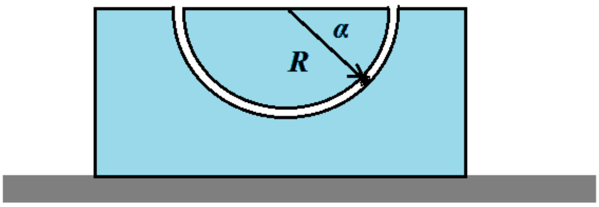
Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*08.11.2023*	*10.00*	*13.00*

1. Груз в канале

Брусок покоится на столе. В бруске сделан узкий гладкий канал, в вертикальном сечении имеющий вид половины окружности радиуса R. В канал опускают без начальной скорости маленький грузик. Когда груз проходит часть окружности, угловой меры α, брусок начинает сдвигаться с места. Коэффициент трения бруска о стол μ, ускорение свободного падения g.

Найдите отношение массы бруска к массе груза. Получите ответ в общем виде и найдите численное значение при μ = 0,5*;* α = 45°.



Возможное решение:

Тело в канале движется по окружности. Запишем 2 закон Ньютона для тела массы m в канале в проекции на радиус: $ma_{\text{цс}} = F - mgsin\alpha$; $a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{R}$

Закон сохранения энергии для маленького тела: $m\frac{v^2}{2} = mgRsin\alpha$

Выразим силу реакции опоры со стороны бруска на тело массы m в канале:

$F = 3mgsin\alpha.$

Условие сдвига бруска: $Fcos\alpha = \mu N$; $N = Fsin\alpha + Mg.$

$3mgsin\alpha cos\alpha = \mu(3mgsin^2\alpha + M)$, откуда $\frac{M}{m} = \frac{3sin\alpha}{\mu}(cos\alpha - \mu sin\alpha)$

$\mu < ctg\alpha;$

При μ = 0,5*;* α = 45° $\quad \frac{M}{m} = 1,5$

Муниципальный этап

Всероссийской олимпиады школьников
в 2023-2024 учебном году

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*08.11.2023*	*10.00*	*13.00*

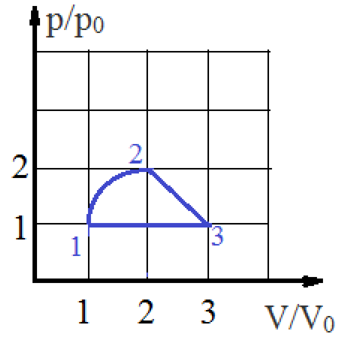
Критерии оценивания:

		баллы
1.	2 закон Ньютона для тела массы m в канале в проекции на радиус: $ma_{\text{цс}} = F - mgsin\alpha$	**2**
2.	$a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{R}$	**1**
3.	ЗСЭ для тела m $m\frac{v^2}{2} = mgRsin\alpha$	**1**
4.	Для бруска по горизонтальной оси $Fcos\alpha = \mu N$	**1**
5.	Для бруска по вертикали $N = Fsin\alpha + Mg$	**1**
6.	Выражено $\frac{M}{m} = \frac{3sin\alpha}{\mu}(cos\alpha - \mu sin\alpha)$	**2**
7.	Записано условие на коэффициент трения $\mu < ctg\alpha$	**1**
8.	При μ = 0,5; α = 45° $\frac{M}{m}$ = 1,5	**1**
	Сумма:	**10**

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*08.11.2023*	*10.00*	*13.00*

2. «Циклическая»

На графике изображен замкнутый цикл 1231, совершаемый с идеальным одноатомным газом. Процесс 1-2 – дуга окружности единичного радиуса, процессы 2-3 и 3-1 – отрезки прямых. Найдите работу газа за цикл, теплоту, полученную газом от нагревателя, а также КПД цикла. Значения V_0 и p_0 известны.



Возможное решение:

1. Работу находим как площадь внутри цикла:

Площадь четверти окружности + площадь треугольника, площадь одной клетки соответствует p_0V_0

$$A = (\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2})p_0V_0 = \frac{1}{4}(\pi + 2)p_0V_0$$

2. На отрезке 2-3 есть точка X – точка касания адиабаты

(или $\Delta Q = 0$, или теплоемкость= 0 в точке X)

Найдем точку X:

1 способ: 1 начало термодинамики $\Delta Q = 0 = p\Delta V + \frac{3}{2}\,\Delta(pV)$, откуда

$\frac{\Delta p}{\Delta V} = -\gamma\frac{p}{V} = -\frac{5p}{3V}$

2 способ: дифференцируем по объему адиабату $pV^{\gamma} = const$ и получаем

$\frac{\Delta p}{\Delta V} = -\gamma\frac{p}{V} = -\frac{5p}{3V}$

С другой стороны угловой коэффициент прямой 2-3 из графика: $\frac{\Delta p}{\Delta V} = -\frac{p_0}{V_0}$

Уравнение прямой 2-3: $p = 4p_0 - \frac{p_0}{V_0}V$

Тогда $p_x = 1{,}5p_0, V_x = 2{,}5V_0$

Тепло, полученное за цикл: $Q_н = Q_{12} + Q_{2X}$,

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \left(\frac{1}{4}\pi + 1\right) p_0 V_0 + \frac{3}{2} p_0 V_0 (4 - 1) = \frac{1}{4}(\pi + 4) p_0 V_0 + \frac{9}{2} p_0 V_0 = \frac{1}{4}(\pi + 22) p_0 V_0$$

$$Q_{2X} = A_{2X} + \Delta U_{2X} = \frac{1}{2}(2 + 1{,}5) \cdot 0{,}5\, p_0 V_0 + \frac{3}{2} p_0 V_0 (2{,}5 \cdot 1{,}5 - 4) = \left(\frac{7}{8} - \frac{3}{8}\right) p_0 V_0 = \frac{1}{2} p_0 V_0$$

$$Q_{\text{н}} = \frac{1}{4}(\pi + 22) p_0 V_0 + \frac{1}{2} p_0 V_0 = \frac{1}{4}(\pi + 24) p_0 V_0$$

3. Найдем КПД цикла:

$$\eta = \frac{A}{Q_{\text{н}}} = \frac{\frac{1}{4}(\pi + 2) p_0 V_0}{\frac{1}{4}(\pi + 24) p_0 V_0} = \frac{\pi + 2}{\pi + 24} \approx 18{,}9\%$$

Примечание: можно находить сначала отданное за цикл тепло:

$$Q_{\text{Х}} = Q_{31} + Q_{X3}$$

Тогда $Q_{\text{н}} = |Q_{\text{Х}}| + A$

$Q_{31} = \frac{5}{2} p_0 V_0 (1 - 3) = -5 p_0 V_0$ (изобарный процесс)

$Q_{X3} = \frac{1}{2}(1 + 1{,}5) \cdot 0{,}5\, p_0 V_0 + \frac{3}{2} p_0 V_0 (3 - 2{,}5 \cdot 1{,}5) = -\frac{1}{2} p_0 V_0$, тогда

$$Q_{\text{н}} = \frac{11}{2} p_0 V_0 + \frac{1}{4}(\pi + 2) p_0 V_0 = \frac{1}{4}(\pi + 24) p_0 V_0$$

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*08.11.2023*	*10.00*	*13.00*

Критерии оценивания:

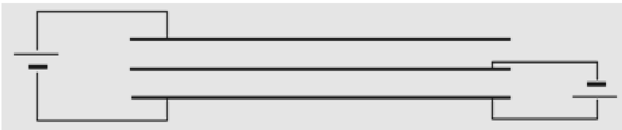
		баллы
1.	Найдена работа	**2**
2.	На отрезке 2-3 есть точка X – точка касания адиабаты	**1**
3.	Найдена точка касания адиабаты	**2**
4.	Найдено Q_{12} или Q_{31} (если исходно ищется Q_X)	**1**
5.	Найдено Q_{2X} или Q_{X3} (если исходно ищется Q_X)	**1**
6.	Найдено $Q_\text{н} = \frac{1}{4}(\pi + 24)p_0V_0$	**1**
7.	Формула для КПД $\eta = \frac{A}{Q_\text{н}}$ (или через Q_X)	**1**
8.	Найдено КПД цикла $\eta = \frac{\pi+2}{\pi+24} \approx 18{,}9\%$	**1**
	Сумма:	**10**

Муниципальный этап

Всероссийской олимпиады школьников
в 2023-2024 учебном году

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*08.11.2023*	*10.00*	*13.00*

3. Равновесие



Между пластинами плоского конденсатора вставлена параллельно им подвижная проводящая пластина той же площади. Две одинаковые батареи подключены по указанной схеме. При каком отношении расстояний от внутренней пластины до нижней и верхней внешних пластин электрическая сила, действующая на внутреннюю пластину, равна нулю?

Возможно ли равновесие пластины при смене полярности одной из батарей? Найдите отношение расстояний в этом случае при разных напряжениях у левой батареи U_2, а у правой U_1 ($U_2 > U_1$).

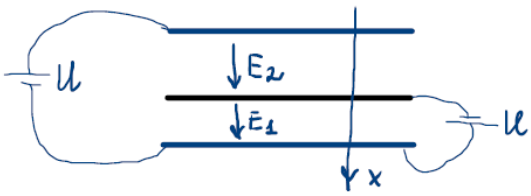
Возможное решение

При напряжении батареи U напряжение между нижней и средней пластиной U, а между средней и верхней 2U (сумма напряжений на батареях). Поле в нижнем зазоре направлено вверх и равно $E_1 = U/d_1$, а в верхнем направлено вниз и равно $E_2 = 2U/d_2$.

Подробнее:

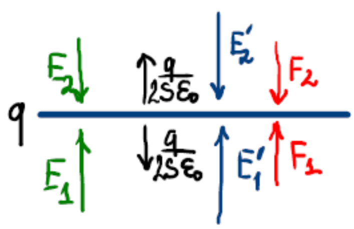
Находим разность потенциалов между верхней и нижней пластинами

$E_2 d_2 + E_1 d_1 = U$; $E_1 d_1 = -U$, откуда $E_1 = -U/d_1$; $E_2 = 2U/d_2$ (оба поля направлены к средней пластине)



Сила, действующая на пластину равна произведению **внешнего** поля на заряд пластины.

Воспользуемся принципом суперпозиции (поле в зазоре складывается из поля самой пластины и внешнего для нее поля от двух других пластин):



$E_1 = E_1' - q/2S\varepsilon_0$; $E_2 = E_2' - q/2S\varepsilon_0$.

Сумма сил, действующая на пластину равна нулю в равновесии. $qE_2' - qE_1' = 0$. Откуда получаем, что электрическая сила равна нулю при $E_1 = E_2$. Приравнивая поля, находим $d_1/d_2 = ½$ или $d_2/d_1 = 2$.

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*08.11.2023*	*10.00*	*13.00*

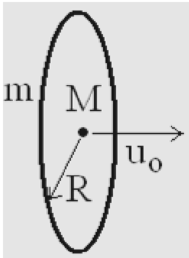
Равновесие возможно при смене полярности, но только при разных напряжениях. Электрическая сила равна нулю при нулевом заряде внутренней пластины. Тогда поля $E_1 = E_2$ и **одинаково направлены**. Раз $E_1 = U_1/d_1$, а напряжение в верхнем зазоре $U = U_2 – U_1$ (сложение напряжений на батареях с учётом знаков) и $E_2 = (U_2 – U_1)/d_2$. И из равенства полей $d_1/d_2 = U_1/(U_2 – U_1)$.

Критерии оценивания

	Этапы решения	*соотношения*	*Балл*
1	Найдена связь напряжений между пластинами	$E_2 d_2 + E_1 d_1 = U$; $E_1 d_1 = -U$ или аналог	**1**
2	Найдены поля в зазорах (и их направления)	$E_1 = U/d_1$; $E_2 = 2U/d_2$.	**1**
3	Сила, действующая на пластину равна произведению **внешнего** поля на заряд пластины	$F=qE_{вн}$	**1**
4	Принцип суперпозиции	$E_1 = E_1' - q/2S\varepsilon_0$; $E_2 = E_2' - q/2S\varepsilon_0$	**1**
5	Электрическая сила равна нулю при $E_1 = E_2$		**1**
6	Найдено отношение расстояний	$d_1/d_2 = 1/2$	**1**
7	Равновесие возможно при смене полярности, но только при разных напряжениях.		**0,5**
8	В этом случае заряд пластины должен быть равен нулю		**0,5**
9	Равенство полей с учетом направления	$E_1 = E_2$	**1**
10	Выражены поля через напряжения	$E_1 = U_1/d_1$; $E_2 = (U_2 – U_1)/d_2$	**1**
11	Получено отношение расстояний	$d_1/d_2 = U_1/(U_2 – U_1)$	**1**
		итого	**10**

4. Разгон вдогонку.

Точечный заряд q массы M покоится в центре однородно заряженного кольца массы m с зарядом –q и радиусом R. Заряду в центре мгновенным ударом сообщают скорость u_o по оси кольца. Какую наибольшую скорость v приобретёт кольцо после этого? Изобразите на графике зависимость v от u_o. Внешних сил нет, гравитационное взаимодействие не учитывать.



Возможное решение

Сохранение импульса $mv + Mu = Mu_o$ (1). <1 балл>

Две возможности: а) кольцо разгоняется и обгоняет точечный заряд;

б) кольцо разгоняется, но не обгоняет замедляющийся точечный заряд при безграничном их удалении. <0,5 балла>

В случае а) периодические разгон и торможение кольца. После обгона разгоняющееся кольцо начинает тормозиться, наибольшая скорость его достигается в момент обгона, когда точечный заряд снова окажется в центре <0,5 балла>.

Из сохранения энергии (та же потенциальная энергия)

$mv^2/2 + Mu^2/2 – kq^2/R = Mu_o^2/2 – kq^2/R$ (2). <1 балл>

С учётом (1) это даст $v = 2Mu_o/(M + m)$ <0,5 балла>.

В случае б) наибольшая скорость кольца достигается при безграничном удалении от кольца точечного заряда, когда потенциальная энергия кулоновского взаимодействия стремится к нулю <0,5 балла>

Из сохранения энергии

$mv^2/2 + Mu^2/2 = Mu_o^2/2 – kq^2/R$ (3) <1 балл>

С учётом (1) ($u = u_o – mv/M$) получим квадратное уравнение

$mv^2(1 + m/M) – 2mvu_o + 2kq^2/R = 0$ (4) <0,5 балла>

Его решение <1 балл>

$$v = \frac{Mu_0}{M+m}(1 - \sqrt{1 - \frac{2k(M+m)q^2}{RMmu_0^2}})$$

Положительное подкоренное выражение условие случая б), отрицательное - случая а). <0,5 балла>. Обоснование выбора этого корня уравнения из условия безграничного удаления, когда относительная скорость не меняет знака,

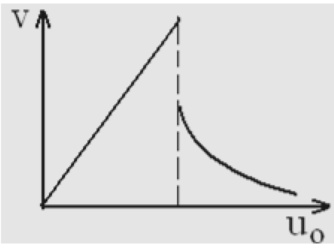
$u – v > 0$ (4). <0,5 балла>.

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*08.11.2023*	*10.00*	*13.00*

При выборе меньшего корня относительная скорость положительна

$$u - v = u_0\sqrt{1 - \frac{2k(M+m)q^2}{RMmu_0^2}}$$

при выборе большего отрицательна, то есть меняет знак <0,5 балла>.



а) линейный график $v = 2Mu_o/(M + m)$ <0,5 балла>. Случай б) реализуется при положительном дискриминанте <0,5 балла>. Выбор ниспадающей ветви. Скачок при $Mmu_o^2/2(M + m) = kq^2/R$ <0,5балла>. Значения слева и справа отличаются в 2 раза <0,5 балла>. Асимптотика: при u_o много больше граничного $v = kq^2/Rmu_o$ (кусок гиперболы).

Критерии оценивания:

		баллы
1.	Сохранение импульса $mv + Mu = Mu_o$ (1)	**1**
2.	Два варианта движения: а) кольцо разгоняется и обгоняет точечный заряд; б) кольцо разгоняется, но не обгоняет замедляющийся точечный заряд при безграничном их удалении.	**0,5**
3.	В случае а) периодические разгон и торможение кольца. Наибольшая скорость его достигается в момент обгона, когда точечный заряд снова окажется в центре	**0,5**
4.	В случае а) закон сохранения энергии $mv^2/2 + Mu^2/2 – kq^2/R = Mu_o^2/2 – kq^2/R$ (2).	**1**
5.	Найдено $v = 2Mu_o/(M + m)$	**0,5**
6.	В случае б) наибольшая скорость кольца достигается при безграничном удалении от кольца точечного заряда, когда потенциальная энергия кулоновского взаимодействия стремится к нулю	**0,5**
7.	ЗСЭ в случае б) $mv^2/2 + Mu^2/2 = Mu_o^2/2 – kq^2/R$ (3)	**1**
8.	Получено квадратное уравнение: $mv^2(1 + m/M) – 2mvu_o + kq^2/R = 0$ (4)	**0,5**
9.	Получено: $v = \frac{Mu_0}{M+m}(1 - \sqrt{1 - \frac{2k(M+m)q^2}{RMmu_0^2}})$	**1**

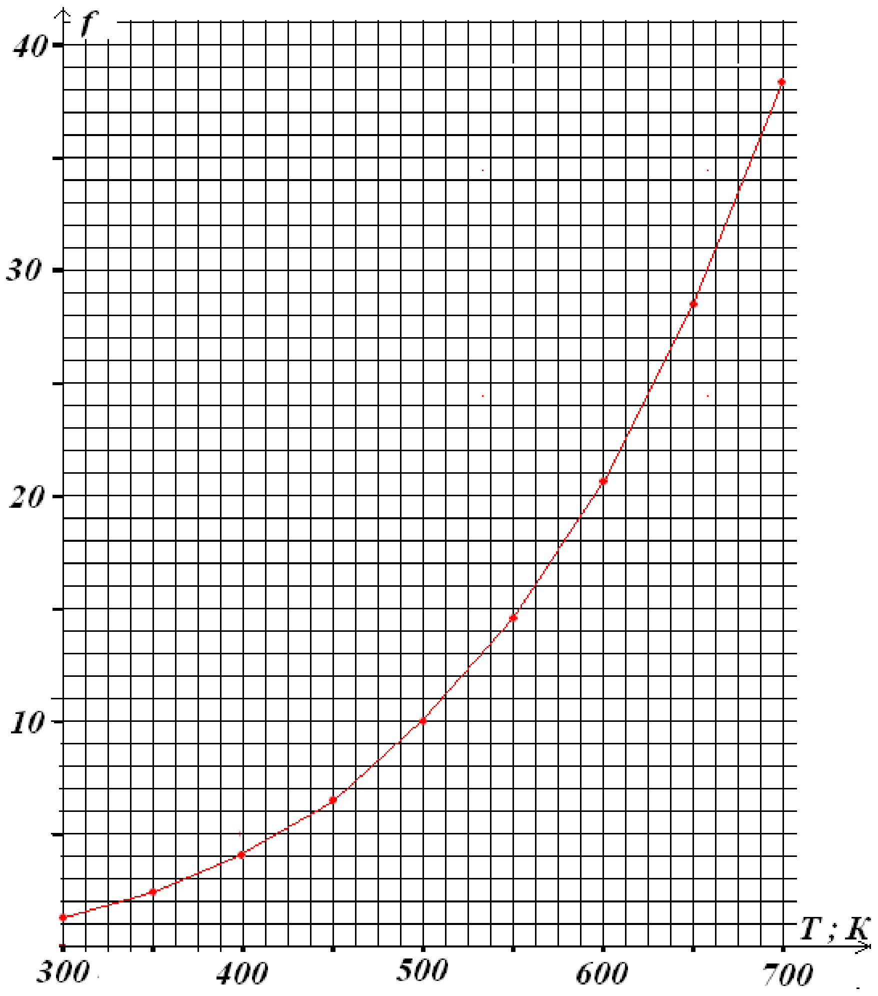
10.	Положительное подкоренное выражение условие случая б), отрицательное случая а).	**0,5**
11.	Обоснование выбора этого корня уравнения из условия безграничного удаления, когда относительная скорость не меняет знака, $u - v > 0$ (4)	**0,5**
12.	При выборе меньшего корня относительная скорость положительна $u - v = u_0\sqrt{1 - \frac{2k(M+m)q^2}{RMmu_0^2}}$ при выборе большего отрицательна, то есть меняет знак	**0,5**
13.	График а) линейный график $v = 2Mu_o/(M + m)$ <0,5 балла>. Случай б) реализуется при положительном дискриминанте <0,5 балла>. Скачок при $Mmu_o^2/2(M + m) = kq^2/R$. <0,5 балла>. Значения слева и справа отличаются в 2 раза <0,5 балла>. Асимптотика: при u_o много больше граничного $v = kq^2/Rmu_o$ (гипербола справа).	**2**
	Сумма:	**10**

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*08.11.2023*	*10.00*	*13.00*

5. Теплоизоляция

Тепло передаётся электромагнитным излучением. Абсолютно чёрное тело полностью поглощает падающее на него излучение, а нагретое до температуры T испускает с единицы площади поверхности тепловое излучение мощностью $q = f(T)$. График зависимости испускаемого потока теплового излучения от температуры в интервале от 300 до 700 К дан ниже, f отложено в условных единицах по вертикали.

В зазоре между параллельными чёрными стенками вакуум, температуру стенок поддерживают равной T_1 = 350 К и T_2 = 700 К, а поток тепла через зазор составляет N = 6мВт. Каким станет установившийся поток тепла, если в зазоре параллельно стенкам поместить 5 тонких абсолютно чёрных плёнок? Найдите температуру плёнок. Температура стенок поддерживают прежней, плёнки не касаются друг друга, зазор между стенками мал.



Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*08.11.2023*	*10.00*	*13.00*

Возможное решение

$N = (f(T_2) – f(T_1))S$

Обозначим температуру плёнок $\tau_1, \tau_2 \dots \tau_5$, Из стационарности потока следует равенство мощности, передаваемой через каждый зазор:

$n = (f(T_2) – f(\tau_5))S$; $n = (f(\tau_5) – f(\tau_4))S$; … $n = (f(\tau_1) – f(T_1))S$

Сложим все эти равенства и получим

$$6n = (f(T_2) – f(T_1))S = N$$

$$n = N/6 = 1 \text{ мВт.}$$

Для нахождения температуры плёнок $\tau_1, \tau_2 \dots \tau_5$ воспользуемся тем, что на графике приращения Δf на каждом зазоре одинаковы, а в сумме дают примерно 36 условных единиц в диапазоне от 350 до 700 К. Поэтому шаг приращения Δf 6 условных единиц по вертикали, а на оси температур графика читаем температуры плёнок

$\tau_1 = 480$ К, $\tau_2 = 550$ К, $\tau_3 = 600$ К, $\tau_4 = 637$ К, $\tau_5 = 668$ К. *(числовые значения, найденные по графику, можно засчитывать с учетом погрешности)*

Критерии оценивания:

		баллы
1.	$N = (f(T_2) – f(T_1))S$	**2**
2.	$n = (f(T_2) – f(\tau_5))S$; $n = (f(\tau_5) – f(\tau_4))S$; … $n = (f(\tau_1) – f(T_1))S$	**2**
3.	$6n = (f(T_2) – f(T_1))S = N$	**1**
4.	$n = N/6 = 1$ мВт.	**2**
5.	Найдены по графику $\tau_1 \approx 480$ К, $\tau_2 \approx 550$ К, $\tau_3 \approx 600$ К, $\tau_4 \approx 637$ К, $\tau_5 \approx 668$ К. (по 0,5 за каждый ответ и 0,5 за объяснение).	**3**
	Сумма:	**10**

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*08.11.2023*	*10.00*	*13.00*

Рекомендации для жюри

Каждая задача оценивается из 10 баллов. Участники олимпиады могут предложить полные и верные решения задач, отличные от приведённых в ключе. За это они должны получить полный балл. Частичное решение или решение с ошибками оценивается, ориентируясь на этапы решения, приведённые в разбалловке. При этом верные выводы из ошибочных допущений не добавляют баллов. Если какой-то этап решения не полный, или частично правильный, то он оценивается частью баллов за этап. Если в решении участника олимпиады предложенные этапы объединены как один, то оценка проводится из суммарного балла. **Наличие лишь ответа без решения не оценивается.** При наличии у участника двух решений без указания, какое он считает верным, оценка проводится по худшему. Для удобства работы жюри решения и критерии оценки для каждой задачи приведены на отдельной странице и при необходимости снабжены комментарием. К некоторым задачам приводится два варианта решения. Следует держаться духа и буквы предлагаемой разбалловки, чтобы обеспечить сопоставимость проверки на разных площадках проведения.