**Семинар №6**

**Тема: Проводники и диэлектрики в электрическом поле.**

**Электроемкость. Конденсаторы. Соединения конденсаторов**

|  |
| --- |
| ***Электрическая ёмкость проводников****: ;* . |
| ***Конденсаторы:*** *.* ***Электроёмкость конденсаторов:***  *, , .* |
| ***Последовательное*** ***и параллельное***  ***соединения.*** |
| ***Энергия, запасённая в конденсаторе:****,* ***энергия электрического поля****,* ***плотность энергии электрического поля.*** *.* |

## ***АЛГОРИТМ расчёта электроёмкостей проводников и конденсаторов.***

I. Используя теорему Гаусса, рассчитать напряженность электрического поля вблизи заряженного проводника или между обкладками конденсатора (по алгаритму семинара №3*)*. Если внутри конденсатора или вокруг проводника не вакуум (воздух), а диэлектрическая среда, то необходимо использовать теорему Гаусса для вектора электрической индукции ;  (6.1)

причём, ,

здесь ε – диэлектрическая проницаемость среды.

II. Из связи между напряженностью и потенциалом

, (6.2)

найти разность потенциалов (напряжение) между пластинами конденсатора:

 (6.3)

или, поскольку уединённый заряженный проводник на бесконечно большом расстоянии можно считать точечным зарядом, то потенциал его электрического поля на бесконечности стремится к нулю , и можно говорить о потенциале в любой точке вблизи проводника и на его поверхности:  или

 (6.4)

III. Найти электроёмкость конденсатора  (6.5)

или проводника  (6.6)

## ***расчёт электроёмкости сложного соединения конденсаторов***

1. Нарисовать схему.

2. Выделить участки простых соединений (последовательных и параллельных) и найти электроёмкости этих простых участков.

3. Заменить простые участки эквивалентными электроёмкостями и нарисовать соответствующую схему.

4. Найти общую электроёмкость схемы с эквивалентными электроёмкостями (см. пример 3).

**Пример 1.**

Рассчитать электроёмкость сферы радиуса *R*, окруженной средой с диэлектрической проницаемостью ε.

**Решение:**

I. Условие и решение иллюстрирует рис. 6.3

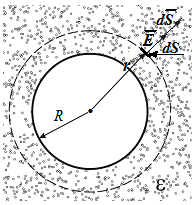


Рис. 6.3

Поскольку ε>1, то теорема Гаусса используется для вектора электрической индукции :

, (6.7)

здесь справа от знака равенства, где σ – поверхностная плотность зарядов, распределённых равномерно по сфере радиуса *R (*её площадь *SR).* Слева от знака равенства теоремы (6.7) ** – площадь поверхности Гаусса, форму которой найдём, учитывая сферическую симметрию распределения зарядов и принцип суперпозиции.

Из этих соображений ясно, что напряжённость  и вектор электрической индукции  в каждой точке снаружи сферы направлены по радиусу. В любой точке пространства на одном и том же расстоянии *r* от центра заряженной сферы величина *D* одинакова.

Поэтому удобной гауссовой поверхностью является сфера радиуса (на рис.6.3 – пунктирная сфера). При этом для каждого бесконечно малого элемента поверхности гаусса *dS* векторы ,  и  параллельны: (рис.6.3).

В этом случае для потока вектора электрической индукции в равенстве (6.7) получим: .

Справа от знака равенства в теореме Гаусса (6.7) надо учесть заряды, находящиеся внутри сферы радиуса *r.* Они сосредоточены на поверхности *SR* радиуса *R*. Приравняв левую и правую части теоремы, получим:

,

или .

То есть электрическая индукция заданного поля равна: .

Поскольку ,то для напряженности электрического поля вне заряженной сферы имеем  (6.8)

II. Потенциал на поверхности заряженной сферы найдём, используя связь (6.4) между напряжённостью и потенциалом:

. (6.9)

При этом учтём, что векторы  и  параллельны:



Подставив выражение (6.8) в формулу (6.9), получим:

. (6.10)

III.Для электроёмкости уединённой сферы используем (6.5): , где *q –* полный заряд сферы  (6.11)

Подставив в определение для *.* (равенства (6.10) и (6.11)), получаем искомый результат:

. (6.12)

**Ответ**: .

**Пример 2**

Рассчитать электроемкость цилиндрического конденсатора, радиусы обкладок которого *R*1 и *R*2, а высота *h* – рис. 6.4.

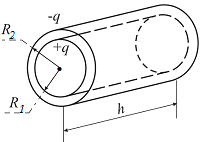
****

Рис. 6.4

Пространство между обкладками заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε.

**Решение:**

I. Между обкладками конденсатора векторы  и  направлены по радиусу перпендикулярно к оси цилиндра. В данном случае удобной поверхностью Гаусса является цилиндр радиуса *r*, причём .

В этом случае по теореме Гаусса заряды внешней обкладки не дают вклада в величину электрического поля внутри конденсатора. Если между обкладками находится воздух и ε=1, то величина напряженности этого поля совпадает с результатами примера 1 семинара №3, стр. 60, формула (3.10), в которой. С учётом этого, имеем.

При наличии диэлектрика (с диэлектрической проницаемостью ) между обкладками, напряженность электрического поля  внутри конденсатора равна:

. (6.12)

II. Напряжение *U* между обкладками в соответствии с (6.3):



III. Подставляя последнее выражение в определение электроемкости конденсатора ,

получаем искомый результат:

.

**Ответ**: .

**Пример 3**

Рассчитать электроемкость батареи конденсаторов (рис. 6.5),

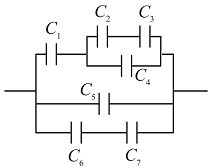


Рис. 6.5

ёмкости которых одинаковы .

**Решение:**

Применим схему расчёта электроёмкости соединения нескольких конденсаторов для решения данной задачи.

1.На схеме рис. 6.5 есть несколько простых соединений электроёмкостей.

2. Емкости *С*2 и *С*3, а также емкости *С*6 и *С*7 соединены последовательно - их можно заменить эквивалентными емкостями *С*23 и *С*67, величины которых равны соответственно:

,

Аналогично получаем: .

Теперь схему можно представить так, как показано на рис. 6.6 *а*.

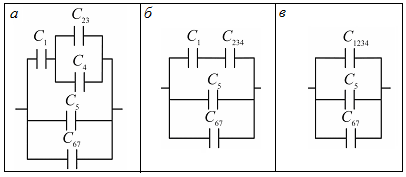


Рис. 6.6

Емкости *С*23 и *С*4 соединены параллельно. Заменим их в схеме эквивалентной емкостью С234:

*С*234: .

Новая упрощённая схема дана на рис.6.6 *б*.

Емкости *С*1 и *С*234 соединены последовательно (рис. 6.6 б). Заменим их в схеме эквивалентной емкостью *С*1234 и нарисуем схему - рис. 6.6 *в*:



или



В результате получили эквивалентную схему простого параллельного соединения трёх емкостей *С*1234, *С*5 и *С*67 (рис. 6.6 *в*), общую электроемкость которого найдём из равенства:



**Ответ:** 

Домашнее задание:

1. Два металлических шарика радиусами *R*1=5 см и *R*2=10 cм имеют заряды *Q*1=40 нКл и *Q*2=-20 нКл, соответственно. Найти энергию *W*, которая выделится при разряде, если шары соединить проводником.

**2.** Электроемкость *С* плоского конденсатора равна 1,5 мкФ. Расстояние *d* между пластинами равно 5 мм. Какова будет электроемкость *С* конденсатора, если на нижнюю пластину положить лист эбонита толщиной *d*1=3 мм с диэлектрической проницаемостью εэб=3 ?

3. В батарее конденсаторов, схема которой показана на рисунке к задаче 6.22, емкости конденсаторов равны: *С*1=1 мкФ*,* *С*2=3 мкФ, *С*3=2 мкФ, *С*4=4 мкФ. Напряжение между точками *А*1 и *А*2 равно *U*=200 В. Найти напряжение на *U*2 на конденсаторе *С*2. Конденсаторы до подключения напряжения *U* были не заряжены

4.Воздушный плоский конденсатор (*ε*1=*1)* при горизонтальном расположении его обкладок наполовину погружен в жидкий диэлектрик с проницаемостью ε2=2 (рис. 6.11 *а*)

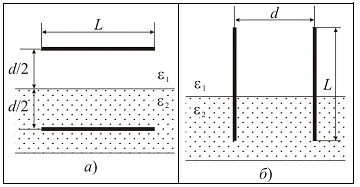


Рис.

На какую глубину следует поместить нижний край пластин конденсатора при их вертикальном положении (рис.  *б*), чтобы в обоих случаях емкость конденсатора была одной и той же?

5.Диэлектрик с проницаемостью ε заполняет пространство между обкладками воздушного конденсатора емкостью *С*0. Конденсатор какой емкости необходимо включить последовательно с данным, чтобы такая батарея имела емкость *С=*0,25·*С*0?