Следовательно,

$$q' = \frac{qS}{4\pi a^2}.$$

Учитывая, что один заряд (на ближнем торце) находится на расстоянии a, а другой – на расстоянии $a+h$ (где $h << a$ высота цилиндра), найдем силу, действующую на цилиндр

$$F = \frac{qq'}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{(a+h)^2}\right) \approx \frac{q^2}{8\pi^2\varepsilon_0 a^5} Sh = \frac{q^2}{8\pi^2\varepsilon_0 a^5} V,$$

где $V = Sh$ – объем цилиндра. Здесь учтено, что $\frac{1}{1+\alpha} \approx 1-\alpha,$ если $\alpha << 1$. Отметим, что в однородном внешнем поле сила, действующая на незаряженный проводник равна нулю.

11-3. Рассмотрим взаимодействие фотона и свободного электрона в системе отсчета, в которой электрон до взаимодействия покоился. Обозначим импульс фотона до взаимодействия p_0. Допустим, электрон поглотил фотон, тогда импульс электрона после взаимодействия также равен p_0 (закон сохранения импульса). Запишем уравнение закона сохранения энергии: до взаимодействия – $E = m_0c^2 + p_0c$ (здесь m_0 – масса покоя электрона, p_0c – энергия фотона); после взаимодействия $E = \sqrt{m_0^2c^4 + p_0^2c^2}$. Таким образом:

$$m_0c^2 + p_0c = \sqrt{m_0^2c^4 + p_0^2c^2}. \qquad (1)$$

Это уравнение справедливо только при $p_0 = 0$, что равносильно отсутствию фотона. Итак, мы пришли к противоречию, которое доказывает, что фотон не может быть поглощен свободным электроном.

Интересно отметить, что сделанный вывод является следствием отсутствия внутренних степеней свободы у электрона. В классической физике невозможен абсолютный неупругий удар, при котором никакая часть энергии не переходит в тепловую (опять же отсутствуют внутренние степени свободы). Пусть частица массы m_1, движущаяся со скоростью v, сталкивается с покоящейся частицей массы m_2. Пусть после удара скорости частиц равны U. Запишем уравнения законов сохранения импульса и энергии

$$\begin{cases} m_1 v_1 = (m_1 + m_2)U, \\ \dfrac{m_1 v_1^2}{2} = \dfrac{(m_1 + m_2)U^2}{2} + Q, \end{cases} \qquad (2)$$

где Q – количество выделившейся при ударе теплоты. Если положить $Q = 0$, то система (2) имеет решения: первое – $v_1 = U = 0$, второе – $v_1 = U \neq 0$ при $m_2 = 0$. Ни одно из этих решений не описывает абсолютно неупругий удар. Следовательно, невозможен такой неупругий удар при котором $Q = 0$.

11-4. Чтобы препятствовать термическому расширению стального столбика необходимо прикладывать внешнюю нагрузку, которая, вследствие упругих деформаций, компенсирует термическое расширение. По закону Гука относительная упругая деформация определяется выражением

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\sigma}{E}, \qquad (1)$$

где σ – механическое напряжение, причем в данном случае $\sigma = \dfrac{mg}{S}$, где m – масса груза, лежащего на столбике. Приравнивая (1) к относительному термическому удлинению $\dfrac{\Delta l}{l} = \alpha\,\Delta T,$ получим

$$\frac{mg}{SE} = \alpha\,\Delta T,$$

откуда находим $m = \dfrac{SE\alpha\,\Delta T}{g} = 0{,}45 \cdot 10^4\,кг$.

11-5. Показатель преломления воды зависит от ее плотности, а, следовательно, от давления в жидкости. При подключении к кювете источника ультразвука в воде образуется стоячая звуковая волна, т.е. периодическая структура областей разряжения и сжатия. Эта структура играет роль дифракционной решетки, на которой происходит дифракция света. Период «решетки», очевидно, равен длине стоячей звуковой волны, которая равна половине длины бегущей волны $\lambda_{зв.}$

$$d = \frac{\lambda_{зв}}{2} = \frac{c}{2\nu}, \qquad (1)$$

где c – скорость звука в воде.

Условие максимума при дифракции на решетке имеет вид