

Локальный закон Ома

Рассмотрим однородный проводник длиной l и удельным сопротивлением ρ . Площадь поперечного сечения проводника постоянна вдоль всей его длины и равна S . По проводнику течёт постоянный ток I .

Найдём двумя способами напряжение на концах проводника. С одной стороны, согласно закону Ома для участка цепи,

$$U = IR = I \frac{\rho l}{S}. \quad (1)$$

С другой стороны,

$$U = El, \quad (2)$$

где E — напряжённость электрического поля в проводнике. Приравнивая правые части формул (1) и (2) и сокращая на l , получим:

$$E = I \frac{\rho}{S}. \quad (3)$$

Равенство (3) есть *локальный закон Ома*¹. Почему «локальный»? Потому что, зная ток в проводнике, мы можем по формуле (3) вычислить напряжённость электрического поля в заданной точке проводника.

Локальному закону Ома (3) можно придать ещё более компактную форму. Величина $j = I/S$ есть *плотность тока*; она показывает, какой заряд проходит через единицу площади поперечного сечения проводника в единицу времени. Тогда формула (3) переписывается в виде

$$E = j\rho. \quad (4)$$

Полученное равенство (4) связывает локальные величины: напряжённость электрического поля и плотность тока в данной точке проводника. Локальный закон Ома в форме (4) уже не содержит S и справедлив для однородных проводников переменного поперечного сечения.

ЗАДАЧА 1. Плоский конденсатор с расстоянием между пластинами d , заполненный средой с диэлектрической проницаемостью ε и удельным сопротивлением ρ , включён в цепь батареи с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r . Чему равна напряжённость E электрического поля в конденсаторе, если его ёмкость равна C ?

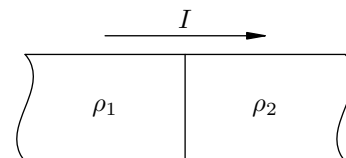
$$\boxed{\left(\frac{d\varepsilon^0\varepsilon}{C^2} + 1 \right) \frac{p}{S} = \mathcal{E}}$$

ЗАДАЧА 2. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено жидкостью с диэлектрической проницаемостью ε и удельным сопротивлением ρ . Найдите силу взаимодействия между пластинами конденсатора, когда через конденсатор течёт постоянный ток I . Площадь пластин конденсатора равна S .

$$\boxed{\frac{S\tau}{\varepsilon^0 \varepsilon I^2 \varepsilon^0 \varepsilon} = \mathcal{A}}$$

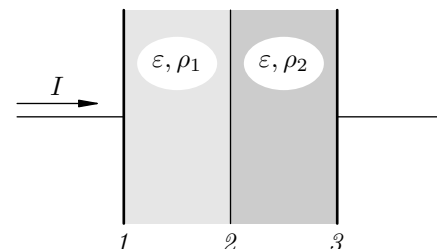
¹Другие названия — *закон Ома в локальной форме*, *закон Ома в дифференциальной форме*. При этом равенство $U = IR$ называется также *законом Ома в интегральной форме*.

Задача 3. (МФТИ, 1991) Через два последовательно соединённых проводника одинакового сечения S , но с разными удельными сопротивлениями ρ_1 и ρ_2 ($\rho_2 > \rho_1$), течёт ток I (см. рисунок). Определить знак и величину поверхностной плотности заряда, возникающего на границе раздела проводников.



$$0 < \frac{S}{(\rho_2 - \rho_1) I \epsilon_0} = \rho$$

Задача 4. (МФТИ, 1991) Между пластинами 1 и 3 плоского конденсатора помещена тонкая металлическая пластина 2 параллельно обкладкам конденсатора (см. рисунок). Образовавшиеся объёмы заполнены диэлектрическими жидкостями с одинаковой диэлектрической проницаемостью ϵ , но с разными удельными сопротивлениями ρ_1 и ρ_2 ($\rho_2 > \rho_1$). Найти величину и направление силы, действующей на пластину 2 со стороны электрического поля, когда через конденсатор течёт постоянный ток I . Площади всех трёх пластин одинаковы и равны S .



$$\text{ошибка: } \left(\frac{I \rho_2}{2} - \frac{\rho_1 I}{2}\right) \frac{S \epsilon}{\epsilon_0 I^2} = \mathcal{A}$$

Задача 5. («Покори Воробьёвы горы!», 2016, 10–11) В плоский воздушный конденсатор ёмкости C плотно вставили две проводящие пластины одинаковой толщины. Удельное сопротивление материала одной пластины равно ρ_1 , а другой — ρ_2 . На обкладки конденсатора подали постоянное напряжение U («плюс» источника соединён с обкладкой, с которой контактирует пластина 1). Найти заряд, накопившийся на границе раздела пластин при постоянном токе.

$$U C \frac{\rho_2 + \rho_1 d}{(\rho_1 d - \rho_2 d) \epsilon} = b$$