



## Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

**Профиль: «Физика»**

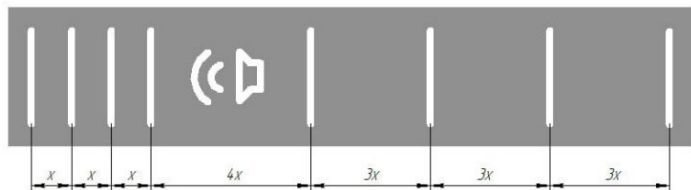
**Класс участия: 11**

**Вариант задания: 2**

- «Физики шутят».
- Что делают физики?!
- Шутят!
- Не понимаю.

### Задача 1.

Профессор Шелдон пришел на всем известный праздник американской массовой культуры в своеобразном костюме. Все



собравшиеся ассоциировали его с зеброй, однако только физики догадались об истинности образа.

Оцените скорость источника по костюму профессора.

**Ключевые моменты решения:**

Для соотношения длин волн запишем:

$$3 \cdot \frac{2\pi}{\omega_0} \cdot (c - v) = \frac{2\pi}{\omega_0} (c + v), \text{ где } c - \text{ скорость звука}$$

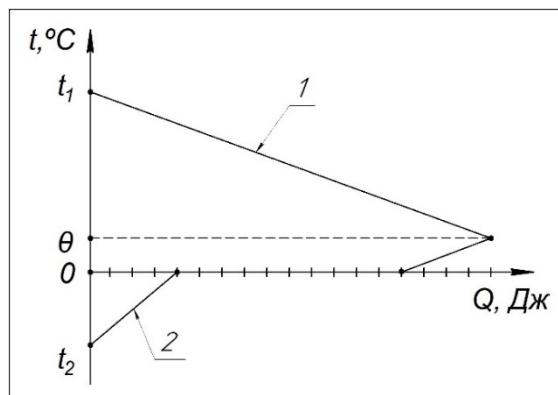
### Критерии оценивания\*

Критерии оценивания задания 1		
№	Элемент решения	Балл
1	Не удовлетворяет ни одному из условий	0
2	Верно записаны формулы, связывающие длину волны, скорость, частоту или период.	2
3	Указан эффект Доплера прямо или косвенно.	4
4	Задача решена верно, но присутствует вычислительная ошибка.	6
5	Полностью верное решение.	8



## Задача 2.

В рамках простого эксперимента смешали в большом сосуде равное количество воды и льда. Молодому аспиранту было поручено результаты эксперимента обработать и построить график зависимости температуры веществ от количества переданной теплоты.



Аспирант график построил и принес руководителю для ознакомления.

По графику аспиранта определите начальные температуры воды и льда, температуру теплового равновесия, а также оцените результаты эксперимента, поскольку от этого зависит будущее аспиранта. Останется ли доволен такой работой руководитель, учитывая, что масштаб соблюден только по горизонтальной оси?

### Ключевые моменты решения:

Из графика получим соотношения теплот для льда:

$$C_A m_2 (0 - t_2) = \frac{1}{2,5} m_2 \lambda = C_B m_2 (\theta - 0)$$

Уравнение теплового баланса:

$$C_B m_1 (t_1 - \theta) = 4,5 C_B m_2 (\theta - 0)$$

Температура воды превышает допустимое значения для жидкого состояния, даже с учетом возможности перегрева при изменении других макроскопических параметров. Следовательно, график построен ошибочно, руководитель останется недоволен такой работой.



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

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

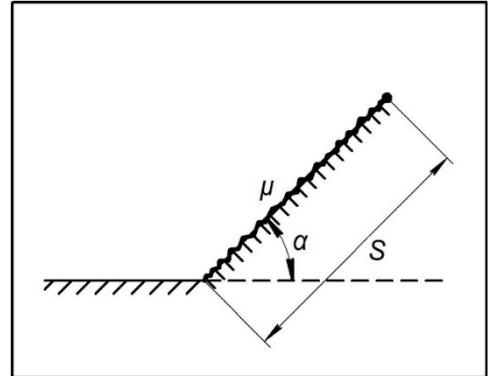
### ***Критерии оценивания\****

<b>Критерии оценивания задания 2</b>		
<b>№</b>	<b>Элемент решения</b>	<b>Балл</b>
1	Не удовлетворяет ни одному из условий	0
2	Записаны верно формулы для нахождения количества теплоты, затраченные на плавление льда, изменение температуры воды и льда.	2
3	С учетом предыдущего пункта записано соотношение теплот в заданном масштабе.	4
4	Найдены некоторые значения температур, с учетом предыдущих пунктов, на основе которых сделано заключение.	6
5	Задача решена полностью: верно найдены начальные температуры веществ, температура теплового равновесия и произведена оценка результатов.	8



### Задача 3.

На спортивных соревнованиях среди математиков и физиков по преодолению препятствий на последней эстафете необходимо было добраться до вершины небольшой горки длиной  $S$  достаточно шероховатой с коэффициентом трения  $\mu = 0,1$  (см.рисунок) и сорвать флаг.



Участникам на выбор предлагались мягкие гибкие «ледянки» разной длины короткие  $l = 0,5S$  и длинные  $L = 2S$ . Прибежали участники к последней эстафете одновременно и с одинаковой скоростью  $v_0$  стартовали вверх. Найдите во сколько раз скорость физика оказалась больше скорости математика, и кто из участников выше?

P.S. Ледянки при движении не отрывались от поверхности горки. Соппротивлением воздуха физики и математики всегда пренебрегают. Ледянки несжимаемы. Ученые, плотно прижимаясь к ледянкам, распределяют свою массу по ним равномерно. Угол при основании горки задается так  $\sin \alpha = \frac{3}{5}$ .

#### Ключевые моменты решения:

Для  $0,5S$ :

$$\frac{mv_1^2}{2} + mg \frac{3}{4} S \sin \alpha - \frac{mv_0^2}{2} = -\frac{3}{5} \mu mg S$$

Для  $2S$ :

$$\frac{Mv_2^2}{2} + MgS \sin \alpha \cdot \frac{1}{4} - \frac{Mv_0^2}{2} = -\frac{1}{5} \mu MgS$$

Физик выше.



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

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

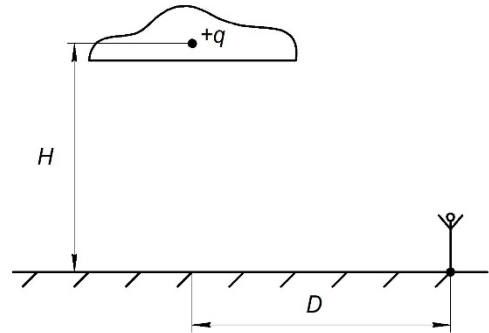
### ***Критерии оценивания\****

<b>Критерии оценивания задания 3</b>		
<b>№</b>	<b>Элемент решения</b>	<b>Балл</b>
1	Не удовлетворяет ни одному из условий	0
2	Записаны ЗИМЭ для различных ледянок с несколькими ошибками: не учтен центр масс ледянок в потенциальной энергии; ошибочно найдена работа сил трения; ошибочно подставлена сила трения. Или верно записан ЗИМЭ только для одного случая.	3
3	Записаны ЗИМЭ для различных ледянок с одной из ошибок: не учтен центр масс ледянок в потенциальной энергии; ошибочно найдена работа сил трения; ошибочно подставлена сила трения.	6
4	Записаны верно ЗИМЭ для различных ледянок, но имеются вычислительные ошибки.	9
5	Задача решена полностью, предоставлен верный ответ.	12



#### Задача 4.

Доцент кафедры электротехники панически боялся молний. Чтобы победить свой страх, он решил изучить явление и рассчитать наиболее опасное местоположение. Он представил, что грозовая туча несет в себе точечный заряд  $q = 30 \text{ Кл}$  (это



среднестатистический заряд). Также известно, что максимальное значение электрической напряженности на поверхности земли на некотором фиксированном расстоянии от грозового облака составляет по показателям приборов  $2000 \text{ В/м}$ . Помогите доценту найти расстояние  $D$ , на поверхности земли от облака до точки, которую ему необходимо избегать, если вдалеке он увидел грозовую тучу.

#### Ключевые моменты решения:

Найдем напряженность на поверхности земли на высоте  $H$  и на расстоянии

$D$  от тучи по поверхности:  $E = \frac{2QH}{4\pi\epsilon_0(H^2+D^2)^{3/2}}$

Максимум функции достигается при условии, что  $H = \frac{D}{\sqrt{2}}$

#### Критерии оценивания\*

Критерии оценивания задания 4		
№	Элемент решения	Балл
1	Не удовлетворяет ни одному из условий	0
2	Представлен верный расчет вектора напряженности для точки, в которой находится доцент без учета метода изображений.	3
3	Представлен верный расчет вектора напряженности для точки, в которой находится доцент с учетом метода изображений.	6
4	Представлен верный расчет вектора напряженности для точки, в которой находится доцент с учетом метода изображений, а также проведена попытка на исследование функции напряженности, но есть вычислительные ошибки.	9
5	Задача решена полностью с учетом исследования функции напряженности на экстремумы, дан верный ответ.	12



### Задача 5.

Русский инженер Павел Николаевич Яблочков изобрел прототип лампы накаливания. В его небольшой мастерской 3 на 8 метра и потолками 2,5 метра было совсем неуютно, и однажды жена принесла в мастерскую спатифиллум. Светолюбивое растение, привезенное из Колумбии в начале 19-го века. Однако это растение нуждается в повышенной влажности в помещении.

В этот день Павел Николаевич проводил очередной эксперимент со своей «лампочкой», которая обладала достаточно большой мощностью (около 340 Вт) и сильно нагревалась (из-за этого лампочки инженера использовали в основном для уличного освещения). Окна и двери мастерской были плотно закрыты, поэтому настенный термометр показал довольно быстрое увеличение температуры с 20 градусов Цельсия.

Через полчаса спатифиллум не выдержал пребывания в мастерской и опустил листочки. Найдите начальную влажность, если известно, что при влажности в 30% растение погибает.

Вы можете воспользоваться данными таблицы (давления насыщенных паров воды), вывешенной при входе в мастерскую.

$t^{\circ}\text{C}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$p_{\text{нп}}$ , кПа	2,3388	2,4877	2,6447	2,8104	2,9850	3,1690	3,3629	3,5670	3,7818	4,0078
$t^{\circ}\text{C}$	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
$p_{\text{нп}}$ , кПа	4,2455	4,4953	4,7578	5,0335	5,3229	5,6267	5,9453	6,2795	6,6298	6,9969

Влагой спатифиллума по отношению ко влаге в помещении пренебречь.



### Ключевые моменты решения:

Количество теплоты, полученное от лампы Яблочкова:

$$Q = \frac{6}{2} \nu_B R(T - T_0) + \frac{6}{2} \nu_{II} R(T - T_0)$$

$$Q = Pt$$

Начальное состояние:

$$p_0 = p_{II_0} + p_{B_0}$$

$$p_{II_0} V = \nu_{II} R T_0$$

$$p_{B_0} V = \nu_B R T_0$$

$$p_{II_0} = \varphi_0 p_{нп_0}$$

Конечное состояние:

$$p_{II} V = \nu_{II} R T$$

$$p_{II} = \varphi p_{нп}$$

### Критерии оценивания\*

Критерии оценивания задания 5		
№	Элемент решения	Балл
1	Не удовлетворяет ни одному из условий	0
2	Верно записаны уравнения для количества теплоты в изохорном процессе, а также уравнение для мощности лампочки.	4
3	Записаны с незначительными ошибками: уравнения для количества теплоты в изохорном процессе; уравнение для мощности лампочки; уравнение теплового баланса; закон Дальтона; уравнения Менделеева-Клапейрона; уравнение относительной влажности.	8
4	Записаны верно: уравнения для количества теплоты в изохорном процессе; уравнение для мощности лампочки; уравнение теплового баланса; закон Дальтона; уравнения Менделеева-Клапейрона; уравнение относительной влажности.	12
5	Представлено полное верное решение задачи.	16





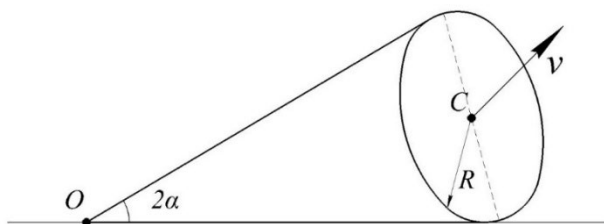
### Задача 6.

На празднике с головы рассеянного физика Смирнова, увлеченно рассказывавшего анекдот про кота Шрёдингера, предательски соскользнул красочный колпак. Он не просто упал, а с кокетливой грацией закрутился без проскальзывания по горизонтальной плоскости вокруг своей конической вершины, вызвав кратковременный ступор у ближайших коллег.

Сидоров, чей мозг был заточен под решение всевозможных уравнений, а не на поддержание головных уборов, моментально переключился. "Интересно," - пробормотал он, глядя на грациозный танец колпака. "Каков коэффициент пропорциональности между угловой скоростью и ее первой производной по времени? Можно ли описать это аналитически?"

Весь вечер, пока остальные наслаждались оливье и пели караоке, Смирнов, с горящими глазами, что-то лихорадочно записывал на салфетке, бормоча про угловые величины. Говорят, к концу вечера он не только решил задачу, но и разработал теорию оптимального ношения праздничных колпаков. Правда, никто так и не понял, зачем это нужно.

Рисунок с салфетки физика прилагается. Данные с рисунка считать известными: угол раствора  $2\alpha$  и радиус основания  $R$ . Скорость точки  $C$  основания конуса равна  $v$ .



Что получил Смирнов?

**Ключевые моменты решения:**

Найдем угловые скорости вращения:  $\omega_1$  - вокруг высоты конуса;  $\omega_2$  - вокруг оси  $z$

$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{v}{R} \\ \omega_2 = \frac{v}{R \cos \alpha \operatorname{ctg} \alpha} \end{cases}$$

Тогда полная угловая скорость равна:



$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2$$

Найдем первую производную от угловой скорости:

$$\frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d}{dt}(\omega_1 \cos \alpha \cos \varphi \vec{i} + \omega_1 \cos \alpha \sin \varphi \vec{j})$$

### *Критерии оценивания\**

Критерии оценивания задания 6		
№	Элемент решения	Балл
1	Не удовлетворяет ни одному из условий	0
2	Найдена одна из компонент угловых скоростей.	6
3	Указаны обе компоненты угловой скорости.	12
4	Записаны уравнения для угловой скорости, включающие пространственные составляющие компонент, предпринята попытка вычисления ее производной.	18
5	Задача решена полностью верно.	24

\*Предоставленные участниками заключительного этапа решения часто отличаются от авторского в связи с многомерностью задач. Оргкомитет олимпиады оставляет участникам право на индивидуальный подход к рассмотрению любой задачи и производит оценку по разработанному участником решению, не претендуя на уникальность авторского подхода.

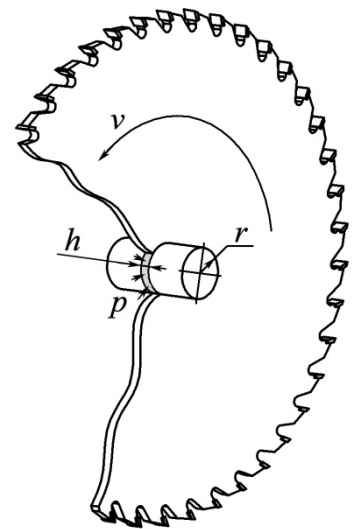
Также все численные ответы проверяются с учетом диапазона используемых констант, в рамках общеобразовательной программы физики старших классов.



### Задача 7.

Циркулярная или дисковая пила – это инструмент, предназначенный для раскройки различных материалов: древесины, ДСП, фанеры и других материалов. Чаще всего основным рабочим (режущим) элементом данного типа пил является плоский металлический диск, на внешней кромке которого расположены зубья. Диск приводится во вращение двигателем, вращающий момент передаётся чаще через вал, на котором закрепляется диск.

Один юный техник решил собрать циркуляционную пилу собственной конструкции. Диск циркулярной пилы насажен с натягом на ось радиуса  $r = 21$  мм внутренним ободом ширины  $h = 16$  мм, обхватывающим ось с давлением  $p = 27$  кПа (см. рис.). Коэффициент трения обода по оси равен  $\mu = 0,8$ . Считать, что сила трения максимальна на любом режиме работы. Посредством электродвигателя, питающегося от напряжения  $U = 160$  В, диск приводится во вращение и в режиме холостого хода (без распила материалов) вращается с некоторой постоянной частотой. Ток в обмотке двигателя при этом  $I_1 = 5,5$  А, а его КПД — 60%.



Определите частоту вращения обмотки электродвигателя в режиме холостого хода.

В процессе резки древесины пыльный диск заклинивает. Какой механический момент генерирует в этом случае заклиненный электродвигатель, если принять, что диск «прикипел» к валу?

Ответ:

1. 87,8 об/с
2. 144 Н\*м



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*

Критерии оценивания задания 7		
№	Элемент решения	Баллы
1	Сформулирована расчётная схема (в том числе, графически), выделены и правильно формализованы все необходимые физические законы	0-5
2	Составлена система уравнений и математическая модель	0-5
3	Верно учтены технические параметры, характеристики и ограничения	0-5
4	Проведены расчеты, получен верный ответ, разумный с точки зрения физического смысла	0-5
<b>ИТОГО</b>		<b>max 20</b>