



## Отборочный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

**Профиль: «Физика»**

**Класс участия: 11**

**Вариант задания: 2**

### Задача 1. Эффект «шепчущей галереи».

В круглой части зала станции метро Маяковская радиуса  $R = 15$  м наблюдается эффект «шепчущей галереи». Звук от источника у стены распространяется вдоль периметра за счет многократных отражений, формируя стоячую волну.

Найдите частоту шепота, если известно, что в среднем волна отражается от стенок 1000 раз. Дифракцией волн пренебрегаем. Определите: длину звуковой волны; число полных отражений, которое совершит звуковая волна, обойдя зал по окружности один раз; время, за которое волна совершает один полный обход зала.

Автор советует проверить знаменитый акустический эффект на станции Маяковская Московского метро: встаньте лицом к одной из колонн (почти в упор) и прошепчите что-нибудь в неё, Ваш спутник пусть в это время приблизит ухо к колонне напротив, он должен услышать Ваши слова, при этом никто в центре зала не услышит ни слова.

Ответ:

1. Время одного обхода  $t = 0,277$  с
2. Частота  $\nu = 1803,8$  Гц
3. Длина волны  $\lambda = 0,1885$  м

### *Критерии оценивания*

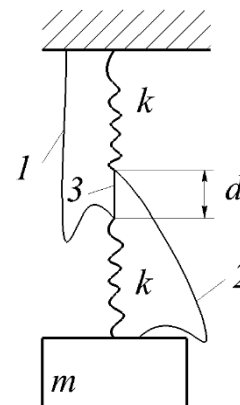
<i>Критерий</i>	<i>Балл</i>
Найдено время одного обхода	2
Найдена частота	2
Найдена длина волны	4



## Задача 2. Пружинный парадокс.

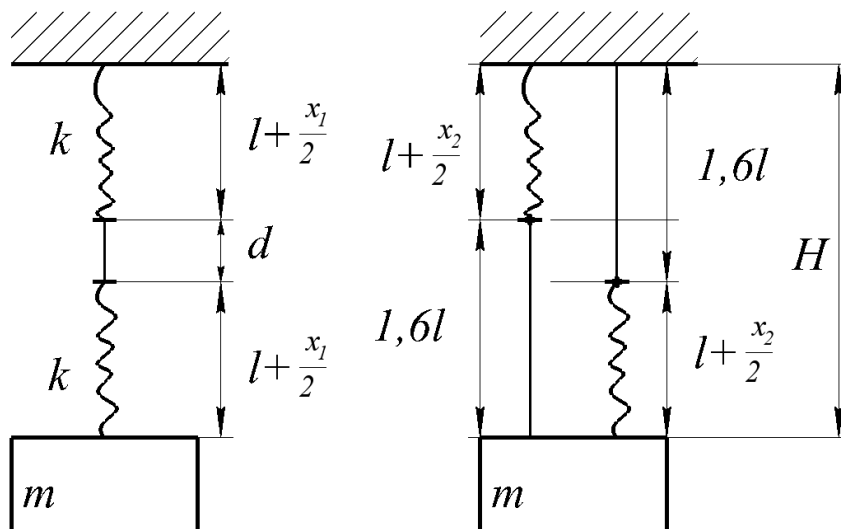
В 1887 году на заседании Лондонского королевского общества разразился скандал. Неизвестный изобретатель по имени Эдмунд Твиггс объявил, что покажет «чудо механики, опровергающее здравый смысл». Его аппарат был прост (приведём описание и схему ниже).

«Небольшой груз массой  $m$  подвешен к потолку с помощью трёх нерастяжимых нитей и двух одинаковых пружин жесткостью  $k$ , как показано на рисунке. Нити №1 и №2 провисают, а №3 натянута.»



«Если я перережу эту нить, - заявил Твиггс, указывая на нить №3, - груз не упадет, а останется на месте!» Зал разразился хохотом. Слышались восклицания: «Бред!», «Противоречит законам гравитации!» Твиггс невозмутимо достал ножницы... щёлк! и нить №3 перерезана. Когда система вновь пришла в равновесие, оказалось, что груз поднялся! Твиггс поклонился: «Господа, это не магия. Это пружинный парадокс!»

Любой из вас может повторить этот эксперимент, а теперь осталось только найти длину №3. Считать, что относительная деформация в начальном положении составляет 10% от длины нити №1, а длины нитей №1 и №2 одинаковы, и составляют 160% длин пружин в нерастянутом положении. Горизонтальными смещениями пренебречь.



Ответ:  $d > 6 \frac{mg}{k}$ .

### Критерии оценивания

Критерий	Балл
Описаны положения равновесия в начальном и конечном случае.	2
Найдены расстояния от потолка до груза в начальном и конечном положении, с учетом первого пункта.	4
Рассчитана длина нити $d$ , но допущены вычислительные ошибки с учетом предыдущих пунктов.	6
Представлено полностью верное решение.	8



### Задача 3. Парадокс большого тела.

При решении задач, взаимодействующих тел с существенно различающимися массами, изменением энергии тела большей массы часто пренебрегают. Однако, такое действие не всегда возможно. Представляем Вашему вниманию «парадокс большого тела», где все изменения энергий имеют значение.

За пределами Солнечной системы обнаружен объект, движущийся со скоростью 27 км/с. Предполагается, что объект был запущен с Земли. По расчетным данным скорость старта составила 30 км/с, по направлению вращения Земли. Оцените массу Земли по этим параметрам, учитывая парадокс.

Ответ:  $M_3 \approx 1,19065 \cdot 10^{25}$  кг

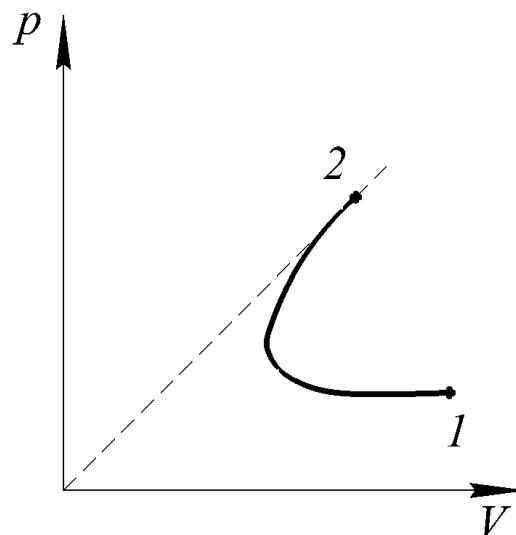
#### Критерии оценивания

Критерий	Балл
Приведено решение без учета взаимодействия с Солнцем.	3
Приведено неполное решение с учетом взаимодействия с Солнцем (например, отсутствие закона сложения скоростей и орбитальной скорости Земли)	6
Приведено неполное решение с учетом взаимодействия с Солнцем (например, отсутствие закона сложения скоростей или орбитальной скорости Земли)	9
Полностью верное решение (возможна погрешность вычислений не более 10%)	12



#### Задача 4. Эффект роста колебательных движений молекул.

Лаборатория теплофизики разрабатывает новый тип газового теплообменника. Для испытаний используется двухатомный газ в количестве вещества 1 моль. Данный газ можно считать идеальным. При контролируемом нагреве газа используют нелинейный процесс, в котором теплоёмкость пропорциональна абсолютной температуре газа, что возможно за счет роста колебательных движений молекул. Подведение тепла останавливается, как только теплоемкость достигает значения теплоёмкости политропического процесса  $p/V = \text{const}$ . К этому моменту температура повышается в 3 раза. По результатам эксперимента построен примерный график зависимости давления от объема (точками 1 и 2 обозначены начало и конец измерений, пунктиром проведена теоретическая зависимость без проведенных измерений). Оценив данные, рассчитайте количество теплоты, полученное газом, а также работу внешних сил и зависимость теплоёмкости от температуры. Начальная температура газа  $T_0$ .



Ответ:

1. Уравнение для теплоёмкости  $C = R \frac{T}{T_0}$
2. Количество теплоты:  $Q = 4RT_0$
3. Работа газа:  $A = -\frac{7}{8}RT_0$



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

### *Критерии оценивания*

<i>Критерий</i>	<i>Балл</i>
Найдена начальная и конечная теплоёмкость, а также начальная температура, получена зависимость теплоёмкости от температуры.	3
Составлено верно уравнение для теплоемкости процесса. Найдено количество теплоты.	6
Описана промежуточная точка, разделяющая сжатие и расширение газа.	9
Задача решена полностью с учетом всех предыдущих пунктов	12



### Задача 5. Фотоэффект.

В 2010 году было очень засушливое лето. Внезапно над огородом нашего инженера расположилось белоснежное кучевое облако. И будучи человеком смекалистым и быстрым инженер придумал способ пролить живительную воду на свой огород 10 соток с помощью фотоэффекта, используя лазер. Найдите характеристики необходимого лазера (частота, длина волны, минимальная мощность) и количество осадков, выпавших на поле инженера в мм/ч.

Данные об облаке:

Минимальная энергия, необходимая для отрыва самого слабо связанного электрона от нейтрального атома - 12,6 эВ; облако образовано за счет охлаждения воздуха, насыщенного водяными парами от  $30^{\circ}\text{C}$  до  $15^{\circ}\text{C}$ , где плотности насыщенных паров  $\rho(30^{\circ}) = 0,0303\text{ кг/м}^3$ ,  $\rho(15^{\circ}) = 0,0127\text{ кг/м}^3$ ; размер облака  $100\text{ м} \cdot 100\text{ м} \cdot 100\text{ м}$ ; диаметр капли воды  $d = 3\text{ мкм}$ ; расстояние от земли до облака 2,5 км.

Допущения:

Пусть каждый фотон выбивает из капли один электрон; скорость перемещения лазера  $v = 10\text{ м/с}$ ; рассеянием и поглощением излучения лазера в атмосфере пренебречь; телесный угол лазера (расходимость лазерного пучка)  $\Omega = 1\text{ мкр}$ .

Дополнительный математический аппарат:

Телесный угол равен отношению площади освещаемого пятна на сфере к квадрату радиуса сферы; телесные углы измеряются в стерadianах [ср].

$$1\text{ сотка} = 100\text{ м}^2$$

Ответ:

1. Частота и длина волны лазера:  $\nu \approx 3 \cdot 10^{15}\text{ Гц}$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \approx 98\text{ нм} - \text{УФ-диапазон}$$

2. Мощность лазера:  $P = 0,006\text{ Вт}$

3. Количество осадков:  $60 = \text{мм/ч}$

Задача имеет несколько вариантов решения в зависимости от введенных допущений.



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

### *Критерии оценивания*

<i>Критерий</i>	<i>Балл</i>
Рассчитана частота лазера и длина волны.	4
Рассчитана мощность лазера с некоторыми упущениями (например, вычислительные ошибки), с выполнением предыдущих пунктов.	8
Рассчитано количество осадков, с выполнением предыдущих пунктов	12
Представлен один из полностью верных вариантов решения.	16



### Задача 6. Эффект атмосферной рефракции.

Зрение часто обманывает нас: переворачивает мир вверх ногами, приближает рыбок в воде, меняет цвета и помогает видеть самые красивые картины заката. Воздух не однороден, его плотность меняется с высотой, что заставляет солнечные лучи «огинать» Землю, позволяя видеть изображение Солнца, когда, на самом деле, оно уже скрылось за горизонтом, из-за явления атмосферной рефракции. Рассчитайте расстояние от поверхности Земли, находясь на котором человек может увидеть собственную спину (на данном расстоянии световые лучи движутся параллельно земной поверхности, совершая полный оборот вокруг планеты).

Считать температуру постоянной во всех слоях воздуха  $T = 290$  К; зависимость коэффициента преломления от высоты  $h$  над поверхностью Земли:

$$n - 1 = (n_0 - 1)e^{-\frac{h}{H}}, \text{ где } H = \frac{RT}{\mu g}, n_0 = 1,00029 \text{ коэффициент преломления у}$$

поверхности Земли;  $\mu$  - молярная масса воздуха;  $R$  - универсальная газовая постоянная;  $g$  - ускорение у поверхности Земли.

Ответ:  $h \approx -1363,03$  м

#### Критерии оценивания

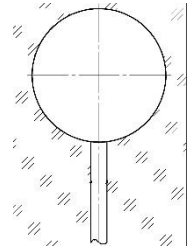
Критерий	Балл
Записана верно формула показателя преломления среды/закон преломления и найдена производная от коэффициента преломления по расстоянию.	6
Получена зависимость $n \cdot r = const$	12
Рассчитано расстояние от поверхности Земли с незначительными ошибками.	18
Представлено полное верное решение.	24



### Задача 7.

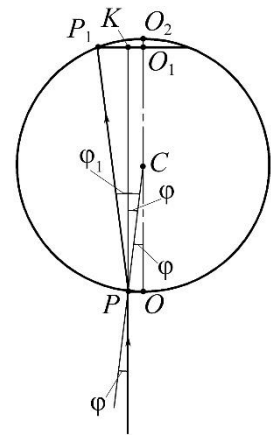
Технологические процессы изготовления искусственных кристаллов допускают образование и «затвердевание» пузырьков газа в толще кристалла. В этом случае качество и возможность применения кристаллического оптического материала оценивается, в том числе, исходя из его пузырьности, т.е. наличия и размеров пузырьков. Для оценки этой характеристики обычно исследуют пластинки, отрезанные от кристалла, которые, просвечивают мощным источником излучения (света), а далее оптическими методами определяют интересующие характеристики, в частности, наличие пузырьков.

Узкие параллельные лазерные пучки с диаметром сечения  $d = 10^{-6}$  м, распространяясь в исследуемом веществе с показателем преломления  $n > 1$ , могут встречать на своём пути пузырьки газа с показателем преломления, близким к  $n_0 = 1$ . На выходе из полости пучок расширяется, что фиксируется с помощью чувствительного детектора. Найдите отношение диаметров сечения вышедших лазерных пучков, после прохождения двух пузырьков газа по их диаметру. Форма пузырьков сферическая, их объёмы отличаются в 1,3 раза, диаметр малого пузырька равен  $D = 0,3$  мм.



Решение:

Пусть  $OP$  и  $O_1P_1$  – радиусы лазерного пучка на входе и на выходе соответственно. Луч после прохождения полости попадает из точки  $P$  в точку  $P_1$ , а  $OO_2=D$  – диаметр полости (пузырька),  $C$  – центр сферы, из условия видно, что  $\frac{OP}{OO_2} = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 0,005 \ll 1$ . Угол  $\varphi$  – угол падения луча на границу пузырька, а  $\varphi_1$  – угол преломления. Из условия эти углы являются малыми, поэтому расстоянием  $O_1O_2$  можно пренебречь и считать, что данные точки совпадают.





Запишем закон преломления

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_1} = \frac{1}{n'}$$

также  $\tan \varphi = \frac{d}{D}$ . Для малых углов  $\sin \varphi \approx \tan \varphi \approx \varphi \Rightarrow \varphi = \frac{d}{D}$  (1)

Тогда  $\varphi_1 = n\varphi$ . (2)

Запишем из рисунка связь диаметров входящего и выходящего пучков, обозначив  $O_1P_1=d_1$

$$\frac{d_1}{2} = \frac{d}{2} + P_1K. (3)$$

Далее найдем угол  $P_1PK$ , считая, что  $PK \approx D$ :

$$\tan(\varphi_1 - \varphi) = \frac{P_1K}{D}, \text{ следовательно } P_1K \approx D(\varphi_1 - \varphi).$$

С учетом (1) и (2)

$$P_1K = D(n\varphi - \varphi) = D\varphi(n - 1) = D \frac{d}{D} (n - 1) = d(n - 1). (4)$$

Подставим (4) в (3)

$$d_1 = d + 2d(n - 1).$$

Из полученного выражения видно, что диаметр полости никак не влияет на степень расширения лазерного пучка. Поэтому отношение диаметров вышедших пучков, которые прошли разные пузырьки

$$\frac{d_1}{d_2} = 1.$$

Ответ:  $\frac{d_1}{d_2} = 1$ .



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

### *Критерии оценивания*

<i>Критерий</i>	<i>Балл</i>
Сформулирована расчётная схема (в том числе, графически), выделены и правильно формализованы все необходимые физические законы	5
Составлена система уравнений и математическая модель	5
Верно учтены технические параметры, характеристики и ограничения	5
Проведены расчеты, получен верный ответ, разумный с точки зрения физического смысла	5
Итого	20