Саратовский государственный университет
имени Н.Г.Чернышевского

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И ПРОВЕДЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПА LVI ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ

Саратов
2021 г

Комплект заданий подготовлен
региональной методической комиссией по физике

Координаты для связи (Савин Алексей Владимирович):
E-mail: sarphys@yandex.ru с пометкой «Олимпиада» в теме письма
Адрес: 410012, Саратов, ул. Астраханская, 83, СГУ, Институт физики,
Савину А.В.

Задачи предложили:

7 класс	**8 класс**
1. В.Н. Шевцов	1. В.Н. Шевцов
2. А.В. Савин	2. Д.О. Любченко
3. В.Н. Шевцов	3. А.А. Князев
4. А.В. Савин	4. А.А. Дворцов

9 класс	**10 класс**	**11 класс**
1. А.А. Князев	1. Д.О. Любченко	1. Д.О. Любченко
2. В.Н. Шевцов	2. А.А. Князев	2. А.А. Князев
3. А.А. Князев	3. А.А. Князев	3. В.Н. Шевцов
4. В.Н. Шевцов	4. А.А. Князев, А.В. Савин	4. А.А. Князев
5. М.М. Стольниц	5. М.М. Стольниц	5. В.Н. Шевцов

Председатель методической комиссии: А.В. Савин.

Члены методической комиссии: В.П. Вешнев, А.А. Дворцов, А.А. Князев, Д.О. Любченко, М.Н. Нурлыгаянова, М.В. Поздняков, А.А. Ростунцова, Д.В. Савин, М.М. Стольниц, Р.А. Торгашов, В.Н. Шевцов.

Общая редакция – А.В. Савин
Подготовка оригинал-макета – А.В. Савин, Д.В. Савин

Подписано в печать 8 декабря в 23.51,
с исправлениями 13 декабря в 23.56

Условия задач

7 класс

1. "Любознательный щенок"

Щенок бежит по тропинке осеннего леса. Ему всё интересно, поэтому 1 минуту он бежит с постоянной скоростью 1,6 м/с, затем на 10 секунд останавливается и играет с листочками, потом 15 секунд бежит в обратную сторону с прежней скоростью 1,6 м/с, опять 10 секунд играет, после чего спохватывается, и последовательность в точности повторяется: 1 минуту он бежит в первоначальном направлении с постоянной скоростью 1,6 м/с, затем на 10 секунд останавливается и т.д. За сколько примерно минут щенок продвинется вперед на 1 км?

2. "Ну, погоди!"

Убегая от Волка, Заяц бежит вверх по движущемуся вверх эскалатору метро и успевает пробежать четверть его длины к тому моменту, когда Волк подбегает к началу эскалатора. Надеясь обогнать Зайца и встретить его наверху, Волк бежит вверх по соседнему, спускающемуся вниз эскалатору. Удастся ли Волку поймать Зайца, если его скорость в четыре раза больше скорости Зайца и в три раза больше скорости эскалатора?

3. "Том Сойер за работой"

Когда Том Сойер закончил красить забор, тётя Полли вспомнила, что в саду стоит давно не крашеная емкость для воды в форме куба, открытого сверху. После долгих уговоров Том согласился продолжить работу. Когда он очистил все поверхности от ржавчины и покрыл одним слоем краски всю ёмкость изнутри, а стены – еще и снаружи, силы его закончились. Оказалось, что на ёмкость было израсходовано столько же краски, сколько и на забор. А забор имел площадь 36 квадратных ярдов (ярд — единица длины в США, эквивалентная 0,9144 метрам). Сколько тонн воды сможет залить счастливая тётя Полли в эту ёмкость, если масса одного литра воды 1 кг?

4. "Эксперимент с камнями"

К пружинным весам подвешена ёмкость с водой в виде цилиндра (рис.1). Экспериментатор Глюк аккуратно погружает в неё камни и записывает показания весов и расстояние от поверхности воды до дна ёмкости (глубину жидкости). Погрузив в нее последовательно два камня одинаковой плотности, он получил следующие результаты:

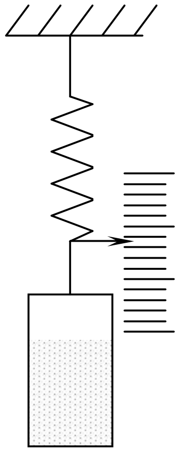

Рис. 1

	показания весов, кг	глубина, см
До погружения камней	2,5	25,0
После погружения первого камня	5,0	30,0
второго камня	6,8	32,0

Определите массы камней. Плотность воды 1000 кг/м^3, масса пустой ёмкости очень мала.

8 класс

1. "Средняя скорость"

Автомобиль проехал 60 км. Первую часть пути автомобиль ехал со скоростью в два раза меньше средней, а вторую часть пути – со скоростью в два раза больше средней. Найдите длину первой части пути.

2. "Исследование зубной щетки"

На рис. 2 приведены (в увеличенном виде) фотографии зубной щетки, сделанные с разных ракурсов: со стороны "рабочей поверхности", сбоку и с обратной стороны. Определите диаметр одной щетинки, если известно, что суммарная длина всех щетинок в щетке составляет 19,5 метров. Цена деления линейки на фотографии – 1 мм.

Совет: для более точного определения размеров можно пользоваться своей линейкой.

Указания: 1. правое фото показывает основания пучков, в которые собраны щетинки. Вследствие оптических эффектов крайние пучки могут казаться шире, чем средние. Реальному размеру соответствуют изображения средних пучков. 2. Для оценки можно считать, что щетинки в основании пучка плотно прижаты друг к другу, поэтому промежутками между ними можно пренебречь. 3. На среднем рисунке жирным пунктиром показана линия, на которой находятся основания пучков.

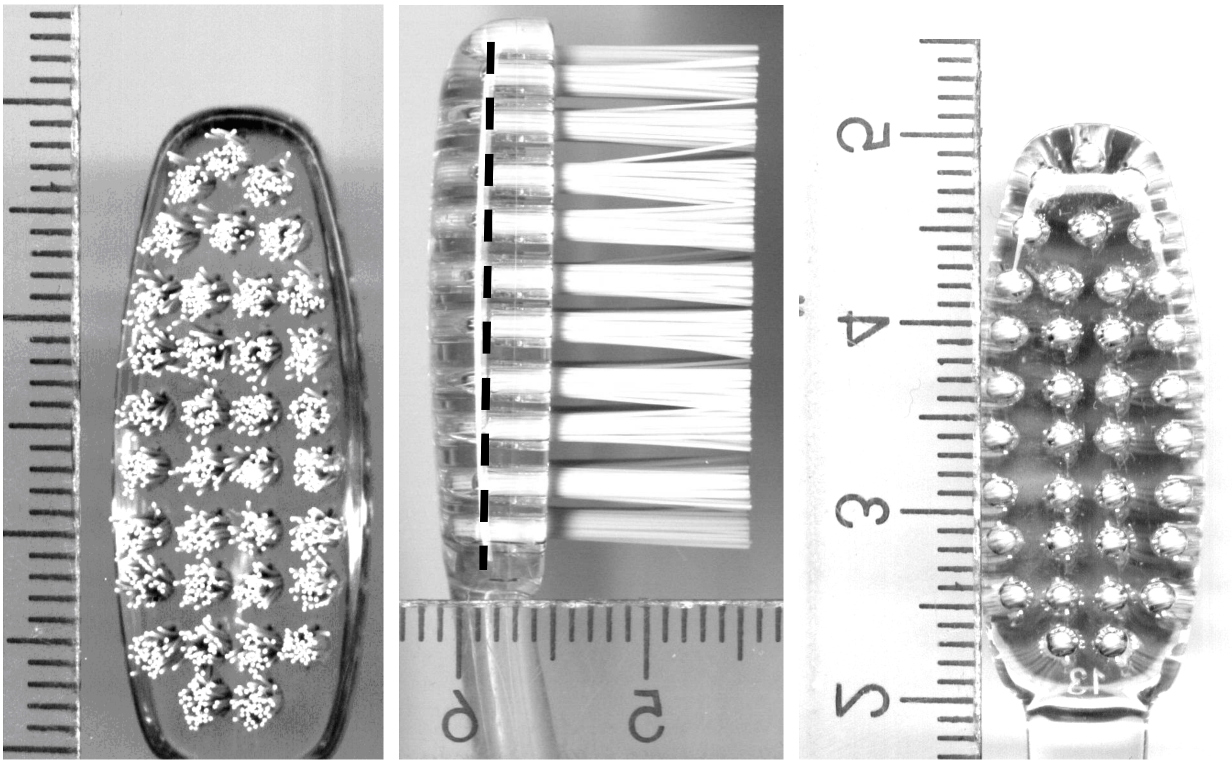

Рис. 2.

3. "Где больше водорода?"

Где и во сколько раз больше водорода: в литре воды (при комнатной температуре) или в литре жидкого водорода? Известно, что одна молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода, масса молекулы равна сумме масс составляющих ее атомов, а атом кислорода примерно в 16 раз тяжелее атома водорода. Воздухом, растворённым в воде, можно пренебречь. Плотность воды 1000 кг/м^3, жидкого водорода – 71 кг/м^3.

4. "Плавание с плавлением"

В высокой мензурке с вертикальными стенками и площадью дна 5 см^2 плавает в воде при температуре 0°C кусочек льда массой 230 г, в который вморожена свинцовая дробинка массой 22 г. В мензурку начинают медленно подливать воду при температуре 100°C. Какую массу воды нужно налить, чтобы ее уровень в мензурке поднялся на 5 см? 35 см? Считайте, что воду подливают настолько медленно, что система все время находится в тепловом равновесии, а лед не касается боковых стенок сосуда. Справочные данные: плотности воды 1000 кг/м^3, льда 900 кг/м^3, свинца 11350 кг/м^3, удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг, удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг·°C).

9 класс

1. "Теплоход"

Прогулочный теплоход сначала плыл вверх по течению реки, а затем вернулся обратно – вниз к исходной пристани. На рис. 3 изображен график зависимости пройденного им пути от времени. Рассматривая его, ученик заметил, что обозначенные на рис. углы А и В равны 30° и 60° соответственно. Во сколько раз скорость теплохода в стоячей воде больше скорости течения?

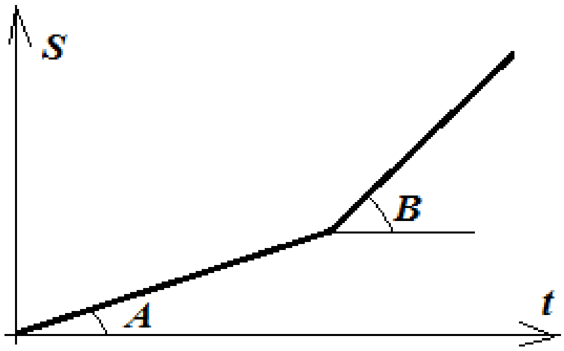

Рис. 3

2. "Бросок мяча"

Мячик бросили под углом 60° к горизонту. Через 1 с расстояния, которые пролетел мячик по горизонтали и вертикали, оказались одинаковыми. Определите дальность его полета.

3. "Давление в сосуде"

Сосуд, изображенный на рис. 4, заполнен жидкостью с плотностью ρ и закрыт поршнем площадью S и массой m. Определите давление жидкости в точках A, B и C, если атмосферное давление равно p_o. Указанные на рис. размеры считайте известными.

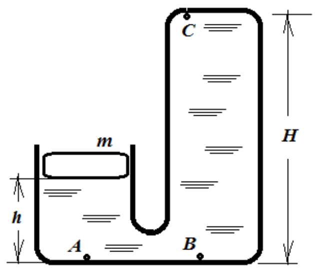

Рис. 4

4. "Две схемы"

Из идеальных источника постоянного напряжения, реостата и вольтметра собрана цепь, схема которой изображена на рис. 5 слева, при этом вольтметр показывает напряжение 3 В. Затем, не меняя положения движка реостата, источник подключают по-другому (рис.5 справа), при этом вольтметр показывает напряжение 15 В, а на реостате выделяется мощность 5 Вт. Чему равно полное сопротивление реостата?

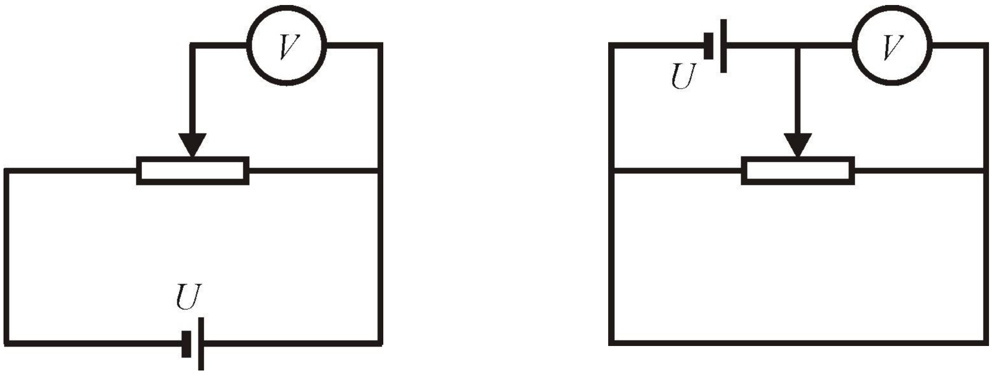

Рис. 5

5. "Параболическая чашка"

На столе стоит чашка, на которой вдоль ее диаметра лежит тонкая соломинка для коктейля. Внутренняя поверхность чашки посеребрена и является параболоидом, то есть ее сечение любой содержащей диаметр вертикальной плоскостью представляет собой параболу. На рис. 6 приведено такое сечение плоскостью, проходящей через соломинку. Постройте на нем изображение участка соломинки, лежащего между отмеченными точками. Известно, что если падающий луч проходит через фокус параболы, то отраженный идет параллельно ее оси; если падающий луч идет параллельно оси параболы, то отраженный проходит через ее фокус. Фокус параболы отмечен на рис.

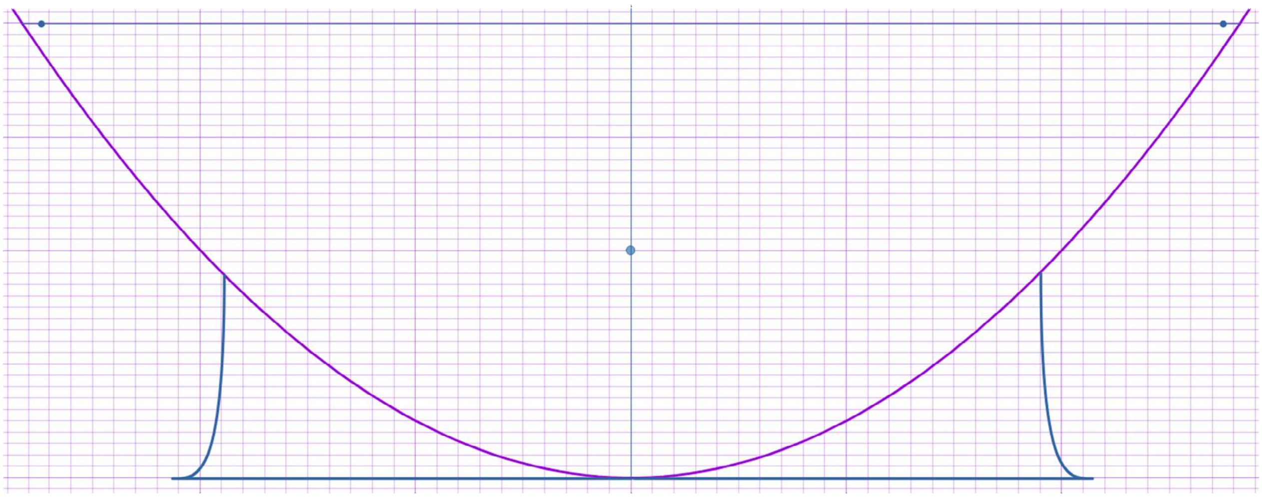

Рис. 6

10 класс

1. "Стрельба в трубу"

Прочную трубу изогнули в виде полуокружности радиуса R и закрепили в вертикальной плоскости (см. рис. 7). В нижнее отверстие трубы с большой горизонтально направленной скоростью влетает шарик, диаметр которого чуть меньше диаметра трубы. В момент вылета из верхнего отверстия шарик имеет скорость v, а его ускорение в этот момент составляет a. Определите коэффициент трения шарика о стенки трубы.

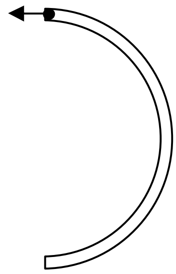

Рис. 7

2. «Блоки»

Плита подвешена на системе из 4 блоков и противовеса, показанной на рис.8. На плите установлены весы, на которых, держась за прикрепленный к блоку трос, стоит человек массой 80 кг. Масса каждого блока 10 кг, общая масса плиты и весов 115 кг. Массой тросов, а также трением в блоках можно пренебречь. Система находится в равновесии, плита горизонтальна. Что показывают весы?

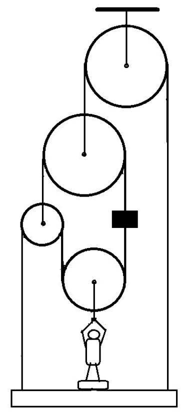

Рис. 8

3. "После дождя"

В безветренную погоду над участком земной поверхности площадью 100 км^2 на высоте 1 км висят плотные дождевые облака. Температура воздуха одинакова по всей высоте и площади и равна 10°С. Начинает идти мелкий частый дождь, и за час выпадает 20 мм осадков. Считая, что капли дождя практически все время падения двигались равномерно, а температура воздуха оставалась одинаковой во всем рассматриваемом объёме, оцените максимальное изменение температуры воздуха за время дождя. Справочные данные: при нормальных условиях плотность воды 1000 кг/м^3, воздуха 1,3 кг/м^3, удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг·°С), воздуха 1000 Дж/(кг·°С)

4. "Проволочный куб"

Ученик нарезал из тонкой однородной проволоки 12 равных кусков и спаял из них макет куба. Оказалось, что измеренное между т. А и В (см. рис. 9) сопротивление этого макета равно R. Затем он решил сделать макет более прочным, для чего припаял к некоторым (выделенным на рис.0 жирным) ребрам еще по одному такому же куску. Чему теперь равно сопротивление между т. А и В?

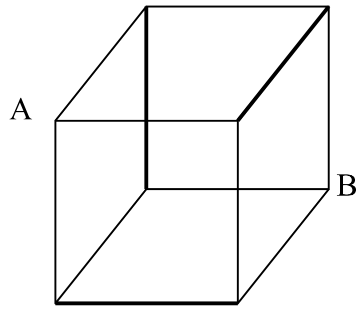

Рис. 9

5. "Средняя скорость в параболическом зеркале"

Параболическое зеркало с фокусным расстоянием F и высотой $4F$, продольное и поперечное сечения которого показаны на рисунке (уравнение кривой $y = x^2/4F$), наполовину покрыто тонкой плёнкой (залитая серым область $A_1B_1OB_2$ на рис.10). Источник света перемещается с постоянной скоростью υ_0 вдоль диаметра A_1A_2, испуская узкий луч света параллельно оси параболы. В месте попадания на плёнку падающего или отражённого луча появляется «светящаяся точка». Найдите среднюю путевую скорость «светящейся точки» за время прохождения источником пути от левого до правого края зеркала. Известно, что:

если луч падает на параболическое зеркало параллельно его оси, то отражённый луч проходит через фокус зеркала;

если падающий луч проходит через фокус, то отражённый луч идёт параллельно оси зеркала.

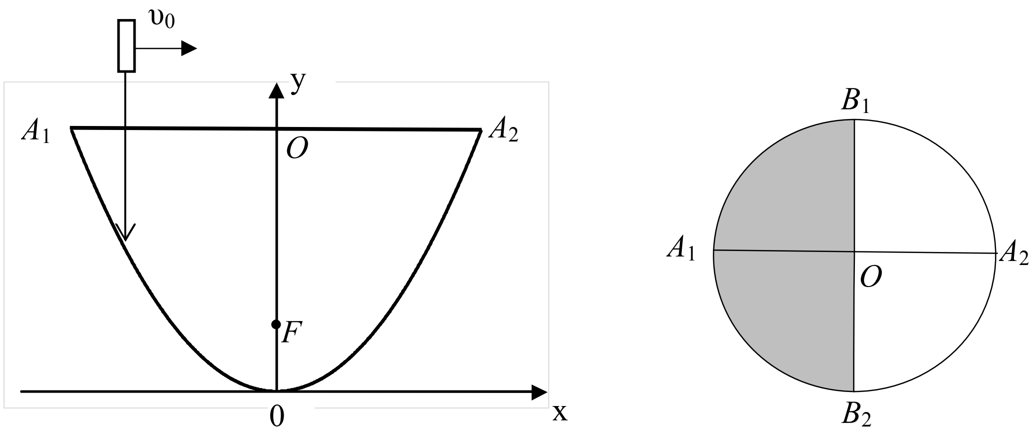

Рис. 10

11 класс

1. "Экспериментальный керлинг"

Спортсмены запускают по узкой прямой ледяной дорожке, ограниченной параллельными вертикальными бортами, тяжелые снаряды, имеющие форму параллелепипедов (боковые стороны снарядов параллельны бортам). Запуская снаряд, игрок ошибся, и снаряд полетел в борт (см. рис.11). После какого по счету удара снаряд перестанет двигаться вдоль борта? Деформацию борта и снаряда при ударе считайте абсолютно упругой, начальная скорость снаряда V_0 = 1 м/с, угол, который она образует с бортом, α = 60°, коэффициент трения между снарядом и бортом 0,1. Трением между снарядом и льдом пренебречь.

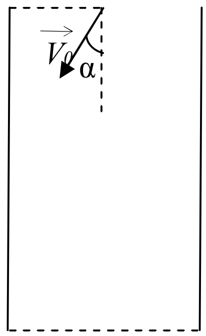

Рис. 11

2. "Лодка в пруду"

Катер, двигавшийся со скоростью 10 м/с по пруду, выключает мотор. Зависимость его скорости от пройденного с момента выключения мотора пути показана на рис.12. Определите его ускорение в тот момент, когда пройденный им с момента выключения мотора путь составил 20 м.

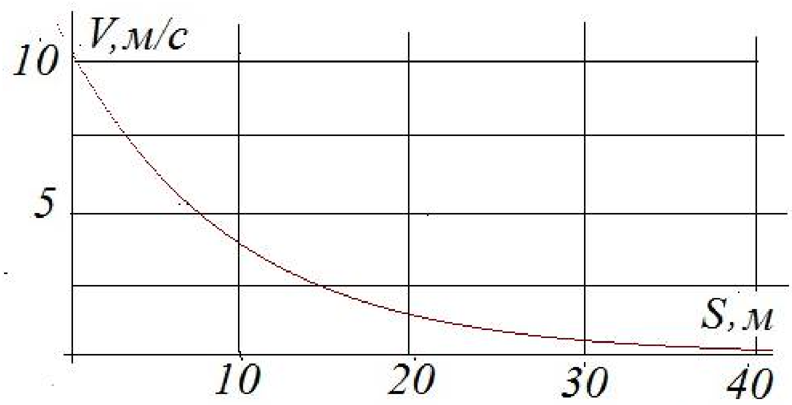

Рис. 12

3. "Сжатие пара"

В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре 95 °С и давлении $p = 8{,}5 \cdot 10^4$ Па. В медленном изотермическом процессе сжатия пар начинает конденсироваться, превращаясь в воду.

Чему равно отношение плотности пара к плотности воды в условиях опыта? Найдите также отношение объема пара к объему воды к моменту, когда объем, занимаемый паром, уменьшится в $n = 4{,}7$ раза. Плотность воды 1000 кг/м^3.

4. "Электричество от вращения"

Металлический цилиндр радиуса 25 м вращается вокруг своей оси. Возникшая при этом разность потенциалов между осью и его поверхностью оказалась равна 1 мВ. Чему равна угловая скорость вращения цилиндра? Величина заряда электрона $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса электрона $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.

5. "График увеличения"

На рис. 13 представлена полученная опытным путем зависимость увеличения тонкой собирающей линзы Г от расстояния f между линзой и экраном, на котором наблюдают изображение предмета. Определите величину фокусного расстояния F линзы.

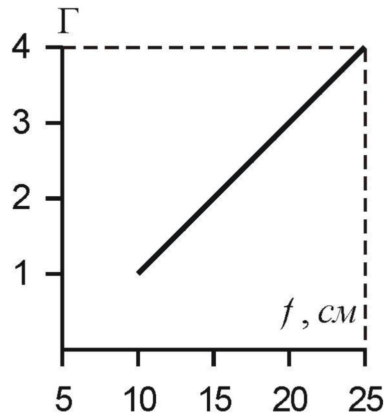

Рис. 13

Решения задач

7 класс

7-1. За время одного цикла, равное $t_1 = 60+10+15+10 = 95$ с, щенок бежит 60 с в прямом направлении и 15 – в обратном, т.е. продвигается на S=v(60–15)=72 м.
Тогда на 1 км он продвинется за $t_x = \frac{S}{S_1}t_1 = \frac{1000}{72}95 = 1319{,}4$ с≈22 минуты

Ответ: примерно 22 минуты
Комментарий: вообще говоря, щенок пробежит 1 км немного быстрее, т.к. это произойдет при движении "вперед" во время последнего цикла, т.е. последний цикл будет реализован не полностью. Однако вносимая таким образом погрешность, очевидно, не превышает времени одного цикла (т.е. 1,5 минут) и учитывать ее при требовании определить "примерно число минут" не имеет смысла.

Критерии оценивания

Определено время одного цикла	2
Определено расстояние, на которое перемещается щенок за 1 цикл	4
Получен ответ	4

Указание проверяющему: 1. Более точные ответы засчитывать, баллы не снижать.
2. Если ответ получен в секундах, но не переведен или неверно переведен в минуты, ставить за него 2 балла (из 4).
3. Если участник пытался найти время точно (см. комментарий) и успешно с этим справился, ставить полный балл. Если, пытаясь найти время точно, он допустил ошибки, которые не привели к худшей точности ответа, чем авторская, также ставить полный балл. Если точность полученного ответа хуже авторской, не следует ставить полный балл.

7-2. Пусть v – скорость Волка, тогда скорость Зайца v/4, а эскалатора v/3. Скорость Волка относительно неподвижного наблюдателя v–v/3=2v/3, а Зайца относительно неподвижного наблюдателя v/4+v/3=7v/12. Если S – длина эскалатора, то для того, чтобы оказаться вверху, Волку потребуется время 3S/2v, а Зайцу – 9S/7v. Т.к. 9/7<3/2, то Заяц окажется вверху раньше Волка.
Ответ: не удастся.

Критерии оценивания

Определены скорости Волка и Зайца относительно неподвижного наблюдателя	4 (по 2 за каждую)
Определены времена, требующиеся Волку и Зайцу на преодоление эскалатора	4 (по 2 за каждое)
Аргументированно получен ответ	2

Указание проверяющему: решения вида "примем длину эскалатора за единицу" оценивать не выше 8 баллов.

7-3. Так как емкость открытая, то у нее четыре боковых грани и дно — всего пять граней в форме квадрата. Следовательно, всего было покрашено девять одинаковых поверхностей в виде квадрата. Из условия следует, что каждый квадрат имеет площадь $S_1 = \frac{36}{9} = 4$ квадратных ярдов. Тогда сторона квадрата (она же ребро куба) должна равняться двум ярдам. Следовательно, объем емкости $V = 2 \times 2 \times 2 = 8$ кубических ярдов. Один кубический ярд имеет объем $V_1 = 0{,}9144 \cdot 0{,}9144 \cdot 0{,}9144 = 0{,}76455$ м^3. Следовательно, объем емкости составляет $8V_1 = 8 \cdot 0{,}76455 = 6{,}116$ м^3.

1 литр — это один кубический дециметр, а в одном кубическом метре содержится $10 \times 10 \times 10 = 1000$ дм^3. Поэтому в емкость можно будет залить 6116 литров воды, что составит 6116 кг, или 6,116 тонн.

Ответ: 6,116 тонн воды. Допускается округление до целых.

Критерии оценивания

Определен объем емкости - в кубических ярдах	4
в кубических метрах или литрах	4
Получен ответ	2

7-4. Из данных до погружения камней находим площадь основания емкости $S=m/\rho_{\text{воды}}h=100$ см^2.

Т.к. при погружении второго камня уровень воды повышался, значит, после погружения первого камня вода не дошла до краев емкости. Тогда масса первого камня 5,0–2,5=2,5 кг, а его объем (30–25)·100=500 см^3=0,5 л. Соответственно, плотность камней 2,5 кг/0,5 л=5000 кг/м^3.

Если бы при погружении второго камня вода также не выливалась, то его масса составляла бы 1,8 кг, а объем – 0,36 л, т.е. уровень воды поднялся бы на 3,6 см. Он, однако, поднялся только на 2 см, а это значит, что вода стала выливаться из емкости.

Пусть $m_к$ – масса второго камня, а $m_в$ – масса вылившейся воды. Тогда $m_к$=1,8 кг +$m_в$ (1). С другой стороны, объем вылившейся воды есть разница между объемом камня и объемом, соответствующим повышению уровня, т.е. $V_в=V_к–S\cdot 2$ см (2). Выражая объемы воды и камня через их массы и плотности, получаем $m_к$=1,8 кг +$m_в$=1,8 кг+$m_к$/5–0,2 кг, откуда $m_к$=2 кг.

Ответ: масса первого камня 2,5 кг, второго – 2 кг

Критерии оценивания

Определена площадь основания емкости	1
Определена масса первого камня	1
Определена плотность камней	1
Указано, что при погружении второго камня вода будет выливаться	1
Записано соотношение (1) или эквивалентное	1
Записано соотношение (2) или эквивалентное	2
Получен ответ	3

Указание проверяющему: если утверждения о том, что при погружении второго камня вода будет выливаться, в явном виде нет, но в решении это используется, следует выставлять полный балл по соответствующему критерию

8 класс

8-1. Пусть S — длина всего пути, а S_1 — длина первого участка. По определению средняя путевая скорость $v_{ср} = \frac{S}{t}$. Если t_1 — время прохождения первого участка, то $S = \frac{v_{ср}}{2} t_1 + 2v_{ср}(t - t_1) = v_{ср} t$. Сократив на среднюю скорость, получим уравнение: $\frac{t_1}{2} + 2t - 2t_1 = t$. После деления на t $\frac{1}{2}\frac{t_1}{t} + 2 - 2\frac{t_1}{t} = 1$, получаем, что $t_1 = \frac{2}{3}t$. Длина первого участка $S_1 = \frac{1}{2}v_{ср} \cdot t_1 = \frac{1}{2}\frac{S}{t}\frac{2}{3}t = \frac{S}{3} = 20$ километров.

Ответ: 20 км

Критерии оценивания

Записано определение средней скорости	2
Записана связь всего пути со временем прохождения одного из участков	3
Время прохождения первого участка выражено через полное время движения	3
Получен ответ	2

8-2. Полезно сразу определить масштаб. Проводя измерения, заметим, что отрезок между двумя большими делениями линейки (содержащий 10 маленьких, т.е. равный 10 мм) на рисунке составляет 23 мм, т.е. масштаб рисунка 2,3: 1 (в 2,3 мм рисунка – 1 мм реального объекта)[1]

Несложно заметить, что даже при таком масштабе диаметр одной щетинки составляет на рисунке менее 1 мм, т.е. корректно измерить его линейкой нельзя. Реализовать непосредственно метод рядов тоже не получится, т.к. щетинки на левом фото не прилегают плотно друг к другу, а на правом фото невозможно различить отдельные щетинки.

Можно измерить длину одной щетинки (от показанной пунктирной линии) – на фото она составляет 32÷34 мм, что соответствует реальной длине 13,9÷14,8 мм. Примем для дальнейших расчетов длину одной щетинки l=14,3 мм, тогда количество щетинок в щетке можно оценить как 19,5м/14,3мм≈1363 шт.

Непосредственным подсчетом можно определить, что число ячеек в щетке – 36. Тогда число щетинок в одной ячейке составляет N=38 шт. (В принципе, это можно определить и прямым подсчетом, однако это значительно более трудоемкий способ).

Видно, что в верхней части пучка щетинки расположены не плотно. Для оценки диаметра одной щетинки нужно проанализировать третье фото, на котором видны основания пучков. Вполне можно считать, что в основаниях пучков щетинки упакованы плотно. Полагая для оценки, что в этом случае площадь пучка равна суммарной площади поперечного сечения щетинок, а также учитывая, что площадь пропорциональна квадрату диаметра, получим, что диаметр одной

[1] Конечно, численное значение масштабного коэффициента и, соответственно, измеряемые по рисунку величины могут отличаться для условий, распечатанных на разных принтерах. Получаемые же реальные размеры объектов отличаться не должны.

щетинки $d=\dfrac{D}{\sqrt{N}}$. Диаметр основания пучка можно измерить по рисунку (это яркий светлый кружок). Измерения дают 3 мм на фото, что соответствует D=1,3 мм. Тогда d≈0,2 мм.

Ответ: 0,2 мм

Комментарий: суммарная площадь поперечного сечения щетинок отличается от площади пучка на коэффициент, который зависит от способа "упаковки". При наилучшей упаковке этот коэффициент составляет примерно 0,8, что не изменит результат принципиально, поэтому учитывать его не имеет смысла.

Критерии оценивания

Определено (любым способом) число щетинок в ячейке:	
за результат в интервале 37÷41	4
в интервале 33÷45	2
вне интервала 33÷45	1
Идея определения диаметра щетинки через диаметр пучка	3
Определен диаметр пучка:	
за результат в интервале 0,8÷1,7 мм	2
в более широком интервале	1
Получен ответ	1

Указание проверяющему: решения, основанные на непосредственном измерении диаметра щетинки, оценивать не выше 2 баллов.

8-3. *1-й способ.*

В соответствии с условием масса входящих в молекулу воды двух атомов водорода составляет 2/(2+16)=1/9 массы всей молекулы. Соответственно, 1/9 массы любого объема воды приходится на водород (а остальное – на кислород).

Т.к. плотность воды в 1000/71≈14 раз больше плотности жидкого водорода, то в литре воды будет содержаться в 14/9≈1,6 раза больше молекул водорода, чем литре жидкого водорода.

2-й способ. В соответствии с условием масса молекулы воды в 18 раз больше массы атома водорода.

В объеме V воды содержится $N=\rho_{\text{воды}}V/M_{\text{воды}}$ ($M_{\text{воды}}$ – масса одной молекулы) молекул воды, и, соответственно, $N_{\text{воды}}=2N$ атомов водорода. В объеме V водорода содержится $N_{\text{водорода}}=\rho_{\text{водорода}}V/M_{\text{водорода}}$ ($M_{\text{водорода}}$ – масса одного атома водорода) атомов водорода. Вычисляя их отношение, получаем отношение числа атомов водорода в равных объемах воды и жидкого водорода

$$\frac{N_{\text{воды}}}{N_{\text{водорода}}}=2\frac{\rho_{\text{воды}}}{\rho_{\text{водорода}}}\frac{M_{\text{водорода}}}{M_{\text{воды}}}=2\frac{1000}{71}\frac{1}{18}\approx 1{,}6$$

Ответ: в литре воды, в 1,6 раза. Допускается ответ "в 1,5 раза".

Критерии оценивания

1-й способ	
Определена массовая доля атомов водорода в воде	4
Определено отношение плотностей воды и водорода	2
Получен ответ	4
2-й способ	

Определено отношение масс молекулы воды и атома водорода	2
Записано выражение для числа атомов водорода в некотором объеме воды	3
Записано выражение для числа атомов водорода в некотором объеме водорода	2
Получен ответ	3

8-4. Сначала проанализируем процесс качественно. При подливании горячей воды лед будет таять. До тех пор, пока кусок льда с вмороженной дробинкой держится на плаву, уровень воды в пробирке будет меняться только за счет подливаемой воды: $\Delta h=\Delta V/S$.

В некоторый момент растает такое количество льда, что оставшаяся льдинка утонет. Непосредственно в этот момент уровень воды не изменится (т.к. перед этим льдинка уже была полностью погружена в воду), однако при дальнейшем таянии льда уровень воды будет понижаться, т.к. объём, занимаемый льдом, меньше, чем объём, занимаемый полученной при его плавлении водой. Соответственно, уровень воды будет изменяться на меньшую, чем $\Delta h=\Delta V/S$ величину. После того, как весь лед растает, изменение уровня воды будет опять определяться как $\Delta h=\Delta V/S$

Сделаем теперь количественные расчеты.

1. Определим, сколько льда должно растаять, чтобы льдинка начала тонуть. Записывая условие плавания, имеем $m_л+m_с=\rho_в(m_л/\rho_л+m_с/\rho_с)$, откуда

$$m_л = m_с\frac{1-\dfrac{\rho_в}{\rho_с}}{\dfrac{\rho_в}{\rho_л}-1} = 20\frac{1-\dfrac{1}{11{,}35}}{\dfrac{1}{0{,}9}-1} \approx 180\ \text{г}$$

льда должно остаться, т.е. растаять должно 230–180=50 г льда.

Определим, какую массу воды нужно залить для плавления такого количества льда. Из уравнения теплового баланса находим $m_л\lambda=m_вc\Delta T$, $m_в$=50 г·330/420≈39 г. Это приведет к подъему уровня воды в пробирке на 7,8 см. Видно, что поскольку требуемое в первом вопросе повышение уровня меньше этого, то лёд к этому моменту ещё не утонет, и для подъёма уровня воды на 5 см нужно залить 25 г воды.

2. Определим теперь, сколько воды нужно долить ещё, чтобы растаял весь лед. Очевидно, это $m_в'=m_л\cdot 330/420=141$ г. При этом за счет таяния льда объём уменьшится на величину $\Delta V=m_л/\rho_л-m_л/\rho_в=20$ см^3, что приведет к понижению уровня на 4 см. Таким образом, после заливания 141 г воды уровень поднимется на 141/5–4=24,2 см от того момента, как лёд утонул, или на 24,2+7,8=32 см с начала опыта. Это меньше требуемого во втором вопросе уровня в 35 см, так что придется долить еще (35–32)·5=15 г воды, т.е. всего (считая от начала опыта) 39+141+15=195 г воды.

Критерии оценивания

Обосновано, что пока лёд не утонет, уровень воды будет меняться только за счет подливаемой воды	2
Показано, что изменение уровня в первом случае соответствует ситуации, когда лёд ещё плавает	2

Получен ответ на первый вопрос	1
Получено выражение для уменьшения объёма за счет плавления полностью погруженного льда	2
Показано, что во втором случае весь лед растает	2
Получен ответ на второй вопрос	1

9 класс

9-1. Скорость движения является угловым коэффициентом графика зависимости пути от времени. Поэтому если U – скорость теплохода относительно реки, а V – скорость течения реки, то можно записать: $U–V=k$ tgA, $U+V=k$ tgB. (1) (Здесь k – имеющий размерность скорости коэффициент, значение которого определяется выбранным масштабом по осям пути и времени.)

Тогда $\frac{U-V}{U+V}=\frac{tgA}{tgB}=\frac{1}{3}$, откуда $U=2V$.

Ответ: в два раза.

Критерии оценивания

Записаны формулы (1): обе	6 баллов
одна	4 балла
Получен ответ	4 балла

Указание проверяющему: если в формулах (1) отсутствует коэффициент k, ставить 4 балла за две формулы (либо 2 – за одну).

9-2. Пусть v_0 – начальная скорость, α – угол, который она образует с горизонтом, τ=1 с. Тогда из условия следует, что $v_0\cos\alpha\,\tau=v_0\sin\alpha\,\tau-g\tau^2/2$, откуда $v_0=\frac{g\tau}{2(\sin\alpha-\cos\alpha)}$=13,66 м/с. Тогда дальность полета $L=v_0^2\sin2\alpha/g\approx16$ м.

Ответ: 16 м

Критерии оценивания

Записаны выражения для перемещения по вертикали	2
по горизонтали	2
Найдена начальная скорость	3
Получен ответ	3

9-3. На поршень действуют силы давления атмосферы сверху, жидкости снизу и сила тяжести. Поэтому если давление жидкости под поршнем равно p, то условие равновесия поршня имеет вид $pS=mg+p_0S$, откуда $p=p_0+mg/S$.

Тогда давление в т. А складывается из давления p и давления столба жидкости высотой h, т.е. $p_A=p_0+mg/S+\rho gh$.

В соответствии с законом Паскаля давление в т. В равно давлению в т. А.

С другой стороны, $p_B=p_C+\rho gH$, откуда находим $p_C=p_0+mg/S-\rho g(H-h)$.

Ответ: $p_A=p_B=p_0+mg/S+\rho gh$, $p_C=p_0+mg/S-\rho g(H-h)$.

Критерии оценивания

Записано условие равновесия поршня	3
Найдено давление в т. А	3
в т. В	1
в т.С	3

9-4. Обозначим полное сопротивление реостата через R, а сопротивление участка реостата, к которому в первом случае подключен вольтметр – $k \cdot R$. Тогда сопротивление другого участка реостата равно $(1-k)\cdot R$.

В первом случае показания вольтметра равны $V_1 = k \cdot U$ (1), где U — напряжение источника, значит, $k = \frac{V_1}{U}$.

Во втором случае оба участка реостата соединены параллельно и подключены к источнику. Поэтому вольтметр показывает напряжение источника $U = V_2$, а выделяющаяся на реостате мощность равна

$$P = \frac{U^2}{kR} + \frac{U^2}{(k-1)R} = \frac{U^2}{Rk(k-1)} \text{ (2).}$$

Отсюда получаем сопротивление реостата:

$$R = \frac{U^2}{P}\frac{1}{k(k-1)} = \frac{V_2^2}{P}\frac{1}{\frac{V_1}{V_2}\left(1-\frac{V_1}{V_2}\right)} = \frac{225}{5}\frac{1}{0{,}16} = 281{,}25 \approx 281 \text{ Ом.}$$

Ответ: 281 Ом.

Критерии оценивания

Записано соотношение (1) или аналогичное	2
Указано, что во второй схеме части реостата подключены параллельно источнику	3
Записано соотношение (2) или аналогичное	3
Получен ответ	2

9-5. Необходимо построить в соответствии с описанными правилами изображения некоторого количества точек, желательно равномерно распределенного по участку, изображение которого требуется построить, и соединить их изображения гладкой кривой. Вследствие симметрии относительно оси достаточно выбирать точки в одной половине соломинки, а затем их изображения отразить относительно оси параболы. Заметим также, что построить по описанным правилам изображение точки, лежащей на оси, нельзя, поэтому ее изображение нужно получить, продлив проведенную по остальным точкам линию.

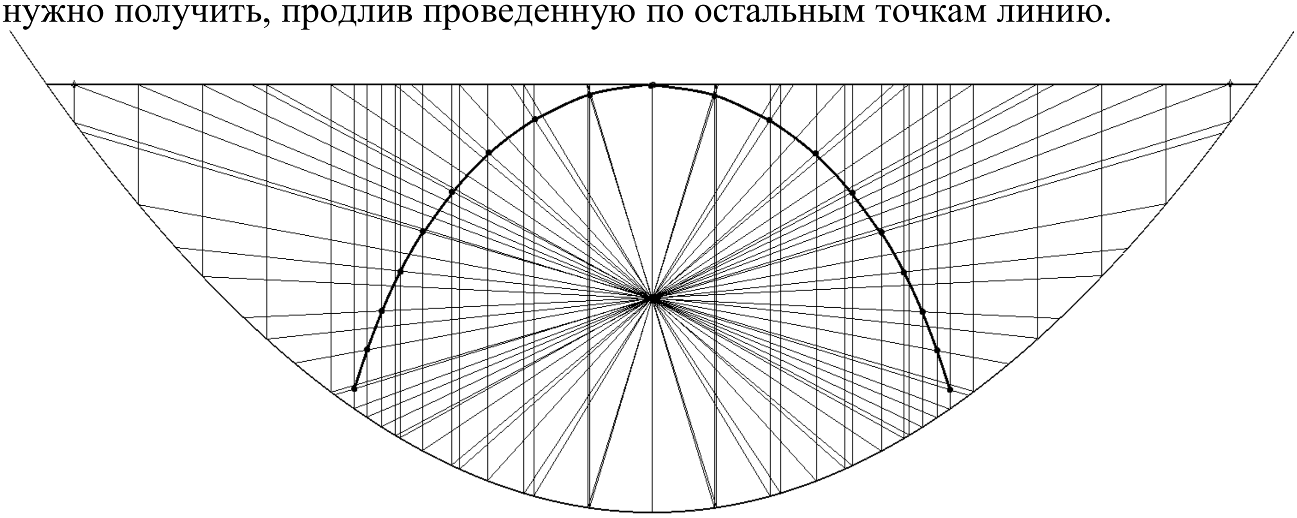

Рис. 14

Рис. 14 иллюстрирует описанное построение и является ответом.

Заметим, что в действительности *все* лучи, испущенные точечным источником, пересекутся в построенных точках только в параксиальном приближении, поэтому считать построенные точки изображениями можно лишь приближенно. В связи с этим решения, в которых обоснованно (например, построением двух отличных от указанных в условии лучей) указано на это, следует оценивать полным баллом.

Критерии оценивания

При подсчете количества точек следует учитывать только точки, лежащие на одной половине рисунка.

За построение изображения одной точки	1 балл, но не более 6 в сумме
Если построено не менее 4 точек и они распределены по половине соломинки равномерно	2 балла
Корректно проведена соединяющая точки гладкая кривая	2 балла

Указание проверяющему: при корректном построении словесные комментарии не требуются.

10 класс

10-1. В момент вылета из трубы на шарик действуют силы тяжести, реакции со стороны стенок трубы и трения. Тогда второй закон Ньютона в проекции на горизонтальную и вертикальную оси будет иметь вид

$$ma_\tau = F_{\text{тр}},$$

$$ma_n = mg + N.$$

Учитывая, что $a_n = v^2/R$, а $F_{\text{тр}} = \mu N$, можно записать

$$a_\tau = \mu \frac{N}{m} = \mu \left| \frac{v^2}{R} - g \right|,$$

$$a^2 = \left(\frac{v^2}{R} \right)^2 + \mu^2 \left(\frac{v^2}{R} - g \right)^2, \ (1)$$

$$\mu = \sqrt{\frac{a^2 - \left(\frac{v^2}{R} \right)^2}{\left(\frac{v^2}{R} - g \right)^2}}.$$

Очевидно, должно выполняться условие $a > v^2/R$. Заметим также, что выполнение условия $v^2/R > g$ не обязательно: если оно выполнено, то сила реакции направлена вниз и шарик движется вдоль верхней стенки, если нет – сила реакции направлена вверх и шарик движется вдоль нижней стенки

Заметим, что анализ процесса движения шарика внутри трубы не требуется.

Ответ: $\mu=\sqrt{\dfrac{a^2-\left(\dfrac{v^2}{R}\right)^2}{\left(\dfrac{v^2}{R}-g\right)^2}}$ при $a>v^2/R$. При $a<v^2/R$ решения нет.

Критерии оценивания

Записан второй закон Ньютона: в проекции на вертикальную ось	1
горизонтальную ось	1
Полное ускорение выражено через нормальную и касательную компоненты	2
Получено уравнение (1) или аналогичное	3
Получен ответ	2
Верно указаны условия существования решения	1

10-2. Поскольку система находится в равновесии, блоки не крутятся и трения нет, силы натяжения тросов справа и слева от каждого блока равны. Определим силы, действующие на каждое из тел системы, и запишем условия равновесия, обозначив показания весов N, массу каждого блока m, массу платформы M, массу человека $M_ч$.

Для платформы (с весами):

$$Mg+N=T_3+T_1$$

Для человека:

$$T_4+N=M_чg$$

Для блока 4:

$$2T_3=mg+T_4$$

Для блока 3:

$$T_2=2T_3+mg$$

Для блока 2:

$$T_1=2T_2+mg$$

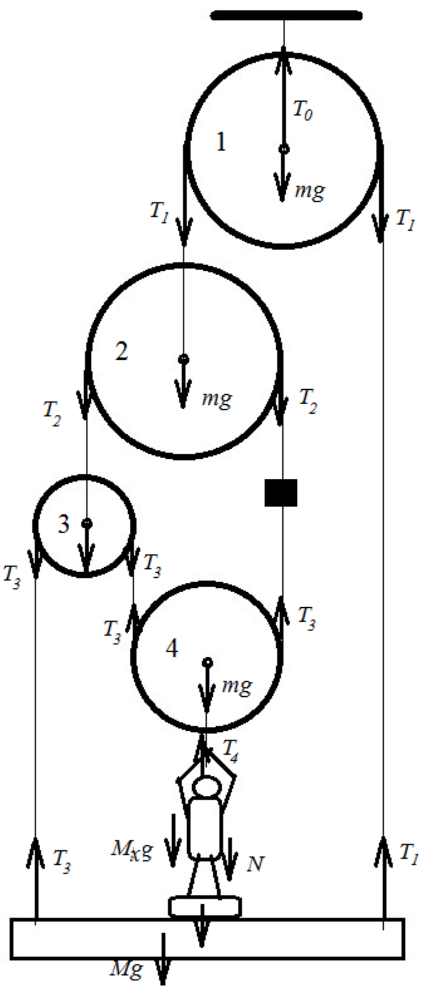

Рис. 15

Получили систему из 5 уравнений с 5-ю неизвестными. Решая ее, имеем:

$T_1=2T_2+mg=4T_3+3mg$

$Mg+N=5T_3+3mg$

$2T_3–mg+N=M_чg$

Из двух последних уравнений находим

$3{,}5N=5{,}5mg+2{,}5M_чg–Mg$,

N=400 Н, т.е. весы показывают 40 кг

Заметим, что масса противовеса для решения задачи не нужна.

Ответ: 40 кг.

Критерии оценивания

Записаны условия равновесия блоков и человека, позволяющие решить	5 (по одному

задачу	за каждое)
Получен ответ	5

Указания проверяющему: 1. За запись условий равновесия более 5 баллов не ставить, даже если уравнений больше. 2. Если система не позволяет найти нужную силу, за попытки ее решения – не более 1 балла. 3. Если ответ указан в Ньютонах, снимать 1 балл.

10-3. При падении потенциальная энергия капли переходит в ее кинетическую энергию и работу против сил сопротивления воздуха (которой в этом случае пренебрегать нельзя, т.к. большую часть пути капли движутся равномерно).

Проведем оценки: если бы вся потенциальная энергия капли переходила в ее кинетическую энергию, то перед ударом о землю капля имела бы скорость $v=\sqrt{2gH}=140$ м/с. Поскольку скорость падающих капель очевидно значительно меньше этой величины, долей потенциальной энергии, переходящей в кинетическую энергию капли, можно пренебречь.

Поскольку капли очень мелкие, можно считать, что их температура всегда равна температуре окружающего воздуха. Тогда потенциальная энергия капель идет на увеличение изменения внутренней энергии капель и воздуха, которые нагреваются до одной и той же температуры.

Пусть M – суммарная масса выпавшей воды, m – масса воздуха в рассматриваемом объеме. Тогда их отношение $\frac{m}{M}=\frac{\rho_{\text{возд}}H}{\rho_{\text{воды}}h}$=65 (здесь h=20 мм – толщина слоя выпавшей воды, H=1 км – высота облаков).

Уравнение энергетического баланса будет иметь вид

$$MgH=(c_{\text{воды}}M+c_{\text{возд}}m)\Delta T,\text{ или } \Delta T=\frac{gH}{c_{\text{воды}}+c_{\text{возд}}\frac{m}{M}}=\frac{10\cdot 10^3}{4200+65\cdot 1000}\approx 0{,}15\,^\circ\text{C}$$

Отметим, что если в процессе движения капель тепловое равновесие не успевает установиться, воздух нагреется меньше — поэтому для оценки *максимального* изменения температуры наша модель корректна.

Ответ: 0,15°C.

Критерии оценивания

Указано, что потенциальная энергия капель переходит во внутреннюю энергию капель и воздуха	2
Получено выражение для отношения масс воды и воздуха (либо найдены эти массы)	2
Записано уравнение теплового баланса	4
Получен ответ	2

10-4. В исходном случае мы имеем стандартную задачу о расчете сопротивления куба, подключенного за большую диагональ. Кратко напомним ее решение:

видно, что схема симметрична – при повороте ее относительно прямой AB на угол 120° отмеченные одним цветом (см. рис. 16) ребра переходят друг в друга. Тогда точки 1,

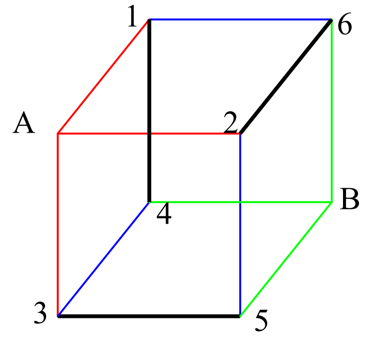

Рис. 16

2 и 3 имеют одинаковый потенциал и могут быть объединены в одну. То же самое верно относительно точек 4, 5 и 6. Это приводит к приведенной на рис. 17 эквивалентной схеме (каждый проводник – ребро куба), сопротивление которой рассчитывается тривиально: R=5r/6 (r – сопротивление одного ребра).

Проведенная операция по усилению конструкции, к счастью, не изменила указанной симметрии. Поэтому эквивалентная схема по-прежнему соответствует показанной на рис.17, но теперь из шести "центральных" проводников три представляют собой удвоенные ребра и имеют сопротивление r/2. Тогда сопротивление центрального участка равно $\dfrac{\frac{r}{3}\frac{r}{6}}{\frac{r}{3}+\frac{r}{6}}=\dfrac{r}{9}$, а общее сопротивление $\dfrac{r}{3}+\dfrac{r}{3}+\dfrac{r}{9}=\dfrac{7r}{9}=\dfrac{7}{9}\dfrac{6}{5}R=\dfrac{14}{15}R$

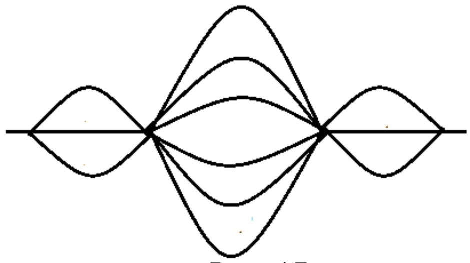
Рис. 17

Ответ: $\dfrac{14}{15}R$

Критерии оценивания

Рассчитано сопротивление исходного куба	4
Нарисована эквивалентная схема для переделанного куба	3
Получен ответ	3

Указание проверяющему: если участник приводит сопротивление исходного куба без вывода, по первому критерию ставить 1 балл, а дальнейшее решение оценивать в соответствии с критериями.

10-5. Когда источник перемещается от точки A_1 до точки O, на плёнку попадает только падающий луч, отражённый же проходит мимо неё. Поэтому движение «светящейся точки» в точности повторяет движение источника. При движении же источника от точки O до точки A_2 на плёнку попадает только отражённый луч. Нетрудно заметить, что даже при постоянной скорости движения источника света «светящаяся точка» движется неравномерно. Поэтому среднюю скорость движения точки найдём как «путь, делённый на время». Оказывается, что этот путь не равен длине отрезка A_1A_2!

Введём систему координат xy, как показано на рис.10. В ней уравнение границы продольного сечения зеркала будет таким, как указано в условии задачи. Из этого уравнения следует, что радиус окружности – поперечного сечения зеркала – равен $4F$, а длина отрезка A_1A_2 равна $8F$.

Пусть падающий луч пересекается с зеркалом в точке с координатой $x = x_0$, тогда вторая координата этой точки $y_0 = x_0^2/4F$.

При перемещении источника света вдоль отрезка, параллельного A_1A_2, существуют две пары областей с различным «поведением» отражённого луча:

$x_- \le x_0 \le 0$, $0 \le x_0 \le x_+$(эти области можно объединить в одну $x_- \le x_0 \le x_+$) – отражённый луч, пройдя через фокус, напрямую попадает отрезок A_1A_2 (и потом уходит на бесконечность);

$-4F \le x_0 \le x_-$ ($x_- < 0$), $x_+ \le x_0 \le 4F$ ($x_+ > 0$) – отражённый луч, пройдя через фокус, испытывает ещё одно отражение в точке x_1 и, следовательно, дальше идёт параллельно оси, пересекая отрезок A_1A_2 в точке с той же координатой x_1;

Значения x_-, x_+ определяются из условия прохождения отражённого луча через точку ($4F$, $4F$) или ($-4F$, $4F$) (точки A_1и A_2). Нас, очевидно, интересует только области с $x_0 \geq 0$ для падающего луча.

Уравнение однократно отражённого луча, прошедшего через фокус, имеет вид $y = kx + b$, где k – тангенс угла наклона прямой к горизонтальной оси, b – отрезок, отсекаемый прямой на вертикальной оси (значение y при x=0). Таким образом, $b = F$. Величина k (если $k \neq 0$) определяется из рассмотрения прямоугольного треугольника с вершинами (x_0, $x_0^2/4F$), (0, F) и (0, $x_0^2/4F$):

$$k = \mathrm{tg}\,\alpha = \frac{F - x_0^2/4F}{0 - x_0} = \frac{x_0}{4F} - \frac{F}{x_0}$$

$$\left.\begin{array}{l} k = -\infty\left(\alpha = -\dfrac{\pi}{2}\right),\ x_0 = 0 \\ k < 0,\ x_0 < 2F \\ k = 0,\ x_0 = 2F \\ k > 0,\ x_0 > 2F \end{array}\right\}.$$

Точка пересечения отражённого луча с зеркалом определяется из системы уравнений:

$$\left.\begin{array}{l} y_1 = kx_1 + F \\ y_1 = x_1^2/4F \end{array}\right\},$$

откуда

$$x_1^2/4F - kx_1 - F = 0 \rightarrow x_1^2 - 4Fkx_1 - 4F^2 = 0 \qquad (1)$$

Поскольку x_0 и x_1являются корнями одного и того же квадратного уравнения (1) (так как они обе находятся на поверхности зеркала, и при обращении луча меняются местами), из теоремы Виета следует

$$x_1 = -\frac{4F^2}{x_0} \qquad (2)$$

Отсюда для $x_\pm$ получаем:

$$\mp 4F = -\frac{4F^2}{x_\pm} \quad \rightarrow x_\pm = \pm F$$

В случае $k = 0$, возникающего при падении луча в точку ($2F$, F) на зеркале, отражённый луч вновь попадает на зеркало в точке ($-2F$, F), т.е. $x_1 = -2F$, что соответствует формуле (2).

Таким образом, пока источник света перемещается от $x = 0$ до $x = F$, светящаяся точка перемещается от $x = 0$ до $x = -4F$, а когда источник доходит до правого края зеркала, светящаяся точка оказывается в точке $x = -F$, т.е. проходит ещё расстояние $3F$. Следовательно, за время прохождения источником света отрезка A_1A_2 длиной $8F$ (это время равно $8F/\upsilon_0$), светящаяся точка проходит путь $(4+4+3)F = 11F$. Тогда её средняя скорость равна

$$\upsilon_{cp} = \frac{11}{8}\upsilon_0$$

Ответ: $\upsilon_{cp} = \dfrac{11}{8}\upsilon_0$

Критерии оценивания

Анализ первого участка движения (A_1O)	1
Идея о том, что второй участок нужно разбить на два	2
Расчет пройденного точкой пути в каждом из двух случаев	по 3 балла
Ответ	1

11 класс

11-1. Рассмотрим, как изменится угол падения снаряда на стену после одного отражения.

Если v – скорость шайбы до удара, а β – угол ее падения на стенку ($\beta = 90° - \alpha$), то ее нормальная и касательная к поверхности компоненты равны $v\cos\beta$ и $v\sin\beta$ соответственно. Поскольку деформации абсолютно упругие, то нормальная компонента скорости после удара сохранит свою величину, но сменит знак.

При ударе между шайбой и поверхностью действуют сила нормальной реакции N и сила трения $F_{тр}$. Тогда можно записать закон изменения импульса шайбы в проекциях на нормальное

$$2mv\cos\beta = N\Delta t$$

и касательное

$$mv'_{\|} - mv\sin\beta = -F_{тр}\Delta t$$

направления. Здесь Δt – время удара, а $v'_{\|}$ – касательная составляющая скорости после удара. Поделив эти соотношения друг на друга и учтя, что $F_{тр} = \mu N$, получим

$$\frac{v'_{||}}{v\cos\beta} = tg\beta - 2\mu .$$

Заметим, что выражение в левой части есть тангенс угла отражения β'. Таким образом $tg\beta' = tg\beta - 2\mu$

Полученное соотношение позволяет рассчитать, как будет меняться угол падения. Движение вдоль стенок будет продолжаться до тех пор, пока угол отражения положителен. Несложно подсчитать, что после второго удара **рассчитанный по этой формуле тангенс угла отражения** еще будет положительным, а после третьего – уже нет: $0{,}4 < tg30° < 0{,}6$. Отрицательность угла отражения означала бы, что снаряд начал скольжение в обратную сторону - это невозможно в такой системе. Следовательно, использованная нами модель уже не работает: силу трения, действующая во время удара, уже нельзя считать силой трения скольжения. В процессе третьего столкновения продольная компонента скорости обнуляется, и снаряд продолжает двигаться перпендикулярно борту

Ответ: после 3 удара.

Критерии оценивания

Записан закон изменения нормальной компоненты импульса за время удара	2
Записан закон изменения касательной компоненты импульса за время удара	2
Получена формула для расчета угла отражения	5
Получен ответ	1

Указание проверяющему: вместо формулы $\mathrm{tg}\beta'=\mathrm{tg}\beta-2\mu$ можно засчитывать любой способ, позволяющий определить угол отражения после удара через известные величины (например, значения скорости до удара и т.п.).

11-2. Катер движется в среде с сопротивлением, поэтому ускорение непрерывно изменяется (уменьшается), и катер постепенно останавливается, двигаясь до остановки теоретически бесконечно долго, но пройдя конечное расстояние. Поскольку характер действия силы сопротивления не указан, то ускорение можно определить только из кинематических соображений. Это можно сделать например, посредством следующих преобразований:

$$a=\frac{\Delta V}{\Delta t}=\frac{\Delta V}{\Delta S}\frac{\Delta S}{\Delta t}=V\frac{\Delta V}{\Delta S}$$

Все величины в последней формуле могут быть взяты из представленного графика. В частности, при S = 20м, $V\approx$ 1,4 м/с. Для определения величины $\frac{\Delta V}{\Delta S}$ нужно провести касательную к графику в точке S = 20 м Получаем $\frac{\Delta V}{\Delta S}\approx$ 0,135 с$^{-1}$. В результате имеем для ускорения: a=1,4·0,135=0,19 м/ с^2.

Ответ: 0,19 м/с^2

Критерии оценивания

Предложен и обоснован метод, позволяющий выразить ускорение через измеряемые по графику величины	6
Проведены измерения и получен результат:	
попадающий в интервал ±20% от авторского	4
попадающий в интервал ±30% от авторского	2
не попадающий в указанные интервалы	0

Указание проверяющему: если в вычислениях есть арифметические ошибки, то попадание результата в интервал от авторского следует оценивать по результату, который получился бы при корректных вычислениях по измерениям участника, снимая 1 балл за арифметические ошибки.

11-3. Насыщенный пар, как и идеальный газ, подчиняется уравнению Менделеева–Клапейрона: $pV = \frac{m}{M_B} RT$. Плотность пара: $\rho_n = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}$, где m — масса пара в цилиндре, V — начальный объем пара, M — молярная масса воды. Отношение плотностей пара и воды:

$$\frac{\rho_n}{\rho_B} = \frac{pM}{RT\rho_B} = \frac{8{,}5\cdot 10^4 \cdot 18\cdot 10^{-3}}{8{,}31\cdot 368\cdot 10^3} = 5\cdot 10^{-4}.$$

При изотермическом сжатии пара постоянная температура поддерживается за счет отвода тепла от системы, поскольку при конденсации пара тепло выделяется. Найдем теперь отношение объемов сжатого пара и сконденсировавшейся воды.

После сжатия пара его оставшаяся масса $m' = \frac{m}{n}$, а масса образовавшейся воды $m_B = m - \frac{m}{n} = m\frac{n-1}{n}$. Поскольку плотность вещества $\rho = \frac{m}{V}$, то $V = \frac{m}{\rho}$. Отношение объемов пара и воды:

$$x = \frac{V'_n}{V_B} = \frac{\dfrac{m}{n\cdot\rho_n}}{m\dfrac{(n-1)}{n\cdot\rho_B}} = \frac{\rho_B}{\rho_n}\frac{1}{(n-1)} = \frac{\rho_B RT}{pM(n-1)} = \frac{10^3\cdot 8{,}31\cdot 368}{8{,}5\cdot 10^4\cdot 18\cdot 10^{-3}\cdot 3{,}7} = 540.$$

Ответ: $5\cdot 10^{-4}$, 540

Критерии оценивания

Записана формула для плотности пара	3
Получен ответ на первый вопрос	2
Получен ответ на второй вопрос	5

11-4. Для того, чтобы свободные электроны проводимости могли участвовать во вращательном движении, на них должна действовать постоянная сила, направленная к центру вращения. Такой силой может быть лишь сила, действующая со стороны внутреннего электрического поля, возникающего из-за перераспределения электронов вдоль радиуса.

Записывая второй закон Ньютона для электрона, находящегося на расстоянии r от оси цилиндра, получим

$$m\omega^2 r = eE,\ E = \frac{m\omega^2}{e} r$$

Как видим, эта напряженность линейно нарастает с радиусом от нулевого значения в центре, до значения $E_R = \frac{m\omega^2 R}{e}$ у поверхности цилиндра.

Разность потенциалов между осью и поверхностью цилиндра по определению равна работе по перемещению единичного заряда от оси к периферии. Поскольку напряженность линейно зависит от радиуса, то ее среднее значение можно найти как среднее арифметическое минимального и максимального. Тогда $U = R\cdot\frac{E_R}{2} = \frac{m\omega^2 R^2}{2e}$. Отсюда получаем значение угловой скорости $\omega = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{2eU}{m}}$=750 рад/с.

Ответ: 750 рад/с

Комментарий. Описанная конструкция теоретически может служить источником тока. Практического же значения она не имеет вследствие крайне малого значения создаваемого напряжения даже при больших скоростях вращения.

Критерии оценивания

Записан второй закон Ньютона для электрона	3
Записана связь напряжения с напряженностью поля	2
Получен ответ	5

Указание проверяющему: вычисление напряжения может проводиться разными способами (как $\int Edr$, как площадь под графиком зависимости напряженности от радиуса и т.п.), все корректные методы следует оценивать полным баллом. Если участник действует описанным в решении методом, упоминание о возможности вычисления среднего значения как среднего арифметического максимального и минимального вследствие линейности зависимости должно присутствовать в явном виде. При его отсутствии следует снимать два балла.

11-5. Из формулы тонкой линзы $\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}$ выражаем f: $f=\frac{F\cdot d}{d-F}$ и поперечное увеличение: $\Gamma=\frac{f}{d}=\frac{F}{d-F}$. Преобразуя, получаем Подставляем в предыдущую формулу: $\Gamma=\frac{F}{\frac{f}{\Gamma}-F}$, $\Gamma\left(\frac{f}{\Gamma}-F\right)=F$, $f-\Gamma\cdot F=F$, $\Gamma=\frac{f}{F}-1$. Таким образом, график должен быть линейным и фокусное расстояние определяется через его угловой коэффициент. Оценивая по графику угловой коэффициент, имеем, например $\frac{1}{F}=\frac{4-1}{25-10}=0{,}2\,\text{см}^{-1}$, откуда F=5 см

Ответ: 5 см

Критерии оценивания

Записано определение увеличения линзы	2
Записана формула тонкой линзы или эквивалентные ей геометрические соотношения	2
Получена формула, выражающая F через определяемые по графику величины	4
Получен ответ	2

Рекомендации
по проверке работ

Необходимо помнить, что олимпиада – это соревнование по решению нестандартных задач, а не по аккуратному выписыванию известных формул и определений. Основная задача, стоящая перед участником – получить конструктивным способом правильный ответ на заданный в условии вопрос. Поэтому при проверке большее внимание нужно обращать на результат решения задачи, а не на применяемый метод и степень гладкости и аккуратности его изложения.

Рекомендуется организовать проверку так, чтобы одну и ту же задачу во всех работах проверял один и тот же человек, в этом случае уверенность в том, что одинаковые решения будут оценены одинаковым числом баллов (а это основное требование к проверке), существенно выше. Идеальный вариант достигается, если каждый член жюри проверяет только одну задачу. Такая система не исключает, однако, обсуждения отдельных решений (как правило, нестандартных) всеми членами жюри.

Считаем необходимым напомнить, что "Порядок проведения Всероссийской олимпиады школьников по физике" не содержит требований к проценту выполнения работы, необходимому для получения статуса призера. Поэтому настоятельно рекомендуется присваивать в каждой параллели хотя бы одному участнику олимпиады статус призера.

При проверке необходимо придерживаться следующих правил:

0. **Максимальная оценка за любую задачу 10 баллов.** Если по прочтении критериев Вам кажется, что это не так, **обязательно** обратитесь к председателю жюри либо в методическую комиссию. **Вообще, рекомендуется обращаться в методическую комиссию при наличии вопросов по решениям или критериям.**

1. **Абсолютно недопустимо** снимать баллы за отсутствие в работе необязательных для получения ответа элементов, таких как запись краткого условия, проверка размерностей, перевод единиц измерения в одну систему и т.п.

2. **Абсолютно недопустимо** снимать баллы за "некрасивый" или нерациональный метод решения, в частности, за проведение вычислений не в общем виде. Любое полное правильное решение должно быть оценено полным баллом.

3. Не следует снимать баллы за отсутствие пояснений общеизвестных вещей (например, если участник пишет условие равенства суммы всех сил нулю,

но не указывает, что это второй закон Ньютона для покоящегося тела; или при записи условия плавания тела сразу пишет ρgV, не уточняя, что это сила Архимеда), интуитивно понятных обозначений (если, например, в задаче всего два тела, движущихся равномерно, то не требуют специального пояснения обозначения v_1 и v_2), пропуск тривиальных этапов в решении (если второй закон Ньютона пишется сразу в проекциях на наклонную плоскость). Вообще рекомендуется не требовать слишком подробных пояснений: если Вы поняли, о чем идет речь и почему участник пишет эти формулы, не надо придираться к тому, что они недостаточно пояснены.

4. Необходимо строго придерживаться указанных после каждой задачи критериев оценивания, при этом допускается выставление неполного балла. Так, если за запись некоторого уравнения ставится 3 балла, то имеет смысл за записанное с ошибкой уравнение ставить 0, 1 или 2 балла, в зависимости от того, насколько существенна эта ошибка.

5. Возможны ситуации, при которых *математическая* ошибка в одной из промежуточных формул приводит к тому, что все последующие тоже оказываются неверными, хотя физика задачи участником понята и логика решения верна (если, например, участник неправильно спроектировал второй закон Ньютона на оси, но дальнейшие преобразования сделал верно). В этом случае снимать баллы следует только за ту формулу, в которой первоначально была сделана ошибка. Т.е. если из формулы (1) получается формула (2), а из нее формула (3), причем формула (1) записана неверно, но (2) и (3) получены из нее корректно, то баллы за формулы (2) и (3) должны быть поставлены полностью. Это правило не действует для *физической* ошибки (если, например, участник записал второй закон Ньютона без одной из сил). В этом случае "обнуляются" все опирающиеся на неверную формулы.

6. Во всех случаях, кроме критерия "получен ответ", слова "найдена (получена) величина x" следует понимать как "найдено численное значение величины x **либо** формула, выражающая ее через заданные в условии величины"

7. Если полученный ответ неверен (неважно, вследствие арифметических ошибок при расчете либо более ранних ошибок), выставлять по критерию "получен ответ" полный балл нельзя.

8. Приведенные критерии оценивания применяются для оценивания *частично неверных либо недостаточно обоснованных* решений. *Любое верное и в*

достаточной степени обоснованное решение необходимо оценивать в 10 баллов. Утверждения, обоснование которых должно присутствовать в решении в явном виде, обязательно упомянуты в критериях. Снимать баллы за отсутствие обоснования других утверждений не следует.

9. Указание размерности при промежуточных вычислениях не требуется. Если задача предполагает получение числового ответа в размерных величинах, то отсутствие указания размерности ответа должно *обязательно* приводить к снижению баллов в пределах, полагающихся в соответствии с критериями за получение ответа.

10. В случае, если представленное решение имеет существенно отличную от авторской логику, необходимо разработать систему оценивания, по возможности совпадающую с указанной в ключевых точках.

11. В случае, если участник приступил к решению задачи (т.е. написал что-либо кроме краткого условия), но ни один указанный в критериях пункт не выполнил, нужно ставить 1 балл.

12. В случае, если в задаче записан только правильный ответ без комментариев относительно способа его получения, необходимо ставить 0 баллов.

13. Все записи, которые зачеркнуты участником, не проверяются и не оцениваются (даже если они верные).

14. Если в работе содержится несколько решений одной и той же задачи, и комментарии участника позволяют понять, какое из решение он считает верным, то оценивается только оно.

15. Если же при нескольких решениях невозможно понять, какое участник считает верным, то следует придерживаться следующих правил:

А. Если все решения верные (например, несколько различных способов решения), то оценивается наилучшее.

Б. Если среди решений есть как верные, так и неверные, то оценивается *наихудшее* решение.

16. Черновики не проверяются.

Составители настоящего пособия надеются, что им удалось избежать опечаток в *условиях* задач. В то же время они уверены, что в *решениях* задач опечатки, к сожалению, остались, и будут благодарны за указание на них. Эти сведения, а также любые вопросы по условиям и решениям задач авторы просят присылать Савину Алексею Владимировичу (см. контакты на с. 2).