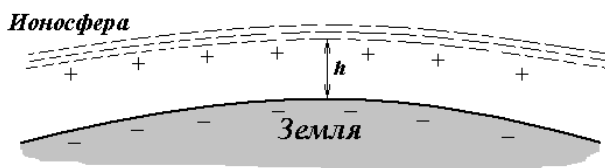


11 класс.

Задание 1. Электрическое поле Земли

Между поверхностью Земли и ионосферой существует электрическое поле, которое можно считать примерно однородным. Напряженность поля Земли

$$E_0 = 100 \frac{B}{м}, \quad \text{а его направление}$$

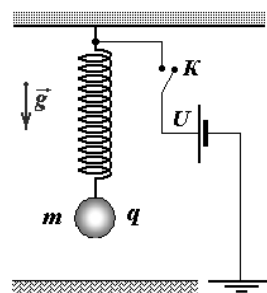


соответствует отрицательному заряду Земли. Будем считать, что отрицательный заряд равномерно распределен по поверхности нашей планеты несмотря на то, что физические свойства суши и воды заметно различаются. На высоте $h \approx 50 \text{ км}$ в атмосфере находится однородный слой положительно заряженных частиц, называемых *ионосферой*. Суммарный электрический заряд Земли и ионосферы равен нулю. Радиус Земли

$$R_3 = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}, \quad \text{ускорение свободного падения } g = 9,8 \frac{M}{c^2}.$$

Диэлектрическую проницаемость воздуха примите равной диэлектрической проницаемости вакуума $\epsilon \approx 1$.

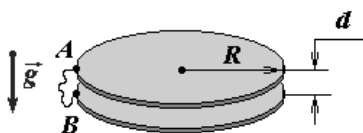
1.1 Для измерения электрического заряда Земли предлагается следующий эксперимент. Подвесим незаряженный проводящий шарик массы $m = 2,0 \text{ г}$ и радиуса $r = 1,0 \text{ см}$ на проводящей пружине малой емкости. При этом шарик растянул пружину на $\Delta l_1 = 2,5 \text{ см}$. После установления равновесия шарик при помощи ключа K подключили к источнику постоянного напряжения $U = 20 \text{ кВ}$. Вычислите удлинение пружины Δl_2 после замыкания ключа K в новом положении равновесия. Найдите относительное



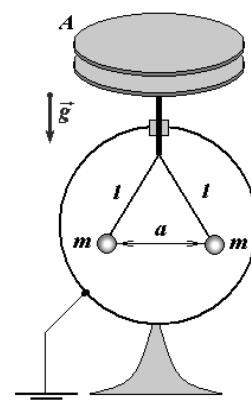
изменение удлинения пружины $\epsilon = \frac{\Delta l_2 - \Delta l_1}{\Delta l_1}$ после замыкания ключа K . Сделайте

выводы о возможности измерения заряда планеты подобным способом. Считайте, что в этом пункте на шарик действует только электрическое поле Земли.

1.2 Для более точного измерения напряженности поля Земли использовали электрометр, основной частью которого служат два небольших одинаковых шарика массой $m = 1,5 \text{ г}$ каждый, подвешенных на легких проводящих нитях длины $l = 50 \text{ см}$ каждая. Проводящий корпус электрометра заземлен и экранирует поле Земли. На стержне электроскопа укреплен проводящий диск радиусом $R = 1,0 \text{ м}$.



Два таких же проводящих параллельных диска, соединенные проводником AB , для зарядки посредством электростатической индукции в поле Земли сблизил на

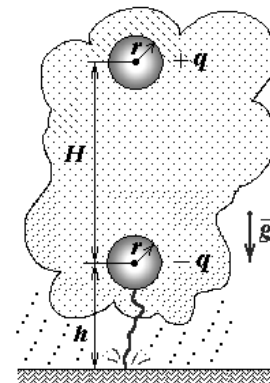


малое расстояние d . После разрыва проводника AB верхний диск A подносят на малое расстояние к диску электроскопа, не касаясь его. Затем аналогичным образом заряжают следующий диск A' и кладут его на диск A . Процесс зарядки повторяют $N = 10$ раз. Оцените расстояние a , на которое разойдутся лепестки электроскопа после зарядки. Укажите знак электрического заряда шариков электроскопа в описанном эксперименте.

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.