

# Олимпиада «Физтех.Инженер» по физике

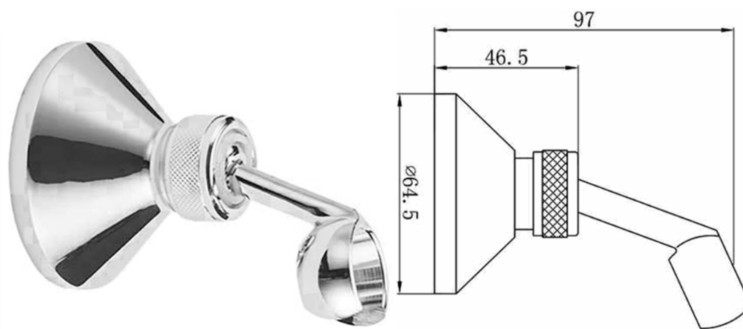
11 класс, 2025/26 год, онлайн-этап I, вариант 1

И. И. Кравченко

Физические олимпиады

Physway

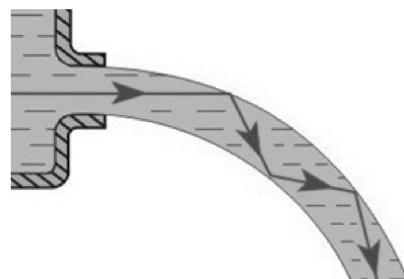
**1. [Крепление]** На рисунке показано шаровое крепление к вертикальной стенке для душа (впрочем, можно считать это креплением для видеокамеры). Прижимная гайка на резьбе может регулировать трение в шарнире, чтобы душевая лейка не падала. Конфигурация шарнира, зафиксированная гайкой, обладает симметрией относительно плоскости рисунка. Шаровое крепление состоит из пальца со сферическим основанием радиуса  $R = 10$  мм на одном конце и держателем для лейки — на другом. Сферическое основание пальца помещено в полость в виде части сферы. Полость формируется двумя частями конструкции: 1) цилиндрическим выступом на конусовидной опоре, на торце которого есть полусферическая выемка радиуса  $R$ ; 2) накидной гайкой с внутренним каналом, боковые стенки которого расточены и создают симметрично сужающийся участок сферы радиуса  $R$ . От правого торца тайки (СМ. рис.) центр сферического основания отстоит на  $0,5R$ . Будем считать, что затягивание гайки по резьбе создает во всех точках контакта пальца со стенками одинаковое радиальное давление  $p = 3$  МПа, действующее нормально к сферической поверхности основания пальца. Область контакта материалов основания пальца с внутренними стенками полости характеризуется коэффициентом трения скольжения  $\mu = 0,1$  и является боковой площадью сегмента сферы радиуса  $R$ , соответствующего центральному пространственному углу  $\Omega = 2,57$  ст. рад. Момент силы трения в шарнире составляет  $M_{\text{тр}} = 1\,000$  Н · мм. Силу тяжести отдельных частей шарнира не учитывать. Ст. радиан — пространственный угол, отношение площади сегмента сферы к ее радиусу в квадрате (пространственный угол неограниченного пространства равен  $4\pi$  ст. рад).



1. Найти модуль силы трения скольжения в таком шарнире. Силу трения понимать как скалярную сумму сил трения отдельных бесконечно малых участков контактирующих поверхностей. Заметим, что это распространенное, но ошибочное определение, интересное для нас в методическом плане. Ответ дать в ньютонах с округлением до целых.
2. Какую максимальную вертикальную силу тяжести от лейки душа может компенсировать без вращения шарнира ее держатель в конфигурации, показанной на рисунке? Сила от лейки приложена к середине лапки держателя (там, где выходит вертикальная выноска на рис.). Необходимые дополнительные размеры даны на чертеже в мм. Ответ дать в ньютонах с округлением до сотых долей.
3. Найти модуль силы трения скольжения в шарнире для его конфигурации, показанной на рис. Силу трения понимать как векторную сумму сил трения отдельных бесконечно малых участков контактирующих поверхностей (это правильное определение). Ответ дать в ньютонах с округлением до сотых долей.

1) 236 ( $\pm 10\%$ ); 2) 18,0 ( $\pm 10\%$ ); 3) 18,0 ( $\pm 10\%$ )

**2. [Струя]** В лазерных технологиях по обработке металлов канал излучения иногда совмещают со струей охлаждающей жидкости. Пусть жидкость плотностью  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$  с коэффициентом поверхностного натяжения  $\sigma = 0,03 \text{ Н/м}$  вытекает из насадка при его внутреннем диаметре  $d \sim 0,1 \text{ мм}$ . В струю длиной около 1 см подают лазерные импульсы с частотой  $f$ , которые также могут возбуждать капиллярные волны (КВ) на поверхности струи. Закон дисперсии скорости и бегущих КВ с длиной волны  $\lambda$ :



$$u = (2\pi\sigma/\rho\lambda)^{1/2}.$$

Механизм их возбуждения связан с образованием и схлопыванием каверны пара в жидкости вблизи нагретого лазером пятна на металле. Сначала паровая полость расширяется, а потом (после остывания) схлопывается и порождает ударные волны (УВ), распространяющиеся внутри струи со скоростью звука  $c \sim 1500 \text{ м/с}$  (в воздухе скорость звука —  $340 \text{ м/с}$ ), которые, в свою очередь, порождают КВ на боковой поверхности струи. В некотором диапазоне скоростей струи КВ хорошо отражаются от границы насадка (сверху) и от мишени (снизу) и интерферируют между собой как вдоль, так и поперек струи, образуя стоячие волны на всей боковой поверхности струи (их гребни не смещаются друг относительно друга). На образование КВ тратится очень малая часть энергии УВ, большая ее часть преобразуется в звук.

Найти, во сколько раз возрастет интенсивность звучания  $J_2/J_1$  боковых стенок струи при перестройке частоты следования импульсов от  $f_1 = 1$  кГц до  $f_2 = 10$  кГц без изменения параметров самих импульсов. КПД преобразования лазерной энергии в звук считать независимым от частоты. В качестве элементарных излучателей звука на поверхности струи рассматривать только пучности КВ. Считать, что каверна рождается и схлопывается за время, значительно меньшее периода следования лазерных импульсов. Струю без КВ считать сплошной и с ровными краями. Как обычно бывает в практических задачах, в условии избыточное количество данных. Ответ округлить до целых чисел.

4641 ( $\pm 10\%$ )

**3. [Пробой]** Для сглаживания электрических помех сферический конденсатор подключается параллельно контактам внешней сети переменного тока, параметры которой стандартны (50 Гц, 220 В). Этот конденсатор устанавливается на плату с плотным монтажом, и пространство под его размещение строго задано кубом с ребром  $a = 8$  мм. При этом напряженность на внутреннем электроде может оказаться очень высока, и может произойти пробой диэлектрика с диэлектрической проницаемостью 10. Материал диэлектрика невыгодно менять технологически. Необходимо снизить вероятность пробоя диэлектрика подбором оптимального радиуса внутреннего электрода.

1. Найти этот радиус в мм в целых числах.
2. Указать максимальную мгновенную напряженность в кВ/м с точностью до целых чисел с учетом результатов оптимизации.

1) 2; 2) 125 ( $\pm 10\%$ )

**4. [Оптоволокно]** Хотя стандартное оптоволокно не пропускает лазерное излучение сквозь полимерную или стеклянную оболочку в штатном режиме работы (в окнах прозрачности для длин волн 850 нм, 1310 нм, 1550 нм), тем не менее, при использовании лазеров с длинами волн вне этих окон прозрачности, но при тех же геометрических условиях, свечение через боковую поверхность оболочки может наблюдаться из-за нарушения условий полного внутреннего отражения, т. к. меняется коэффициент преломления. Например, в системах диагностики повреждений оптоволокна VFL (Visible Fault Locator) лазерный диод с длиной волны 650 нм используется для поиска повреждений оптоволокна (коэффициент затухания по интенсивности из-за потерь через боковую поверхность  $\alpha = 0,2$  дБ/км).

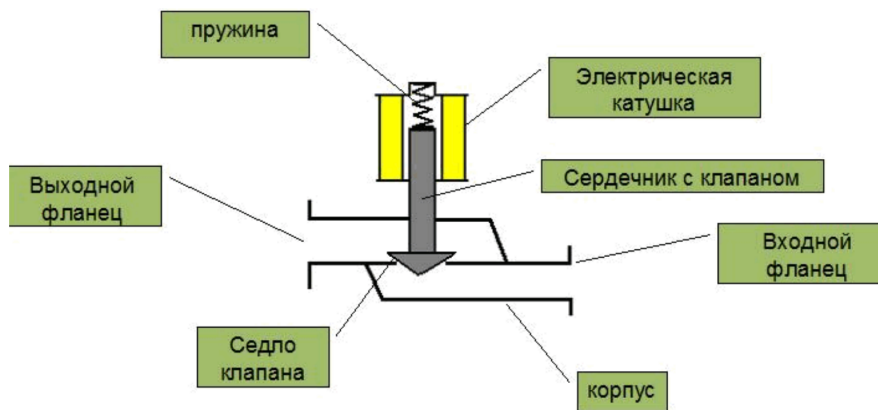
Данную технологию (VFL) можно использовать для обнаружения вражеского оператора, управляющего FPV-дроном-камикадзе по оптоволокну. После взрыва дрона-камикадзе надо присоединить к оборванному концу оптоволокна лазерный светодиод (с нужной апертурой) и, подсветив оптоволокно, наблюдать за ним с дрона-разведчика (лучше ночью на контрасте), чтобы выяснить, где оно заканчивается — с высокой вероятностью рядом будет вражеский оператор.

Примечание:  $\alpha = 10 \cdot \lg(J_0/J_1)$  в децибелах — коэффициент затухания текущей интенсивности сигнала  $J_1$  по отношению к интенсивности  $J_0$  (в начале оптоволокну). Внутренними потерями в оптоволокну пренебречь, смириться с лишними данными.

1. Найти, используя описание системы диагностики VFL, потери мощности излучения (в мВт с округлением до целых) на длине волны 650 нм через боковую оболочку одномодового оптоволокну длиной  $L = 10$  км, выложенного по прямой от вражеского оператора до места взрыва вражеского FPV-дрона, если в оптоволокну через оборванный конец «завели» мощность от лазерного светодиода  $N_0 = 100$  мВт.
2. Указать в рамках условия п. 1 минимальную достаточную для обнаружения вражеских операторов чувствительность приемников излучения (по интенсивности), используя данные о системе диагностики VFL. Учесть, что боковое излучение оптоволокну, выходящее через оболочку, на его последнем километре заметно датчику разведывательного дрона на расстояниях до  $r = 300$  м (перпендикулярно оптоволокну). Внешний диаметр оптоволокну  $D = 125$  мкм. В расчетах можно воспользоваться приближенными вычислениями  $10^x = 1 - (x \cdot \ln 10)$  при  $x \ll 1$ . Ответ дать в нановаттах на 1 кв. м. с округлением до сотых.

1) 37 ( $\pm 10\%$ ); 2) 1,54 ( $\pm 10\%$ )

**5. [Клапан]** Электромагнитный клапан прямого действия (соленоидный клапан) — устройство, которое управляет потоком жидких или газовых сред при повышенном (не очень высоком) давлении, используя электромагнитную катушку (соленоид). Такой клапан может применяться в авиации для управления выработкой топлива из баков. Будем пренебрегать перепадом давления между входом и выходом клапана. При подаче постоянного напряжения на обмотку катушки сердечник с клапаном (запорный элемент) втягивается внутрь катушки и сжимает пружину — таким образом открывается просвет для прохождения рабочей среды. При отключении питания пружина прижимает запорный элемент массой  $m = 1$  г обратно к седлу клапана, закрывая клапан. Пусть соленоид представляет собой тонкостенную цилиндрическую катушку радиуса  $r = 2$  мм, длиной  $x = 10$  мм с плотной намоткой  $N = 1\,000$  витков, которая обладает активным сопротивлением  $R = 1$  кОм. Сплошной сердечник с магнитной проницаемостью  $\mu = 1000$  плотно входит в катушку, но не испытывает трения. Пружина обладает жесткостью  $k = 10$  Н/м, ее длина в недеформированном состоянии  $l = 10$  мм. Считать, что при закрытом клапане пружина сжата на 10% от  $l$ , а в открытом клапане — сжата на 50%, при этом выполняется закон Гука. Считать, что в момент подачи напряжения сердечник уже наполовину вставлен в катушку, а в процессе втягивания сердечника электромагнитная сила меняется слабо.



1. Найти время закрытия клапана (в секундах, округляя до тысячных долей) сразу после размыкания электрической цепи катушки.
2. Найти установившийся ток в катушке после подачи напряжения (в амперах, округляя до тысячных).

1) 0,012 ( $\pm 20\%$ ); 2) 0,028 ( $\pm 20\%$ )