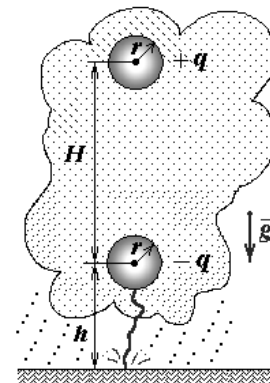


1.3 Предполагая, что удельное сопротивление воздуха постоянно и равно $\rho = 2,9 \cdot 10^{13} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, найдите силу тока I утечки с поверхности Земли через атмосферу к ионосфере. Оцените время разрядки τ Земли вследствие существования тока утечки.

1.4 Удивительно, но, несмотря на ток утечки, электрический заряд Земли с течением времени практически не меняется. Следовательно, должен существовать ток подзарядки планеты, который компенсирует ее разрядку с течением времени. Основным механизмом подзарядки Земли осуществляется в результате грозовой активности в атмосфере.

При зарождении грозового фронта в результате электризации капелек воды в восходящих потоках воздуха в атмосфере образуются области положительного (в верхней части облака) и отрицательного (в его нижней части) зарядов¹. Считайте, что эти области накопления зарядов имеют форму шара радиуса $r \approx 0,10 \text{ км}$. Расстояние между этими областями примите равным $H = 5,0 \text{ км}$, а расстояние от нижнего края грозового облака до земли $h \approx 1,0 \text{ км}$. Известно, что при напряженности электрического поля $E_1 = 3,0 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$ (и более) наступает пробой воздуха, при котором



он становится проводником. Примем, что в этот момент ударяет молния. Оцените, при каком минимальном заряде q_{\min} заряженной области облака в Землю может ударить молния? В данном пункте считайте поверхность Земли хорошим проводником.

1.5 Считая, что при ударе мощной молнии, длящемся $\tau_2 = 40 \text{ мс}$ средняя сила тока $I_2 = 200 \text{ кА}$, и что грозы на планете в течение года происходят равномерно, оцените среднее количество ударов молний в Землю на Земле в течение суток.

Подсказка. Потенциал заряженного шара радиуса R и имеющего заряд q равен

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}.$$

Задание 2. «Ваттметр»

Существует множество хитроумных устройств, измеряющих мощность в цепи постоянного тока. Принцип их работы сводится к тому, чтобы каким-либо способом перемножить ток и напряжение на нагрузке. Мы предлагаем Вам рассмотреть наиболее простую схему такого устройства, состоящую из резисторов, вольтметра и двух диодов.

2.1. Сначала разберемся с диодом. Этот полупроводниковый прибор является нелинейным элементом, т.е. сила тока не пропорциональна напряжению. В данной задаче диоды будут включаться в прямом направлении. В этом случае можно считать, что сила тока пропорциональна квадрату напряжения:

$$I_D = kU_D^2,$$

где k – известный коэффициент.

¹ Механизм разделения зарядов в восходящих потоках очень сложен и в данной задаче не рассматривается.

2.1.1 Рассмотрим участок цепи, состоящей из последовательно включенного диода и резистора с сопротивлением R (рис. 1). Разность потенциалов на участке равна $\Delta\phi$. Определите силу тока, текущего в этом участке.

2.1.2 Определите разность потенциалов на резисторе $\Delta\phi_R$.

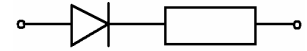


Рис.1

2.1.3 Покажите, что если выполняется условие:

$$kR\Delta\phi \ll 1,$$

то сила тока в таком участке $I \approx k(\Delta\phi)^2$, а разность потенциалов на резисторе $\Delta\phi_R \approx Rk(\Delta\phi)^2$.

Воспользуйтесь формулой приближенного вычисления:

$$(1+x)^\alpha \approx 1+\alpha x \quad x \ll 1.$$

2.2 Схема ваттметра представлена на рис.2. Устройство состоит из двух участков с диодами (AE и BF), резистора R_1 и вольтметра. Сопротивление резистора R , гораздо больше сопротивления нагрузки ($R \gg R_H$). Кроме того, выполняется условие пункта 1.3: $kR\Delta\phi \ll 1$. Вольтметр – идеальный, т.е. обладает очень большим сопротивлением.

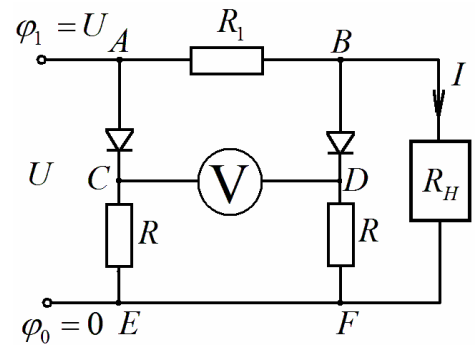


Рис.2

2.2.1 Напряжение в цепи равно U , сила тока, текущего в нагрузке, равна I . Выберем потенциал нижнего проводника равным нулю ($\phi_0 = 0$ в B), а потенциал второго проводника, идущего от источника напряжения, $\phi_1 = U$ (точка A на рис. 2). Определите потенциалы точек B , C и D .

2.2.2 Определите разность потенциалов между точками C и D . Преобразуйте, полученное выражение к виду:

$$U_V = \xi IU.$$

Выразите коэффициент ξ через k , R , R_1 и R_H .

2.2.3 Покажите, что при малом сопротивлении резистора R_1 по сравнению с сопротивлением нагрузки ($R_1 \ll R_H$), коэффициент ξ не зависит от R_H , а определяется только характеристиками элементов ваттметра.

2.2.4 Определите относительную погрешность η измерения мощности в приближении, описанном в предыдущем пункте.