеет знак минус. Заряды притягиваются, и сила их взаимодействия вызывает перемещение заряда на меньшее расстояние r , потенциальная энергия $-k \frac{Qq}{r}$ уменьшается.

Потенциал электрического поля

Энергия заряда q в поле заряда Q , равная $k \frac{Qq}{r}$, зависит от величин обоих зарядов. Характеристика поля, созданного зарядом Q , естественно, не должна зависеть от величины помещенного в него заряда. Разделим W_n на q и получим $\frac{W_n}{q} = k \frac{Q}{r}$. Эта величина называется потенциалом электрического поля и обозначается буквой φ . Эта характеристика поля показывает, какой энергией обладает положительный заряд, помещенный в данную точку поля. Как и энергия, потенциал – скалярная величина, измеряется в вольтах.

В нашем случае $\varphi = k \frac{Q}{r}$ – потенциал поля точечного заряда. Точка отсчета потенциалов в нашем случае естественным образом является бесконечно отдаленной точкой.

В зависимости от задачи точкой отсчета выбирают потенциал поверхности Земли, потенциал отрицательно заряженной пластины конденсатора или потенциал любой другой точки, удобной для решения задачи.

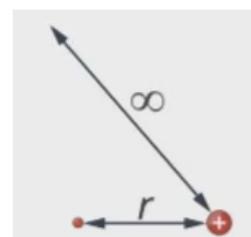


Рис. 19. Точка отсчета потенциалов

Таким образом, пользуясь определением потенциала, можно вычислить потенциальную энергию заряда, находящегося в электростатическом поле: $W_n = \varphi q$ и работу поля по перемещению заряда из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2 : $A = (\varphi_1 - \varphi_2)q$

Электрическое поле является консервативным, его работа не зависит от траектории движения заряда, а зависит только от перемещения.

Заряд всегда распределен на каком-то теле, имеющем геометрические размеры. На расстояниях, много больших размеров тела, поле слабо зависит от объема и формы этого тела, и потому модели точечного заряда достаточно. Например, потенциал поля заряженного металлического шара при $r > R$ эквивалентен потенциалу поля точечного заряда:

$$\varphi = k \frac{Q}{r}.$$

Внутри шара потенциал во всех точках одинаков и равен потенциалу на поверхности шара: $\varphi_0 = k \frac{Q}{R}$.

Если бы это было не так, то потенциальная энергия в разных точках внутри шара отличалась бы, а, так как внутри

металла есть свободные носители заряда, поле выполняло бы работу по перемещению зарядов. В итоге электроны переместились бы в область большего потенциала, тем самым уменьшив его. Таким образом, потенциал во всех точках приравнивается.

Потенциал подчиняется принципу суперпозиции. При наличии нескольких источников поля складываются как векторы напряженности поля, так и потенциалы:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots$$

Задача 1

При перемещении заряда между точками с разностью потенциалов 1 кВ электрическое поле совершило работу 40 мкДж. Чему равен заряд?

Это простая задача на понимание смысла величины разности потенциалов.

Разность потенциалов равна работе по переносу заряда, деленной на величину этого заряда. $\Delta\varphi = \frac{A}{q}$

$$\text{Выразим значение заряда: } q = \frac{A}{\Delta\varphi}$$

И вычислим ответ:



Рис. 20. Потенциал поля при $r > R$

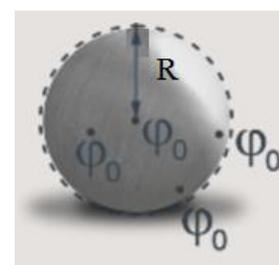


Рис. 21. Потенциал внутри шара

$$q = \frac{40 \cdot 10^{-6}}{10^3} = 40 \cdot 10^{-9} \text{Кл} = 40 \text{нКл}$$

Ответ: $q=40 \text{нКл}$

Задача 2

Какую работу надо совершить, чтобы перенести заряд 5 мкКл из бесконечности в точку поля, удаленную от центра заряженного шара на 18 см? Заряд шара – 20 мкКл.

Порассуждаем.

- Потенциал поля заряженного шара на бесконечности равен нулю. Следовательно, приближая заряд от бесконечности к шару, внешней силе нужно совершать работу для преодоления силы электростатического взаимодействия. Численно эта работа будет равна работе электрического поля заряженного шара по перемещению заряда с расстояния 18 см на бесконечность.

- Работа по переносу заряда в электрическом поле связана с разностью потенциалов между начальной и конечной точками траектории и величиной заряда.

$$\Delta\varphi = \frac{A}{q}$$

- Величина переносимого заряда у нас есть.

- Потенциал поля заряженного шара на бесконечности, как мы уже отметили, равен нулю. А в конечной точке траектории мы сможем его вычислить, пользуясь формулой для потенциала поля точечного заряда, которая справедлива и для поля вне заряженного шара.

Приступим к решению.

Найдем потенциал электрического поля заряженного шара в конечной точке траектории.

$$\varphi_k = k \frac{Q}{r}$$

Потенциал электрического поля заряженного шара на бесконечности равен нулю.

$$\varphi_n = 0$$

Разность потенциалов электрического поля по переносу заряда из точки с потенциалом φ_k в точку с потенциалом φ_n будет равна:

$$\Delta\varphi = \varphi_k - \varphi_n$$

В то же время она будет равна работе электрического поля по переносу заряда, деленной на заряд:

$$\Delta\varphi = \frac{A_3}{q}$$

Величина работы внешних сил, которую надо совершить, чтобы перенести заряд из точки с меньшим потенциалом в точку с большим потенциалом, равна работе электрического поля по переносу такого же заряда в обратном направлении.

$$A = A_3,$$

Таким образом, мы получили систему из пяти уравнений, решив которую найдем искомую величину.

Ответ: $A = 5 \text{ Дж}$.

Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ РАЗНЫХ МЕТОДИК

3.1. Итоговый контроль знаний по теме: «Электростатический потенциал» [2]

Задания:

1. Почему лампочка карманного фонаря перегорает, если ее подключить к осветительной сети?

2. Где потенциальная энергия заряда больше, у положительной или отрицательной пластины конденсатора?

3. Потенциал электростатического поля некоторого заряда убывает по мере удаления от него. Каков знак этого заряда?

4. Как изменяется потенциальная и кинетическая энергия положительно заряда, находящегося на пылинке, которая свободно перемещается в поле положительного точечного заряда по направлению силовой линии?

5. Если металлическим шаром, имеющим разные диаметры, сообщить равные отрицательные заряды, то будет ли ток в проводе, которым соединяют после этого шары?

6. Если известно, что напряженность электрического поля в какой-то точке равна нулю, значит ли это, что и потенциал в этой точке равен нулю?

7. Между какими точками однородного электростатического поля разность потенциалов максимальна?

8. Почему в опытах по электростатике человека устанавливают на изолирующую поставку?

9. Имеется заряженная сфера. Зависит ли потенциал в центре сферы от распределения зарядов на сфере?

10. Какую работу совершают силы поля, перемещая заряд 20 нКл из точки

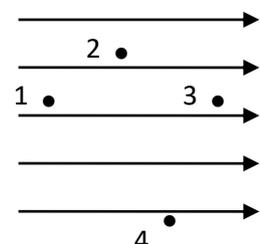


Рис. 22. Потенциал однородного поля

с потенциалом 700 В, в точку с потенциалом 200 В; из точки с потенциалом -100 В в точку с потенциалом 400 В?

11. Электрон вылетает из точки потенциал которой 450 В со скоростью 1,9 Мм/с. Какую скорость он будет иметь в точке с потенциалом 475В?

Ответы:

1. Так как она рассчитана на меньшее напряжение. Если для нее создать большую разность потенциалов, то будет переноситься большой заряд, т.е создастся большой ток и она перегорит. Это равносильно, что человек может безопасно прыгать с высоты 1,2 м, а он прыгнул с 120 м.

2. Потенциальная энергия зависит от заряда, помещенного между пластинами. Если поместим положительный, то большей потенциальной энергией будет обладать положительная пластина, если отрицательный, то отрицательная.

3. Если потенциал убывает, то знак заряда положительный, т.к. потенциал возрастает по мере удаления от отрицательной пластины (или напряженность поля направлена в сторону уменьшения потенциала) .

4. Если положительный заряд удаляется от положительного, то его потенциальная энергия уменьшается, а кинетическая возрастает.

5. Да, т. к. шары имеют разные диаметры, то у шара, имеющего меньший диаметр, потенциал при равных зарядах будет меньше. Следовательно, ток будет направлен от шара с большим потенциалом к шару с меньшим потенциалом, т.е. от большого шара к меньшему шару.

6. Нет. Это значит, что потенциал везде одинаковый, т.к. $E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta d}$. В тех областях пространства, где напряженность поля равна нулю потенциал во всех точках одинаков. Например, проводник: все точки проводника имеют одинаковый электрический потенциал.

7. Между 1 и 3. Так как Работа по перемещению не зависит от траектории. Путь «-» (поверхность Земли). Точка 3 наиболее близко, точка 1 наиболее далеко.

8. Для обеспечения изоляции человека от земли (поверхности пола в помещении). Т.к. в процессе электризации будет скапливаться электрический заряд и из-за разности потенциалов человек может выступить в роли проводника, по которому пойдет электрический ток.

9. Нет, т.к радиус сферы одинаковый.

10.

Дано:	Решение:
$q = 20 \text{ нКл}$	
$\varphi_1 = 700 \text{ В}$	$A' = q(\varphi_1 - \varphi_2) = 20 \cdot 10^{-9} \cdot (700 - 200) = 10 \cdot 10^{-6} = 10 \text{ мкДж}$
$\varphi_2 = 200 \text{ В}$	$A' = q(\varphi_1^I - \varphi_2^I) = 20 \cdot 10^{-9} \cdot (-100 - 400) = -10 \cdot 10^{-6} = -10 \text{ мкДж}$
$\varphi_1^I = -100 \text{ В}$	
$\varphi_2^I = 400 \text{ В}$	
$A' = ?$	

11.

Дано:	Решение:
$\varphi_1 = 450 \text{ В}$	По закону сохранения полной энергии:
$v_1 = 1,9 \text{ Мм/с} = 1,9 \cdot 10^6 \text{ м/с}$	$E_{п1} + E_{к1} = E_{п2} + E_{к2}$
$\varphi_2 = 475 \text{ В}$	$q_e \varphi_1 + \frac{m_e v_1^2}{2} = q_e \varphi_2 + \frac{m_e v_2^2}{2} \Rightarrow$
$q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$v_2 = \sqrt{\frac{2(q_e(\varphi_1 - \varphi_2) + \frac{m_e v_1^2}{2})}{m_e}}$
$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$	$=$
$v_2 = ?$	$\sqrt{\frac{2(-1,6 \cdot 10^{-19}(450 - 475) + \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,9^2 \cdot 10^{12}}{2})}{9,1 \cdot 10^{-31}}}$
	$v_2 = 3,5 \text{ Мм/с}$

3.2. Аналитическая справка по результатам контроля

10 А класс (физико-математический профиль) был разделен на три группы. Для чистоты эксперимента разделен в алфавитном порядке. Трех группам был рассказан урок тремя разными способами. После чего выдано итоговое задание. Результаты задания приведены в таблице:

Таблица Результаты итогового задания по группам

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Итого	Сред
1 группа	Ахлестин	Н												

	Сергей													
	Гапоненко Андрей	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-	5,5	3,79
	Ждан Александр	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	2,5	
	Карпова Юлия	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	3	
	Куртукова Маргарита	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	3,25	
	Красовских Данил	+	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	3,5	
	Курганский Александр	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	-	5	
	Корнаухов Леонид	н												
2 группа	Максимов Никита	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	-	4,5	4,88
	Палиев Степан	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	2,75	
	Плавских Александр	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	6	
	Поварнин Сергей	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	-	4,5	
	Суслов Владимир	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-	6	
	Слизевич Егор	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	5,5	
		Рузанов Александр	н											
3 группа	Терентьева Полина	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	2,25	2,3
	Терехова Юлия	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	2	
	Тимохов Ярослав	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	1,5	
	Топоркова Арина	н												
	Шестаков Максим	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	3,25	
	Шуплецова Мария	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	2,5	

Жирным цветом выделены дети, которые занимаются физикой на олимпийском уровне.

О современных учебниках физики можно говорить долго. То как излагается там материал (даже не учитывая физических и математических ошибок) оставляет желать лучшего. Я понимаю, что текст научной литературы должен содержать много «умных» слов и формулировок, но это учебник! И он для детей. Если бы я разговаривала на уроках так как пишут в учебниках, да, наверное дети воспринимали бы меня как суперумного человека... но не более. Понимания того, что я говорю, не

было бы. Например, цитата: «Из механики известно, что система, способная совершить работу благодаря взаимодействию тел друг с другом, обладает потенциальной энергией»..., «С точки зрения теории близкодействия на заряд непосредственно действует электрическое поле, созданное другим зарядом..» и т.д. Мне, взрослому человеку приходится перечитывать по несколько раз, чтобы понять суть фразы. Если честно мозг просто хочет спать, когда читает такой сухой научный текст. И естественно главный недостаток учебников – большинство информации дается как данное. Без вывода, без объяснения и как следствие без понимания. Вот яркий пример такого урока (урок1). Например: «Работа не зависит от формы траектории». Как это доказали? Или: «Если поле совершает положительную работу, то потенциальная энергия заряженного тела в поле уменьшается: $\Delta W_n < 0$ » Почему? Ведь если это не показать, объяснить, то будут бесконечные ошибки со знаками. Или такая логика: «Потенциальная энергия заряда в электростатическом поле пропорциональна заряду $W_n = qEd$. Следовательно, отношение потенциальной энергии к заряду не зависит от помещённого в поле заряда». Что? Почему? А почему не отношение к расстоянию или напряженности? И т.д. до конца урока. Сухие формулировки, определения, которые детям выдаются под запись, по сути без нормального объяснения. Даже вопросы на закрепление в этом уроке без понимания сути темы. Называется найди ответ в тексте учебника.

Второй пример урока бесспорно насыщен информацией. Всю тему уложить в один урок невозможно. Она занимает 2 урока (и это при достаточно быстром темпе работы). Очень понравилась идея с А' и наличие эксперимента.

В третьем уроке интересный подход. Все логически структурировано, объяснено. Но на мой взгляд, слишком запутанно, слишком много математики. Наверное, в матклассах так было бы рассказать интереснее. И еще один недостаток – достаточно слабые задачи, не отражающие всю проблему при решении задач на эту тему. Нет вопросов на закрепление.

Конечно, чистота эксперимента оставляет желать лучшего, т.к. до электростатики мы еще не добрались и потенциал приходилось давать без понимания напряженности. Но все были в одинаковых условиях и в любом случае цифры говорят сами за себя. Наиболее «успешный» урок оказался урок под №2 А.А. Найдина. Его и буду брать за основу при составлении идеального плана.

Глава 4. КРУГЛЫЙ СТОЛ С УЧЕНИКАМИ РАЗНЫХ ГРУПП

4.1. Вопросы круглого стола (Что было непонятно)

1. Плохо проговаривается, что для определения потенциала мы используем единичный положительный заряд.

2. Не понятно когда работа положительна, когда отрицательна.

3. Мало сказано о потенциале шара.

4. Не понятна разница между потенциалом и потенциальной энергией.

4.2. Предложения по улучшению плана

1. Разбить тему на 2-3 урока. Слишком много информации.

2. Проговаривать, что для введения понятия потенциал мы используем положительный заряд.

3. Привести пример с неоднородным полем.

4. Разграничить понятия собственной работы (работы электростатического поля) и внешней работы.

5. Показывать демонстрации, опыты.

6. На закрепление рассматривать не только задачи, но и вопросы.

7. Показать, что решение задач через потенциал – равносильно решению задач через закон сохранения энергии.

Глава 5. «ИДЕАЛЬНЫЕ» ПЛАНЫ УРОКОВ

Конечно, под словом «идеальный» подразумевается только попытка создать доступный, понятный и корректный материал.

За основу хорошего плана возьмем урок №2 (Анатолия Анатольевича Найдина) и видеоуроки Павла Андреевича Виктора.[2,7]

5.1. Урок 1. Работа электростатического поля. Потенциал

Цель урока: Познакомить учеников с одним из способов вычисления работы электростатического поля по перемещению заряда. Основываясь на аналогии с гравитационным полем, показать, что работа в потенциальных полях может быть определена по изменению потенциальной энергии тела.

Тип урока: урок – лекция.

Оборудование: любое тело (шарик, кусок мела, молоток и т.д.) поднятое над уровнем стола.

Введение

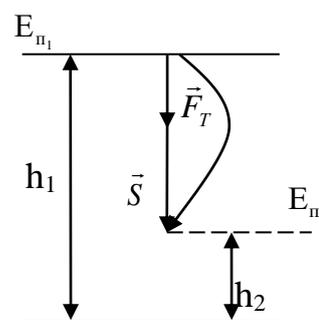
Понятие энергии исключительно полезно для решения задач механики. Прежде всего энергия сохраняется и поэтому служит важной характеристикой явлений природы. Используя представления об энергии, многие задачи удается решить,

не имея детальных сведений о силах или в случае, когда применение законов Ньютона потребовало бы сложных вычислений.

Энергетическим подходом можно воспользоваться и при изучении электрических явлений, и здесь он оказывается чрезвычайно полезным: позволяет не только обобщить закон сохранения энергии, но и в новом аспекте увидеть электрические явления, а также служит средством более просто находить решения, чем путем рассмотрения сил и электрических полей. [6]

Понятие потенциального поля на примере гравитационного поля.

На тело в поле тяжести земли действует гравитационная сила (сила тяжести). Тогда работа, которую совершает гравитационное поле можно легко рассчитать по формуле: $A' = mg(h_1 - h_2)$ – работа поля не зависит от вида траектории,



поэтому по замкнутому пути она равна нулю.

A' – собственная работа гравитационного поля.

Если же тело поднимаем, то запасаем энергию.

A – работа внешних сил по подъему тела (запасу потенциальной энергии)

$$A = mg(h_2 - h_1) < 0 \quad A' = -A$$

Рис. 23
Работа гравитационного поля

Вывод: Гравитационное поле – потенциально, а сила тяжести – консервативная сила. Также мы знаем, что работа равна изменению энергии. В данном случае меняется потенциальная энергия $A' = E_{n1} - E_{n2}$. По последней формуле работу поля рассчитать легче, если мы научимся определять потенциальную энергию тела в любой точке поля. Из сравнения двух формул для работы видно, что E_n в гравитационном поле Земли определяется формулой: $E_n = mgh$.

Представим себе однородное электрическое поле, например между двумя пластинами плоского конденсатора. Поместим в него положительно заряженное тело. Сила, действующая на заряженное тело (других полей нет): $\vec{F}_3 = q\vec{E}$. Эта сила постоянна, т.к. поле однородно и статично. Работа электростатического поля при перемещении заряженного тела (аналогия с гравитационным полем): $A' = qES\cos\theta = qE(d_1 - d_2)$ – вдоль линий напряженности.

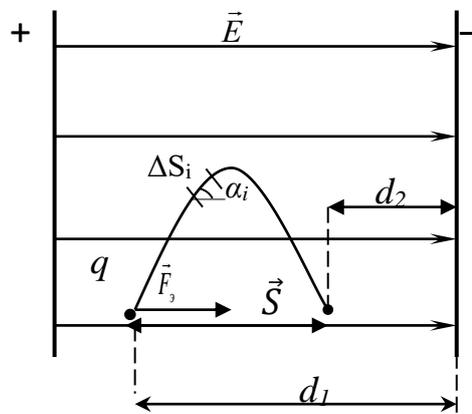


Рис. 24
Работа электростатического поля по переносу электрического заряда

$A' = \sum_i \Delta A_i = \sum_i qE \Delta S_i \cos \alpha_i = qE \sum_i \Delta S_i \cos \alpha_i = qES = qE(d_1 - d_2)$. – по любой другой траектории. Работа не зависит от вида траектории, а по замкнутому пути равна нулю.

Можно аналогично доказать для неоднородного поля.

Вывод: Электростатическое поле потенциально, а электрическая сила – консервативная сила. Тогда $A' = E_{\Pi_1} - E_{\Pi_2}$. Из сравнения двух формул для работы видно, что потенциальная энергия заряда в однородном электростатическом поле определяется формулой: $E_n = qEd$.

Потенциальная энергия заряженного тела в электростатическом поле. Как ее определить в любой точке поля? Поместить туда заряд. Тогда можно ввести энергетическую характеристику электрического поля, не зависящую от помещенного заряда. Разделим все уравнение на величину помещенного заряда.

$$\frac{A'}{q} = \frac{E_{\Pi_1}}{q} - \frac{E_{\Pi_2}}{q}$$

Тогда мы получим:

$\frac{A'}{q}$ – характеристика электростатического поля между двумя точками.

$\frac{E_{\Pi_1}}{q}$ - характеристика электростатического поля в точке 1.

$\frac{E_{\Pi_2}}{q}$ - характеристика электростатического поля в точке 2.

Потенциал (φ) – энергетическое свойство данной точки электростатического поля, измеряемое отношением потенциальной энергии взаимодействия пробного заряда с полем к величине этого заряда (измеряемое отношением работы, совершаемой внешними силами по переносу пробного заряда из бесконечности в данную точку поля, к величине этого заряда).

$$\varphi = \frac{E_{\Pi}}{q}$$

Поле задано, если известен потенциал каждой его точки.

Единица потенциала в Си: $1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$.

Работа электростатического поля при перемещении заряженного тела: $E_{\Pi_1} = q\varphi_1$, $E_{\Pi_2} = q\varphi_2$;

$$A' = E_{\Pi_1} - E_{\Pi_2} = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU$$

Электрическое напряжение (U) - свойство электростатического поля совершать работу, перемещая электрический заряд из одной точки поля в другую, измеряемое отношением произведенной работы к перенесенному заряду.

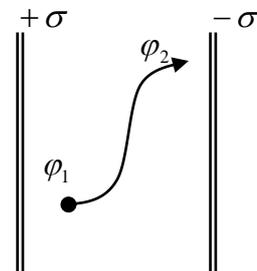


Рис. 25
Перемещение заряда по действию электрической си-

$$U = \frac{A'}{q}$$

Энергию можно запастись, перемещая заряд против действия электрической силы. Работа внешних сил при перемещении заряженного тела в электростатическом поле: $A = q\Delta\varphi$. Измерение разности потенциалов. Единица разности потенциалов в СИ: $1 \text{ В} = 1 \text{ Дж/Кл}$. Связь между разностью потенциалов и напряжением: $U = -\Delta\varphi$.

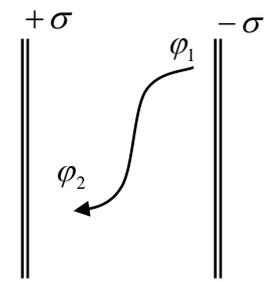


Рис. 26
Перемещение заряда против действия электрической силы

В некоторых простых случаях потенциал можно считать по простым формулам. Например, потенциал данной точки однородного электростатического поля рассчитывается по формуле: $\varphi = Ed + C$. Потенциал точки определяется с точностью до произвольной постоянной (можно показать, выбрав другую систему отсчета).

Обычно за нуль принимается потенциал Земли или бесконечно удаленной точки.

Работа электростатического поля точечного заряда (неоднородное поле)

$$F_3 = q_0 \cdot E, \quad E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad dA' = F_3 dr,$$

$$A' = \int_{r_1}^{r_2} \frac{qq_0 dr}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r_1} - \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r_2} = q_0(\varphi_1 - \varphi_2);$$

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \text{ — потенциал поля точечного заряда.}$$

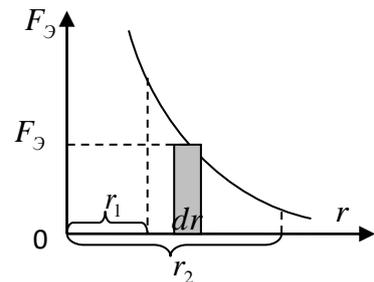


Рис. 27
Зависимость электрической силы от расстояния

Чтобы лучше понять смысл электрического потенциала, проведем аналогию с гравитационным полем. Пусть камень падает с вершины скалы. Чем выше скала, тем большей потенциальной энергией обладает камень и тем больше будет его кинетическая энергия, когда он долетит до подножия скалы. Величина кинетической энергии и соответственно работа, которую может совершить камень, зависят от высоты скалы и от массы камня. Точно так же и в электрическом поле изменение потенциальной энергии (и работа, которую можно совершить) зависит от разности потенциалов (эквивалентной высоте скалы) и заряда (эквивалентного массе).

Используемые на практике источники электроэнергии – батареи, электрогенераторы – создают определенную разность потенциалов. Количество энергии, отбираемой от источника, зависит от величины переносимого заряда. Рассмотрим, например, автомобильную фару, соединенную с аккумулятором, раз-

ность потенциалов на зажимах которого равна 12 В. Количество энергии, преобразуемой фарой в свет (и, конечно, в тепло), пропорционально заряду, протекающему через фару, что в свою очередь зависит от того, как долго включена фара. Если за некоторое время через фару прошел заряд 5,0 Кл, то преобразованная фарой энергия составит $(5,0 \text{ Кл}) \cdot (12,0 \text{ В}) = 60 \text{ Дж}$. Если оставить фару включенной вдвое дольше, то через нее пройдет заряд 10,0 Кл, и количество преобразованной энергии составит $(10,0 \text{ Кл}) \cdot (12,0 \text{ В}) = 120 \text{ Дж}$. [6]

Вопросы:

1. Почему лампочка карманного фонаря перегорает, если ее подключить к осветительной сети? *(Так как она рассчитана на меньшее напряжение. Если для нее создать большую разность потенциалов, то будет переноситься большой заряд, т.е. создастся большой ток и она перегорит. Это равносильно, что человек может безопасно прыгать с высоты 1,2 м, а он прыгнул с 120 м.)*

2. Где потенциал больше, у положительной или отрицательной пластины конденсатора? *(У положительной, т.к. у отрицательной принято считать за 0)*

3. Потенциал электростатического поля некоторого заряда убывает (возрастает) по мере удаления от него. Каков знак этого заряда? *(Если потенциал убывает, то заряд положительный, если возрастает, то отрицательный. Чем дальше от «-», тем больше потенциал).*

4. Как изменяется потенциальная и кинетическая энергия положительного заряда, находящегося на пылинке, которая свободно перемещается в поле положительного точечного заряда по направлению силовой линии? *(Если положительный заряд удаляется от положительного, то его потенциальная энергия уменьшается, а кинетическая возрастает.)*

5. Если металлическим шарам, имеющим разные диаметры, сообщить равные отрицательные заряды, то будет ли ток в проводе, которым соединяют после этого шары? *(Да, т.к. шары имеют разные диаметры, то у шара, имеющего меньший диаметр, потенциал при равных зарядах будет меньше. Следовательно, ток будет направлен от шара с большим потенциалом к шару с меньшим потенциалом, т.е. от большого шара к меньшему шару).*

6. Два небольших металлических шарика подключены к удаленному источнику напряжения. Как изменится сила притяжения между шариками, если их погрузить в жидкий диэлектрик, не меняя расстояние между ними? *(При погружении в диэлектрик разность потенциалов, а, следовательно, и напряженность электрического поля между шариками не изменятся. Это достигается увеличением зарядов*

шариков в ϵ раз, где ϵ — диэлектрическая проницаемость жидкости. Значит, сила притяжения между шариками возрастет в ϵ раз).

Задачи:

1. Какую работу совершают силы поля, перемещая заряд 20 нКл из точки с потенциалом 700 В, в точку с потенциалом 200 В; из точки с потенциалом -100 В в точку с потенциалом 400 В?

Дано:	Решение:
$q = 20 \text{ нКл}$	
$\varphi_1 = 700 \text{ В}$	$A' = q(\varphi_1 - \varphi_2) = 20 \cdot 10^{-9} \cdot (700 - 200) = 10 \cdot 10^{-6} = 10 \text{ мкДж}$
$\varphi_2 = 200 \text{ В}$	$A' = q(\varphi_1^1 - \varphi_2^1) = 20 \cdot 10^{-9} \cdot (-100 - 400) = -10 \cdot 10^{-6} = -10 \text{ мкДж}$
$\varphi_1^1 = -100 \text{ В}$	
$\varphi_2^1 = 400 \text{ В}$	
$A' = ?$	

2. Электрон вылетает из точки потенциал которой 450 В со скоростью 1,9 Мм/с. Какую скорость он будет иметь в точке с потенциалом 475 В?

Дано:	Решение:
$\varphi_1 = 450 \text{ В}$	По закону сохранения полной энергии:
$v_1 = 1,9 \text{ Мм/с} = 1,9 \cdot 10^6 \text{ м/с}$	$E_{п1} + E_{к1} = E_{п2} + E_{к2}$
$\varphi_2 = 475 \text{ В}$	$q_e \varphi_1 + \frac{m_e v_1^2}{2} = q_e \varphi_2 + \frac{m_e v_2^2}{2} \Rightarrow$
$q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	
$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$	$v_2 = \sqrt{\frac{2(q_e(\varphi_1 - \varphi_2) + \frac{m_e v_1^2}{2})}{m_e}}$
$v_2 = ?$	$=$
	$\sqrt{\frac{2(-1,6 \cdot 10^{-19}(450 - 475) + \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,9^2 \cdot 10^{12}}{2})}{9,1 \cdot 10^{-31}}}$
	$v_2 = 3,5 \text{ Мм/с}$

5.2. Урок №2 Связь между напряженностью электростатического поля и разностью потенциалов [2,8]

Цель урока: Установить связь между напряженностью электростатического

поля и разностью потенциалов.

Тип урока: комбинированный.

Оборудование: раздвижной конденсатор, изолирующие штативы, электростатический маятник.

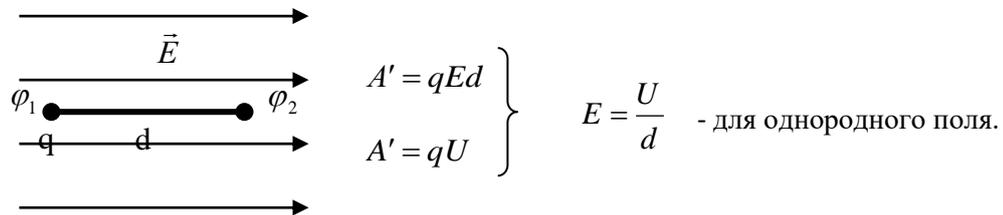


Рис. 28 Связь напряженности однородного электростатического поля с разностью потенциалов

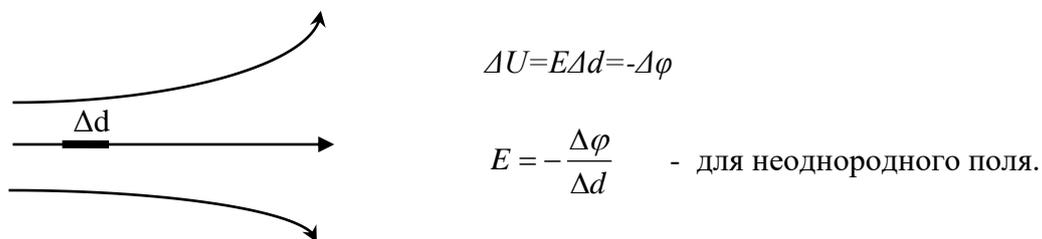


Рис. 29 Связь напряженности неоднородного электростатического поля с разностью потенциалов

Вывод: В направлении напряженности электрического поля потенциал убывает (приближаемся к 0 или аналогия с гравитационным полем приближаемся к Земле).

Единица напряженности электрического поля в СИ: $[E] = [В/м]$. Демонстрация с раздвижным конденсатором и электростатическим маятником (уменьшение расстояния между пластинами при постоянном напряжении на них приводит к увеличению напряженности поля между пластинами).

Экспериментально определить напряжение между пластинами раздвижного плоского конденсатора, если известно, что пробой воздуха наступает при напряженности поля: $E = 3 \cdot 10^6 \text{ В/м}$.

Если $E=0$, то $\Delta\varphi=0$, т.е. $\varphi_1=\varphi_2$

Вывод: В тех областях пространства, где напряженность поля равна нулю потенциал во всех точках одинаков. Например, проводник: все точки проводника имеют одинаковый электрический потенциал.

Эквипотенциальные поверхности. Изображение электростатических полей с помощью эквипотенциальных поверхностей. Направление и модуль вектора напря-

женности электрического поля: $E_d = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta d}$.

Вывод: Вектор напряженности электростатического поля направлен в сторону наиболее быстрого убывания потенциала.

Другой способ определения направления \vec{E} . Определим потенциальную энергию заряда на одной и на другой эквипотенциальной поверхности. Заряд будет перемещаться из точки, где его потенциальная энергия больше, в точку, где она меньше (от одной эквипотенциальной поверхности к другой) по траектории, прохождение которой требует минимального времени (принцип наименьшего действия).

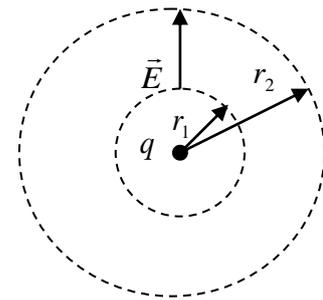


Рис. 30 Направление напряженности электростатического поля и разность потенциалов

Почему поверхность проводника эквипотенциальна? Потенциал поля проводящего шара (равномерно заряженной сферы). Связь между потенциалом и напряженностью на сферической поверхности: $\varphi = E \cdot R$. Поскольку поверхность проводника эквипотенциальная, то в областях с малым радиусом кривизны напряженность поля больше и наоборот. Сканирующий микроскоп. Когда тончайшее заряженное металлическое острие подводится к противоположно заряженному металлическому образцу на дистанцию, равную нескольким межатомным расстояниям, электроны начинают свободно проходить через зазор (туннельный эффект). Величина туннельного тока сильно зависит от величины зазора.

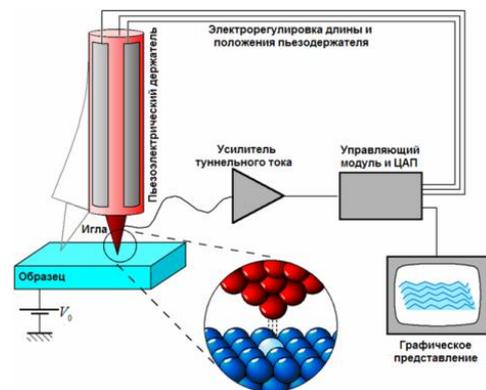


Рис. 31 Сканирующий микроскоп

Потенциал точки поля, создаваемого произвольным распределением зарядов:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_N$$

Измерение разности потенциалов. Электронметр. Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных электрических зарядов:

$$E_{II} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$$

Энергия уединенного проводника: $E_s = \frac{1}{2} q\varphi$.

Вопросы:

1. Два небольших металлических шарика подключены к удаленному источнику напряжения. Как изменится сила притяжения между шариками, если их погрузить в жидкий диэлектрик, не меняя расстояние между ними? (При погружении в диэлектрик разность потенциалов, а, следовательно, и напряженность электрического поля между шариками не изменятся. Это достигается увеличением зарядов шариков в ϵ раз, где ϵ — диэлектрическая проницаемость жидкости. Значит, сила притяжения между шариками возрастет в ϵ раз).

2. Если известно, что напряженность электрического поля в какой-то точке равна нулю, значит ли это, что и потенциал в этой точке равен нулю? (Нет. Это значит, что потенциал везде одинаковый, т.к. $E = -\frac{\Delta\phi}{\Delta d}$. В тех областях пространства, где напряженность поля равна нулю потенциал во всех точках одинаков. Например, проводник: все точки проводника имеют одинаковый электрический потенциал).

3. Потенциал электростатического поля возрастает в направлении снизу вверх. Куда направлен вектор напряженности поля? (Вектор напряженности направлен наоборот сверху вниз, т.к. вектор напряженности направлен в сторону убывания потенциала).

4. Почему в опытах по электростатике человека устанавливают на изолирующую поставку? (Для обеспечения изоляции человека от земли (поверхности пола в помещении). Т.к. в процессе электризации будет скапливаться электрический заряд и из-за разности потенциалов человек может выступить в роли проводника, по которому пойдет электрический ток).

5. Между какими точками однородного электростатического поля разность потенциалов максимальна? (Между 1 и 3. Так как Работа по перемещению не зависит от траектории. Права «-» (поверхность Земли). Точка 3 наиболее близко, точка 1 наиболее далеко).

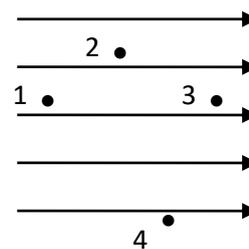


Рис. 32 Потенциал в однополном поле

Задачи:

1. Заряженная частица массы m и зарядом q начинает двигаться в однородном электрическом поле. Какое расстояние пройдет частица за время t , если электрическое напряжение между начальной и конечной точкой траектории равно U ?

2. В вершинах равностороннего треугольника со стороной 2 см расположены точечные заряды 2 мкКл. Какую работу нужно совершить, чтобы переместить точечный заряд 5 нКл из середины одной из сторон треугольника в его центр?

5.3. Урок №3,4 Решение задач

Вопросы:

1. В однородном электрическом поле напряженностью E удерживается диполь, состоящий из легкого жесткого стержня длиной d , на концах которого укреплены одинаковые маленькие шарики массой m каждый с зарядами q и $-q$. Найдите максимальную угловую скорость стержня после отпущения диполя. Влиянием силы тяжести пренебречь.

2. Внутри заземленной металлической сферы находится точечный заряд. Чему равна напряженность электрического поля внутри и вне сферы? Построить график.

3. Электрическое поле создается положительным зарядом q . Как изменятся напряженность и потенциал электрического поля в точке A , если за этой точкой поместить незаряженный проводящий шар?

4. Как можно изменить потенциал проводника, не касаясь его и не изменяя заряда?

5. Объясните, почему в диэлектрической среде заряженная частица находится в устойчивом положении равновесия.

6. Почему заряженный проводник, покрытый пылью, быстро теряет свой заряд?

7. Почему вектор напряженности электростатического поля вблизи проводника перпендикулярен его поверхности?

8. При сближении двух одноименных зарядов энергия системы увеличивается. Откуда берется эта энергия?

9. Как изменится электрическое поле, создаваемое точечным зарядом, если этот заряд окружить тонкой незаряженной металлической сферой, совпадающей с одной из эквипотенциальных поверхностей?

10. На расстоянии r от центра изолированного проводящего незаряженного шара находится точечный заряд q . Чему равен потенциал шара?

11. Если заряженный шарик соединить с таким же незаряженным шариком, то, как изменится запасенная ими энергия?

12. Какие превращения энергии происходят при пролете заряженной ча-

стицы через диэлектрическую среду?

13. Заряженный металлический шарик привели в соприкосновение с таким же незаряженным шариком. Как изменилась потенциальная энергия их взаимодействия с учетом их собственной энергии?

14. Проводник A находится в электростатическом поле точечного заряда q . Является ли при этом поверхность проводника эквипотенциальной?

15. Внутри проводящей заряженной сферы через небольшое отверстие вносится (без соприкосновения) металлический шарик, заряд которого равен по величине, но противоположен по знаку заряду сферы. Как изменится потенциал сферы?

16. Почему к оборванному трамвайному проводу, лежащему на земле, следует подходить все более мелкими шажками?

17. Проводящий стержень на изолирующей ручке поместили радиально в поле точечного заряда. Будет ли поверхность проводника эквипотенциальной? Можно ли рассчитать потенциал проводника? Каков будет потенциал проводника, если его заземлить?

18. В пространство вблизи бесконечной плоской тонкой равномерно заряженной сетки влетает электрон. Какими будут траектории движения электрона при изменении величины его начальной скорости, если сетка заряжена: а) положительно; б) отрицательно?

19. Движущаяся заряженная частица быстрее останавливается в среде с большей диэлектрической проницаемостью. Почему?

20. Что измеряет электрометр?

21. Зачем корпус электрометра заземляют?

22. Почему при измерении потенциала проводника его соединяют с электрометром длинной проволокой?

Задачи: [4,5]

1. Ртутный шарик, потенциал которого 1,2 кВ, разбивается на 27 одинаковых капелек. Определите потенциал каждой капельки. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа.

Дано:

$$\varphi = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ В}$$

$$N = 27$$

Решение:

Потенциал большой капли равен:
$$\varphi = \frac{kQ}{R}. \quad (1)$$

$\varphi_k = ?$

И потенциал маленькой капли:

$$\varphi_k = \frac{kq}{r}.$$

(2)

Для решения задачи нужно найти соотношение между зарядами и радиусами большой и маленькой капли. Совершенно очевидно, что если большая капля делится на равные части, то и заряд делится поровну.

$$Q = Nq. \quad (3)$$

Кроме того, на 27 частей делится масса капли.

$$M = Nm.$$

Массу распишем через плотность и объем.

$$\rho V = N\rho V_k,$$

где объем капли:

$$V_k = \frac{4}{3}\pi R^3.$$

$$\rho \frac{4}{3}\pi R^3 = N\rho \frac{4}{3}\pi r^3,$$

$$R^3 = N \cdot r^3,$$

$$R = r\sqrt[3]{N}. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (1), (2), (3) и (4), найдем потенциал маленькой капли.

$$\frac{\varphi}{\varphi_k} = \frac{kQ}{R} \cdot \frac{r}{kq_k} = \frac{Nq_k \cdot r}{r\sqrt[3]{N} \cdot q_k} = \frac{N}{\sqrt[3]{N}} = \sqrt[3]{N^2} \Rightarrow$$

$$\varphi_k = \frac{\varphi}{\sqrt[3]{N^2}} = \frac{1,2 \cdot 10^3}{\sqrt[3]{27^2}} = 133 \text{ (В)}$$

Ответ: $\varphi_k = 133 \text{ В}$

2. Два шара, радиусы которых 50 мм и 80 мм, а потенциалы, соответственно, 120 В и 50 В, соединяют проводом. Найдите заряд, перешедший с одного шара на другой после их соединения. Принять $1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$. Ответ представьте в нанокуллонах и округлите до сотых. Радиусы шаров значительно меньше расстояния между шарами.

Дано:

Решение:

$R_1 = 50 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$	Запишем заряд Δq , перешедший с одного шара на другой после их соединения.
$R_2 = 80 \text{ мм} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ м}$	
$\varphi_1 = 120 \text{ В}$	
$\varphi_2 = 50 \text{ В}$	
$1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$	
$q \text{ (нКл)} = ?$	Заряд будет переходить до тех пор, пока

$$\Delta q = q_1 - q'_1 = q'_2 - q_2, \quad (1)$$

где

$$q_1 = \frac{\varphi_1 R_1}{k}. \quad (2)$$

потенциалы шаров не выровняются:

$$\varphi'_1 = \varphi'_2. \quad (3)$$

Уравнение (1) с учетом формулы (2) примет вид:

$$\frac{\varphi_1 R_1}{k} - \frac{\varphi'_1 R_1}{k} = \frac{\varphi'_2 R_2}{k} - \frac{\varphi_2 R_2}{k}.$$

$$\varphi_1 R_1 - \varphi'_1 R_1 = \varphi'_2 R_2 - \varphi_2 R_2.$$

Так как $\varphi'_1 = \varphi'_2 = \varphi'$, то

$$\varphi'(R_1 + R_2) = \varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2.$$

Потенциал шаров после соединения:

$$\varphi' = \frac{\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Заряд, который останется на первом шаре, равен

$$q'_1 = \frac{\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1}{k}.$$

Тогда перешедший заряд Δq равен:

$$\Delta q = \frac{\varphi_1 R_1}{k} - \frac{\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1}{k} = \frac{R_1}{k} \left(\varphi_1 - \frac{\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2}{R_1 + R_2} \right).$$

Подставим численные значения и определим перешедший заряд.

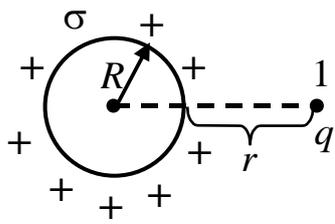
$$\Delta q = \frac{0,05}{9 \cdot 10^9} \cdot \left(120 - \frac{120 \cdot 0,05 + 50 \cdot 0,08}{0,05 + 0,08} \right) = 0,24 \cdot 10^{-9} \text{ (Кл)} = 0,24 \text{ (нКл)}.$$

Ответ: $\Delta q = 0,24 \text{ нКл}$

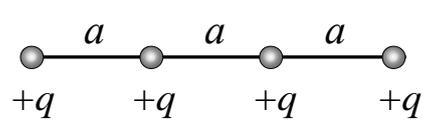
3. Какая работа совершается при перенесении точечного заряда 20 нКл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии 1 см от поверхности шара радиусом 1 см с поверхностной плотностью заряда 10^{-5} Кл/м^2 . Шар не проводящий.

Решение:

Дано:

$q = 20 \text{ нКл}$ $\varphi_1 = \varphi_\infty = 0$ $R = 1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$ $h = 1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$ $\sigma = 10^{-5} \text{ Кл/м}^2$	<p>Потенциал поля заряженного шара на бесконечности равен нулю. Следовательно, приближая заряд от бесконечности к шару, внешней силе нужно совершать работу для преодоления силы электростатического взаимодействия.</p> 
$A' = ?$	$A = -A' = q\Delta\varphi = q(\varphi_2 - \varphi_1)$ $\varphi_2 = \frac{kQ}{R+h}$ $Q = \sigma \cdot S$ $S = 4\pi R^2, \text{ тогда}$ $A = q \cdot \frac{kQ}{R+h} = \frac{qk\sigma 4\pi R^2}{R+h}$ $= \frac{20 \cdot 10^{-9} \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-5} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-2}}$ $A = 113 \text{ мкДж}$

4. Найдите потенциальную электростатическую энергию системы четырех положительных зарядов, равных 1 нКл, расположенных в вакууме на расстоянии $a = 1 \text{ м}$ друг от друга. Принять $1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{Кл}^2$. Ответ представьте в наноджоулях.

Дано:	Решение:
$q = 1 \text{ нКл} = 10^{-9} \text{ Кл}$ $a = 1 \text{ м}$ $1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$	
$W \text{ (нДж)} = ?$	

По определению потенциал

$$\varphi = \frac{W_{\text{пот}}}{q}, \quad (1)$$

где $W_{\text{пот}}$ – потенциальная энергия взаимодействия зарядов.

$$W_{\text{пот}} = q\varphi = \frac{kqq_1}{R}. \quad (2)$$

В нашем случае все заряды одинаковы по величине, следовательно, формула потенциальной энергии примет вид:

$$W_{\text{пот}} = \frac{kq^2}{R}. \quad (3)$$

Для системы зарядов:

$$W_{\text{пот}} = W_{12} + W_{13} + W_{14} + W_{23} + W_{24} + W_{34}. \quad (4)$$

С учетом выражения (3) имеем.

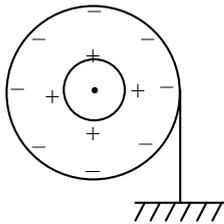
$$W_{\text{пот}} = \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{3a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{a} = \frac{kq^2}{a} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + 1 + \frac{1}{2} + 1\right) = \frac{13kq^2}{3a}.$$

Подставим численные значения и рассчитаем потенциальную электростатическую энергию системы четырех положительных зарядов.

$$W_{\text{пот}} = \frac{13kq^2}{3a} = \frac{13 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-18}}{3 \cdot 1} = 39 \cdot 10^{-9} \text{ (Дж)} = 39 \text{ (нДж)}.$$

Ответ: $W = 39$ нДж

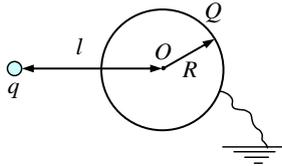
5. Металлический шар радиусом 1 м, имеющий потенциал 1 В, окружают сферической оболочкой радиуса 2 м. Чему будет равен потенциал первого шара, если заземлить оболочку? Ответ представьте в единицах СИ.

Дано:	Решение:
$R_1 = 1 \text{ м}$ $\varphi_1 = 1 \text{ В}$ $R_2 = 2 \text{ м}$ $\varphi'_1 = ?$	 <p> $q_1 = \frac{\varphi R_1}{k}$ - заряд металлического шара под влиянием поля, создаваемого шаром. На оболочке появляются индуцированные заряды $q_{\text{инд}} = -q_1$ на внутренней и $+q_1$ на внешней поверхности оболочки. Внешняя оболочка заземлена, и заряд стекает по поверхности </p>

$$\varphi'_1 = \varphi + \frac{k(-q_{\text{инд}})}{R_2} = \varphi - \frac{R_1}{R_2} \varphi = \varphi \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) = 1 \left(1 - \frac{1}{2}\right) = 0,5 \text{ (В)}$$

Ответ: $\varphi'_1 = 0,5 \text{ В}$

6. Какой заряд (в мкКл) появится на заземленной проводящей сфере радиусом 3 см, если на расстоянии 10 см от ее центра поместить точечный заряд -20 мкКл?

Дано:	Решение:
$R = 0,03 \text{ м}$ $q = -20 \text{ мкКл}$ $l = 0,1 \text{ м}$	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Если на некотором расстоянии от центра сферы поместить точечный заряд q, то на сфере появится заряд Q, который должен распределиться по сфере таким образом, чтобы потенциал</p> </div> </div>
$Q = ?$	

всех точек внутри сферы и на ее поверхности стал равен нулю. Ясно, что в этом случае заряд будет распределен неравномерно. Но, если приравнять нулю потенциал центра сферы, то его можно вычислить, используя метод суперпозиции.

$$\varphi_0 = \varphi_1 + \varphi_2 = 0. \quad (1)$$

Вклад точечного заряда q равен:

$$\varphi_1 = \frac{kq}{l}.$$

Тогда вклад зарядов, распределенных по сфере

$$\varphi_2 = \sum \frac{k\Delta Q_i}{R} = k \frac{\sum \Delta Q_i}{R} = k \frac{Q}{R}.$$

Так как потенциал центра сферы равен нулю (1), то

$$0 = -\frac{kq}{l} + \frac{Q}{R}.$$

Отсюда определим заряд на заземленной проводящей сфере.

$$Q = \frac{qR}{l} = \frac{20 \cdot 10^{-6} \cdot 0,03}{0,1} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ (Кл)} = 6 \text{ (мкКл)}.$$

Ответ: $Q = 6 \text{ мкКл}$

7. На расстоянии a от центра заземленного шара радиуса R ($R \ll a$) находится точечный заряд q . Определить заряд шара. У проводника появляется потенциал, если он приобретает заряд.

8. В пространство между обкладками незаряженного плоского конденсатора вносят металлическую пластину, имеющую заряд Q , так что между пластиной и обкладками конденсатора остаются зазоры d_1 и d_2 . Площади пластины и обкладки конденсатора одинаковы и равны S . Определите напряжение U между обкладками конденсатора.

9. Тонкому проводящему кольцу, радиус которого R , сообщен заряд q . В центре кольца покоится частица массой m и зарядом q_0 . При освобождении частицы

вследствие отталкивания она движется, удаляясь от неподвижного кольца. Какую наибольшую величину скорости может иметь частица?

10. Имеются две концентрические сферы радиусами r и R ($r < R$) с зарядами q и Q соответственно. Изобразите графически зависимость напряженности поля и потенциала от расстояния до центра системы. Как изменится потенциал каждой сферы, если их соединить проводником?

11. Электрон, имея скорость $6 \cdot 10^6$ м/с, влетает в однородное электрическое поле, которое создано двумя параллельными пластинами. Расстояние между пластинами 2 см, а их длина 5 см; напряжение между пластинами 10 В. Найти отклонение электрона при вылете из пластин.

12. Два электрона находятся на бесконечно большом расстоянии один от другого, причем один электрон вначале покоится, а другой имеет скорость v , направленную к центру первого. Масса электрона m , заряд e . Определить наименьшее расстояние, на которое они сблизятся. Как изменится ответ задачи, если электроны будут лететь под углом α к линии, соединяющей электроны?

13. Какую работу надо совершить, чтобы сфере радиуса R сообщить заряд q ? Какова электростатическая потенциальная энергия протона, если его радиус 10^{-15} м?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разобрав тему «Потенциал в электростатике» по кусочкам, проведя теоретические и практические исследования мною были определены основные причины, которые определяют сложность данной темы. К таким причинам я бы отнесла:

1. Изложение материала без выводов формул. Когда ученикам выдается формула, определение физической величины или какая-то важная формулировка без должного объяснения и вывода, а просто как «должное», то понимания материала не будет. Особенно в данной теме, где столько тонкостей в знаках.

2. Невозможность изложить данный материал в один урок. Если выводить все формулы, объяснять все выводы, разбирать подробно вопросы и задачи, то необходимо будет урока 3-4.

3. Разграничивать понятия собственная работа электростатического поля и работа внешних сил (по запасу потенциальной энергии). Это позволяет избежать путаницы со знаками.

4. Потенциал не зависит от заряда. Делать акцент, что при определении потенциала используют единичный положительный заряд (также как и при определении напряженности, также как и принято, что ток идет от «+» к «-» и т.д).

5. Четко разграничивать понятие потенциал и потенциальная энергия электростатического поля. Потенциал – характеристика поля, не зависящая от заряда. Потенциальная энергия электростатического поля от заряда зависит.

6. Разбирать потенциал в однородном и неоднородном поле.

7. Отдельно поговорить о потенциале проводников, диэлектриков и потенциале шара.

Также мною были разработаны планы уроков, которые в основном опирались на методические разработки А.А. Найдина и видеоуроки П.А.Виктора.

В данном проекте можно найти много вопросов и задач с объяснениями и решениями по теме «Потенциал в электростатическом поле».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. <https://kopilkaurokov.ru/fizika/presentacii/potentsial-naia-enierghia-zariazhiennogho-tiela-v-odnorodnom-eliektrostatichieskom-polie-potentsial-eliektrostatichieskogho-polia> - урок №1, автор не известен.
2. http://oksanacandy.wix.com/naidin_a_a#!__plans (10 класс, электростатика, стр. 34) – урок №2 (Анатолий Анатольевич Найдин)
3. <https://interneturok.ru/lesson/physics/10-klass/osnovy-elektrodinamiki-2/potentsial-elektricheskogo-polya-raznost-potentsialov?block=content> – урок №3 (Сергей Валериевич Колебошин)
4. <https://easy-physic.ru/potencial-zadachi-ege-3/>
5. Сборник задач по физике с решениями. Электростатика: учебное пособие/ С. И. Кузнецов, Т.Н. Мельникова, Е.Н. Степанова; – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 47 с
6. <http://tel-spb.ru/statika/potential.php> (для плана урока, начало)
7. <https://www.youtube.com/watch?v=zEtA8XHuPIc> (видеоурок 229)
8. <https://www.youtube.com/watch?v=GJnv-GWRk3k&t=1320s> (видеоурок 231)

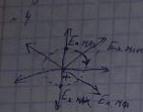




Работы итогового задания



E_1 будет увеличиваться, а E_2 уменьшится



$E_1 > E_2 > U_1 > U_2$
 $\Delta U = U_1 - U_2$
 $\Delta U - \text{max}$, если $U_1 - \text{max}$, $U_2 - \text{min}$, значит

на расстоянии r от центра шарика заряд q отрицательный, U_1 будет r к шарикам находится на расстоянии r от центра шарика, заряд q отрицательный, значит сила F_1 и F_2 векторы направлены к шарикам, значит на одинаковом расстоянии сила притяжения между шариками увеличивается, т.к. диаметр шарика r уменьшается, значит их то сближаются, значит сила притяжения увеличивается, F_2 уменьшается и сила притяжения шариков тоже.

Напряженность электрического поля $E = E \cdot d$
 $E = q$ значит $U = 0 \cdot d = 0$

Напряженность электрического поля $E = E \cdot d$

Дано: $q = 20 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$
 $U_1 = 700 \text{ В}$
 $U_2 = 200 \text{ В}$
 $A = ?$
 $U_1 = 100 \text{ В}$
 $U_2 = 400 \text{ В}$
 $r = ?$

Решение:
 $A = (U_1 - U_2)q = (700 - 200) \cdot 20 \cdot 10^{-9} =$
 $= \frac{500 \cdot 20}{1000} = 10 \text{ Дж}$
 $A' = -500 \cdot 20 \cdot 10^{-9} = -10 \text{ Дж}$

$r = 2$
 $E_n = qEd$
 E - один, q и d - один
 E_n - пластин один