

Заряженная пластина

Если заряд q равномерно распределён по поверхности, имеющей площадь S , то *поверхностной плотностью* заряда называется величина $\sigma = q/S$.

Равномерно заряженная плоскость создаёт в каждом из полупространств однородное электростатическое поле

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0},$$

где σ — поверхностная плотность зарядов плоскости, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная.

Такое же поле создаёт равномерно заряженная пластина в тех точках пространства, которые близки к средним точкам пластины и далеки от её краёв (то есть из которых пластина «кажется» бесконечной плоскостью). Вблизи краёв пластины сказываются *краевые эффекты* — поле перестаёт быть однородным, линии поля искривляются.

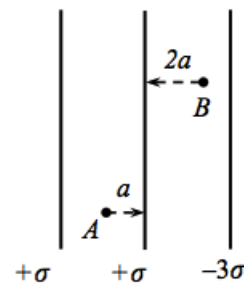
Напряжённость поля, создаваемого несколькими заряженными пластинами, равна векторной сумме напряжённостей полей каждой из пластин.

ЗАДАЧА 1. Две равномерно заряженные плоскости расположены параллельно друг другу. Найдите напряжённости E_1 и E_2 электрического поля в области 1 между пластинами и в области 2 вне пластин. Поверхностные плотности зарядов плоскостей равны: а) $+\sigma$ и $+3\sigma$; б) $+2\sigma$ и -5σ .

$$\text{а) } E_1 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}, E_2 = \frac{2\sigma}{\varepsilon_0}; \quad \text{б) } E_1 = \frac{2\sigma}{\varepsilon_0}, E_2 = \frac{3\sigma}{\varepsilon_0}$$

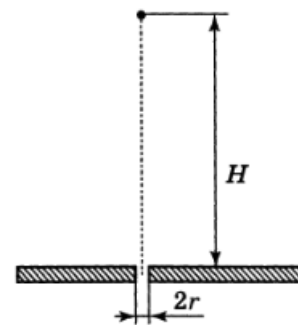
ЗАДАЧА 2. (Всеросс., 2020, ШЭ, 11) Три бесконечные плоскости параллельны друг другу и заряжены равномерно с поверхностными плотностями электрического заряда $+\sigma$, $+\sigma$, -3σ (см. рисунок).

1. Чему равен модуль напряжённости электрического поля в точке A ? Ответ выразите в единицах $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$, округлив до десятых долей.
2. Найдите модуль напряжённости электрического поля в точке B . Ответ выразите в единицах $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$, округлив до десятых долей.
3. Какая сила действует со стороны электрического поля на малый элемент средней плоскости площадью S ? Ответ выразите в единицах $\frac{\sigma^2 S}{\varepsilon_0}$, округлив до десятых долей.
4. В какой точке (A или B) потенциал электрического поля больше? В качестве ответа выберите один из предложенных вариантов: 1, если $\varphi_A > \varphi_B$; 2, если $\varphi_A < \varphi_B$.
5. Найдите модуль напряжения между точками A и B . Ответ укажите в единицах $\frac{\sigma a}{\varepsilon_0}$, округлив до десятых долей.



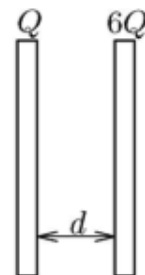
$$\text{1) } 1,5; 2) 2,5; 3) 2; 4) 1; 5) 6,5$$

ЗАДАЧА 3. (Всеросс., 1999, ОЭ, 10) Маленький заряженный шарик «парит» в состоянии безразличного равновесия на высоте H над горизонтальной равномерно заряженной диэлектрической плоскостью (рис.). С каким ускорением и в какую сторону начнет двигаться этот шарик сразу после того, как из плоскости строго под ним будет быстро удалён диск такого радиуса r , что $100r = H$?



$$\left(\text{Еиня} \right) \epsilon \frac{\partial \sigma}{\partial \epsilon} = \epsilon \frac{\partial}{\partial \epsilon} \left(\frac{H}{x} \right) \frac{\sigma}{\epsilon} = v$$

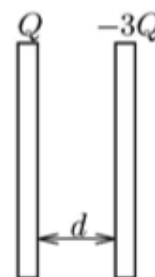
ЗАДАЧА 4. («Физтех», 2015, 10) Две проводящие пластины с положительными зарядами Q и $6Q$ расположены параллельно и напротив друг друга (см. рисунок). Площадь каждой пластины S , размеры пластин велики по сравнению с расстоянием d между ними, и можно считать, что заряды распределены по каждой поверхности пластин равномерно.



- 1) Найдите разность потенциалов правой и левой пластин.
- 2) Найдите заряд на левой стороне правой пластины.
- 3) Найдите силу отталкивания пластин.

$$\frac{S^{0\epsilon}}{\epsilon \partial \epsilon} = \mathcal{A} (\epsilon : \partial \frac{\sigma}{\epsilon} = b (\epsilon : \frac{S^{0\epsilon}}{\partial \epsilon} = \Omega (\Gamma$$

ЗАДАЧА 5. («Физтех», 2015, 11) Две проводящие пластины с зарядами $Q > 0$ и $-3Q$ расположены параллельно и напротив друг друга (см. рисунок). Площадь каждой пластины S , размеры пластин велики по сравнению с расстоянием d между ними, и можно считать, что заряды распределены по каждой поверхности пластин равномерно.



- 1) Найдите разность потенциалов левой и правой пластин.
- 2) Найдите заряд на правой стороне правой пластины.
- 3) Найдите силу притяжения пластин.

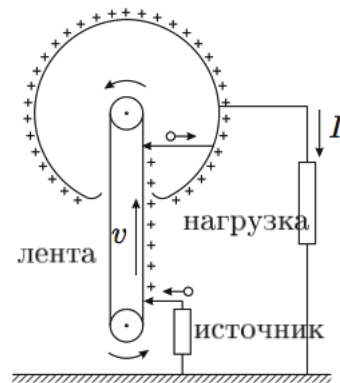
$$\frac{S^{0\epsilon}}{\epsilon \partial \epsilon} = \mathcal{A} (\epsilon : \partial - = b (\epsilon : \frac{S^{0\epsilon}}{\partial \epsilon} = \Omega (\Gamma$$

ЗАДАЧА 6. (Всеросс., 2003, финал, 10) В древние времена люди считали Землю плоской. Вообразим, что Земля действительно не является шаром радиуса $R = 6370$ км, а представляет собой безграничный плоский слой толщины H . Предполагая, что плотность Земли постоянна и одинакова в обеих моделях, определите, при какой толщине «плоской» Земли ускорение свободного падения на её поверхности оказалось бы таким же, как и на поверхности реальной Земли.

Примечание. Можно использовать аналогию между электростатическим и гравитационным полями.

$$\frac{g}{g_0} = H$$

ЗАДАЧА 7. (Всеросс., 2004, финал, 10) Для ускорения «тяжёлых» заряженных частиц (протоны, ионы) используют высоковольтный электростатический генератор Ван-де-Граафа (рис.). Заряды переносятся диэлектрической лентой и заряжают высоковольтный сферический электрод. Поверхностные заряды передаются ленте от источника вблизи нижнего шкива. Заряды стекают со сферического электрода через камеру, в которой ускоряются заряженные частицы (на рисунке она условно изображена в виде некоторого нагрузочного сопротивления). Предположим, что радиус высоковольтного электрода $R = 1$ м, скорость движения ленты $v = 10$ м/с, а ширина ленты $l = 60$ см. Всё устройство находится в воздухе, в котором электрический пробой наступает при напряженности электрического поля $E_{пр} = 30$ кВ/см. Найдите:

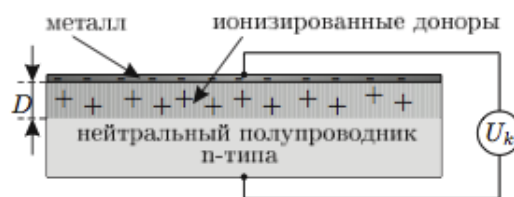


- 1) максимальный ток, который может протекать через нагрузку;
- 2) максимальный потенциал высоковольтного электрода;
- 3) минимальную (без учета трения) мощность электродвигателя, вращающего шкив ленты, при которой могут быть достигнуты максимальные значения тока и потенциала.

Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

$$I_{\max} = 2\epsilon_0 E_{пр} l v \approx 0,32 \text{ мА}; \varphi_{\max} R = E_{пр} R = 3000 \text{ кВ}; P_{\min} = I_{\max} U_{\max} = 960 \text{ Вт}$$

ЗАДАЧА 8. (Всеросс., 2013, РЭ, 11) Можно считать, что при комнатной температуре в полупроводнике n -типа (с электронной проводимостью) все атомы донорной примеси ионизированы (каждый отдал по одному электрону). Электроны этих атомов являются свободными носителями заряда (основные носители), а ионизированные доноры «закреплены» в узлах кристаллической решётки. При напылении на поверхность такого полупроводника металлического контакта все основные носители из прилегающей к металлу области полупроводника шириной D переходят в металл, а непосредственно под контактом образуется область объёмного заряда ионизированных доноров (барьер Шоттки). Между металлическим контактом и объёмом полупроводника возникает контактная разность потенциалов U_k (см. рисунок).



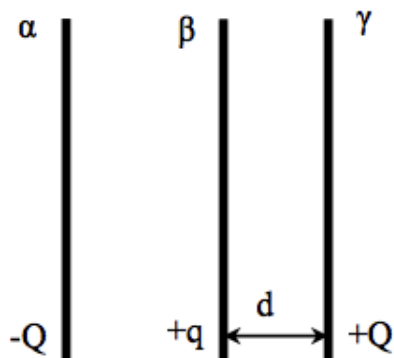
Вычислите толщину D барьера Шоттки, если донорная примесь распределена в полупроводнике однородно с концентрацией $N_d = 10^{16}$ см $^{-3}$, контактная разность потенциалов $U_k = 0,7$ В, а диэлектрическая проницаемость полупроводникового кристалла $\epsilon = 13$. Заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

$$D = \sqrt{\frac{2\epsilon_0 \epsilon U_k}{q N_d}} \approx 0,32 \text{ мкм}$$

ЗАДАЧА 9. (АPhO, 2006)¹ К двум одинаковым параллельным близко расположенным проводящим пластинам α и β , которые несут заряды $-Q$ и $+q$ ($Q > q > 0$), приближают на расстояние d от пластины β ещё одну такую же проводящую пластину γ массы m и имеющую заряд $+Q$ (см. рис.). Площади пластин равны S . Затем поднесённую пластину отпускают, продолжая удерживать пластины α и β в неподвижном положении. Считайте, что соударение пластин β и γ абсолютно упругое, краевыми эффектами и влиянием силы тяжести можно пренебречь. Считайте,

¹Третье задание на АPhO-2006 состояло из четырёх независимых задач, и это — одна из них.

что в процессе соударения заряд успевает полностью перераспределиться между пластинами β и γ .



- 1) Чему равна напряжённость электрического поля E_1 , в котором движется пластина γ до соударения с пластиной β ?
- 2) Чему равны заряды пластин Q_β и Q_γ после соударения?
- 3) Чему равна скорость v пластины γ после соударения, когда она вновь окажется на расстоянии d от пластины β ?

$$\frac{w_{S^0 \varepsilon}}{p} \sqrt{\left(\frac{z}{b} - \vartheta\right)} = a \left(\varepsilon : \frac{z}{b} = \varepsilon \vartheta, \frac{z}{b} + \vartheta = \varepsilon \vartheta \left(z : \frac{S^0 \varepsilon z}{b} = \varepsilon \right) \right) \quad (1)$$