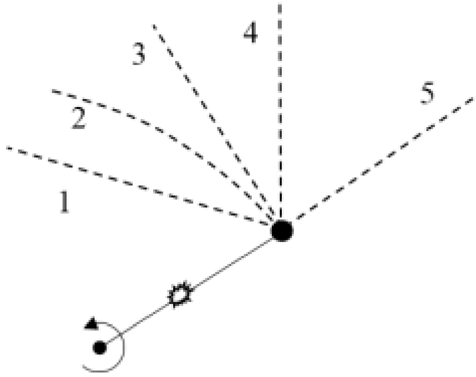
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ФИЗИКА. 2024–2025 УЧ. Г.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП. 10 КЛАСС

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу – 40.

Тестовые задания

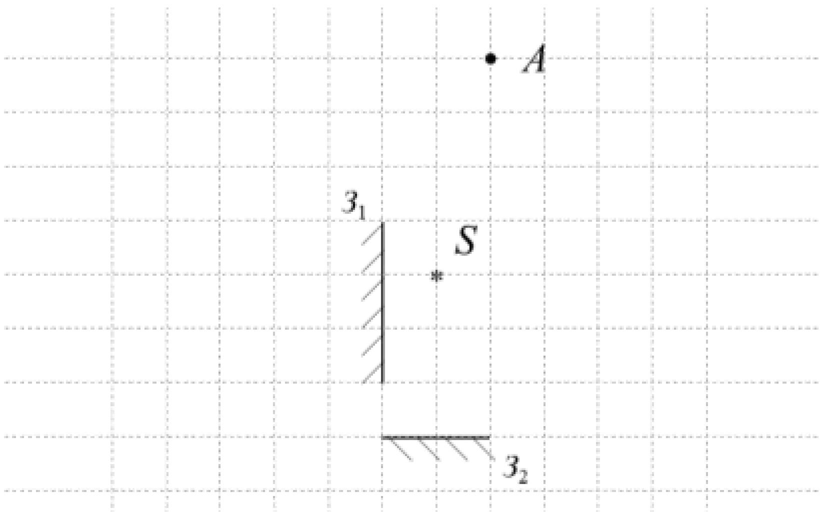
1. Груз, привязанный к нитке, раскрутили в горизонтальной плоскости. В некоторый момент нитка порвалась (см. рис. вид сверху). В каком направлении будет в дальнейшем лететь груз?



Выберите вид траектории, по которой полетит груз.

1) 1
2) 2
3) 3
4) 4
5) 5

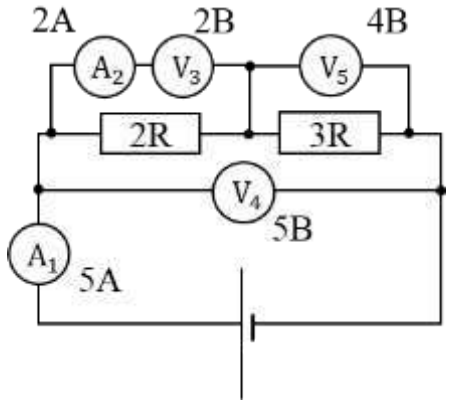
2. Рядом с точечным источником света расположено два зеркала, плоскости которых перпендикулярны (см. рис).



Размеры зеркал указаны на рисунке. Сколько изображений источника света может увидеть наблюдатель, находящийся в точке А?

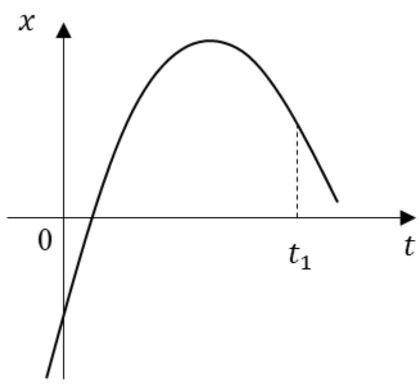
1) 1
2) 2
3) 3
4) 4
5) 0

3. В схеме сопротивление проводов много меньше сопротивления амперметров, сопротивление амперметров много меньше сопротивления резисторов, сопротивление резисторов много меньше сопротивления вольтметров. Сопротивление вольтметров 1 МОм. Известно, что два прибора из пяти неисправны. Укажите номера неисправных приборов.



1) $\mathbf{A_1}$
2) $\mathbf{A_2}$
3) $\mathbf{V_3}$
4) $\mathbf{V_4}$
5) $\mathbf{V_5}$

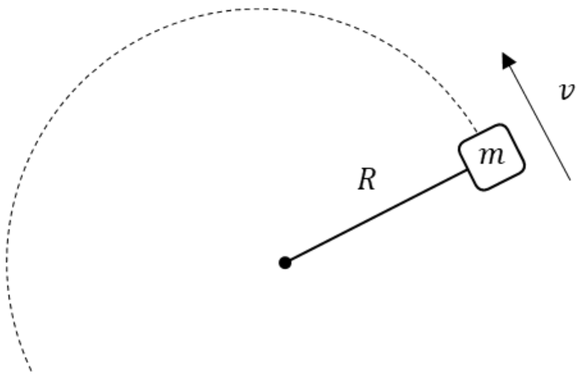
4. Тело движется с постоянным ускорением вдоль оси $\boldsymbol{x}$. График зависимости координаты от времени представлен на рисунке.



Выберите все верные утверждения относительно координаты, проекции скорости и проекции ускорения тела в момент времени t_1:

1) $x(t_1) > 0$; $v_x(t_1) > 0$; $a_x(t_1) > 0$
2) $x(t_1) > 0$; $v_x(t_1) < 0$; $a_x(t_1) > 0$
3) $x(t_1) > 0$; $v_x(t_1) < 0$; $a_x(t_1) < 0$
4) $x(t_1) < 0$; $v_x(t_1) < 0$; $a_x(t_1) < 0$
5) $x(t_1) > 0$; $v_x(t_1) > 0$; $a_x(t_1) < 0$

5. Груз массой m движется по поверхности гладкого стола под действием силы натяжения нити, закреплённой в некоторой точке стола. Радиус окружности, которую описывает груз при движении, равен R, скорость груза – v. Определите выражение для импульса силы натяжения нити за половину оборота тела.



1) $m\frac{v^2}{R}\pi R$
2) $m\frac{v^2}{R}2R$
3) $m\frac{v^2}{R}\frac{\pi R}{v}$
4) $2mv$
5) mv

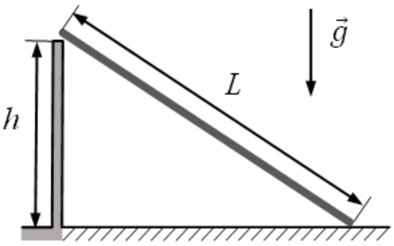
Ответы:

№ задания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Ответ	3	1	2, 5	3	4
Балл	2 балла	2 балла	2 балла	2 балла	2 балла

Задания с кратким ответом

Задачи 6-8

Однородная доска массой $m = 3$ кг и длиной $L = 2$ м находится в равновесии, одним своим концом опираясь на горизонтальную поверхность льда, а другим концом – на вертикальный борт хоккейной площадки, слегка наезжая на него (см. рис.). Высота борта $h = 1{,}2$ м. Ускорение свободного падения $g = 10\ \text{м/с}^2$. Трением доски о лёд можно пренебречь.



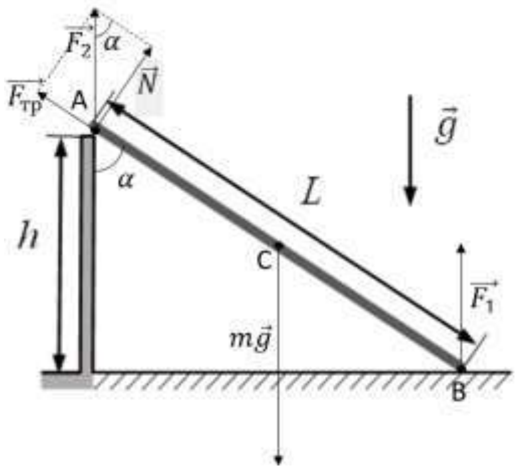
6. Чему равна сила давления F_1 доски на поверхность льда? Дайте ответ в ньютонах с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

7. С какой силой F_2 борт действует на доску? Дайте ответ в ньютонах с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

8. При каком минимальном значении коэффициента трения μ доски о поверхность борта такое равновесие доски возможно? Дайте ответ с округлением до сотых долей. ***(2 балла)***

Решение:

6. Для ответа на вопрос запишем уравнение моментов сил относительно точки A (см. рисунок). Так как доска пребывает в покое, суммарный момент действующих на неё сил относительно любой точки равен нулю:



$$mg\frac{L}{2}\sin\alpha - F_1 L\sin\alpha = 0.$$

Отсюда следует, что

$$F_1 = \frac{1}{2}mg = 15\ \text{Н}.$$

7. Кроме суммарного момента ещё и суммарная сила, действующая на тело, должна обращаться в нуль. Это означает, что $\overrightarrow{F_2}$ направлена вертикально (ведь её компенсируют вертикальные силы $m\vec{g}$ и $\overrightarrow{F_1}$), а уравнение для сил в проекции на вертикальную ось принимает вид: $F_2 - mg + F_1 = 0$. Отсюда получаем искомую силу:

$$F_2 = \frac{1}{2}mg = 15\ \text{Н}.$$

8. Для того чтобы условия равновесия выполнялись и сила $\overrightarrow{F_2}$ была направлена вертикально вверх, сила трения и сила реакции опоры в точке А должны образовывать прямоугольный треугольник с углом α так, как показано на рисунке. Тогда можем написать, что $\operatorname{tg}\alpha = \frac{N}{F_{\text{тр}}}$; кроме того, сила трения ограничена сверху $F_{\text{тр}} \leq \mu N$. Отсюда получаем условие на коэффициент трения: $\operatorname{tg}\alpha \geq \frac{1}{\mu}$, или иначе $\mu \geq \operatorname{ctg}\alpha$. Сам угол легко вычисляется из геометрических соображений:

$$\cos\alpha = \frac{h}{L}; \qquad \operatorname{ctg}\alpha = \frac{h}{L} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{h}{L}\right)^2}} = \frac{h}{\sqrt{L^2-h^2}}.$$

Таким образом, минимальное значение коэффициента трения равно $\operatorname{ctg}\alpha$:

$$\mu = \frac{h}{\sqrt{L^2-h^2}} = 0{,}75.$$

Ответы:

6	7	8
15	15	0,75

Максимум за задачу 6 баллов.

Задачи 9–11

Как известно, мощность теплопередачи q (количество теплоты, передаваемое в единицу времени) от горячего тела к холодному в соответствии с законом Ньютона-Рихмана пропорциональна разности температур этих тел: $q = k(t_{\text{г}} - t_{\text{х}})$, где величину k называют коэффициентом теплопередачи.

9. Чему равен коэффициент теплопередачи от воды в стакане в окружающую среду, если в результате теплообмена температура воды за время $\tau = 1$ мин понижается от $t_1 = 50$°C до температуры $t_2 = 49$°C? Температура окружающей среды постоянна и равна $t_0 = 20$°C. Масса воды в стакане $m = 180$ г. Удельная теплоёмкость воды $\text{c} = 4{,}2$ кДж/(кг · °C), тепло-ёмкостью стакана пренебречь. Дайте ответ в Вт/°C с округлением до сотых долей. ***(2 балла)***

10. До какой максимальной температуры t_3 можно нагреть эту воду в стакане при помощи кипятильника мощностью $P = 21$ Вт при нормальном атмосферном давлении? Дайте ответ в °C с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

11. До какой максимальной температуры t_4 можно нагреть эту воду в стакане при помощи кипятильника мощностью $P = 42$ Вт при нормальном атмосферном давлении? Дайте ответ в °C с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

Решение:

9. В задаче есть два метода решения: точный и приближённый, они приводят к немного разным ответам, но оцениваются одинаково:

Приближённо: Будем считать, что температура изменилась настолько незначительно, что мощность теплопотерь была почти постоянной $q = k(t_1 - t_0)$. Тогда с одной стороны количество теплоты, переданное воздуху, $\Delta Q = k(t_1 - t_0)\tau$, а с другой стороны из уравнения теплового баланса следует $\Delta Q = cm(t_1 - t_2)$. Приравнивая правые части уравнений, получаем:

$$k = \frac{cm(t_1 - t_2)}{(t_1 - t_0)\cdot\tau} = 0{,}42\ \text{Вт/°С}.$$

Примечание: в решении пунктов задачи 10 и 11 в численном ответе для определённости будет использовано именно это значение k.

Точно: Если не пренебрегать тем, что мощность теплообмена меняется в процессе остывания воды, то формулы для изменения теплоты нужно записывать в дифференциальном виде (в виде бесконечно малых приращений): $dQ = -k(t - t_0)\,d\tau$, где t – текущая температура, а $d\tau$ – бесконечно малое приращение времени; знак “минус” учитывает тот факт, что теплота отводится от воды, а не передаётся ей. Второе уравнение примет вид $dQ = cm\,dt$. Приравниваем правые части и получаем дифференциальное уравнение на интересующие нас величины:

$$k\,d\tau = -cm\frac{dt}{(t - t_0)}.$$

Интегрируя это уравнение от начального момента времени до конечного, получаем выражение: $k\tau = cm\ln\frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0}$, из которого выражаем k:

$$k = \frac{cm}{\tau}\ln\frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0} \approx 0{,}43\ \text{Вт/°С}.$$

10. Максимальная температура установится в тот момент, когда мощность теплопотерь по модулю сравняется с мощностью кипятильника, т.е. $P = k(t_3 - t_0)$. Несложные преобразования приводят к ответу:

$$t_3 = t_0 + \frac{P}{k} = 70\text{°С}.$$

11. Решение повторяет рассуждения из предыдущего пункта, за исключением того факта, что полученная температура не может превышать температуру кипения при нормальных условиях – 100°С. Подставляем в формулу: $t_4' = t_0 + \frac{P}{k} = 120\text{°С}$. Это значение превосходит максимально допустимое, поэтому настоящее значение температуры:

$$t_4 = 100\text{°С}.$$

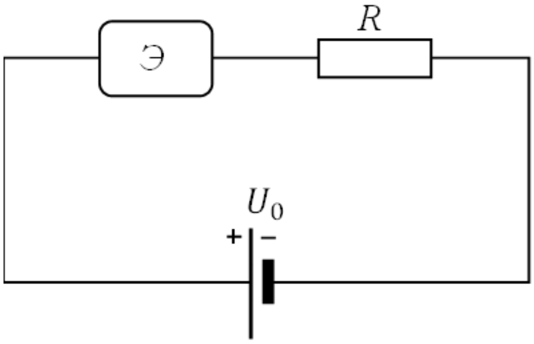
Ответы:

9	10	11
0,42-0,45	66-70	100

Максимум за задачу 6 баллов.

Задачи 12–15

Электрическая цепь, показанная на рисунке, состоит из резистора с сопротивлением $R = 20$ Ом, нелинейного элемента Э и идеального источника питания. Вольт-амперная характеристика элемента Э описывается формулой $U = \beta I^2$, где $\beta = 80$ В/А^2. Напряжение на резисторе в четыре раза меньше напряжения на элементе.



12. Чему равна сила тока I, протекающего в цепи? Дайте ответ в амперах с округлением до десятых долей. ***(2 балла)***

13. Чему равно напряжение U_0 источника питания? Дайте ответ в вольтах с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

14. Какая тепловая мощность P_R выделяется на резисторе? Дайте ответ в Вт с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

15. Какая тепловая мощность $P_Э$ выделяется на нелинейном элементе? Дайте ответ в Вт с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

Решение:

12. Пользуясь законом Ома, получаем значение напряжения на резисторе $U_R = IR$. В условии отмечено, что напряжение на резисторе в четыре раза меньше напряжения на элементе, то есть $IR = \frac{\beta I^2}{4}$. Отсюда получаем ответ:

$$I = \frac{4R}{\beta} = 1 \text{ А}.$$

13. Напряжение на источнике питания равно сумме напряжений на элементе и резисторе: $U_0 = IR + \beta I^2 = IR + 4IR$.

$$U_0 = 5IR = \frac{20R^2}{\beta} = 100 \text{ В}.$$

14. Закон Джоуля-Ленца мгновенно приводит к ответу:

$$P_R = I^2 R = 20\ \text{Вт}.$$

15. Формула для выделяемой тепловой мощности на произвольном элементе цепи имеет вид: $P = UI$. Подставляя в неё вольт-амперную характеристику элемента $U = \beta I^2$, находим:

$$P_Э = UI = \beta I^3 = 80\ \text{Вт}.$$

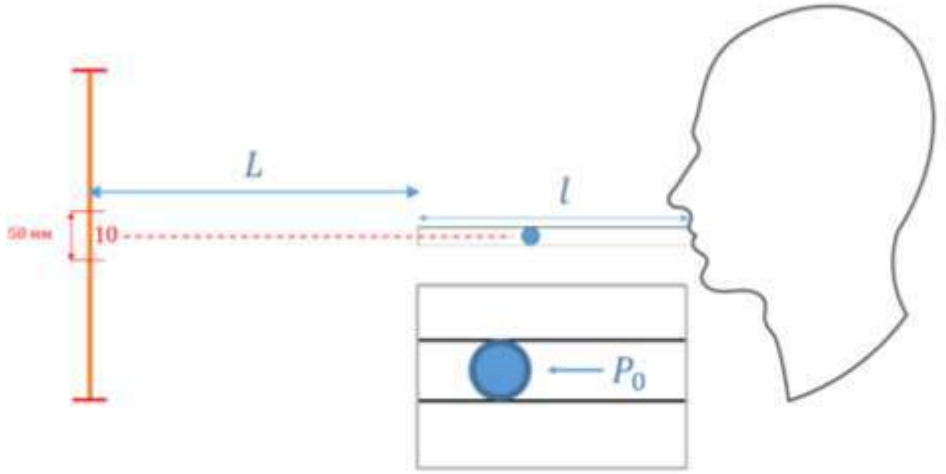
Ответы:

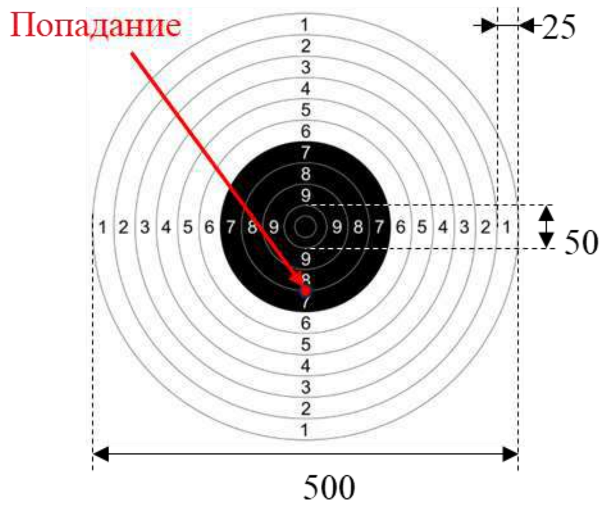
12	13	14	15
1,0	100	20	80

Максимум за задачу 8 баллов.

Задачи 16-20

Стрелок выстрелил из трубки шариком массы $m = 1$ г по мишени с расстояния L от конца трубки и попал ровно в границу между зонами 8-ми и 7-ми очков. Давление воздуха в трубке во время стрельбы постоянно и составляет $P_1 = 119{,}1$ кПа. Размеры мишени представлены на рисунке в мм. Радиус шарика $R = 0{,}5$ см. Шарик помещают в начало трубки длины $l = 30$ см, он плотно прилегает к её стенкам, но не испытывает трения о них во время движения. Считайте, что дополнительное по отношению к атмосферному давление воздуха перестаёт действовать на шарик сразу после вылета из трубки, а сопротивление воздуха при полете пренебрежимо мало. Ускорение свободного падения $g = 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Атмосферное давление $P_0 = 100$ кПа.





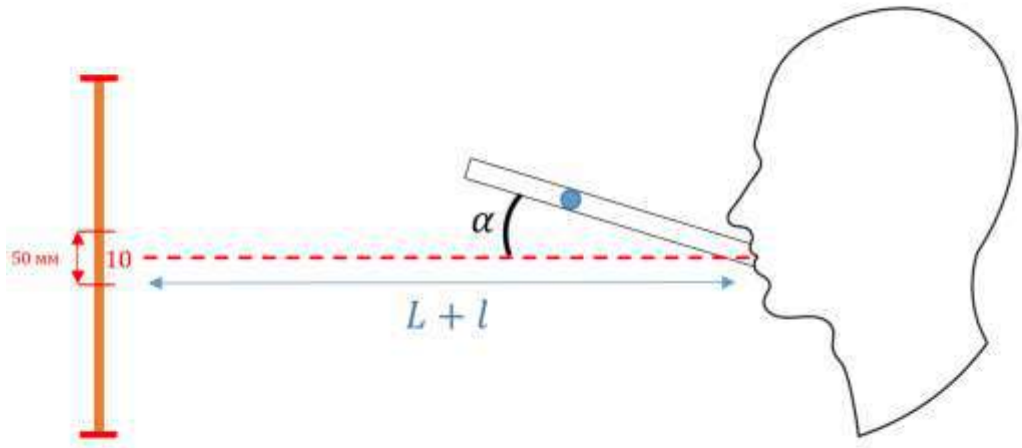
16. Найдите скорость шарика при вылете из трубки. Дайте ответ в м/с с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

17. Какое время шарик двигался по трубке? Дайте ответ в миллисекундах с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

18. С какого расстояния L был произведён выстрел? Дайте ответ в метрах с округлением до сотых долей. ***(2 балла)***

19. Какое минимальное давление нужно создать в трубке в кПа, чтобы получить 10 очков? Дайте ответ в кПа с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

20. Сколько очков получит стрелок, если выстрелит под углом α ($\cos\alpha = 0{,}96$) (см. рисунок), создавая в трубке давление P_1? Дайте ответ в виде целого числа. ***(2 балла)***



Решение:

16–17. Со стороны рта в трубке создаётся давление P, а с открытого конца действует атмосферное давление. Шарик симметричен, следовательно, в итоге на него действует давление $P = P_1 - P_0$ с правой стороны.

Эффективная площадь, на которую действует давление вдоль трубки, равна площади сечения шарика $S = \pi R^2$.

Запишем второй закон Ньютона:

$$ma = F = PS \Rightarrow a = \frac{P}{m}\pi R^2.$$

Воспользуемся уравнениями равноускоренного движения:

$$l = \frac{v^2}{2a} \Rightarrow v = \sqrt{2al} = 30\,\frac{\text{м}}{\text{с}},$$

$$l = \frac{at^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2l}{a}} = 20\ \text{мс}.$$

18. Выясним дальность полёта, если по вертикали шарик успел пролететь $h = 7{,}5$ см (расстояние от центра до точки попадания), запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{gt^2}{2} = h \\ vt = L \end{cases} \Rightarrow L = \sqrt{\frac{2hv^2}{g}} \approx 3{,}67\ \text{м}.$$

19. Чтобы набрать 10 очков необходимо попасть на границу 9-и и 10-и очков (или выше, тогда потребуется большая скорость, а, следовательно, и давление), т.е. пройти по вертикали максимум $h = 2{,}5$ см, запишем уравнения для этой ситуации:

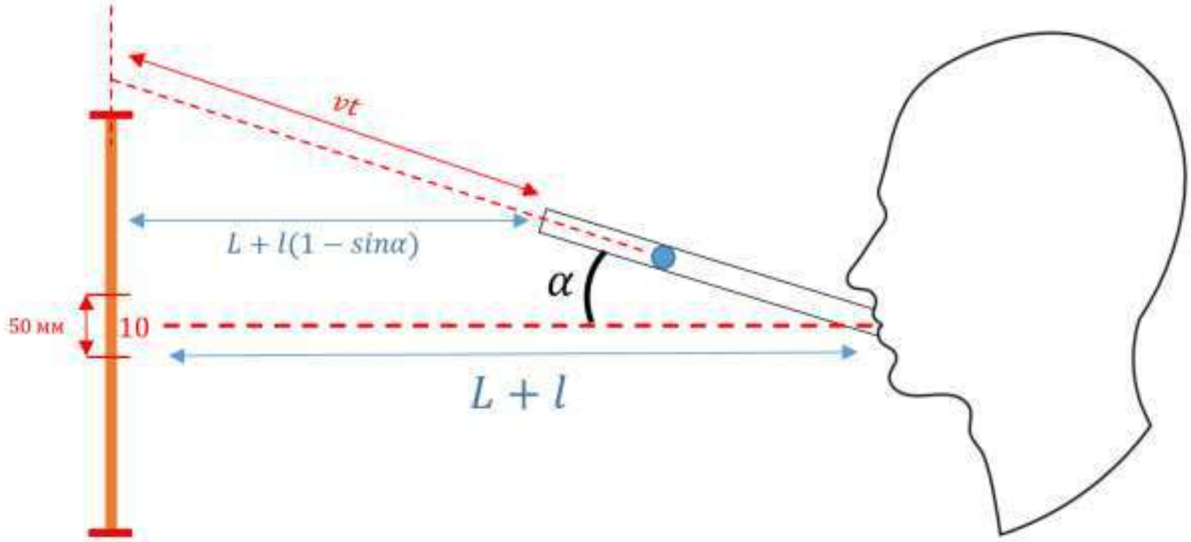
$$\begin{cases} \dfrac{gt_{10}^2}{2} = h \\ v_{10}t_{10} = L \end{cases} \Rightarrow v_{10}^2 = \frac{L^2 g}{2h} \approx 2700\,\frac{\text{м}}{\text{с}},$$

$$a_{10} = \frac{v_{10}^2}{2l} = \frac{P_{10}}{m}\pi R^2 \Rightarrow P_{10} = \frac{mv_{10}^2}{2l\pi R^2} = 57163\ \text{Па} \approx 57\ \text{кПа}.$$

Это эффективное давление на шарик, чтобы получить давление P_2, которое нужно создать стрелку в трубке, нужно дополнительно компенсировать атмосферное давление:

$$P_2 = P_0 + P_{10} = 157\ \text{кПа}.$$

20. Теперь рассмотрим ситуацию при выстреле под углом. Из треугольника перемещений найдём точку попадания (на расстоянии H от центра мишени):



$$t' = \frac{L + l(1 - sin\alpha)}{vcos\alpha}$$

$$H = (L + l)tg\alpha - \frac{gt'^2}{2} \approx 1 \text{ м.}$$

Получается, что шарик сместится от центра более чем на 25 см (радиус мишени), т.е. стрелок не попадёт в мишень и получит 0 очков.

Ответы:

16	17	18	19	20
30	20	3,67	157	0

Максимум за задачу 10 баллов.

Максимальный балл за работу – 40.