

Всероссийская олимпиада школьников по физике  
2019 – 2020 учебный год  
Муниципальный этап  
Свердловская область  
**10 класс**

**Инструкция для проверяющих:**

**Проверка отдельной задачи**

При проверке каждой задачи проверяющий заполняет таблицу, которая соответствует критериям проверки.

Для этого необходимо к каждой работе в начале проверки прикрепить лист проверки из 2-х страниц, в который заносятся результаты. Можно распечатать обе страницы на одном листе с 2-х сторон.

Лист находится далее, его необходимо распечатать в нужном количестве.

## ЛИСТ ПРОВЕРКИ

### Задание 1. Звонок (10 баллов)

Критерий оценивания	Значение	Макс. балл	Балл проверки
Высказано утверждение, аналогичное формуле (1)		1	
Получено соотношение (4)		2	
Получены соотношение (5)		2	
Получен численный ответ	$a = 0.4 \text{ м/с}^2$	1	
Приведены рассуждения, аналогичные (7)		2	
За утверждение (8)		2	

### Задание 2. Процессор (10 баллов)

Критерий оценивания	Знач.	Макс. балл	Балл пров.
<i>решение короткое</i>			
Догадка о принципе попарного разбиения		3	
Уравнение попарного теплового баланса		3	
Пренебрежение теплотой 13-го сектора		2	
Получение численного ответа	58C	2	
<i>решение длинное</i>			
Уравнение теплового баланса		3	
Связь площади сектора с его тепловой энергией		3	
Обоснованное пренебрежение секторами малой площади		2	
Получение численного ответа	58C	2	

### Задание 3. Блок питания (10 баллов)

Критерий оценивания	Знач.	Макс. балл	Балл пров.
Записаны верные уравнения для нахождения U и R		2	
Найдены U и R	R=3 Ом U=2 В	1 1	

Критерий оценивания	Знач.	Макс. Б.	Б. пров.
Записаны верные уравнения для нахождения $r$ и $E$		2	
Найдено $r$	0.6	1	
Найдено $E$	7.2	1	
Построена ВАХ БП		2	

#### Задание 4. Множественные отражения (10 баллов)

Критерий оценивания	Знач.	Макс. балл	Балл пров.
Построены изображения дрона в зеркалах вдали от краёв зеркал		2	
Определён угол между зеркалами	$60^\circ$	2	
Указаны условия видимости отражений $S_1, S_5$ (прохождение $DS_1, DS_5$ через край зеркала), или сделано верное построение		2	
Определена скорость дрона	0.19м/с	1	
Указаны условия видимости отражений $S_2, S_4$ (прохождение $DS_2, DS_4$ через край зеркала), или сделано верное построение		2	
Определён момент $t$ времени, начиная с которого дрон будет видеть лишь одно отражение	9с	1	

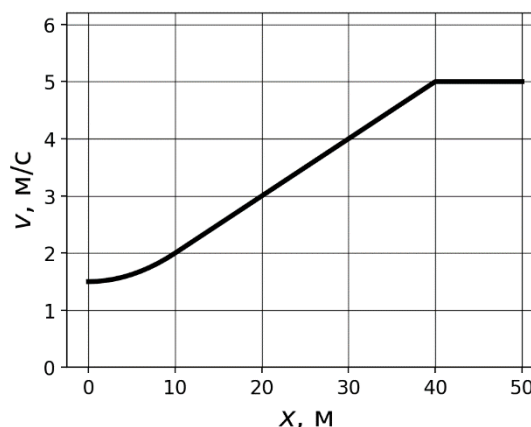
#### Задание 5. Забитая игла (15 баллов)

	Критерии оценивания	Макс. балл	Балл пров.
1	Верно описаны действующие на поршень силы, записано уравнение баланса сил.	2	
2	Выведена пропорциональная связь между линейным перемещением шприца и изменением давления в шприце $P_1/P_a = l_0/l_1$	2	
3	Выведена итоговая формула для силы трения	3	
4	Определено расстояние между делениями на шприце	2	
5	Определены расстояния $l_0$ и $l_1$	2	
6	Получено значение силы трения в диапазоне от 16 до 18,5 Н	4	

Конец листа проверки

## Задание 1. Звонок (10 баллов)

Школьник Петя медленно шёл по прямому коридору, неожиданно прозвенел звонок на урок, и Петя резко ускорил шаг. На рисунке приведён график зависимости мгновенной скорости Пети  $v$  от его координаты  $x$ . Найдите ускорение Пети в точке с координатой  $x = 30$  м. В какой точке отрезка от 0 до 50 м ускорение Пети  $a$  максимально?



## Решение

На участке от  $x = 10$  м до  $x = 40$  м скорость меняется по закону

$$v = v_1 + k \cdot (x - 1) \quad (1)$$

где  $k = 0.1 \text{ с}^{-1}$ ,  $v_1 = 1 \text{ м/с}$ . Ускорение, по определению, равно

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2)$$

Но  $\Delta x = v \cdot \Delta t$ , откуда  $\Delta t = \Delta x / v$ .

Следовательно,

$$a = \frac{v \cdot \Delta v}{\Delta x} \quad (3)$$

Поскольку

$$k = \frac{\Delta v}{\Delta x}, \quad (4)$$

то

$$a = k \cdot v. \quad (5)$$

В точке  $x = 30$  м  $v = 4 \text{ м/с}$ , тогда  $a = 0.4 \text{ м/с}^2$ .

Ответим на вопрос о том, когда  $a$  будет максимальным. На участке  $10 \text{ м} < x < 40 \text{ м}$  параметр  $k$  постоянный, а максимальное значение  $v = 5 \text{ м/с}$  достигается при приближении к точке  $x = 40$  м, поэтому по мере приближения к этой точке ускорение будет увеличиваться и стремиться к значению  $a_{\text{max}} = 0.5 \text{ м/с}^2$ . На отрезке  $40 \text{ м} < x < 50 \text{ м}$  ускорение равно нулю, т.к. скорость не меняется.

На участке  $0 \text{ м} < x \leq 10 \text{ м}$  ускорение явно меньше  $a_{\text{max}}$ , ведь и значения скорости  $v$  и наклона касательной к графику  $k$  здесь меньше, чем при  $10 \text{ м} < x < 40 \text{ м}$ . (7)

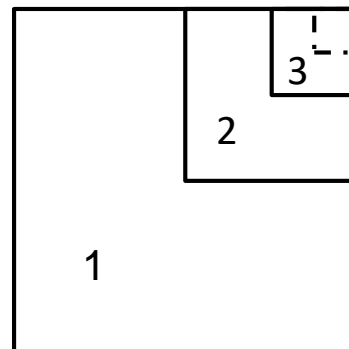
Таким образом, максимально ускорение достигается вблизи точки  $x = 40$  м. Также принимается ответ "в точке  $x = 40$  м". (8)

Критерий оценивания	Значение	Балл
Высказано утверждение, аналогичное формуле (1)		1
Получено соотношение (4)		2

Получены соотношение (5)		2
Получен численный ответ	$a = 0.4 \text{ м/с}^2$	1
Приведены рассуждения, аналогичные (7)		2
За утверждение (8)		2

## Задание 2. Процессор (10 баллов)

В приборостроительном институте разработали первый многоядерный российский микропроцессор. Это квадратный кристалл кремния, условно поделенный на 13 рабочих секторов по следующему правилу: каждый новый сектор - квадрат со вдвое меньшей стороной, отделенный от предыдущего разметкой, как на рисунке справа. В процессе испытаний сектора с нечетными номерами нагрелись до температуры  $T_1 = 50^\circ\text{C}$ , а с четными – до  $T_2 = 90^\circ\text{C}$ , после этого испытания остановили. Какова будет конечная температура кристалла после выравнивания температур всех секторов. Размеры кристалла  $20 \times 20 \times 3 \text{ мм}$ , удельная теплоемкость кремния  $760 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ , а плотность  $2.3 \text{ г/см}^3$ . Теплообменом с окружающей средой пренебречь.



## Возможное решение

Данных в задаче достаточно для того, чтобы найти объёмы и массы всех секторов, после чего написать уравнение теплового баланса и получить ответ. Однако, этого можно и не делать, увидев определённые закономерности в условии задачи.

Дело в том, что каждый следующий сектор имеет объём, а, значит, и массу, ровно в четыре раза меньшую, чем предыдущий. Например, если обозначить массу первого сектора  $m$ , то масса второго сектора равняется  $m/4$ . Разобьём теперь сектора на пары: 1-й со 2-м, 3-й с 4-м и т.д. В каждой паре больший сектор имеет температуру  $T_1 = 50^\circ\text{C}$ , а меньший -  $T_2 = 90^\circ\text{C}$ , причем их массы отличаются в 4 раза. Установившаяся температура будет одна и та же в каждой паре, следовательно, это и будет температура, установившаяся в кристалле.

Запишем уравнение теплового баланса для каждой пары:

$$cm(T - T_1) + c \frac{m}{4}(T - T_2) = 0, \quad (1)$$

где  $T$  – температура, установившаяся в паре после остановки испытаний,  $c$  – удельная теплоемкость кристалла. После сокращения общего множителя  $c \cdot m$ , из (1) выразим  $T$ :

$$T = \frac{T_2 + 4T_1}{5} = 58^\circ\text{C}. \quad (2)$$

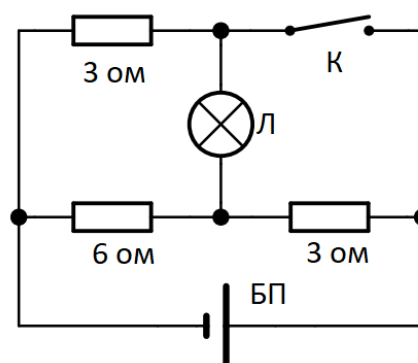
До сих пор мы никак не учитывали теплоту, заключенную в 13-м секторе, ведь пары у него нет. Масса этого сектора составляет всего лишь  $10^{-12}$  от общей массы кристалла, а

температура имеет тот же порядок, что и установившаяся в каждой паре. Значит, учет теплоты этого сектора не приведет к сколь-нибудь видимому изменению равновесной температуры, и им можно пренебречь.

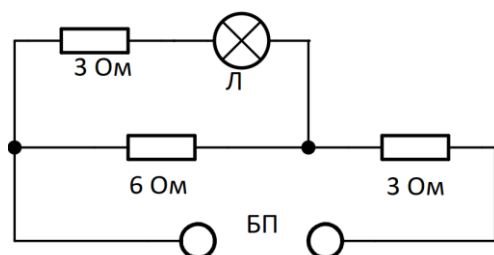
Критерий оценивания	Значение	Балл
<i>решение короткое</i>		
Догадка о принципе попарного разбиения		3
Уравнение попарного теплового баланса		3
Пренебрежение теплотой 13-го сектора		2
Получение численного ответа	58C	2
<i>решение длинное</i>		
Уравнение теплового баланса		3
Связь площади сектора с его тепловой энергией		3
Обоснованное пренебрежение секторами малой площади		2
Получение численного ответа	58C	2

### Задание 3. Блок питания (10 баллов)

Мальчик Витя собрал схему и решил проверить её. Для этого он взял блок питания (БП), с неизвестной линейной характеристикой (зависимостью напряжения от силы тока). При подключении собранной схемы к нему оказалось, что лампочка горит одинаково ярко как при замкнутом, так и при разомкнутом ключе К. Однако, при замкнутом ключе напряжение на зажимах БП 10 В, а при разомкнутом - 8 В. Каково сопротивление лампочки и напряжение на ней? Нарисуйте линейную зависимость напряжения БП от силы тока нагрузки на нём. Определите основные параметры этой прямой. Чему будет равно напряжение БП при отключённой нагрузке?



## Решение



Из условия яркость лампочки постоянна, а такое возможно только при постоянных напряжении на лампе и токе через неё. Следовательно

$$U = const, I = const \Rightarrow R = const,$$

где  $R$  - сопротивление лампы, а  $U$  - напряжение на ней.

Составим схему для разомкнутого (случай 1) ключа:

Падение напряжения на последовательном участке с лампочкой и  $R=3\text{Ом}$  это сумма напряжения на лампочке  $U$  и падения напряжения на  $R=3\text{Ом}$ :  $U + 3\frac{U}{R}$ . Это напряжение равно падению напряжения  $U_P$  на  $R=6\text{Ом}$ , включённом параллельно этому участку:

$$U_P = U + 3\frac{U}{R}.$$

Тогда суммарная сила тока, текущего через все параллельное соединение равна сумме тока через лампочку и тока через  $R=6\text{Ом}$ :

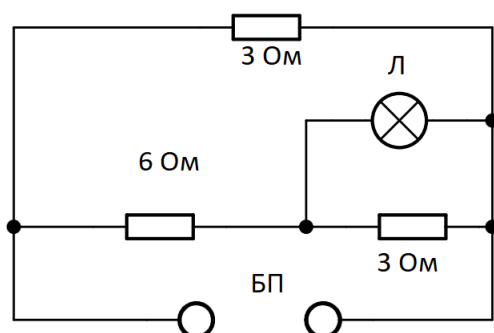
$$I_P = \frac{U_P}{6} + \frac{U}{R}.$$

Этот же суммарный ток проходит через последовательно включённый  $R=3\text{Ом}$ , падение напряжения на котором:

$$U_3 = 3I_P.$$

Тогда, зная что суммарное падение напряжения на всех участках цепи равно напряжению БП, получаем:

$$U + 3\frac{U}{R} + 3\left(\frac{U}{R} + \frac{U + 3\frac{U}{R}}{6}\right) = 8\text{В}$$



Составим эквивалентную схему для замкнутого (случай 2) ключа:

для этого случая аналогично имеем уравнение:

$$U + 6\left(\frac{U}{R} + \frac{U}{3}\right) = 10\text{В}$$

Решая полученную систему из 2-х уравнений, находим  $R=3\text{Ом}$ ,  $U=2\text{В}$ .

Блок питания интересен тем, что напряжение у него на выходе увеличивается при увеличении нагрузки. Его можно представить как источник с линейной функцией зависимости  $U_{\text{БП}}$  от силы тока  $I$ , для которой известно напряжение на клеммах при нулевом токе  $E$  и коэффициент пропорциональности  $r$ , который имеет размерность сопротивления:

$$U_{\text{БП}} = E + rI$$

Тогда имеем 2 уравнения:

$$E = U_{\text{БП2}} - rI_2$$

$$E = U_{\text{БП1}} - rI_1$$

откуда

$$U_{\text{БП2}} - U_{\text{БП1}} = \Delta U = r(I_2 - I_1),$$

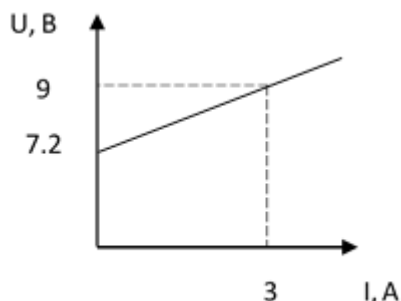
где

$$I_2 = \frac{U}{R} + \frac{U}{3} + \frac{U_{\text{БП2}}}{3}, \text{ для замкнутого ключа}$$

$$I_1 = \frac{U}{R} + \frac{U}{6} + \frac{U}{3+R}, \text{ для разомкнутого ключа.}$$

Решая эту систему, находим  $r=0.6\text{Ом}$  и  $E=7.2\text{В}$ .

Зависимость напряжения от силы тока можно изобразить на подобном графике:



Критерий оценивания	Значение	Балл
Записаны верные уравнения для нахождения U и R		2
Найдены U и R	R=3Ом U=2В	1 1
Записаны верные уравнения для нахождения r и E		2
Найдено r	0.6	1
Найдено E	7.2	1
Построена ВАХ БП		2

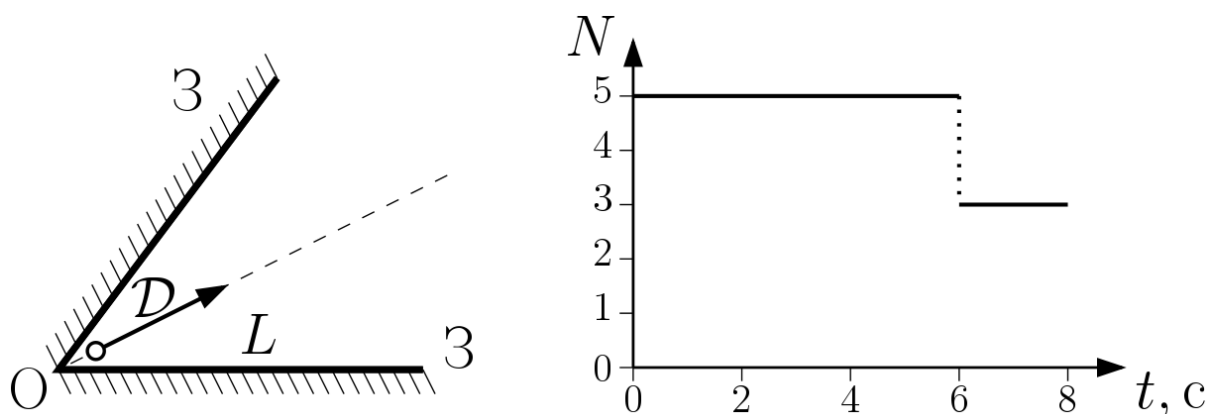
#### Задание 4. Множественные отражения (10 баллов)

Из вершины О двугранного угла, образованного плоскими зеркалами З, каждое длиной  $L = 1$  м, вылетает дрон D и движется по биссектрисе угла с постоянной скоростью. Дрон имеет камеру с углом обзора  $360^\circ$  в плоскости рисунка и настроен следить за другими дронами, за которые он может принять своё отражение в зеркале. На рисунке приведён начальный фрагмент зависимости числа N видимых дрону его собственных отражений от времени  $t$  с момента старта. Найдите следующие величины:

- 1) угол  $\alpha$  между зеркалами,
- 2) скорость  $V$  дрона,
- 3) момент  $t$  времени от старта, начиная с которого дрон будет видеть лишь одно своё отражение.



Для упрощения оптических построений считать дрон шаром, радиус которого мал по сравнению с геометрическими размерами зеркал.



### Решение

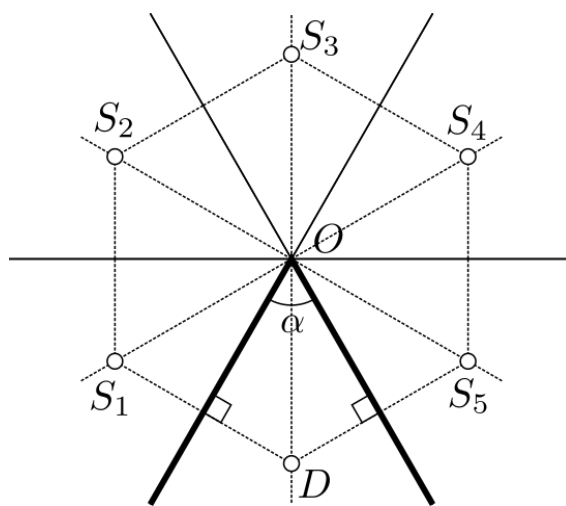
Пусть дрон  $D$  находится далеко от краёв зеркал. Построим изображения дрона в зеркалах. Для этого проведём перпендикуляры к поверхностям зеркал, и симметрично отложим на них отражения дрона. Построим также изображения отражений и т. д. Ровно 5 отражений дрона  $S_1$ – $S_5$  получится в том случае, если угол  $\alpha$  между зеркалами равен  $60^\circ$ , т.к. положение дрона и его отражений симметричны относительно точки  $O$ .

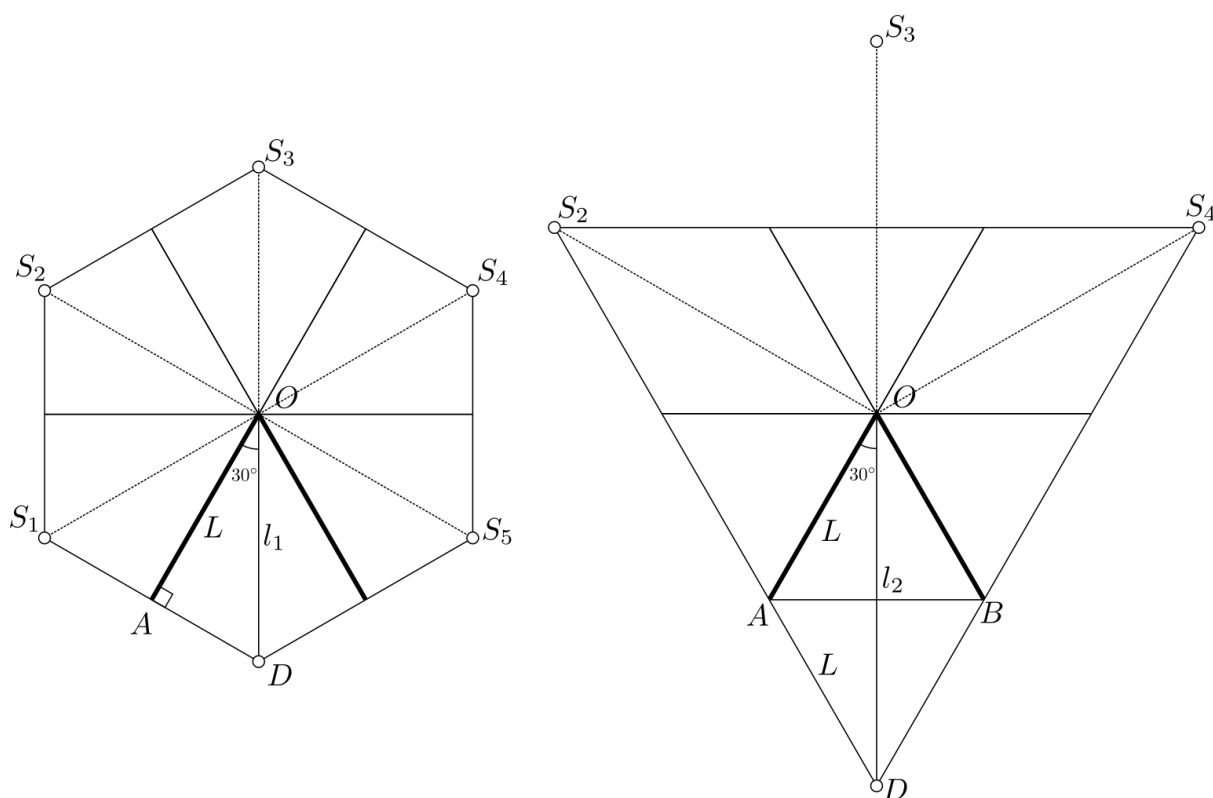
Дрон «видит» своё отражение до тех пор, пока прямая, их соединяющая, пересекает поверхность зеркала. Построим предельное положение дрона, при котором ему ещё видны отражения  $S_1$  и  $S_5$ . Поскольку эти отражения первого порядка, соединяющие их отрезки  $DS_1$ ,  $DS_5$  перпендикулярны соответствующим зеркалам. Из прямоугольного треугольника  $AOD$  можно определить расстояние от дрона до точки  $O$ :  $l_1 = L / \cos(30^\circ) \approx 1,155$  м. Из графика видно, что дрон прошёл это расстояние за  $t_1 = 6$  с, следовательно его скорость:

$$V = \frac{l_1}{t_1} = \frac{L}{\cos(30^\circ)t_1} \approx 0,192 \text{ м/с.}$$

Определим положение дрона, при котором «пропадут» отражения  $S_2$  и  $S_4$ . Из симметрии задачи треугольник  $DS_2S_4$  – равносторонний, угол  $ADB$  равен  $60^\circ$ . Тогда  $AOBD$  представляет собой ромб, и расстояние от дрона до точки  $O$  можно найти как  $l_2 = 2 \cdot L \cdot \cos(30^\circ)$ . Дрон пройдёт это расстояние за время:

$$t_2 = \frac{l_2}{V} = \frac{2L \cos(30^\circ)}{\frac{L}{\cos(30^\circ)t_1}} = \frac{3t_1}{2} = 9 \text{ с.}$$





Критерий оценивания	Значение	Балл
Построены изображения дрона в зеркалах вдали от краёв зеркал		2
Определён угол между зеркалами	$60^\circ$	2
Указаны условия видимости отражений $S_1, S_5$ (прохождение $DS_1, DS_5$ через край зеркала), или сделано верное построение		2
Определена скорость дрона	$0.19\text{ м/с}$	1
Указаны условия видимости отражений $S_2, S_4$ (прохождение $DS_2, DS_4$ через край зеркала), или сделано верное построение		2
Определён момент $t$ времени, начиная с которого дрон будет видеть лишь одно отражение	$t_2 = 9\text{ с}$	1

### Задание 5. Забитая игла (15 баллов)

Петя провёл эксперимент со шприцем. Поршень шприца (игла снята в этот момент) был выдвинут до отметки 20 мл, после чего на шприц была надета игла (Рисунок 1). Петя попробовал медленно нажать на поршень и выпустить воздух через иглу. Но игла оказалась забита и воздух через нее не проходил. Петя нажал на поршень что было сил, но игла не очистилась. После того как Петя перестал давить на поршень, он заметил, что поршень не вернулся в исходное состояние, а остановился, примерно, на половине пути (Рисунок 2). Определите силу трения поршня о стенки шприца. Форма шприца –

правильная цилиндрическая. Дно поршня имеет ровную плоскую поверхность. Деформацией шприца и объемом воздуха в носике иглы пренебречь. Атмосферное давление считать равным 100 кПа. Считать, что при сжатии давление газа изменяется обратно пропорционально изменению объема  $P \sim \frac{1}{V}$ .



Рисунок 1 – Положение поршня в шприце перед тем как на него установили иглу

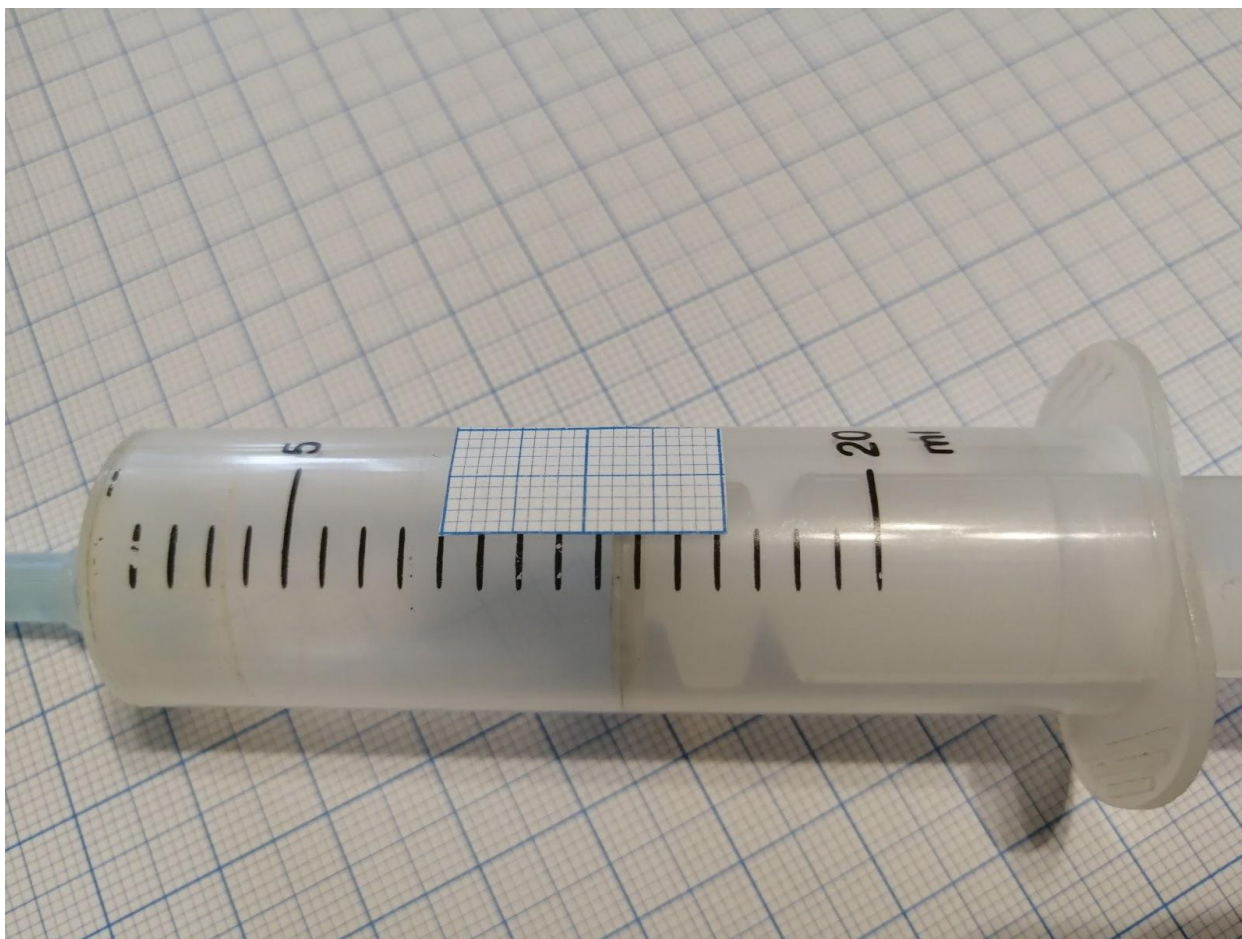


Рисунок 2 – Положение поршня в шприце после того, как его нажали до упора и отпустили

## Решение

На поршень в положении, показанном на рисунке 2, действуют три силы. Сила давления газа в шприце, которая выталкивает поршень, сила атмосферного давления и сила трения, которые препятствуют перемещению поршня наружу. Запишем действующие силы в векторной форме:

$$\vec{F}_a + \vec{F}_1 + \vec{F}_{\text{тр}} = 0 \quad (1)$$

где  $\vec{F}_a$  - сила, вызванная атмосферным давлением,  $\vec{F}_1$  - сила, вызванная давлением газа внутри шприца,  $\vec{F}_{\text{тр}}$  - сила трения между поршнем и стенками шприца.

После проекции сил на ось, расположенную вдоль оси шприца получаем уравнение:

$$F_a + F_{\text{тр}} = F_1.$$

Давление равно

$$P = \frac{F}{S} \Rightarrow F = PS.$$

Подставляя это в уравнение (1) получаем:

$$F_{\text{тр}} = P_1 S - P_a S = S(P_1 - P_a), \quad (2)$$

где  $S$  – площадь поршня,  $P_1$  – давление внутри шприца,  $P_a$  – атмосферное давление.

Площадь поршня можно найти из следующих соображений. Нам известен объем шприца в начальном положении, поршень стоит на отметке 20 мл. Объем шприца для

первоначального состояния определяется формулой  $V_0 = Sl_0$ , где  $S$  – площадь поршня,  $l_0$  – расстояние от дна шприца до плоскости поршня. Следовательно, площадь поршня можно получить по формуле

$$S = \frac{V_0}{l_0}. \quad (3)$$

Давление в шприце  $P_1$  можно найти из соображений обратной пропорциональности между объемом и давлением  $P \sim \frac{1}{V}$ . Если учесть, что  $V_0 = Sl_0$ , получаем  $P \sim \frac{1}{Sl}$ . Так как площадь поршня в ходе эксперимента не изменяется, можно записать  $P \sim \frac{1}{l}$ , то есть давление обратно пропорционально изменению расстояния между поршнем и дном шприца.

$$\frac{P_1}{P_a} = \frac{l_0}{l_1} \Rightarrow P_1 = P_a \frac{l_0}{l_1}, \quad (4)$$

где  $P_a$  – атмосферное давление,  $l_1$  – расстояние от поршня до дна шприца после нажатия на поршень.

Подставляя (3) и (4) в (2) получаем:

$$F_{\text{тр}} = \frac{V_0 P_a}{l_0} \left( \frac{l_0}{l_1} - 1 \right) \quad (5)$$

Формула (5) – итоговая формула для расчетов.

Неизвестными остаются величины  $l_0$  и  $l_1$ . Мы не можем измерить непосредственно эти расстояния, но можно оценить сколько миллиметров одно деление на шприце, используя миллиметровку на фотографии.

Выберем 2 деления на шприце, которые совпадают с делениями на миллиметровке (указано стрелками на рисунке).

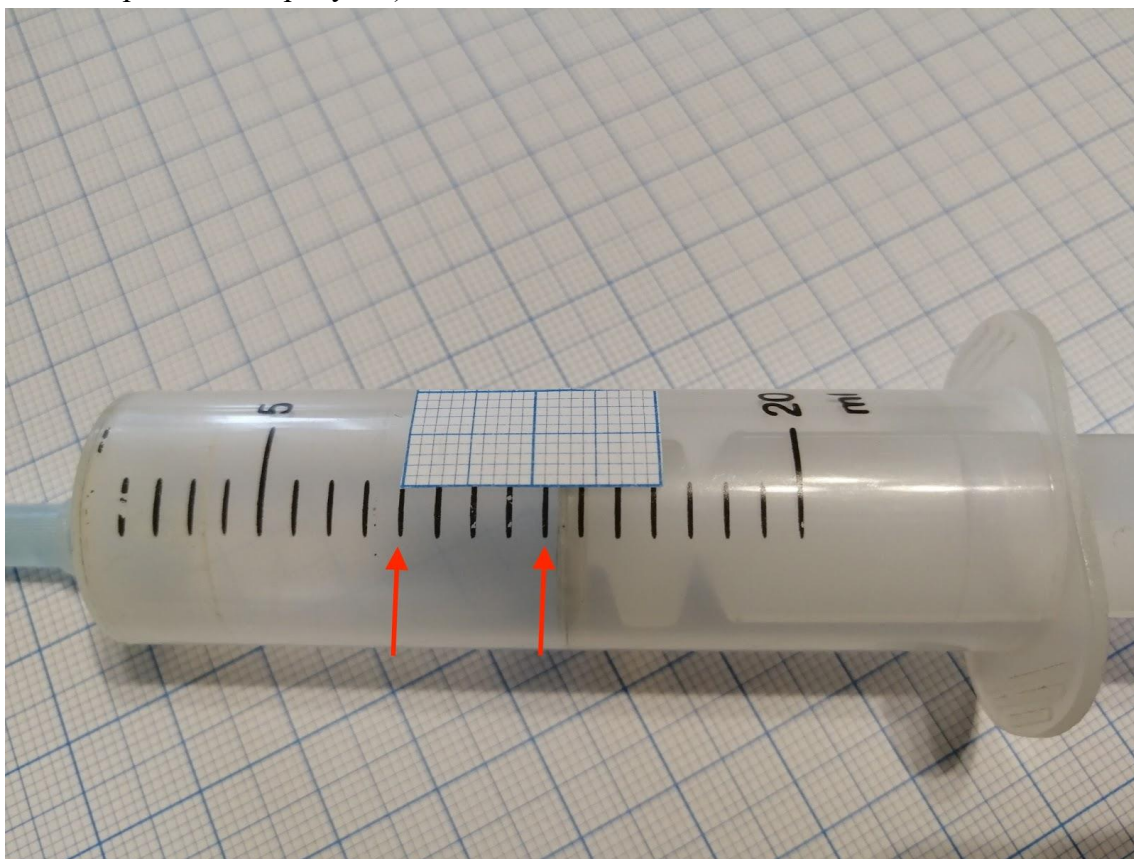


Рисунок – выбор делений для определения расстояния между делениями.



Для указанного выбора получается, что 4 деления на шприце соответствуют 11 миллиметрам (вполне допустимо, что при решении задачи будет рассчитано расстояние для 5 делений). Следовательно, расстояние между делениями составляет примерно 2,75 мм. Находим расстояния  $l_0$  и  $l_1$ . Для  $l_1$ : до дна поршня 13 полных делений, это равно  $13 \cdot 2,75 = 35,7$  мм. От ближайшего деления до поршня по миллиметровке еще один миллиметр. Итого  $l_1 = 35,7 + 1 = 36,7 \approx 37$  мм. Аналогичным образом находим  $l_0 = 55$  мм.

Подставляем полученные величины в формулу (5) и получаем результат  $F_{тр} = 17,69$  Н.

	Критерии оценивания	Баллы
1	Верно описаны действующие на поршень силы, записано уравнение баланса сил.	2
2	Выведена пропорциональная связь между линейным перемещением шприца и изменением давления в шприце $P_1/P_a = l_0/l_1$	2
3	Выведена итоговая формула для силы трения	3
4	Определено расстояние между делениями на шприце	2
5	Определены расстояния $l_0$ и $l_1$	2
6	Получено значение силы трения в диапазоне от 16 до 19 Н	4