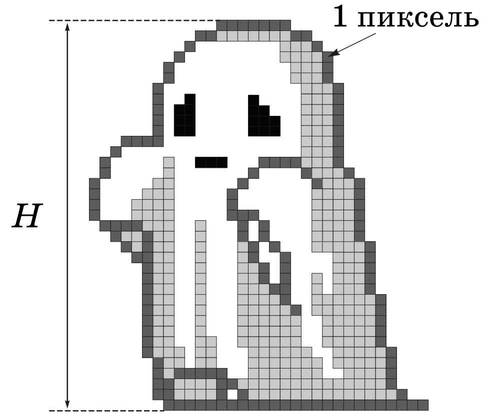
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
Муниципальный этап
2022-2023 уч.г.
7 класс

1. **На тренировке**. Группа спортсменов точно выполняет задание тренера. Спортсмены стартуют через равные промежутки времени Δt и движутся друг за другом по дистанции, состоящей из трёх участков, с определённой тренером постоянной скоростью на каждом участке. На первом участке скорость спортсменов 14,4 км/ч, а расстояние между соседними бегунами 8 м. На втором участке скорость спортсменов равна 1800 дм/мин. На третьем расстояние между спортсменами 10 м.

- Через какое время Δt спортсмены стартовали?
- Чему равна длина дистанции, если время движения на всех участках одинаковое, а длина самого короткого участка 15 м?
- Сколько спортсменов в группе, если в момент финиша первого последний только начинает движение по второму участку?

2. **Формула привидения**. С помощью пиксельного рисунка определите высоту привидения H, выраженную в миллиметрах. Известно, что рисунок сделан с разрешением 300 dpi, то есть 300 пикселей на дюйм.
Примечание: пиксель – это минимальный и неделимый элемент (квадрат), из которого состоит изображение. 1 дюйм = 2,54 см.



3. **Молчаливое масло**. Кусочек масла объёмом 10 мл ползёт по лезвию раскалённого ножа со скоростью $\frac{5}{7}$ см/с. Длина лезвия 30 см. Масло, двигаясь по горячему, потихоньку тает с массовым расходом $\mu = \frac{3}{14}$ г/с. Плотность масла 900 кг/м^3. Что кончится раньше: нож или масло? Определите массовый расход масла на единицу пути.

4. **Связи**. В показанных на рисунках 1 - 4 системах точки *A* движутся со скоростями v в указанных стрелкой направлениях. Точки *O* покоятся. Найдите величины и направления скоростей v_B точек *B*, а также точек *C, D, E, F* на рис. 4.

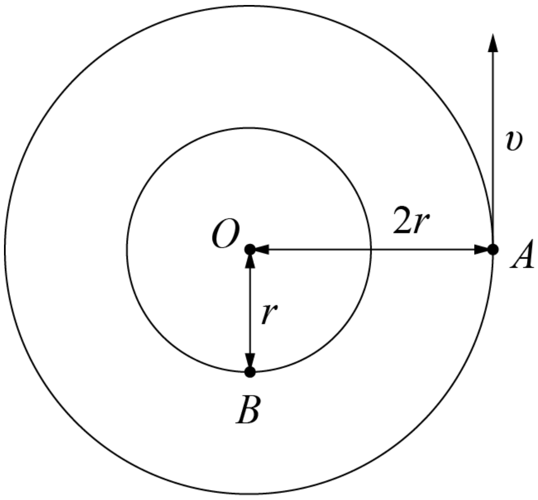


Рис. 1

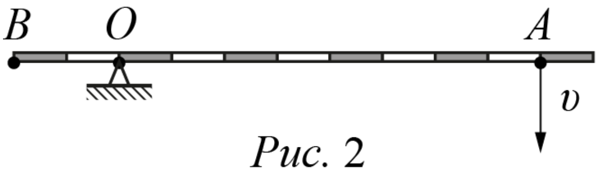


Рис. 2

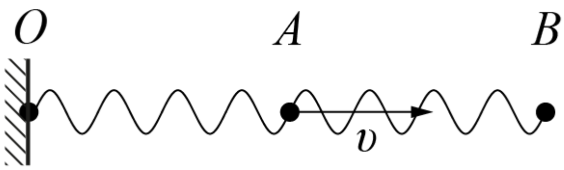


Рис. 3

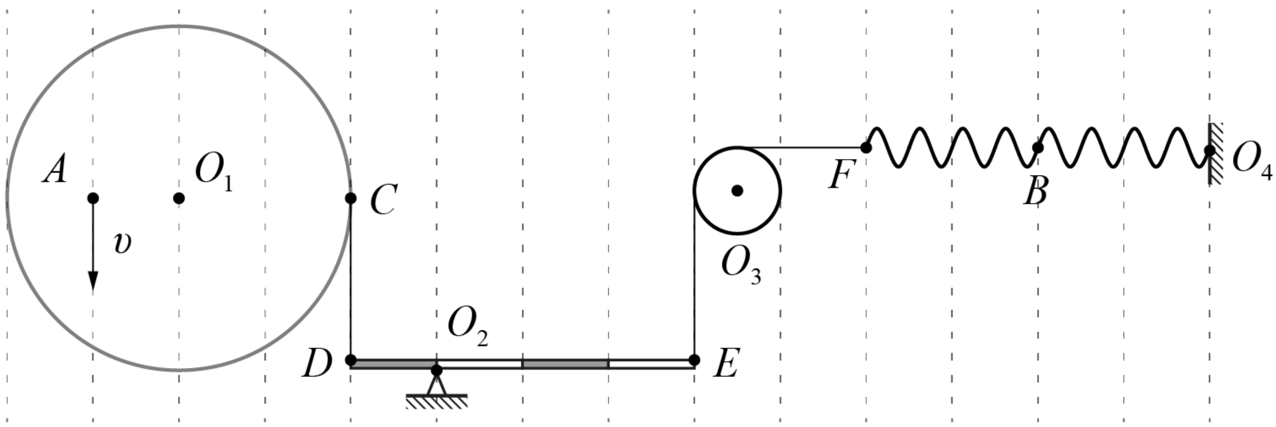
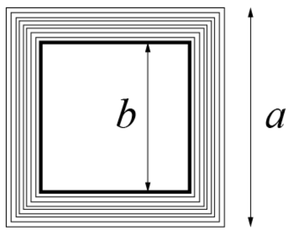


Рис. 4

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
Муниципальный этап
2022-2023 уч.г.
8 класс

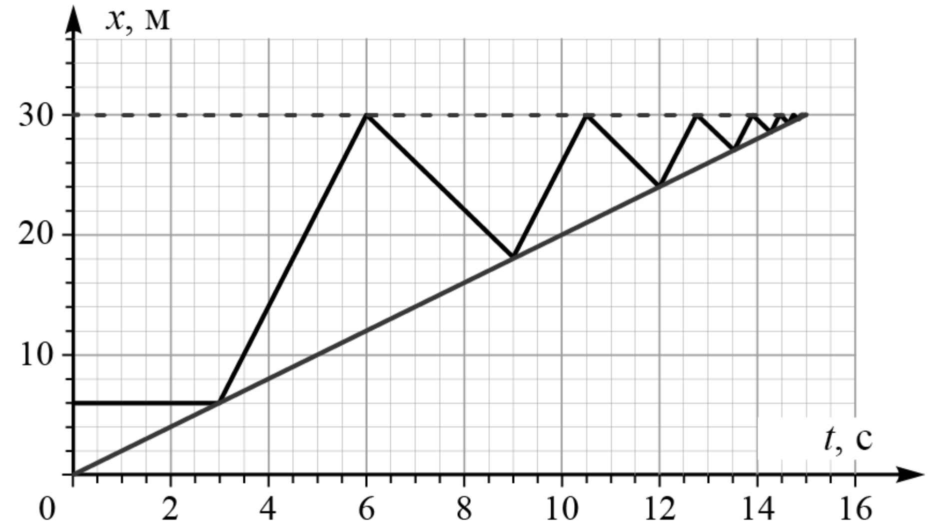
1. Бутылка в озере. Пустая стеклянная бутылка имеет массу m = 250 г и внутренний объем V_0 = 0,5 л. Бутылку заполняют доверху веществом с плотностью ρ, закрывают лёгкой пробкой и бросают в озеро с пресной водой. Постройте график зависимости силы Архимеда $F_а$, действующей на бутылку в озере , от плотности ρ. Плотность стекла $\rho_{ст}$ = 2500 кг/м^3. Плотность воды $\rho_{ст}$ = 1000 кг/м^3. Ускорение свободного падения g = 10 Н/кг.

2. **Квадратный скотч.** Изобретатель Бах решил намотать пленку с малой толщиной h без зазоров на квадратную катушку (длина стороны b). Оцените длину пленки L и количество оборотов n которое удалось намотать на катушку, если внешний слой плёнки образовал квадрат с длиной стороны a. В любой момент пленку можно считать натянутой, её растяжением пренебречь.



3. Алюминиевый огурец. Алюминиевый огурец с температурой 10 ℃ поместили в калориметр, в котором находилась неизвестная жидкость при температуре 90 ℃, где он начал плавать. В результате в калориметре уровень жидкости поднялся на 10% и установилась температура 60 ℃. Определите отношение удельных теплоёмкостей алюминия и неизвестной жидкости. Тепловых потерь нет, жидкость из калориметра не вытекает, теплоёмкость калориметра мала.

4. Футбол со стенкой. Семиклассник Миша играет с мячом около стены. Миша с расстояния L = … начинает бежать со скоростью v = … к стоящему на удалении l = … от стены мячу. После удара Миши мяч катится со скоростью w = … к стене и, отразившись от неё, возвращается к бегущему Мише со скоростью u = …. При встрече с мячом Миша опять сообщает ему скорость w в направлении стены и бежит дальше до следующей встречи с мячом, катящемся от стены со скоростью u. Все движения протекают вдоль прямой OX и заканчиваются, когда мяч прижимается Мишей к стене. Используя графики зависимости координат Миши, мяча и стены от времени, определите пропущенные в тексте значения названных величин. Помогите Мише определить суммарное время движения мяча к стене t_1 и суммарное время движения мяча от стены t_2. Объясните, как Вы нашли ответы на поставленные вопросы.



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ

Муниципальный этап

2022-2023 уч.г.

9 класс

1. Затормозил. Автомобиль начинает движение из состояния покоя с постоянным ускорением a_1. Через некоторое время водитель начинает замедляться до полной остановки с постоянным ускорением $a_2 = 3a_1$. Средняя скорость автомобиля на первой половине всего времени движения оказалась равной $u = 10$ м/с, определите среднюю скорость движения автомобиля за вторую половину всего времени движения.

2. Абрам Кадабра. Экспериментатор Абрам Кадабра решил сэкономить немного денег и заказал динамометр через интернет. Продавец утверждал, что шкала прибора проградуирована для пружины жесткостью $k_0 = 100$ Н/м. Абрам решил проверить это и подвесил к нему груз массой $m = 300$ г, после чего стрелка динамометра указала на отметку $F_1 = 4$ Н (см. рисунок 1). Как оказалось, на динамометре была установлена пружина другой жесткостью k_1. Убрав груз, экспериментатор обнаружил, что в недеформированном состоянии стрелка динамометра указывает на отметку 1,5 Н (см. рисунок 2). Абрам решил обрезать пружину так, чтобы стрелка стала указывать на отметку 0 Н. Затем он еще раз подвесил груз массой m к динамометру, показания оказались равны $F_2 = 1$ Н (см. рисунок 3). По известным данным определите первоначальную длину l_0 пружины жесткостью k_1 в недеформированном состоянии.

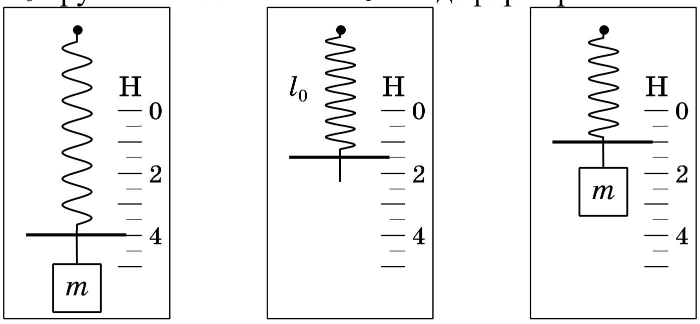
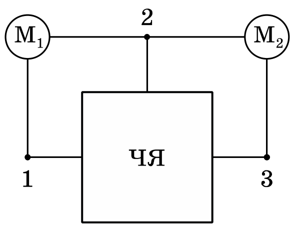


рис. 1 рис. 2 рис. 3

Примечание: коэффициент жесткости пружины обратно пропорционален длине пружины в недеформированном состоянии.

3. Че? ЧЯ! Черный ящик с тремя выводами содержит источник постоянного напряжения ε и два резистора, сопротивления которых отличаются в три раза. Указанные элементы соединены по одной из двух схем: «звезда» или «треугольник». К выводам 1-2-3 черного ящика подключены два мультиметра, обозначенные на схеме M_1 и M_2 (см. рисунок). Если первый мультиметр M_1 включить в режим амперметра, его показания будут зашкаливать на всех пределах измерений. А показания второго мультиметра M_2 в режимах вольтметра и амперметра – $U_2 = 0$ В и $I_2 = 0$ А соответственно. При переключении первого мультиметра в режим вольтметра его показания будут равны $U_1 = 12$ В. Второй мультиметр покажет $U_{22} = 3$ В и $I_{22} = 20$ мА.

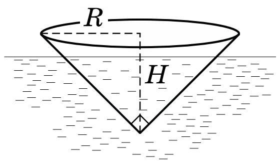


1. Установите по какой схеме соединены элементы внутри черного ящика.
2. Определите значения напряжения источника и сопротивлений резисторов.

Примечание: все измерительные приборы считайте идеальными.

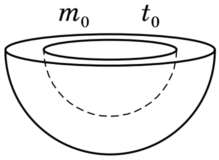
ЗАДАНИЯ № 4 - 5 НА ОБРАТНОЙ СТОРОНЕ

4. По очень тонкому льду. Льдина в виде конуса с прямым углом при вершине плавает в воде. При каком минимальном радиусе R основания конуса мальчик массой m = 50 кг сможет стоять в центре льдины, не замочив ног?

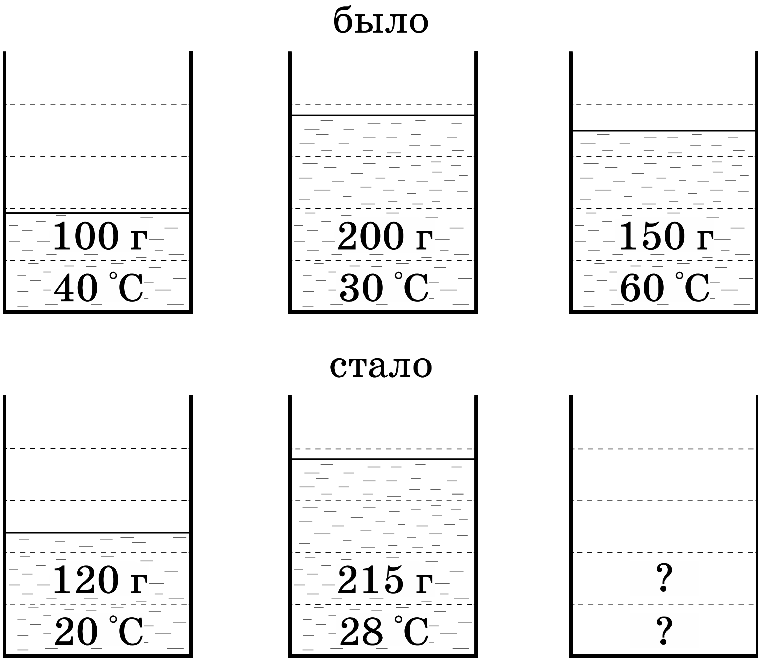


Примечание: плотность воды ρ_0 = 1000 кг/м^3, плотность льда ρ = 900 кг/м^3, объем конуса можно найти по формуле $V = \frac{1}{3}\pi R^2 H$.

5. Входит и выходит. В трех теплоизолированных стаканах находится разное количество воды при разных температурах (см. рисунок). Кусок льда с полостью, изображенный на рисунке, погружают в первый стакан, а затем по очереди погружают в два других. В результате опыта льдинка полностью растаяла и в стаканах оказались новые количества жидкости с новыми температурами. Начальные масса и температура льдинки равны m_0 = 50 г и t_0 = 0 °C. Какая масса воды и при какой температуре окажется в третьем стакане?

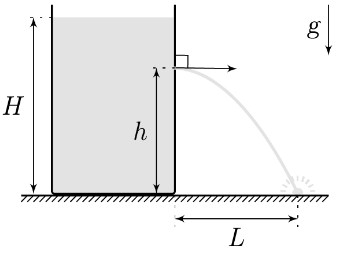


При переносе льдинки вода мимо не проливается. Удельная теплоемкость воды c = 4200 Дж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда λ = 330 кДж/кг.



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
Муниципальный этап
2022-2023 уч.г.
10 класс

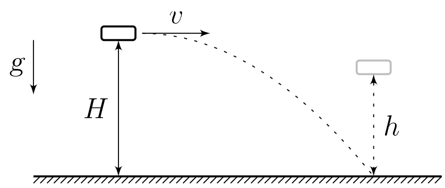
1. Утекает в дыру. Открытый в атмосферу цилиндрический сосуд частично заполнен идеальной несжимаемой жидкостью и расположен на горизонтальной поверхности. На поверхности цилиндра имеется отверстие из которого вытекает струйка воды, причём её начальная скорость параллельна земной поверхности. Струйка воды попадает на землю на расстоянии $L = H$ от поверхности цилиндра. Определите на какой высоте h от земли находится отверстие в сосуде.



Примечание 1: Для скорости струи жидкости на вылете из сосуда воспользуйтесь формулой Торричелли:

$$v_0 = \sqrt{2g(H-h)},\text{ где } g \text{ - ускорение свободного падения.}$$

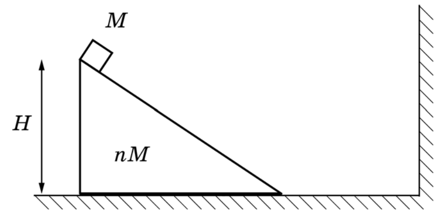
2. Отскочил. С высоты H параллельно горизонтальной поверхности бросили шайбу массой m со скоростью v. После частично упругого удара, двигаясь вертикально вверх, шайба подлетела на высоту $h < H$. Плоскость шайбы всё время была горизонтальна, и шайба не вращалась относительно оси симметрии. Ускорение свободного падения g.



a. Какое количество теплоты Q выделилось при ударе шайбы о поверхность?
b. Найдите минимально возможный коэффициент трения μ шайбы о поверхность.

3. Туда и обратно. Маленький кубик массы M съезжает с незакрепленной горки высотой H и массой nM. После абсолютно упругого столкновения со стенкой кубик догоняет горку и поднимается на неё.

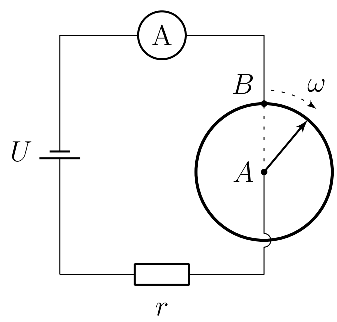
a. Найдите скорость горки u после первого расставания с кубиком.
b. На какую максимальную высоту h поднимется по горке кубик после удара о стенку?



.

Трения в системе нет, переход горки в пол плавный, ускорение свободного падения g.

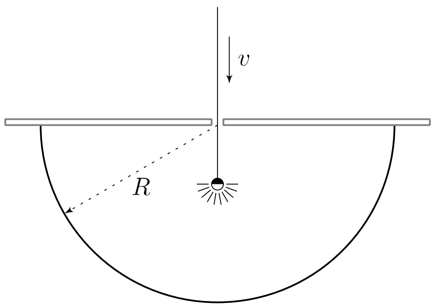
4. Властелин кольца. Однородный проводник сопротивлением R согнули в виде кольца и место соединения (точка B на рисунке) спаяли с подводящим проводом от источника постоянного напряжения U через идеальный амперметр. Другую клемму последовательно через резистор r соединили с осью A вращения подвижной стрелки. В начальный момент времени стрелка своим концом касается точки B. Стрелку начинают вращать относительно оси A с постоянной угловой скоростью ω, сохраняя контакт между стрелкой и кольцом.



a. Какое минимальное показание будет у амперметра I_{min} после начала вращения стрелки?
b. Спустя какое время t показания амперметра впервые будут минимальными?
c. Постройте качественный график зависимости сопротивления цепи от времени с указанием характерных точек.

Подводящий провод к точке A не контактирует с кольцом и никак не мешает движению стрелки, сопротивлением которой можно пренебречь. Все указанные физические величины в задаче считайте известными.

5. Свет во тьме. Сквозь маленькое центральное отверстие в крышке полусферического зеркала опускают шарообразную лампочку, верхняя половина которой закрашена. Поверхность крышки матовая, так что дает только диффузное отражение. Радиус кривизны зеркала R, скорость движения лампочки v. Начало отсчёта времени примите за момент попадания лампочки под крышку.



a. Через какое время t будет засвечена вся крышка?
b. Чему равна минимальная площадь S_{min} освещенной части крышки за все время движения лампочки до нижней точки зеркала?

Размеры лампочки пренебрежимо малы.

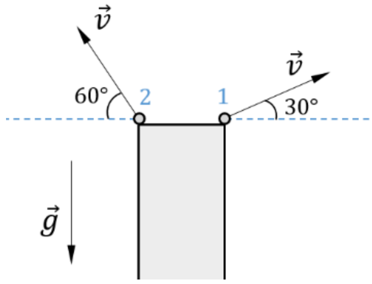
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ

Муниципальный этап

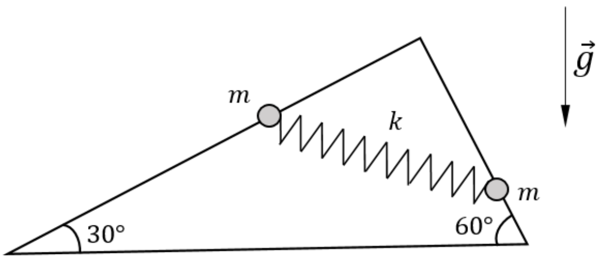
2022-2023 уч.г.

11 класс

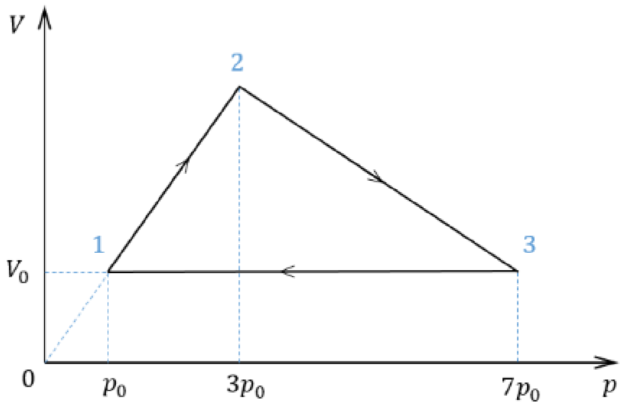
1. 60 и 30. С высокой башни одновременно бросают два камня с одинаковой по модулю начальной скоростью v под углами $30°$ и $60°$ к горизонту (см. рисунок). Через какое время τ_1 скорость первого шарика станет горизонтально направленной? Через какое время τ скорости камней снова будут перпендикулярны друг другу? Траектории камней лежат в одной плоскости. Ускорение свободного падения g. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.



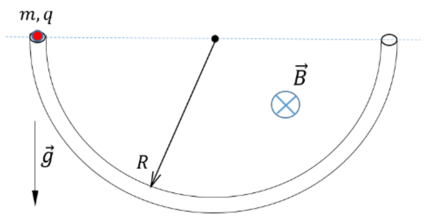
2. 30 и 60. Из проволоки изготовили рамку в форме прямоугольного треугольника (с углами при вершинах $30°$ и $60°$) и закрепили её в вертикальной плоскости так, как показано на рисунке. Гипотенуза треугольника горизонтальна. По проволоке могут скользить без трения небольшие бусинки одинаковой массы m. Бусинки соединены невесомой пружиной жёсткости k. Длина пружины в недеформированном состоянии l_0. Ускорение свободного падения g. Известно, что в положении равновесия бусинки располагаются на катетах треугольника. Найдите расстояние l между бусинками и угол α между пружинкой и горизонталью в этом положении.



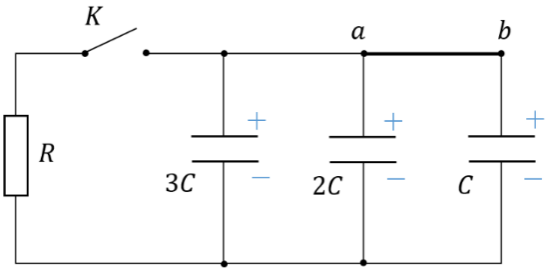
3. Фольклор. С одним моль идеального одноатомного газа совершают циклический процесс 1-2-3-1, показанный на VP-диаграмме (в процессах 1-2 и 2-3 давление газа линейно зависит от объёма, причём продолжение графика процесса 1-2 проходит через начало координат; процесс 3-1 – изохорический). Известно, что температура в точке 1 равна $T_0 = 200$ К. Найдите температуру T_2 газа в точке 2. Какое количество теплоты Q_{12} подвели к газу в процессе 1-2? Определите работу A газа за цикл. Универсальная газовая постоянная $R = 8{,}31$ Дж/(моль · К).



4. По трубе. Непроводящая незаряженная тонкая трубка согнута в виде полуокружности радиуса R, расположена в вертикальной плоскости, и находится в однородном постоянном во времени магнитном поле с индукцией B (см. рисунок). Линии индукции горизонтальны и перпендикулярны плоскости полуокружности. Оба конца трубы находятся на одной горизонтали. Внутрь трубки вблизи края с одной стороны отпускают с нулевой начальной скоростью небольшой диэлектрический шарик массой m с зарядом q (q>0). Определите максимальную скорость v_{max} шарика и максимальную силу N_{max} взаимодействия шарика и трубки в процессе дальнейшего движения. Трением пренебречь. Ускорение свободного падения равно g. Известно, что $\frac{qB}{3m} = \sqrt{\frac{g}{2R}}$. При движении шарика внутри трубки электрический заряд шарика остаётся неизменным.



5. Разрядка. В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, ключ K разомкнут, а конденсаторы заряжены до некоторого неизвестного напряжения. Найдите силу тока I_0 через резистор сопротивлением R в некоторый момент времени после замыкания ключа, если известно, что через перемычку ab в этот момент времени сила тока равна I_1. Чему равен заряд q_1 конденсатора ёмкости C в этот момент? Ёмкости конденсаторов C, $2C$ и $3C$ известны. Сопротивление перемычки и соединительных проводов пренебрежимо мало.



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
Муниципальный этап
Решения и критерии
7 класс

1. **На тренировке**. Группа спортсменов точно выполняет задание тренера. Спортсмены стартуют через равные промежутки времени Δt и движутся друг за другом по дистанции, состоящей из трёх участков, с определённой тренером постоянной скоростью на каждом участке. На первом участке скорость спортсменов 14,4 км/ч, а расстояние между соседними бегунами 8 м. На втором участке скорость спортсменов равна 1800 дм/мин. На третьем расстояние между спортсменами 10 м.

- Через какое время Δt спортсмены стартовали?
- Чему равна длина дистанции, если время движения на всех участках одинаковое, а длина самого короткого участка 15 м?
- Сколько спортсменов в группе, если в момент финиша первого последний только начинает движение по второму участку?

Возможное решение.

Расстояние между спортсменами - это путь пройденный одним из них до старта следующего:
$$\Delta t = \frac{S}{\upsilon} = \frac{8м}{14{,}4км/ч} = \frac{8м}{4м/с} = 2с$$
Временной интервал между спортсменами сохраняется.
Скорость на втором участке: $\upsilon_3 = 1800дм/мин = 3м/с$

Скорость на третьем участке: $\upsilon_3 = \dfrac{d_3}{\Delta t} = \dfrac{10м}{2с} = 5м/с$

Самый короткий участок второй (время движения одинаковое, а скорость на нём наименьшая)

Тогда время движения по нему (и на других) $t = \dfrac{d_2}{\upsilon_2} = \dfrac{15м}{3м/с} = 5с$.

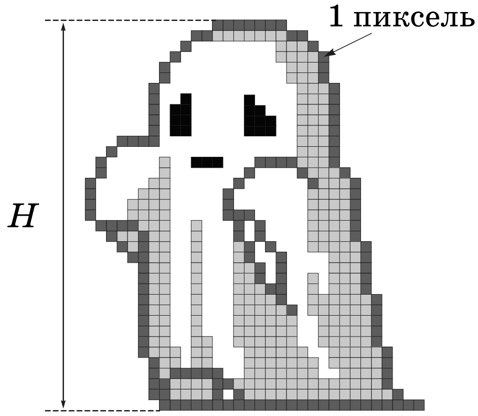
Вся дистанция: $S_{полн} = t\upsilon_3 + t\upsilon_2 + t\upsilon = 60м$

На интервале движения по 2му и 3му участку (10 с) умещается 5 временных интервалов между спортсменами (2 с). Значит всего спортсменов 6.

Критерии оценивания.

1	3 балла	Выполнен перевод 14,4 км/ч = 4 м/с	1 балл
		Найден интервал на старте: 2 с	2 балла
2	5 баллов	Выполнен перевод 1800 дм/мин = 3 м/с	1 балл
		Найдена скорость на третьем участке: 5 м/с	1 балл
		Указано, что на втором участке скорость наименьшая, поэтому он самый короткий	1 балл
		Найдена протяжённость дистанции: 60 м	2 балла
3	2 балла	Найдено количество спортсменов: 6	2 балла
	Итого:	10 баллов	

2. **Формула привидения**. С помощью пиксельного рисунка определите высоту привидения H, выраженную в миллиметрах. Известно, что рисунок сделан с разрешением 300 dpi, то есть 300 пикселей на дюйм.
Примечание: пиксель – это минимальный и неделимый элемент (квадрат), из которого состоит изображение. 1 дюйм = 2,54 см.



Решение.
Найдем чему равна высота изображения H, выраженная в пикселях. Для этого посчитаем количество квадратов:

$$H = 37 \text{ пикселей}$$

Составим пропорцию и найдем высоту H, выраженную в дюймах:

$$\frac{300 \text{ пикслей}}{1 \text{ дюйм}} = \frac{37 \text{ пикселей}}{H};$$

$$H \approx 0{,}12 \text{ дюймов} = 0{,}12 \times 2{,}54 \approx 0{,}3 \text{ см} = 3 \text{ мм}.$$

Критерии оценивания.

1		Высота изображения H, выраженная в пикселях	2
2		Перевод высоты H в дюймы (или количества пикселов в единицы длины)	3
3		Перевод высоты H в см (мм, м) (или любой перевод дюймов в метрические единицы))	3
4		Численно верный ответ	2
	Итого:		10

Примечание: В п.1 допустима ошибка +- 1 пиксель (36 - 38 пикселей).
п. 2 и 3 могут быть объединены в одно действие.
В п.4 за накопленную погрешность не нужно снимать баллы

Молчаливое масло. Кусочек масла объёмом 10 мл ползёт по лезвию раскалённого ножа со скоростью $\frac{5}{7}$ см/с. Длина лезвия 30 см. Масло, двигаясь по горячему, потихоньку тает с массовым расходом $\mu = \frac{3}{14}$ г/с. Плотность масла 900 кг/м^3. Что кончится раньше: нож или масло? Определите массовый расход масла на единицу пути.

ОТВЕТ: закончатся одновременно (через 42 с). Массовый расход масла на единицу пути 0,3 г/см.

Возможное решение:
Масса масла $m = \rho V = 9$ г.

Время плавления масла $t = \frac{m}{\mu} = \frac{9}{3/14} = 42с$

Время скольжения $t = \frac{S}{\upsilon} = \frac{30}{5/7} = 42с$

Оба процесса закончатся одновременно.

$$\alpha = \frac{\Delta m}{S} = \frac{9г}{30см} = 0{,}3\frac{г}{см}$$

Массовый расход за единицу пути: *или*

$$\alpha = \frac{\mu}{\upsilon} = 0{,}3\frac{г}{см}$$

Критерии оценивания.

	Найдена масса тела	2
	Найдено время плавления масла	2
	Найдено время время скольжения	2
	Сделан вывод о равенстве времён	1
	Найден массовый расход α	3
	ИТОГ	10

4. Связи. В показанных на рисунках 1 - 4 системах точки A движутся со скоростями υ в указанных стрелкой направлениях. Точки O покоятся. Найдите величины и направления скоростей υ_B точек B, а также точек C, D, E, F на рис. 4.

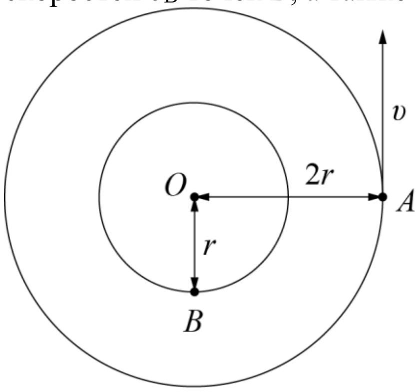


Рис. 1

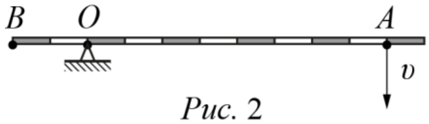


Рис. 2

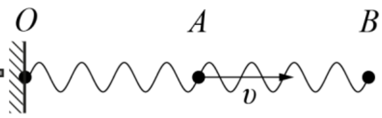


Рис. 3

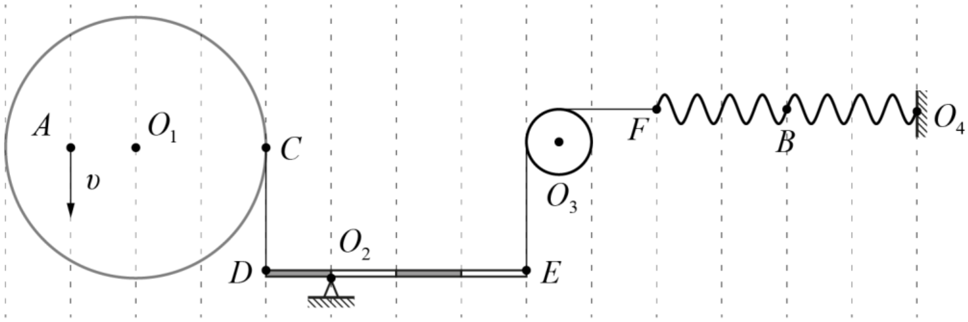


Рис. 4

Возможное решение:

Скорости пропорциональны расстоянию до неподвижной точки:

$\upsilon_B = \upsilon \dfrac{r}{2r} = 0{,}5\upsilon$ вращение против часовой стрелки, значит скорость направлена вправо

$\upsilon_E = \upsilon_D \dfrac{3l}{l} = \upsilon_C \dfrac{3l}{l} = 6\upsilon$ вращение по часовой стрелке, значит скорость направлена вниз

$\upsilon_C = \upsilon \dfrac{2r}{r} = 2\upsilon$ вращение против часовой стрелки, значит скорость направлена вверх

Аналогично по рис. 4

$\upsilon_C = 2\upsilon$, направлена вверх

$\upsilon_E = 3\upsilon_D = 3\upsilon_C = 6\upsilon$, направлена вниз

$\upsilon_B = 0{,}5\upsilon_F = 0{,}5\upsilon_E = 3\upsilon$, направлена влево

Критерии оценивания.

1	Рис.1. $\upsilon_B = 0{,}5\upsilon$, направлена вправо	2 балла
2	Рис.2. $\upsilon_B = 4\upsilon$, направлена вверх	2 балла
3	Рис.3. $\upsilon_B = 2\upsilon$, направлена вправо	2 балла
4	Рис.4. $\upsilon_{CD} = 2\upsilon$	1 балл
	Рис.4. $\upsilon_{EF} = 6\upsilon$	1 балл
	Рис.4. $\upsilon_B = 3\upsilon$	1 балл
	Рис.4. υ_B направлена влево	1 балл
	Итого:	10 баллов

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ

Муниципальный этап

Решения и критерии

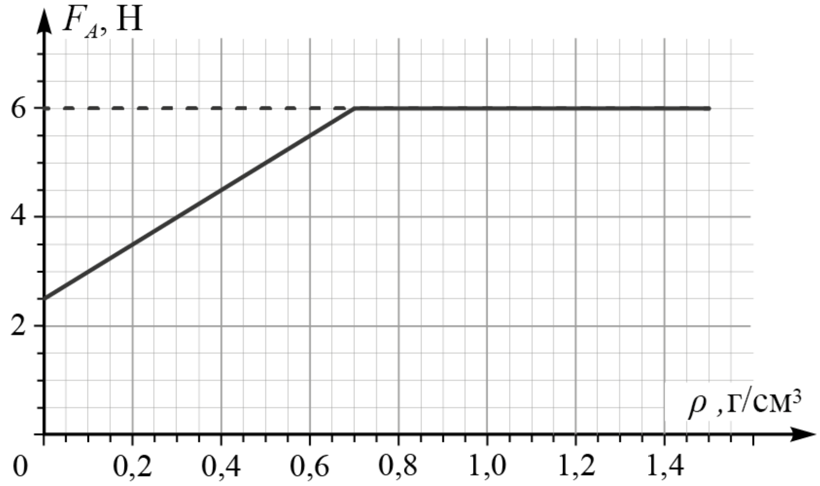
8 класс

1. Бутылка в озере. Пустая стеклянная бутылка имеет массу m = 250 г и внутренний объем V_0 = 0,5 л. Бутылку заполняют доверху веществом с плотностью ρ, закрывают лёгкой пробкой и бросают в озеро с пресной водой. Постройте график зависимости силы Архимеда $F_а$, действующей на бутылку в озере , от плотности ρ. Плотность стекла $\rho_{ст}$ = 2500 кг/м^3. Плотность воды $\rho_{ст}$ = 1000 кг/м^3. Ускорение свободного падения g = 10 Н/кг.

Решение.

Объем стекла равен $V_с = m/\ \rho_{ст}$ = 250/2,5 = 100 см^3. Внешний объем бутылки $V_Б = V_0 + V_с$ = 600 см^3. Для того, чтобы бутылка утонула, ее суммарная масса должна превысить 600 г, т.е. в нее надо насыпать 350 г или больше вещества. Это реализуется, если плотность насыпаемого вещества будет равна или больше ρ = 350/500 = 0,7 г/см^3. Сила Архимеда, действующая на утонувшую бутылку постоянна и равна $F_а$ = 6,0 Н. Если плотность насыпаемого вещества меньше 0,7 г/см^3, то бутылка будет плавать на поверхности, а сила Архимеда будет равна силе тяжести, действующей на бутылку

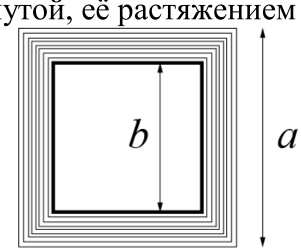
$F_а = \rho g V_0 + mg$. Это линейная зависимость от ρ, $F_а$ = 2,5 Н при ρ = 0 и $F_а$ = 6,0 Н при ρ = 0,7 г/см^3. График имеет вид:



Критерии оценивания.

		Найден объём стекла	1
		Найден внешний объём бутылки	1
		Найдена критическая масса содержимого	1
		Найдена критическая плотность (0,7)	1
		Сделан вывод о постоянстве $F_а$ при затоплении	1
		Получена зависимость $F_а$ от плотности содержимого при плавании	1
		График. Подписаны и оцифрованы оси	2
		График. Два правильных линейных участка	1
		График. Пересечение в точке (0,7;6)	1
	Итого:	10 баллов	

2. **2.** Изобретатель Бах решил намотать пленку с малой толщиной h без зазоров на квадратную катушку (длина стороны b). Оцените длину пленки L и количество оборотов n которое удалось намотать на катушку, если внешний слой плёнки образовал квадрат с длиной стороны a. В любой момент пленку можно считать натянутой, её растяжением пренебречь.



Решение:

При неизменной ширине плёнки d её обьём $V = Lhd$, но его же можно записать через боковую площадь рулона $V = Sd = (a^2 - b^2)d \Rightarrow L = \dfrac{a^2 - b^2}{h}$

Толщина рулона линейно растёт от количества оборотов. Среднюю длину пленки в обороте можно оценить $c = \dfrac{a+b}{2}$. Тогда $n \approx \dfrac{L}{4c} = \dfrac{a^2 - b^2}{4h}\dfrac{2}{a+b} = \dfrac{a-b}{2h}$

Критерии оценивания.

1		Есть объём ленты как параллелепипеда	1
2		Есть объём ленты как рулона (через a и b)	2
3		Получено выражение для L	2
		Оценена средняя длина ленты в рулоне c	2
		Оценено n (знание и использование разности квадратов необязательно)	3
	Итого:	10 баллов	

.

3. Алюминиевый огурец. Алюминиевый огурец с температурой 10 °С поместили в калориметр, в котором находилась неизвестная жидкость при температуре 90 °С, где он начал плавать. В результате в калориметре уровень жидкости поднялся на 10% и установилась температура 60 °С. Определите отношение удельных теплоёмкостей алюминия и неизвестной жидкости. Тепловых потерь нет, жидкость из калориметра не вытекает, теплоёмкость калориметра мала.

Возможное решение.

Условие плавания $mg = F_A \Rightarrow m = \rho_{ж} V_{погр}$

Погруженный объём - это объём вытесненной жидкости, который увеличивает уровень жидкости в сосуде: $V_{погр} = S_{сосуда}\Delta h$

Масса жидкости связана с её уровнем до погружения огурца: $m_{ж} = \rho_{ж} V_{ж} = \rho_{ж} S_{сосуда} h$

Уравнение теплового баланса:

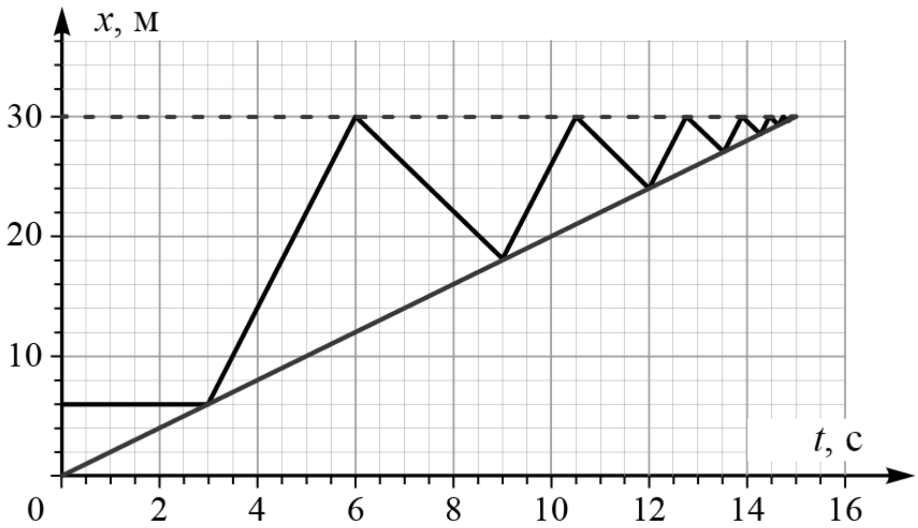
$$c_{ж} m_{ж} (90°C - 60°C) = c_{Al} m (60°C - 10°C)$$

$$\frac{c_{Al}}{c_{ж}} = \frac{m_{ж}(30°C)}{m(50°C)} = \frac{\rho_{ж} S_{сосуда} h (30°C)}{\rho_{ж} S_{сосуда} \Delta h (50°C)} = 6$$

Критерии оценивания.

1	Условие плавания	2 балла
2	Объём погруженной части связан с изменением уровня жидкости	1 балл
3	Масса тела связана с Δh	1 балл
4	Масса жидкости связана с уровнем до погружения	1 балл
5	Уравнение теплового баланса	2 балла
6	Найдено отношение удельных теплоёмкостей	3 балла
	Итого:	10 баллов

4. Футбол со стенкой. Семиклассник Миша играет с мячом около стены. Миша с расстояния $L = \dots$ начинает бежать со скоростью $v = \dots$ к стоящему на удалении $l = \dots$ от стены мячу. После удара Миши мяч катится со скоростью $w = \dots$ к стене и, отразившись от неё, возвращается к бегущему Мише со скоростью $u = \dots$. При встрече с мячом Миша опять сообщает ему скорость w в направлении стены и бежит дальше до следующей встречи с мячом, катящемся от стены со скоростью u. Все движения протекают вдоль прямой OX и заканчиваются, когда мяч прижимается Мишей к стене. Используя графики зависимости координат Миши, мяча и стены от времени, определите пропущенные в тексте значения названных величин. Помогите Мише определить суммарное время движения мяча к стене t_1 и суммарное время движения мяча от стены t_2. Объясните, как Вы нашли ответы на поставленные вопросы.



Возможное решение.

Стена находится на расстоянии L = 30 м (объект с постоянной координатой на графике)

Миша добегает до него за 15 с, значит его скорость 2 м/с.

Мяч находится на расстоянии 6 м от мальчика и 24 м от стены.

После удара (координата 6 м, время 3 с) мяч двигался до встречи со стенкой (координата 30 м, время 6 с) со скоростью w = 8 м/с.

Обратно мяч двигался до встречи с мальчиком (координата 18 м, время 9 с) со скоростью u = 4 м/с.

Если рассматривать движение мяча с точки зрения Миши, то можно заметить, что скорости удаления и приближения мяча равны.

8 – 2 = 6 (м/с);

4 + 2 = 6 (м/с).

Значит мяч от Миши и к Мише при равных путях двигался равное время. При этом общее время движения мяча 12 с. Значит:

$t_1 = t_2$ = 6 с.

Критерии оценивания.

1	L = 30 м	1 балл
2	v = 2 м/с	1 балл
3	l = 24 м	1 балл
4	w = 8 м/с	1 балл
	Обоснование значения w	1 балл
5	u = 4 м/с	1 балл
	Обоснование значения u	1 балл
6	$t_1 = t_2$ = 6 с	1 балл
	Обоснование значений времён	2 балла
	Итого:	10 баллов

Возможные обоснования пункта 6.

1. Если рассматривать движение мяча с точки зрения Миши, то можно заметить, что скорости удаления и приближения мяча равны.
   8 – 2 = 6 (м/с);
   4 + 2 = 6 (м/с).
   Значит мяч от Миши и к Мише при равных путях двигался равное время. При этом общее время движения мяча 12 с. Значит:
   $t_1 = t_2 = 6$ с.

Общее время движения мяча 12 с.

$t_1 + t_2 = 12$.

Можно заметить, что путь, пройденный мячом к стене, больше пути, пройденного мячом от стены, на 24 м.

$8t_1 - 4t_2 = 24$.

Решая эту систему, получаем значения времён.

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ

Муниципальный этап

Решения и критерии

9 класс

Затормозил

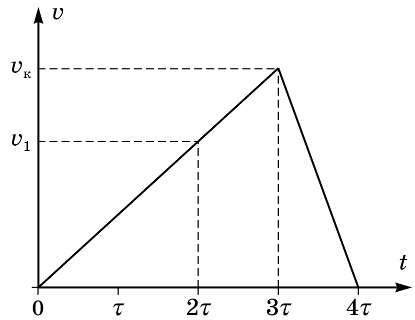
Автомобиль начинает движение из состояния покоя с постоянным ускорением a_1. Через некоторое время водитель начинает замедляться до полной остановки с постоянным ускорением $a_2 = 3a_1$. Средняя скорость автомобиля на первой половине всего времени движения оказалась равной $u = 10$ м/с, определите среднюю скорость движения автомобиля за вторую половину всего времени движения.

Возможное решение

Время разгона будет в три раза больше времени торможения, так как ускорение при торможении в три раза больше, чем при разгоне:

$$t_2 = \tau;\ t_1 = 3\tau,$$

где t_1 – время, затраченное на разгон до некоторой скорости $v_к$, t_2 – время до полной остановки. Построим качественный график зависимости скорости от времени.



Путь, пройденный автомобилем, на второй половине времени движения пропорционален площади под графиком:

$$s_2 = \frac{1}{2}v_к\tau + \frac{v_1 + v_к}{2}\tau.$$

Учтем, что $v_к = 3a_1\tau$ и $v_1 = 2a_1\tau$, тогда:

$$s_2 = \frac{1}{2}3a_1\tau^2 + \frac{2a_1\tau + 3a_1\tau}{2}\tau = 4a_1\tau^2.$$

Средняя скорость движения автомобиля за вторую половину всего времени движения равна:

$$u_2 = \frac{s_2}{2\tau} = 2a_1\tau.$$

Средняя скорость движения автомобиля за первую половину всего времени движения равна:

$$u = \frac{s_1}{2\tau} = \frac{\frac{1}{2}v_1 2\tau}{2\tau} = a_1\tau.$$

Тогда $u_2 = 2u = 20$ м/с.

Критерии оценивания

1.	Найдено соотношение времен разгона и торможения	1 балл
2.	Выражение для второй половины пути	3 балла
3.	Выражение для u_2	2 балла
4.	Связь u и u_2 через ускорение и время	3 балла
5.	Численно верный ответ	1 балл

Абрам Кадабра

Экспериментатор Абрам Кадабра решил сэкономить немного денег и заказал динамометр через интернет. Продавец утверждал, что шкала прибора проградуирована для пружины жесткостью $k_0 = 100$ Н/м. Абрам решил проверить это и подвесил к нему груз массой $m = 300$ г, после чего стрелка динамометра указала на отметку $F_1 = 4$ Н (см. рисунок 1). Как оказалось, на динамометре была установлена пружина другой жесткостью k_1. Убрав груз, экспериментатор обнаружил, что в недеформированном состоянии стрелка динамометра указывает на отметку 1,5 Н (см. рисунок 2). Абрам решил обрезать пружину так, чтобы стрелка стала указывать на отметку 0 Н. Затем он еще раз подвесил груз массой m к динамометру, показания оказались равны $F_2 = 1$ Н (см. рисунок 3). По известным данным определите первоначальную длину l_0 пружины жесткостью k_1 в недеформированном состоянии.

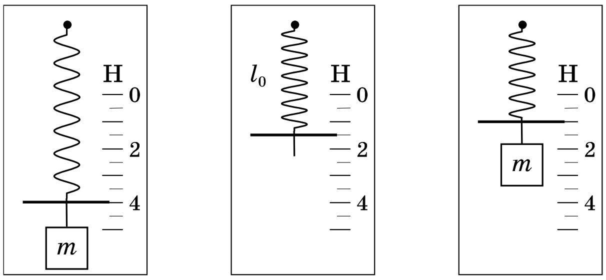


рис. 1 рис. 2 рис. 3

Примечание: коэффициент жесткости пружины обратно пропорционален длине пружины в недеформированном состоянии.

Возможное решение

Так как шкала динамометра проградуирована для пружины с коэффициентом жесткости $k_0 = 100$ Н/м, расстояние между двумя соседними отметками на шкале равно:

$$\Delta x = \frac{F_0}{k_0} = \frac{0{,}5\ \text{Н}}{100\ \text{Н/м}} = 0{,}5\ \text{см}.$$

Из разности показаний динамометра на первых двух рисунках можно понять, что пружина тяжести растянулась на $5\Delta x$, когда к ней повесили груз массой m в первый раз.

$$k_1 5\Delta x = mg.$$

После того как пружину укоротили ее коэффициент жесткости изменился и стал равен k_2. Показания динамометра при повторном подвешивании груза массой m позволяют найти новое растяжение пружины:

$$k_2 2\Delta x = mg.$$

Из этого получаем, что $k_2 = 2{,}5k_1$, с другой стороны, отношение коэффициентов жесткости:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{l_0 - 3\Delta x}{l_0},$$

где $3\Delta x$ – длина отрезанной части пружины.

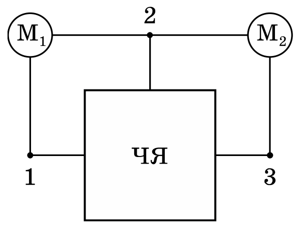
Тогда

$$2{,}5(l_0 - 3\Delta x) = l_0;$$
$$l_0 = 5\Delta x = 2{,}5\ \text{см}.$$

Критерии оценивания

1. Найдено расстояние между двумя отметками на шкале — 2 балла
2. Растяжение пружины в первом случае $5\Delta x$ — 2 балла
3. Растяжение пружины во втором случае $2\Delta x$ — 2 балла
4. Отношение коэффициентов жесткости — 1 балл
5. Связь с длиной пружины в недеформированном состоянии — 2 балла
6. Численно посчитана длина l_0 — 1 балл

Че? ЧЯ!



Черный ящик с тремя выводами содержит источник постоянного напряжения ε и два резистора, сопротивления которых отличаются в три раза. Указанные элементы соединены по одной из двух схем: «звезда» или «треугольник». К выводам 1-2-3 черного ящика подключены два мультиметра, обозначенные на схеме M_1 и M_2 (см. рисунок). Если первый мультиметр M_1 включить в режим амперметра, его показания будут зашкаливать на всех пределах измерений. А показания второго мультиметра M_2 в режимах вольтметра и амперметра – $U_2 = 0$ В и $I_2 = 0$ А соответственно. При переключении первого мультиметра в режим вольтметра его показания будут равны $U_1 = 12$ В. Второй мультиметр покажет $U_{22} = 3$ В и $I_{22} = 20$ мА.

1. Установите по какой схеме соединены элементы внутри черного ящика.
2. Определите значения напряжения источника и сопротивлений резисторов.

Примечание: все измерительные приборы считайте идеальными.

Возможное решение

То, что показания первого амперметра зашкаливают, а показания второго мультиметра равны 0, означает подключение первого параллельно источнику напряжения. При рассмотрении схемы соединения элементов по типу «звезда» можно понять, что между двумя любыми выводами находится хотя бы один резистор. В таком случае показания амперметра конечны, а значит внутри черного ящика элементы подключены «треугольником».

Выяснив, что первый мультиметр подключен параллельно источнику напряжение, делаем вывод что показания первого вольтметра U_1 равны напряжению источника.

$$U = U_1 = 12 \text{ В}.$$

Проанализируем показания второго мультиметра во втором случае. Элементы соединены «треугольником», а значит второй мультиметр подключен параллельно одному из резисторов. Напряжение на резисторе, параллельно которому подключен второй вольтметр равно $U_{22} = 3$ В, следовательно это резистор с меньшим сопротивлением, так как напряжение на другом резисторе напряжение $U_3 = U - U_{22} = 9$ В (при последовательном соединении напряжение прямо пропорционально сопротивлению).

Когда второй мультиметр работает в режиме амперметра ток через резистор с меньшим сопротивлением не течет, следовательно его показания равны:

$$I_{22} = \frac{U}{3R}$$

$$R = \frac{U}{3I_{22}} = \frac{12}{3 \times 0{,}02} = 200 \text{ Ом}.$$

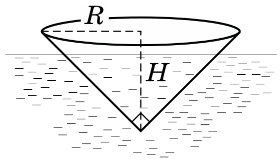
$$3R = 600 \text{ Ом}.$$

Критерии оценивания

1.	Верно аргументирован тип соединения элементов	2 балла
2.	Найдено напряжение источника	2 балла
3.	Второй мультиметр подключен к резистору с меньшим сопротивлением	2 балла
4.	Правильно интерпретированы показания второго амперметра	2 балла
5.	Найдены сопротивления R и $3R$	2 балла

По очень тонкому льду

Льдина в виде конуса с прямым углом при вершине плавает в воде. При каком минимальном радиусе R основания конуса мальчик массой m = 50 кг сможет стоять в центре льдины, не замочив ног?



Примечание: плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м^3, плотность льда $\rho = 900$ кг/м^3, объем конуса можно найти по формуле $V = \frac{1}{3}\pi R^2 H$.

Возможное решение

Так как льдина является конусом с прямым углом при вершине, то $H = R$. Значит объем всей льдины равен:

$$V = \frac{1}{3}\pi R^3.$$

Обозначим массу льдины как M, из условия плавания льдины:

$$F_\text{А} = Mg;$$
$$\rho_0 V_\text{п} g = \rho V g;$$
$$\frac{V_\text{п}}{V} = \frac{\rho}{\rho_0} = 0{,}9.$$

Тогда над поверхностью воды находится объем льда $V_1 = 0{,}1V = \frac{0{,}1}{3}\pi R^3$

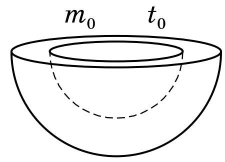
Чтобы мальчик не намочил ноги дополнительная сила тяжести должна компенсироваться силой Архимеда, действующей на V_1:

$$mg = \rho_0 V_1 g;$$
$$m = \frac{0{,}1}{3}\rho_0 \pi R^3;$$
$$R = \sqrt[3]{\frac{3m}{0{,}1\rho_0\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \times 50}{0{,}1 \times 1000 \times 3{,}14}} \approx 78 \text{ см}.$$

Критерии оценивания

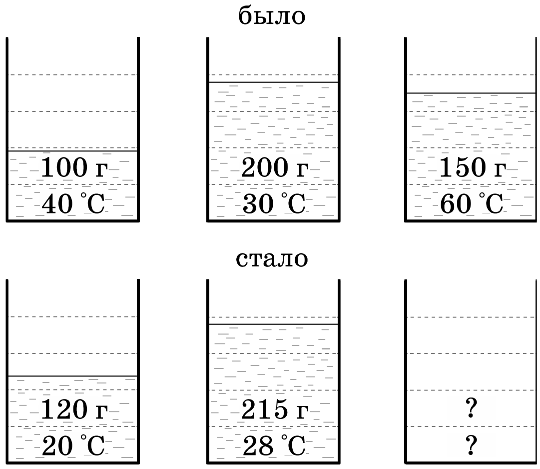
1.	Использовано равенство высоты и радиуса основания	2 балла
2.	Отношение $V_\text{п}/V$	2 балла
3.	Объем надводной части V_1	1 балл
4.	Связь mg и силы Архимеда, действующей на V1	3 балла
5.	Выражение для R	1 балл
6.	Численно верный ответ	1 балл

Входит и выходит



В трех теплоизолированных стаканах находится разное количество воды при разных температурах (см. рисунок). Кусок льда с полостью, изображенный на рисунке, погружают в первый стакан, а затем по очереди погружают в два других. В результате опыта льдинка полностью растаяла и в стаканах оказались новые количества жидкости с новыми температурами. Начальные масса и температура льдинки равны m_0 = 50 г и t_0 = 0 °C. Какая масса воды и при какой температуре окажется в третьем стакане?

При переносе льдинки вода мимо не проливается. Удельная теплоемкость воды c = 4200 Дж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда λ = 330 кДж/кг.



Возможное решение

Из закона сохранения массы найдем массу жидкости в третьем сосуде:

$$m_3' = m_1 + m_2 + m_3 + m_0 - m_1' - m_2' = 165 \text{ г},$$

где m_i' – массы жидкости в сосудах после таяния льда, m_i – массы жидкости до погружения льда.

При переносе льда из одного сосуда в другой происходит перенос жидкости. Чтобы это не учитывать будем рассматривать всю систему сразу.

Охладим содержимое всех трех стаканов до 0 °C, в таком случае выделится количество теплоты Q_0:

$$Q_0 = c(m_1t_1 + m_2t_2 + m_3t_3),$$

где t_i – начальные температуры в сосудах.

$$Q_0 = 4200(0{,}1 \cdot 40 + 0{,}2 \cdot 30 + 0{,}15 \cdot 60) = 79{,}8 \text{ кДж}.$$

После этого вернем Q_0 в систему, часть этой тепловой энергии пойдет на плавления льда, а оставшаяся на нагрев воды общей массой 450 г + 50 г = 500 г.

$$Q_0 = c(m_1't_1' + m_2't_2' + m_3't_3') + \lambda m_0;$$

$$t_3' = \frac{Q_0 - \lambda m_0 - c(m_1't_1' + m_2't_2')}{c \cdot m_3'} = \frac{\big(79{,}8 - 330 \cdot 0{,}05 - 4{,}2(0{,}12 \cdot 20 + 0{,}215 \cdot 28)\big) \cdot 10^3}{4200 \cdot 0{,}165};$$

$$t_3' = 40{,}3 \text{ °C}.$$

Критерии оценивания

1.	Масса в третьем сосуде	1 балл
2.	Применена формула $Q = cm\Delta t$	1 балл
3.	Применена формула для плавления $Q = \lambda m$	1 балл
4.	Рассмотрение общего количества теплоты или учет переноса жидкости	2 балла
5.	Составлено уравнение теплового баланса	1 балл
6.	Выражение для t_3'	2 балл
7.	Численно верный ответ	2 балл

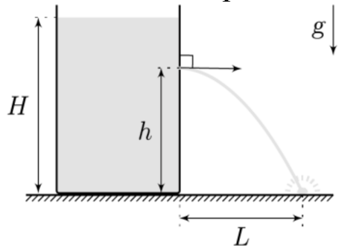
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ

Муниципальный этап

Решения и критерии

10 класс

1. Открытый в атмосферу цилиндрический сосуд частично заполнен идеальной несжимаемой жидкостью и расположен на горизонтальной поверхности. На поверхности цилиндра имеется отверстие из которого вытекает струйка воды, причём её начальная скорость параллельна земной поверхности. Струйка воды попадает на землю на расстоянии $L = H$ от поверхности цилиндра. Определите на какой высоте h от земли находится отверстие в сосуде.



Примечание 1: Для скорости струи жидкости на вылете из сосуда воспользуйтесь формулой Торричелли:

$$v_0 = \sqrt{2g(H-h)}, \text{ где } g \text{ - ускорение свободного падения.}$$

Возможное решение.

Вода после покидания сосуда движется с ускорением g. Уравнения движения в проекции на вертикальную и горизонтальную оси:

$$x(t) = \upsilon_0 t$$

$$y(t) = h - \frac{gt^2}{2}$$

$$x(t_n) = L = \upsilon_0 t_n$$

Анализируя точку падения $y(t_n) = 0 = h - \frac{gt_n^2}{2} \Rightarrow t_n = \sqrt{\frac{2h}{g}} \Rightarrow L = \sqrt{2g(H-h)}\sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{4h(H-h)}$

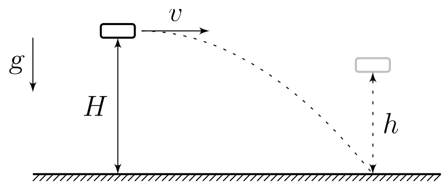
Учитывая, что $L = H$, получим квадратное уравнение:

$$4h^2 - 4hH + H^2 = 0 \Rightarrow h = \frac{4H \pm \sqrt{16H^2 - 16H^2}}{8} = \frac{H}{2}$$

Критерии оценивания.

		Записаны уравнения равноускоренного движения	2
		Выражено время движения элемента струи до земли (из любого уравнения или время исключено из системы уравнений)	2
		Использовано кравнение Торричелли	1
		Получено уравнение на h	3
		Решено уравнение, получен правильный ответ.	2
	Итого:		10

2. С высоты H параллельно горизонтальной поверхности бросили шайбу массой m со скоростью v. После частично упругого удара, двигаясь вертикально вверх, шайба подлетела на высоту $h < H$. Плоскость шайбы всё время была горизонтальна, и шайба не вращалась относительно оси симметрии. Ускорение свободного падения g.



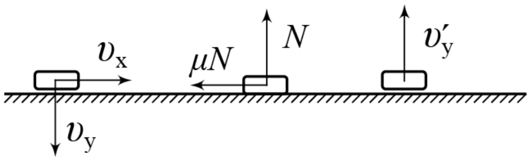
a. Какое количество теплоты Q выделилось при ударе шайбы о поверхность?
b. Найдите минимально возможный коэффициент трения μ шайбы о поверхность.

Возможное решение.

Для нахождения Q запишем закон сохранения энергии с учетом тепловых потерь:

$$mgH + \frac{m\upsilon^2}{2} = mgh + Q \Rightarrow Q = mg(H-h) + \frac{m\upsilon^2}{2}$$

Рассмотрим момент удара. Процесс быстрый, так что изменением импульса под действием силы тяжести можно пренебречь



Импульс тела в момент удара меняют нормальная реакция опоры и сила трения скольжения. Эти силы переменные во времени, под N будем подразумевать некоторое среднее эффективное значение. Минимальный коэффициент трения означает, что к сила трения скольжения действовала до отрыва бруска (не переходила в трение покоя).

$$\Delta p_y = N\Delta t$$

$$\Delta p_x = \mu N\Delta t$$

Горизонтальная скорость в момент удара $\upsilon_x = \upsilon$

Вертикальную скорость в момент удара найдём из ЗСЭ (или кинематики) $\upsilon_y = \sqrt{2gH}$

Вертикальную скорость в момент отрыва найдём из ЗСЭ (или кинематики) $\upsilon_y' = \sqrt{2gh}$

$$\begin{aligned} \Delta p_y &= N\Delta t = m(\upsilon_y - \upsilon_y') \\ \Delta p_x &= \mu N\Delta t = -m\upsilon \end{aligned}, \text{ откуда } \mu = \frac{\upsilon}{\sqrt{2gH} + \sqrt{2gh}}$$

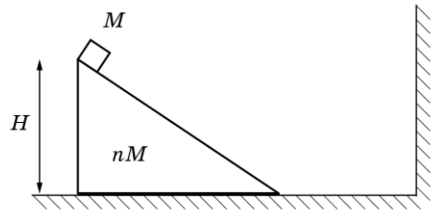
Критерии оценивания.

		Использовано выражение для кинетической энергии	0,5
		Использовано выражение для кинетической энергии	0,5
		Сформулирован ЗСЭ с учетом Q	1
		Выражено Q	1
		Показана связь изменений проекций импульса с коэффициентом трения	3
		Вертикальная скорость в момент удара	1
		Вертикальная скорость в момент отрыва	1
		Использовано определение импульса (проекции)	0,5
		Найдено μ	1,5
	Итого:		10

3. Маленький кубик массы M съезжает с незакрепленной горки высотой H и массой nM. После абсолютно упругого столкновения со стенкой кубик догоняет горку и поднимается на неё.

a. Найдите скорость горки u после первого расставания с кубиком.

b. На какую максимальную высоту h поднимется по горке кубик после удара о стенку?



.

Трения в системе нет, переход горки в пол плавный, ускорение свободного падения g.

Возможное решение.

В процессе съезда проекция импульса системы кубик-горка на горизонтальную ось не меняется, механическая энергия системы сохраняется:

$MgH = \frac{M\upsilon^2}{2} + \frac{nMu^2}{2}$, где υ - скорость кубика в нижней точке.

$0 = M\upsilon - nMu$

Решая систему получим
$$\upsilon = \sqrt{\frac{2gHn}{n+1}}$$
$$u = \sqrt{\frac{2gH}{n(n+1)}}$$

После удара о стенку импульс системы станет $2nMu = 2M\upsilon = 2M\sqrt{\frac{2gHn}{n+1}}$

В момент наивысшего подъёма скорости горки и бруска будут одинаковы. Проекция импульса системы кубик-горка на горизонтальную ось опять не поменяется:

$$2M\sqrt{\frac{2gHn}{n+1}} = M(n+1)\upsilon_к \Rightarrow \upsilon_к = \frac{2}{n+1}\sqrt{\frac{2gHn}{n+1}}$$

Закон сохранения энергии:

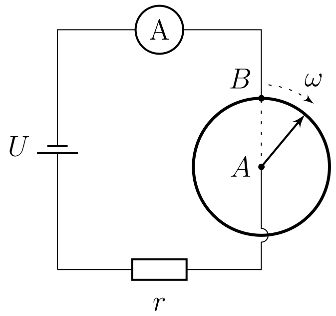
$$MgH = Mgh + \frac{M(n+1)\upsilon_к^2}{2} = Mgh + \frac{M(n+1)}{2}\frac{4}{(n+1)^2}\frac{2gHn}{(n+1)}$$

$$gH = gh + \frac{4gHn}{(n+1)^2} \Rightarrow h = H(1 - \frac{4n}{(n+1)^2}) = H(\frac{n-1}{n+1})^2$$

Критерии оценивания.

		Использовано выражение для кинетической энергии	0,5
		Использовано выражение для кинетической энергии	0,5
		Использовано определение импульса (проекции)	0,5
		Правильно записан ЗСИ (проекций) для съезда	1
		Правильно записан ЗСЭ для съезда	1
		Получено выражение для u	1
		Правильно записан ЗСИ (проекций) для подъёма	2
		Получено выражение для конечной скорости	1
		Правильно записан ЗСЭ для для подъёма	2
		Получено выражение для h (упрощать не обязательно)	1,5
	Итого:		10

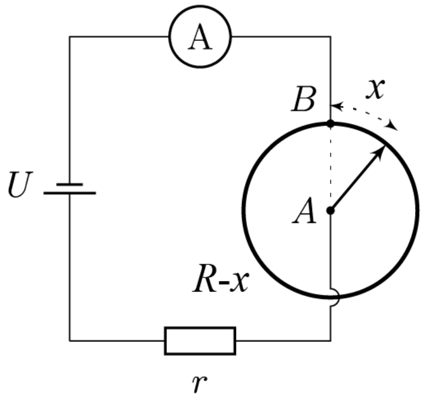
4. Однородный проводник сопротивлением R согнули в виде кольца и место соединения (точка B на рисунке) спаяли с подводящим проводом от источника постоянного напряжения U через идеальный амперметр. Другую клемму последовательно через резистор r соединили с осью A вращения подвижной стрелки. В начальный момент времени стрелка своим концом касается точки B. Стрелку начинают вращать относительно оси A с постоянной угловой скоростью ω, сохраняя контакт между стрелкой и кольцом.



a. Какое минимальное показание будет у амперметра I_{min} после начала вращения стрелки?
b. Спустя какое время t показания амперметра впервые будут минимальными?
c. Постройте качественный график зависимости сопротивления цепи от времени с указанием характерных точек.

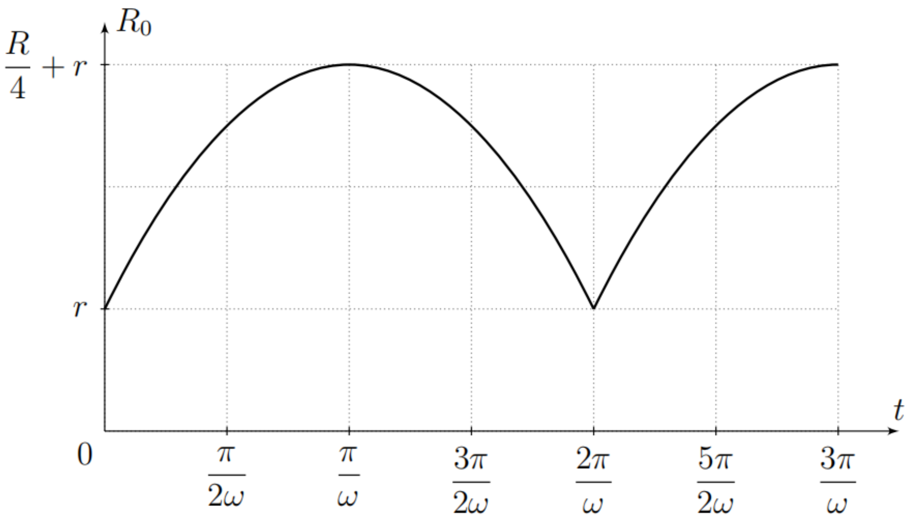
Подводящий провод к точке A не контактирует с кольцом и никак не мешает движению стрелки, сопротивлением которой можно пренебречь. Все указанные физические величины в задаче считайте известными.

Возможное решение.



Обозначим сопротивление участка между точкой B и стрелкой $x = R\dfrac{\varphi}{2\pi} = R\dfrac{\omega t}{2\pi}$. Тогда общее сопротивление цепи: $R_0 = r + \dfrac{x(R-x)}{R} = r + x - \dfrac{x^2}{R} = r + \dfrac{R\omega}{2\pi}t - \dfrac{R\omega^2}{4\pi^2}t^2$

Графически данная зависимость представлена на рисунке



Минимальное значение силы тока будет соответствовать максимальному сопротивлению:

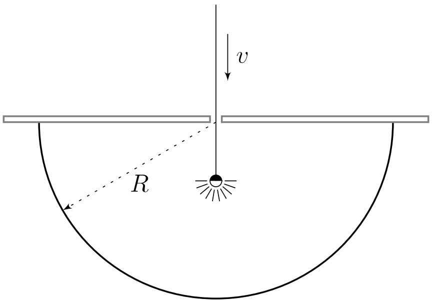
$$I_{\min} = \frac{U}{R_{0\max}} = \frac{U}{\frac{R}{4}+r}$$

Впервые такая сила тока будет в цепи при $t = \frac{\pi}{\omega}$

Критерии оценивания.

		Использован хотя бы раз закон Ома	1
		Получена зависимость сопротивлений участков кольца от времени	1
		Получена зависимость сопротивления цепи от положения стрелки	2
		Найдено наибольшее сопротивление цепи	1
		Найден минимальная сила тока	1
		Найден момент времени $t = \frac{\pi}{\omega}$	1
		График. Оси подписаны, есть характерные значения сопротивления и времени	1
		График. Есть параболическая зависимость на периоде	1
		График. Есть периодичность.	1
	Итого:		10

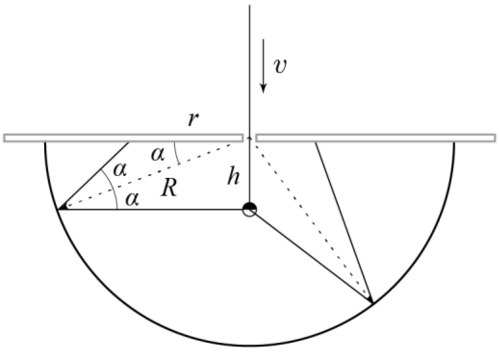
5. Сквозь маленькое центральное отверстие в крышке полусферического зеркала опускают шарообразную лампочку, верхняя половина которой закрашена. Поверхность крышки матовая, так что дает только диффузное отражение. Радиус кривизны зеркала R, скорость движения лампочки v. Начало отсчёта времени примите за момент попадания лампочки под крышку.



a. Через какое время t будет засвечена вся крышка?
b. Чему равна минимальная площадь S_{min} освещенной части крышки за все время движения лампочки до нижней точки зеркала?

Размеры лампочки пренебрежимо малы.

Возможное решение.



Из построения нескольких лучей можно заметить, что радиус r освещённого пятна определяется ходом горизонтального луча: $r = \dfrac{R}{2\cos\alpha}$. Угол связан с высотой $\sin\alpha = \dfrac{h}{R}$.

При засвете всей крышки $R = \dfrac{R}{2\cos\alpha_1} \Rightarrow \cos\alpha_1 = \dfrac{1}{2} \Rightarrow \sin\alpha_1 = \dfrac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow h = \dfrac{\sqrt{3}}{2}R$

Это случится в момент времени $t = \dfrac{\sqrt{3}}{2}\dfrac{R}{\upsilon}$

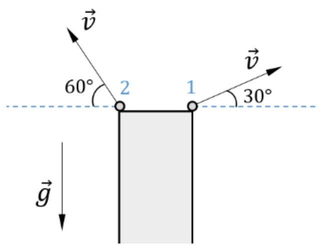
Для минимальной площади засветки косинус должен стать максимальным : $r_{\min} = \dfrac{R}{2} \Rightarrow S_{\min} = \dfrac{\pi R^2}{4}$

Критерии оценивания.

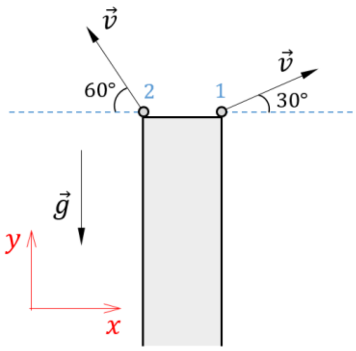
		Вывод о том, что радиус r освещённого пятна определяется ходом горизонтального луча	2
		Связь $r = \dfrac{R}{2\cos\alpha}$	1
		Связь $\sin\alpha = \dfrac{h}{R}$	1
		Найдена высота при полной засветке	2
		Найдено время при полной засветке	1
		Условие на угол при минимальной площади	1
		Найден минимальный радиус пятна	1
		Найдена минимальная площадь пятна	1
	Итого:		10

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
Муниципальный этап
Решения и критерии
11 класс

1. 60 и 30. С высокой башни одновременно бросают два камня с одинаковой по модулю начальной скоростью v под углами 30° и 60° к горизонту (см. рисунок). Через какое время τ_1 скорость первого шарика станет горизонтально направленной? Через какое время τ скорости камней снова будут перпендикулярны друг другу? Траектории камней лежат в одной плоскости. Ускорение свободного падения g. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.



Возможное решение



Введём координатные оси x и y как это представлено на рисунке. В отсутствии сил сопротивления воздуха движение камней является равноускоренным и происходит с ускорением свободного падения. С учётом этого для проекций скоростей камней на оси получаем:

$$\begin{cases} v_{1x} = v\cos 30^{o}; & (1) \\ v_{2x} = -v\cos 60^{o}; & (2) \\ v_{1y} = v\sin 30^{o} - gt; & (3) \\ v_{2y} = v\sin 60^{o} - gt. & (4) \end{cases}$$

При $t = \tau_1$ скорость первого шарика горизонтально направлена, значит $v_{y1} = 0$. Или $0 = v\sin 30^{o} - g\tau_1$, откуда $\tau_1 = \frac{v\sin 30^{o}}{g} = \frac{v}{2g}$.

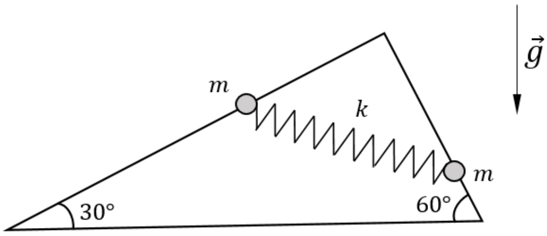
При $t = \tau$ скорости шариков снова будут перпендикулярны друг другу. Запишем условие перпендикулярности: $\frac{v_{1x}}{v_{1y}} = -\frac{v_{2y}}{v_{2x}}$ (или $v_{1x}v_{2x} + v_{1y}v_{2y} = 0$). С учётом (1) – (4) получаем уравнение $v\cos 30^{o}(-v\cos 60^{o}) + (v\sin 30^{o} - g\tau)(v\sin 60^{o} - g\tau) = 0$, решая которое находим $\tau = \frac{(\sqrt{3}+1)v}{2g}$ (корень $\tau = 0$ не подходит).

Ответ: $\tau_1 = \frac{v}{2g}$; $\tau = \frac{(\sqrt{3}+1)v}{2g}$.

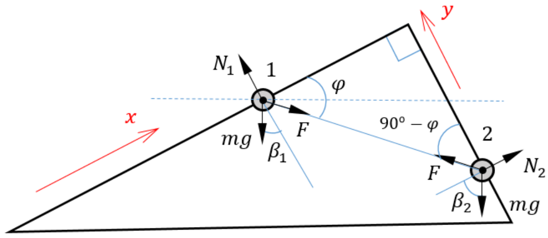
Возможные критерии оценивания

№	Критерий	Количество баллов
1.	Получены соотношения (1) и (2)	1
2.	Получено соотношение (3)	1
3.	Получено соотношение (4)	1
4.	Указано, что $v_{y1} = 0$ при $t = \tau_1$	1
5.	Получен ответ $\tau_1 = \frac{v}{2g}$	1
6.	Записано условие перпендикулярности векторов	2
7.	Из условия перпендикулярности получено квадратное относительно τ уравнение	1
8.	Получен ответ $\tau = \frac{(\sqrt{3}+1)v}{2g}$	2
	Итого максимально за задачу	10

2. 30 и 60. Из проволоки изготовили рамку в форме прямоугольного треугольника (с углами при вершинах 30° и 60°) и закрепили её в вертикальной плоскости так, как показано на рисунке. Гипотенуза треугольника горизонтальна. По проволоке могут скользить без трения небольшие бусинки одинаковой массы m. Бусинки соединены невесомой пружиной жёсткости k. Длина пружины в недеформированном состоянии l_0. Ускорение свободного падения g. Известно, что в положении равновесия бусинки располагаются на катетах треугольника. Найдите расстояние l между бусинками и угол α между пружинкой и горизонталью в этом положении.



Возможное решение



Расставим силы, действующие на бусинки 1 и 2 (см. рисунок). F – модуль силы упругости пружины, N_1 и N_2 – силы нормальных реакции, действующие на бусинки 1 и 2 соответственно.

По теореме об углах со взаимно перпендикулярными сторонами $\beta_1 = 30^o, \beta_2 = 60^o$.

Из условия равновесия бусинки 1 в проекции на ось x и бусинки 2 в проекции на ось y:

$$\begin{cases} mg\sin\beta_1 = F\cos\varphi; & (1) \\ mg\sin\beta_2 = F\sin\varphi. & (2) \end{cases}$$

Из (1) и (2) получаем $\mathrm{tg}\varphi = \sqrt{3}$, а $\varphi = 60^o$. Значит угол между пружинкой и горизонталью в положении равновесия будет равен $\alpha = \varphi - 30^o = 30^o$.

Также из (1) и (2) найдем $F = mg$.

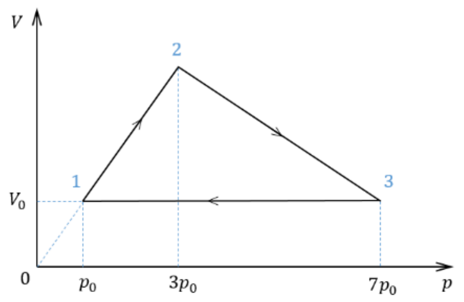
Запишем закон Гука для деформированной пружины в состоянии равновесия $F = k(l - l_0)$, откуда $l = l_0 + \frac{F}{k} = l_0 + \frac{mg}{k}$.

Ответ: $\alpha = 30^o$; $l = l_0 + \frac{mg}{k}$.

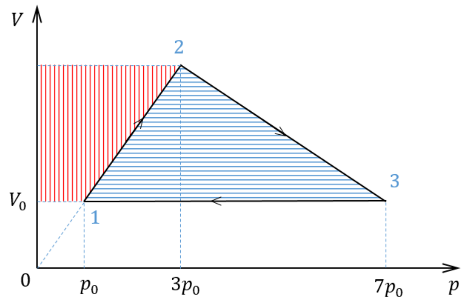
Возможные критерии оценивания

№	Критерий	Количество баллов
1.	Определены углы $\beta_1 = 30^o, \beta_2 = 60^o$.	1
2.	Записано условие равновесия для бусинки 1	2
3.	Записано условие равновесия для бусинки 2	2
4.	Найден угол $\varphi = 60^o$	1
5.	Найден модуль силы упругости $F = mg$	1
6.	Получен ответ $\alpha = 30^o$	1
7.	Записан закон Гука $F = k(l - l_0)$	1
8.	Получен ответ $l = l_0 + \frac{mg}{k}$	1
	Итого максимально за задачу	10

3. Фольклор. С одним моль идеального одноатомного газа совершают циклический процесс 1-2-3-1, показанный на VP-диаграмме (в процессах 1-2 и 2-3 давление газа линейно зависит от объёма, причём продолжение графика процесса 1-2 проходит через начало координат; процесс 3-1 – изохорический). Известно, что температура в точке 1 равна $T_0 = 200$ К. Найдите температуру T_2 газа в точке 2. Какое количество теплоты Q_{12} подвели к газу в процессе 1-2? Определите работу A газа за цикл. Универсальная газовая постоянная $R = 8{,}31$ Дж/(моль · К).



Возможное решение



Введем обозначение $\nu = 1$ моль – количество вещества. Так как в процессе 1-2 давление газа линейно зависит от объёма и увеличивается в три раза, то объём в состоянии 2: $V_2 = 3V_0$.

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для точек 1 и 2 соответственно:

$$\begin{cases} p_0V_0 = \nu RT_0; & (1) \\ 3p_0 3V_0 = \nu RT_2. & (2) \end{cases}$$

Из (1) – (2) получаем $T_2 = 9T_0 = 1800$ К.

Работу A_{12}, совершенную газом на участке 1-2, определим через площадь трапеции на графике $V(p)$ (заштрихована красным): $A_{12} = \frac{1}{2}(p_0 + 3p_0)(3V_0 - V_0) = 4p_0V_0 = 4\nu RT_0$.

Изменение внутренней энергии на участке 1-2: $\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) = 12\nu RT_0$.

Согласно первому началу термодинамики $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = 16\nu RT_0 \approx 26{,}6$ кДж.

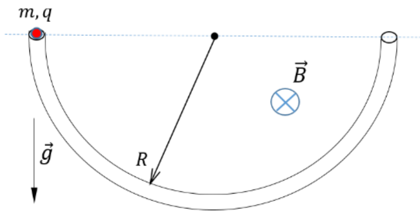
С учётом того, что работа A газа за цикл отрицательна и определяется через площадь треугольника (заштрихован синим), ограниченного графиком кругового процесса, получаем: $A = -\frac{1}{2}(7p_0 - p_0)(3V_0 - V_0) = -6\nu RT_0 \approx -9{,}97$ кДж.

Ответ: $T_2 = 9T_0 = 1800$ К; $Q_{12} = 16\nu RT_0 \approx 26{,}6$ кДж; $A = -6\nu RT_0 \approx -9{,}97$ кДж.

Возможные критерии оценивания

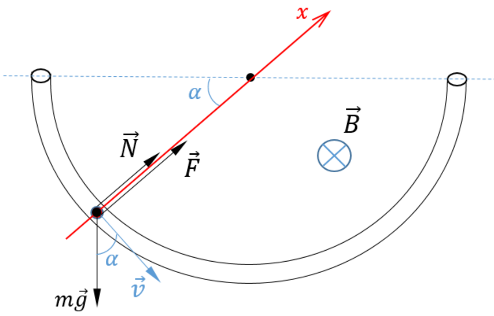
№	Критерий	Количество баллов
1.	Получен ответ $T_2 = 9T_0 = 1800$ К	2
2.	Записано выражение для работы на участке 1-2: $A_{12} = 4\nu RT_0$	2
3.	Записано выражение для изменения внутренней энергии $\Delta U_{12} = 12\nu RT_0$	1
4.	Записано первое начало термодинамики $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$	1
5.	Получен буквенный ответ $Q_{12} = 16\nu RT_0$	1
6.	Получен численный ответ $Q_{12} \approx 26{,}6$ кДж	0,5
7.	Идея определения работы через площадь треугольника	1
8.	Получен буквенный ответ $A = -6\nu RT_0$	1
9.	Получен численный ответ $A \approx -9{,}97$ кДж	0,5
	Итого максимально за задачу	10

4. По трубе. Непроводящая незаряженная тонкая трубка согнута в виде полуокружности радиуса R, расположена в вертикальной плоскости, и находится в однородном постоянном во времени магнитном поле с индукцией B (см. рисунок). Линии индукции горизонтальны и перпендикулярны плоскости полуокружности. Оба конца трубы находятся на одной горизонтали. Внутрь трубки вблизи края с одной стороны отпускают с нулевой начальной скоростью небольшой диэлектрический шарик массой m с зарядом q (q>0). Определите максимальную скорость v_{max} шарика и максимальную силу N_{max} взаимодействия шарика и трубки в процессе дальнейшего движения. Трением пренебречь. Ускорение свободного падения равно g. Известно, что $\frac{qB}{3m} = \sqrt{\frac{g}{2R}}$. При движении шарика внутри трубки электрический заряд шарика остаётся неизменным.



Возможное решение

Расставим силы, действующие на шарик в произвольный момент времени. Введем ось x, проходящую через шарик и центр окружности радиуса R. N – сила нормальной реакции (предположим, что она направлена к центру окружности). Магнитная составляющая силы Лоренца $F = qvB\sin 90^{\circ} = qvB$ направлена к центру окружности (по правилу левой руки с учётом $q > 0$). α – угол между осью x и горизонталью в произвольный момент времени.



Запишем II закон Ньютона в проекции на ось x: $ma_x = N_x + F - mg\sin\alpha$, где $a_x = \frac{v^2}{R}$.

При движении шарика в трубке магнитная составляющая силы Лоренца и сила нормальной реакции на шарик со стороны трубки работы не совершают, значит полная механическая энергия шарика сохраняется.

Из закона сохранения энергии: $mgR\sin\alpha = \frac{mv^2}{2}$. Значит максимальная скорость в процессе дальнейшего движения достигается в самой нижней точке трубки и равна $v_{max} = \sqrt{2gR}$.

С учётом II закона Ньютона и закона сохранения энергии получаем зависимость силы нормальной реакции в проекции на ось x от скорости v шарика: $N_x = \frac{3mv^2}{2R} - qvB$. (1)
Зависимость (1) является квадратичной, графиком этой зависимости является парабола.

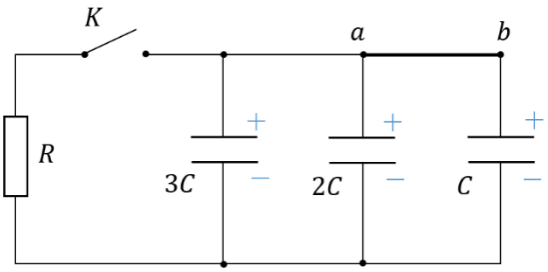
Заметим, что $N_x = 0$ при $v = 0$ и, с учётом соотношения $\frac{qB}{3m} = \sqrt{\frac{g}{2R}}$, при $v = v_{max}$. А при значениях $v \in (0; v_{max})$ сила реакции $N_x < 0$. Найдем максимальное значение модуля силы реакции через координаты вершины параболы $\left(\frac{qBR}{3m}; -\frac{q^2B^2R}{6m}\right)$, значит $N_{max} = \frac{q^2B^2R}{6m}$.

Ответ: $v_{\max} = \sqrt{2gR}$; $N_{max} = \frac{q^2B^2R}{6m}$.

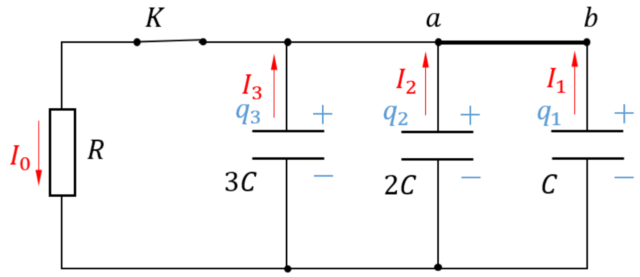
Возможные критерии оценивания

№	Критерий	Количество баллов
1.	Записано выражение для силы Лоренца $F = qvB\sin 90^{o} = qvB$	0,5
2.	Верно указано направление силы Лоренца	0,5
3.	Записан II закон Ньютона $ma_x = N_x + F - mg\sin\alpha$	1,5
4.	Учтено, что $a_x = \frac{v^2}{R}$	0,5
5.	Указано, что работа силы Лоренца равна нулю	1
6.	Указано, что работа силы нормальной реакции равна нулю	0,5
7.	Записан закон сохранения энергии $mgR\sin\alpha = \frac{mv^2}{2}$	1,5
8.	Определена максимальная скорость $v_{max} = \sqrt{2gR}$	1
9.	Получено соотношение (1): $N_x = \frac{3mv^2}{2R} - qvB$	1
10.	Обосновано, что максимальному значению N_{max} соответствует вершина параболы	1
11.	Получен ответ $N_{max} = \frac{q^2B^2R}{6m}$	1
	Итого максимально за задачу	10

5. Разрядка. В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, ключ K разомкнут, а конденсаторы заряжены до некоторого неизвестного напряжения. Найдите силу тока I_0 через резистор сопротивлением R в некоторый момент времени после замыкания ключа, если известно, что через перемычку ab в этот момент времени сила тока равна I_1. Чему равен заряд q_1 конденсатора ёмкости C в этот момент? Ёмкости конденсаторов C, $2C$ и $3C$ известны. Сопротивление перемычки и соединительных проводов пренебрежимо мало.



Возможное решение



Рассмотрим цепь в указанный момент времени (см. рисунок). Пусть I_2 и I_3 – силы токов, текущие от конденсаторов, а q_1, q_2 и q_3 – заряды конденсаторов.

Так как конденсаторы соединены параллельно, то напряжения на них в любой момент времени одинаковы, значит: $\frac{q_1}{C} = \frac{q_2}{2C} = \frac{q_3}{3C}$.

Аналогичным соотношением будут связаны и изменения зарядов, произошедшие за некоторый малый промежуток времени Δt: : $\frac{\Delta q_1}{C} = \frac{\Delta q_2}{2C} = \frac{\Delta q_3}{3C}$. После деления последнего уравнения на время Δt приходим к соотношению для токов: $I_1 = \frac{I_2}{2} = \frac{I_3}{3}$.

С учётом первого правила Кирхгофа $I_0 = I_1 + I_2 + I_3 = I_1 + 2I_1 + 3I_1 = 6I_1$.

Напряжение на резисторе равно напряжению на первом конденсаторе: $\frac{q_1}{C} = I_0 R$. Значит $q_1 = CI_0R = 6CI_1R$.

Ответ: $I_0 = 6I_1$; $q_1 = 6CI_1R$.

Возможные критерии оценивания

№	Критерий	Количество баллов
1.	Отмечено равенство напряжений на конденсаторах и резисторе	1
2.	Использовано первое правило Кирхгофа	1
3.	Записано соотношение $\frac{q_1}{C} = \frac{q_2}{2C} = \frac{q_3}{3C}$	1
4.	Получено соотношение для токов $I_1 = \frac{I_2}{2} = \frac{I_3}{3}$	2
5.	Получен ответ $I_0 = 6I_1$	2
6.	Записано соотношение $\frac{q_1}{C} = I_0 R$	1
7.	Получен ответ $q_1 = 6CI_1R$	2
	Итого максимально за задачу	10