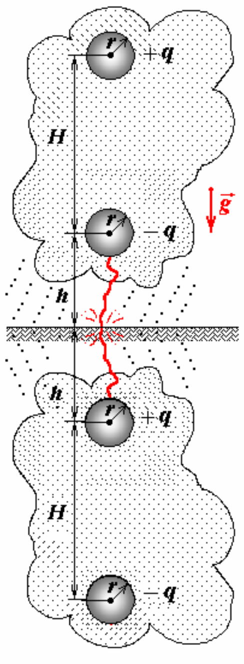
Для расчета заряда грозовой тучи построим заряд-изображение небольшого сферического заряда ее нижней части, заряженной отрицательно, относительно проводящей поверхности Земли (см. рис). Тогда суммарная напряженность поля зарядов тучи и индуцированных зарядов на поверхности Земли может быть оценена как

$$2\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{h^2} = E_1 \quad \Rightarrow \quad q = 2\pi\varepsilon_0 E_1 h^2 = 0{,}17\,Кл\,. \tag{18}$$



1.5 При силе тока утечки I_1 за сутки ($t = 86400\,c$) Земля потеряет заряд $q_1 = I_1 t$. Согласно условию, этот же заряд планета должна получить в результате грозовой активности. Таким образом

$$I_1 t = N_3 I_2 \tau_2 \quad \Rightarrow \quad N_3 = \frac{I_1 t}{I_2 \tau_2}. \tag{19}$$

Расчет дает, что каждые сутки на планете гремит около $N_3 \approx 2\cdot 10^4$ гроз, львиная доля которых приходится на тропические пояса Земли.

Задание 2. ***«Ваттметр»***

1.1 Если по участку течет ток I, то падение напряжения на диоде

$$U_D = \frac{\sqrt{I}}{\sqrt{k}} \qquad (1),$$

а напряжение на резисторе

$$U_R = IR \qquad (2).$$

Сумма этих напряжений равна разности потенциалов на всем участке цепи:

$$U_D + U_R = \Delta\varphi \qquad (3).$$

Подставляя значения (1) и (2), получим квадратное уравнение относительно $\sqrt{I}$:

$$IR + \frac{1}{\sqrt{k}}\sqrt{I} - \Delta\varphi = 0 \qquad (4).$$

Физический смысл имеет только положительный корень этого уравнения:

$$\sqrt{I} = \frac{-1+\sqrt{1+4kR\Delta\varphi}}{2R\sqrt{k}} \qquad (5).$$

Тогда

$$I = \left(\frac{-1+\sqrt{1+4kR\Delta\varphi}}{2R\sqrt{k}}\right)^2 \qquad (6).$$

1.2 Разность потенциалов на резисторе:

$$\Delta\varphi_R = IR = \left(\frac{-1+\sqrt{1+4kR\Delta\varphi}}{2R\sqrt{k}}\right)^2 R \qquad (7).$$

1.3 При выполнении условия $kR\Delta\varphi << 1$, формула (6) преобразуется к виду:

$$I \approx \left(\frac{-1+(1+2kR\Delta\varphi)}{2R\sqrt{k}}\right)^2 = k(\Delta\varphi)^2 \qquad (8),$$

а формула (7) – к виду:

$$\Delta\varphi_R = Rk(\Delta\varphi)^2 \qquad (9).$$

2.1 Т.к. $R >> R_H$, то ток через резисторы R_1 равен току через нагрузку. Поэтому падение напряжения на резисторе R_1:

$$U_1 = IR_1 \qquad (10).$$

Тогда потенциал точки B:

$$\varphi_B = U - U_1 = U - IR_1 \qquad (11).$$

Напряжение на участке AE равно U. Напряжение на резисторе R определим, воспользовавшись выражением (9):

$$\Delta\varphi_{RAE} = RkU^2 \qquad (12).$$

Тогда потенциал точки C:

$$\varphi_C = 0 + \Delta\varphi RAE = RkU^2 \qquad (13).$$

Напряжение на участке BF равно $\varphi_B = U - IR_1$. Поэтому напряжение на резисторе R:

$$\Delta\varphi_{RBF} = Rk(U - IR_1)^2 \qquad (14)$$

Потенциал точки D:

$$\varphi_D = 0 + \Delta\varphi_{RBF} = Rk(U - IR_1)^2 \qquad (15).$$

2.2 Разность потенциалов между точками C и D:

$$\begin{aligned} U_V &= \varphi_C - \varphi_D = RkU^2 - Rk(U - IR_1)^2 = \\ &= 2kRR_1UI - kRR_1^2I^2 = 2kRR_1UI\left(1 - \frac{R_1 I}{2U}\right) \end{aligned} \qquad (16).$$

Ток и напряжения связаны законом Ома, т.е.:

$$\frac{I}{U} = \frac{1}{R_H + R_1} \qquad (17).$$

Поэтому показания вольтметра:

$$U_V = 2kRR_1UI\left(1 - \frac{R_1}{2(R_1 + R_H)}\right) \qquad (18).$$

Коэффициент ξ:

$$\xi = 2kRR_1\left(1 - \frac{R_1}{2(R_1 + R_H)}\right) \qquad (19).$$

2.3 При выполнении условия $R_1 << R_H$ выражение для коэффициента ξ принимает вид:

$$\xi = 2kRR_1 \qquad (19),$$

Т.е. действительно не зависит от сопротивления нагрузки.

2.4 Относительная погрешность измерения:

$$\eta = \frac{kRR_1^2}{R_1 + R_H} \approx \frac{kRR_1^2}{R_H} \qquad (20).$$

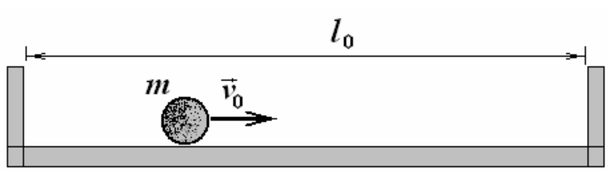
<u>*Задание 3.*</u> *«Сила и импульс»*

3.1 Импульс, полученный стенкой за одно столкновение равен

$$\Delta p = 2mv_0, \qquad (1)$$

время между ударами, очевидно, равно

$$\Delta t = 2\frac{l_0}{v_0} \qquad (2)$$



Следовательно, средняя сила давления шарика на стенку равна