Сегодня: понедельник,
9 октября 2023 г.

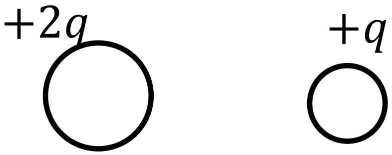
Общая физика. Часть 2

Семинар 5

ПРОВОДНИКИ и ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

1. **Силовые линии и эквипотенциальные поверхности**
2. **Распределение потенциала от системы проводников**
3. **Расчет емкости конденсатора и батарей конденсаторов**
4. **Определение плотности поверхностных σ′ и объемных ρ′ поляризационных зарядов в диэлектрике**
5. **Определение емкости конденсаторов с неоднородным диэлектриком**

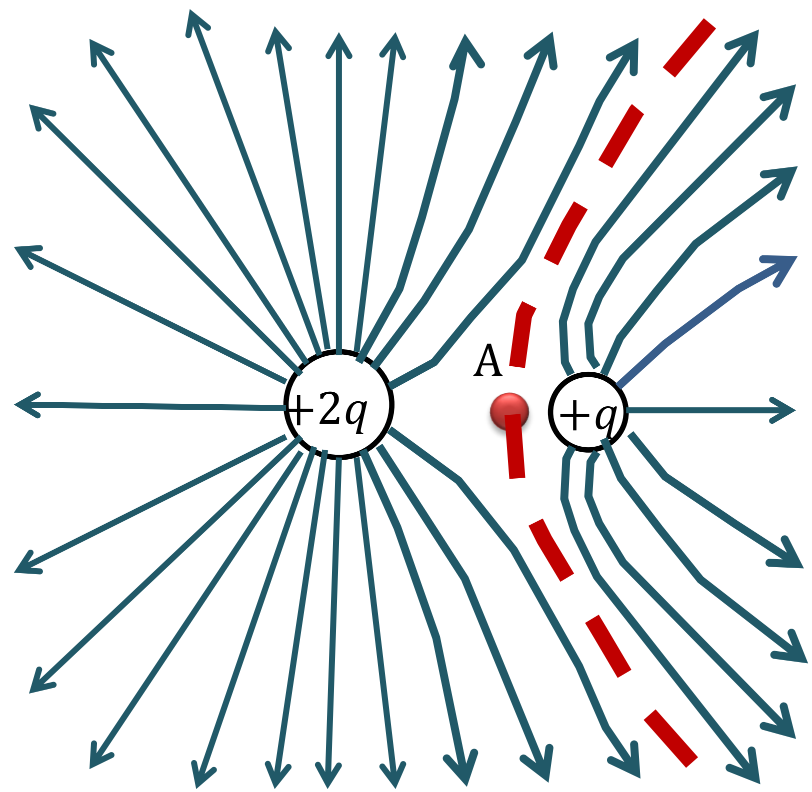
Задача. Начертить схему силовых линий и эквипотенциальных поверхностей для системы двух точечных зарядов +q и +2q, находящихся на расстоянии d друг от друга.



1. Все силовые линии начинаются заканчиваются на бесконечности

$$\boldsymbol{E = 0}$$

на выделенной плоскости должна существовать линия, которую силовые линии не пересекают



2. Силовые линии от каждого заряда на подходе к этой разграничительной линии изгибаются и уходят на бесконечность, асимптотически приближаясь к ней

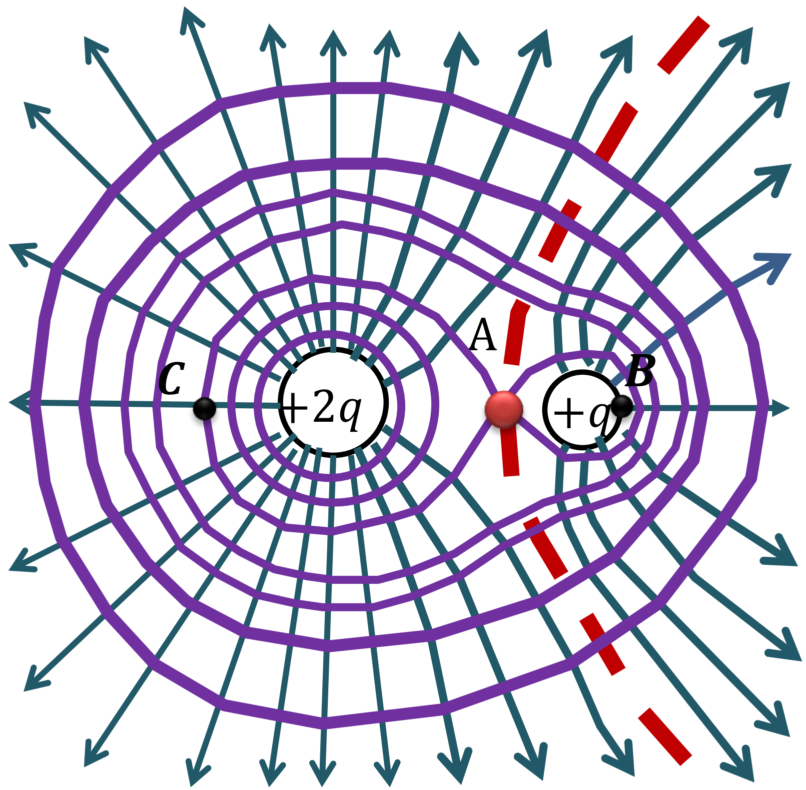
3. На отрезке +q и +2q разграничительная линия проходит через точку А, в которой напряженность поля равна нулю.

Точка А отстоит от заряда q на расстояние

$$a = d\left(\sqrt{2} - 1\right)$$

Потенциал поля в точке А

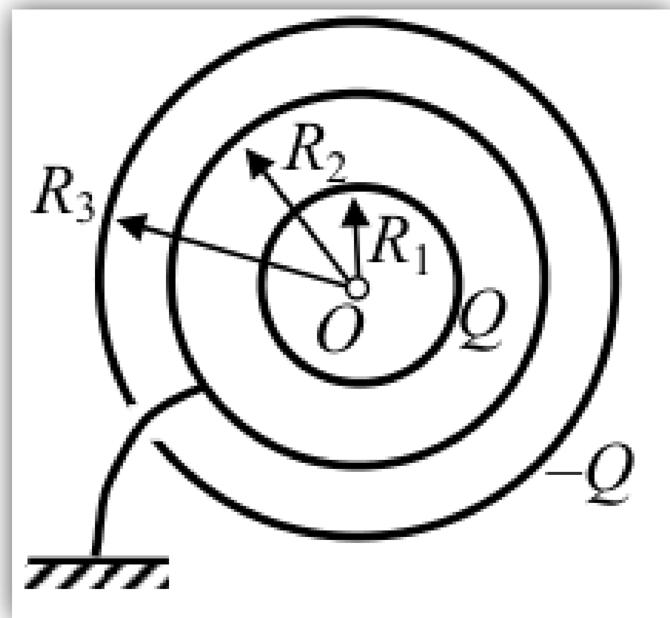
$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{a} + \frac{2q}{d-a}\right)$$



На линии, соединяющей заряды +q и +2q, находим точки B и O, в которых потенциал равен потенциалу точки A.

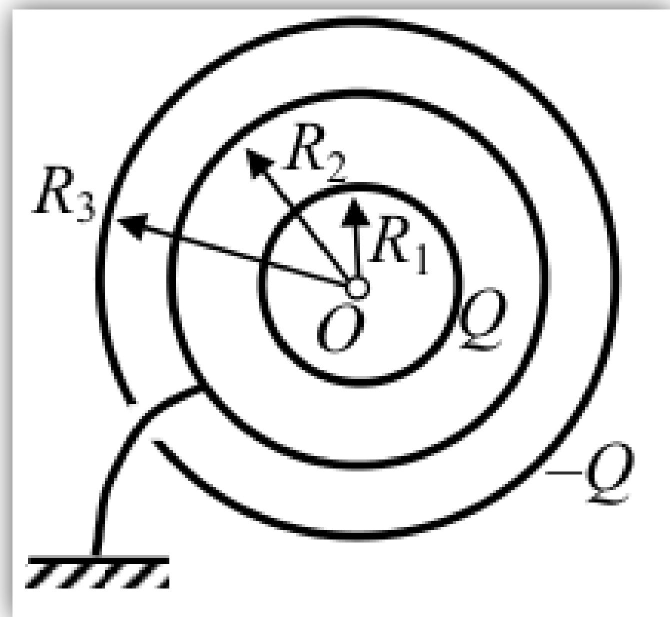
Задача 2. Имеются три концентрические сферы 1-3 с радиусами $R_1 < R_2 < R_3$. Сферы 1 и 3 несут заряды соответственно +Q и −Q. Средняя сфера 2 заземлена проводником, искажающим действием которого на поле можно пренебречь. Найти заряд q заземленной сферы 2.

Решение:



Пусть на сфере 2 индуцированный заряд равен *q*. Так как потенциал этой сферы равен нулю

$$0 = |\varphi_2| = \int_{R_2}^{\infty} E(r)\,dr$$



$$= k\int_{R_2}^{R_3} \frac{q+Q}{r^2}\,dr + k\int_{R_3}^{\infty} \frac{q+Q-Q}{r^2}\,dr$$

$$= kq\left(-\frac{1}{r}\right)\Bigg|_{R_3}^{\infty} + k(q+Q)\left(-\frac{1}{r}\right)\Bigg|_{R_2}^{R_3}$$

$$= k\frac{q}{R_3} + k(q+Q)\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3}\right)$$

$$= k\left(\frac{q}{R_3} + \frac{Q}{R_2} + \frac{q}{R_2} - \frac{Q}{R_3} - \frac{q}{R_3}\right)$$

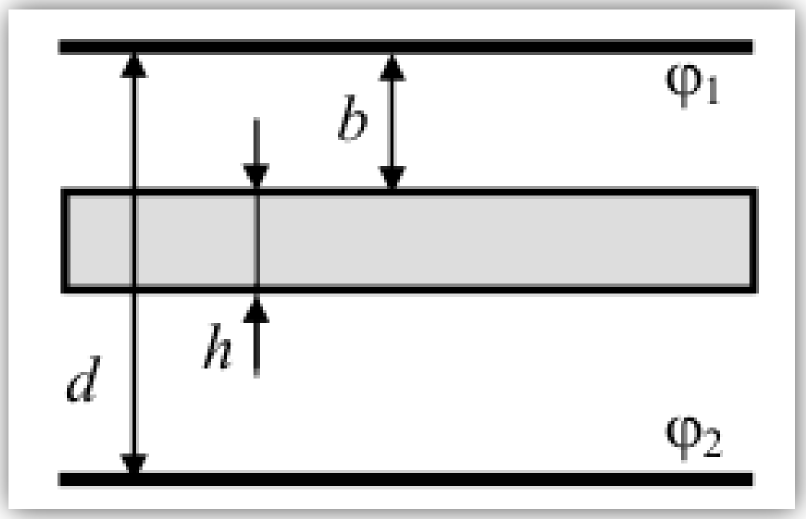
Ответ:

$$\boxed{q = Q\left(\frac{R_2}{R_3} - 1\right) < 0}$$

Задача 3. Расстояние между обкладками плоского конденсатора равно d. В пространство между обкладками конденсатора вносится металлическая пластинка толщиной h, поверхность которой параллельна обкладкам и находится на расстоянии b от одной из обкладок. Пластины конденсатора имеют потенциалы φ_1 и $\varphi_2 < \varphi_1$.

Найти потенциал металлической пластины.

Решение:



Внутри пластины

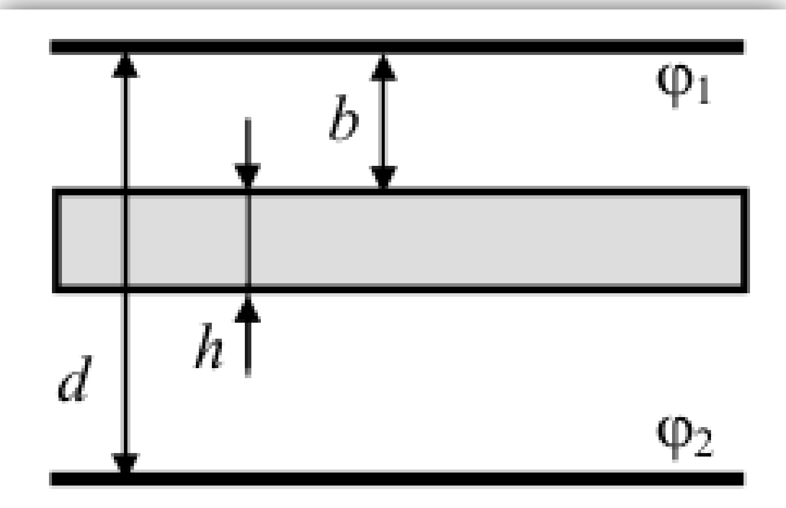
$$E_0 = 0$$

вне пластины поле однородно

$$E = \frac{U}{l} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d - h}$$

Изменение потенциала при переходе от верхней обкладки к пластине = взятая с обратным знаком работа поля по перемещению единичного положительного заряда на расстояние b:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = -bE$$



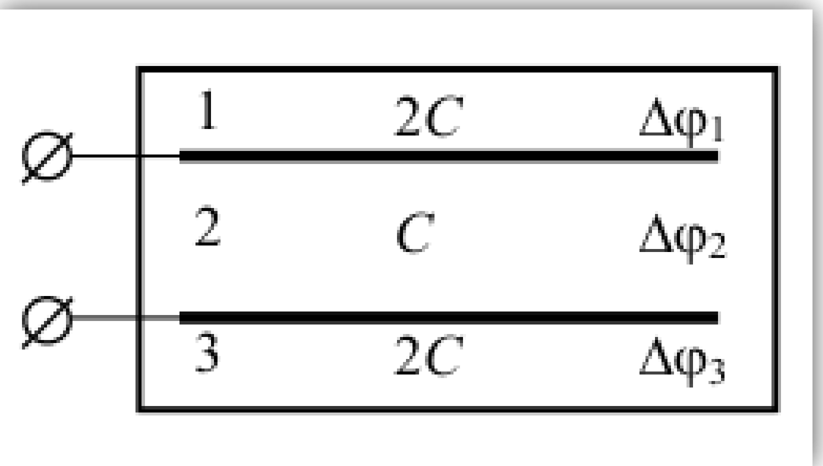
Следовательно, потенциал металлической пластины

Ответ:

$$\boxed{\varphi = \varphi_1 + \Delta\varphi = \varphi_1 - b\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d - h}}$$

Задача 3. Плоский конденсатор состоит из двух пластин, находящихся друг от друга на расстоянии 0,5 мм. Как изменится емкость конденсатора, если

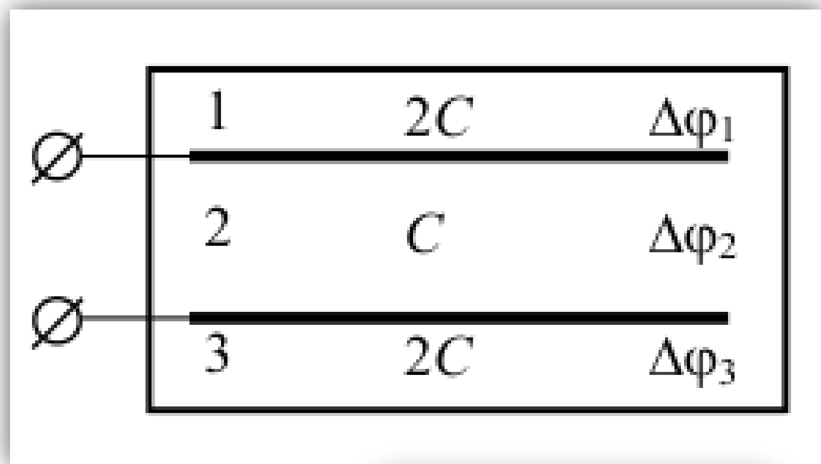
а) его поместить в изолированную металлическую коробку («экранировать»), стенки которой будут находиться на расстоянии 0,25 мм от пластин



Решение: **Потенциал коробки - величина постоянная, поэтому работа по перемещению единичного положительного заряда от нижней плоскости коробки до верхней по любому пути равна нулю :**

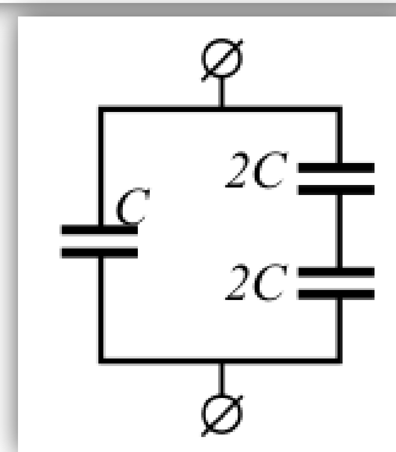
$$\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_3 = 0$$

Из условия задачи емкости каждого из конденсаторов, образованных внутренней пластиной и пластиной коробки



$$\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_3 = -\frac{\Delta\varphi_2}{2}$$

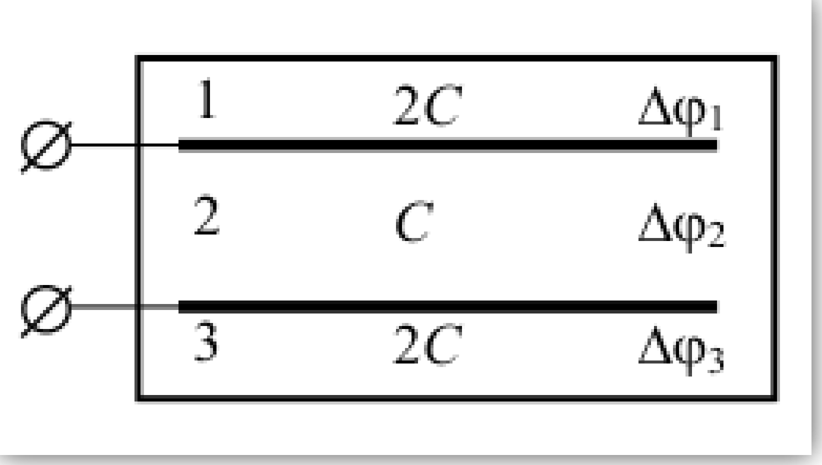
Значит, конденсаторы C_1 и C_3 включены навстречу конденсатору С



$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{2C} + \frac{1}{2C}$$

$$C_2 = 2C$$

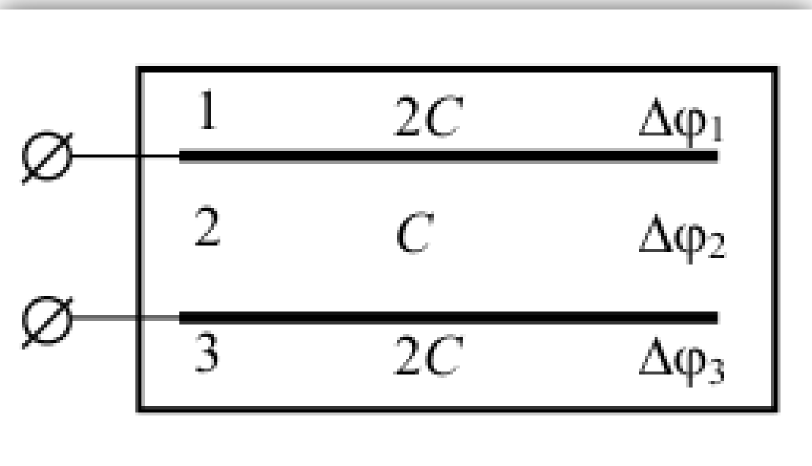
б) если коробку соединить с одной из пластин?



Решение:

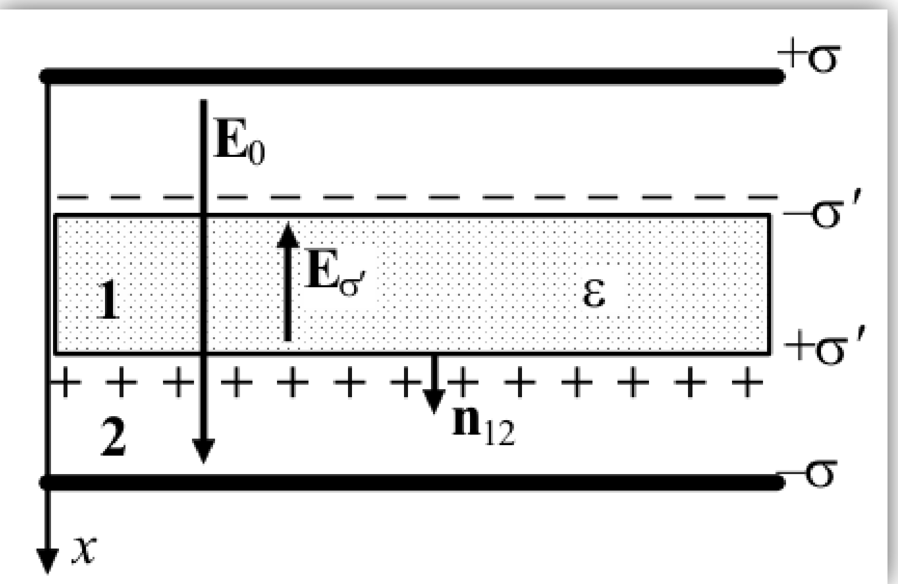
Если коробку соединить с одной из пластин, то это эквивалентно удалению одного из конденсаторов с емкостью 2С (соединение проводом без геометрического перемещения).

$$C_2 = 2C + C = 3C$$



Задача 4. В плоский конденсатор параллельно обкладкам вставлена диэлектрическая пластинка с проницаемостью ε. Определить величину вектора поляризации P и плотности поверхностных σ′ и объемных ρ′ связанных зарядов в пластинке. Заряд конденсатора q, площадь пластин S.

Решение:



$$E = E_0 - E_{\sigma'} = \frac{E_0}{\varepsilon}$$

$$\frac{\sigma}{\varepsilon_0} - \frac{\sigma'}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}$$

$$\sigma' = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}\sigma$$

$$\sigma = \frac{q}{S}$$

$$\boxed{\vec{P} = (\varepsilon - 1)\varepsilon_0 \vec{E}}$$

$$\left\{ E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} \right\}$$

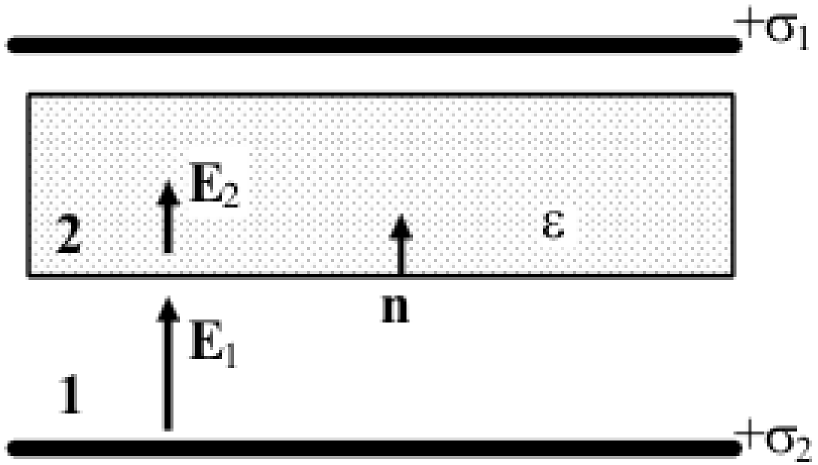
$$\Rightarrow P = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}\sigma, \vec{P} \parallel \vec{E}$$

Задача 5. Две параллельные пластины ничтожно малой толщины заряжены одноименно, поверхностная плотность заряда на верхней пластине σ_1 = 3 мкКл/м^2, а на нижней σ_2 = 6 мкКл/м^2. Расстояние между пластинами h = 1 см мало по сравнению с линейными размерами пластин. Между пластинами вставлена плоскопараллельная парафиновая пластинка толщиной d = 5 мм. Диэлектрическая проницаемость парафина ε = 2. Определить напряженность поля между пластинами вне диэлектрика, напряженность поля E_2 внутри диэлектрика и разность потенциалов между пластинами.

Решение:

На пластинах размещены одноименные заряды
То есть векторы напряженности от пластин направлены навстречу друг другу и суммарная напряженность поля вне диэлектрика направлена от нижней пластины (где величина заряда больше) к верхней

$$\vec{E}_1 = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2\varepsilon_0}\vec{n} = 170 \text{ кВ/м}$$



Внутри диэлектрика величина напряженности в ε раз меньше:

$$\vec{E}_1 = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2\varepsilon_0\varepsilon}\vec{n} = 85 \text{ кВ/м}$$

Поле в пространстве между пластинами однородное:

$$\Delta\varphi = E_1\left(h - d\right) + E_2 d = 1{,}3 \text{ кВ}$$