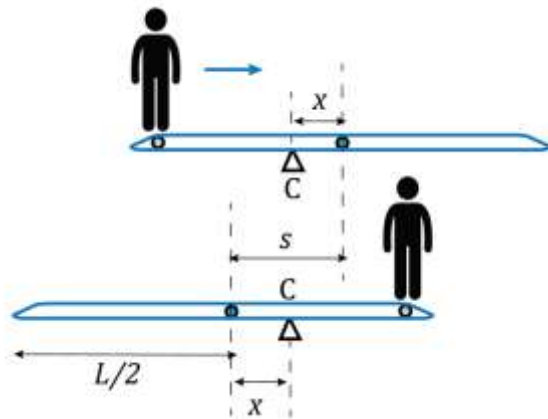


### Задача 1. Разминка

#### 1А. Горизонтальные перемещения

При отсутствии внешних горизонтальных сил центр масс системы «платформа-человек» будет стоять на месте.



Расстояние от центра масс платформы до первоначального центра масс системы  $x$  может быть найдено как

$$m\left(\frac{L}{2} - x\right) = Mx \Rightarrow x = \frac{mL}{2(M+m)}.$$

Суммарное перемещение платформы  $s$  составит

$$s = 2x = \frac{mL}{m+M} = 25 \text{ м.}$$

Альтернативное решение, которое аналогично предыдущему, но связано напрямую с записью закона сохранения импульса системы. Пусть человек движется относительно платформы со скоростью  $u_{\text{чп}}$ , а платформа перемещается относительно Земли со скоростью  $v_{\text{пз}}$ . Тогда, скорость человека относительно Земли будет равна

$$u_{\text{чз}} = u_{\text{чп}} - v_{\text{пз}}.$$

По закону сохранения импульса:

$$0 = mu_{\text{чз}} - Mv_{\text{пз}}.$$

Объединяя оба уравнения и умножая обе стороны на небольшой промежуток времени  $\Delta t$ , получим следующее выражение

$$m \cdot u_{\text{чп}} \Delta t = (M + m) \cdot v_{\text{пз}} \Delta t.$$

Суммирование небольших перемещений приводит к требуемым результатам, где

$$\sum u_{\text{чп}} \Delta t = L; \quad \sum v_{\text{пз}} \Delta t = s.$$

Откуда

$$s = \frac{mL}{m+M} = 25 \text{ м.}$$

Несмотря на то, что второе решение более длинное и запутанное, оно полезно для тестирования идеи решения следующей задачи, являясь подсказкой для более сложного пункта.

#### 1В. Перемещения по полуокружности

Рассмотрим момент, когда человек прошел некоторое расстояние  $r\varphi$ , в то время как платформа повернулась на угол  $\theta$ . При отсутствии трения или других сил, которые могут создать внешний момент сил, суммарный момент импульса системы будет сохраняться:

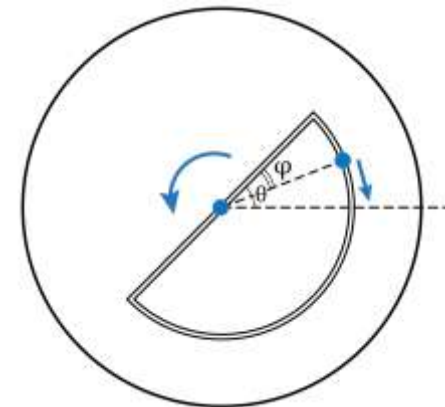
$$mr^2 \left( \frac{d\theta}{dt} - \frac{d\varphi}{dt} \right) + \frac{MR^2}{2} \frac{d\theta}{dt} = 0.$$

Разделяя переменные и суммируя, получим

$$\sum d\theta = \frac{2mr^2}{2mr^2 + MR^2} \sum d\varphi,$$

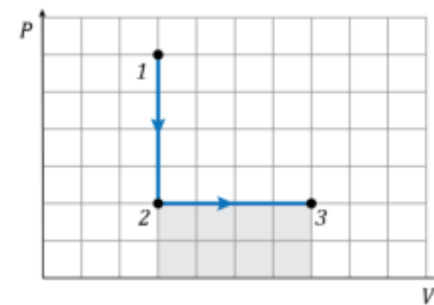
или

$$\theta = \frac{2mr^2}{2mr^2 + MR^2} \cdot \pi.$$



#### 1С. Процесс над газом

Схематически, описанный процесс можно изобразить следующей диаграммой:



Работа газа будет совершена только на изобарном участке 2-3 и равна

$$A = P_2(V_3 - V_2).$$

Из уравнения Клайперона-Менделеева для одного моля идеального газа:

$$\text{состояние 1: } \alpha P_2 V_2 = RT; \quad \text{состояние 3: } P_2 V_3 = RT.$$

Объединяя уравнения, получим

$$A = RT \left( 1 - \frac{1}{\alpha} \right).$$

#### 1D. Вероятности

Вероятность наблюдения любой из шести граней кубика равна  $1/6$ .

$$\text{А. } p_A = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{1}{3}.$$

$$\text{В. } p_B = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{36}.$$

### 1Е. Погрешность измерений

Согласно соотношению неопределенностей Гейзенберга

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \text{ или приближенно } \Delta E \Delta t \approx \hbar,$$

где  $\hbar = h/2\pi$  - приведенная постоянная Планка

Тогда из соответствия Эйнштейна о массе и энергии, можно записать

$$\Delta m c^2 \cdot \tau \approx \hbar,$$

$$\Delta m \approx \frac{\hbar}{\tau c^2}.$$

### 1F. Двойное время жизни

Вероятность  $p$  наблюдения распада в течение короткого промежутка времени  $dt$  для частицы с средним временем жизни  $\tau$  равна

$$p_1 = \frac{dt}{\tau}.$$

Так если мы будем наблюдать за  $N$  одинаковыми радиоактивными частицами, то вероятность  $p_N$  того, что произойдет распад в течение промежутка времени  $dt$ , можно найти по принципу суммирования вероятностей, аналогичному ситуации, описанной в пункте 1D.A:

$$p_N = \sum_{i=1}^N \frac{dt}{\tau} = \frac{Ndt}{\tau}.$$

Это приводит к известному закону радиоактивного распада, при котором число распадающихся частиц  $dN$  за время  $dt$  пропорционально общему числу частиц  $N$ :

$$dN \sim \frac{Ndt}{\tau}.$$

Таким образом, возвращаясь к исходной задаче, вероятность наблюдения распада мюона либо со средним временем жизни  $\tau_1$  либо со средним временем жизни  $\tau_2$  может быть оценена как

$$p_{1,2} = \frac{dt}{\tau_1} + \frac{dt}{\tau_2} = \frac{dt}{\left(\frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}\right)} = \frac{dt}{\tau_{eff}},$$

где  $\tau_{eff}$  - эффективное время жизни частицы.

Далее используем подход из предыдущего пункта 1Е с ограничением, наложенным неопределенностью Гейзенберга:

$$\Delta m_\mu c^2 \cdot \tau_{eff} \approx \hbar,$$

$$\Delta m_\mu \approx \frac{\hbar(\tau_1 + \tau_2)}{\tau_1 \tau_2 c^2}.$$

### Задача 2. Кристаллы

#### 2А. Фторид лития LiF

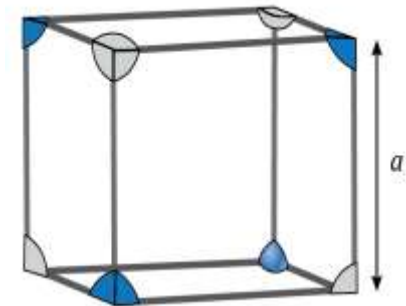
Мысленно разрежен кристаллическую решетку по плоскостям симметрии, проходящим через ее атомы, выделив одну элементарную кубическую ячейку со стороной  $a$ . Суммарная масса вещества заключенная внутри такой ячейки равна

$$M = 4 \cdot \left(\frac{1}{8} m_{Li}\right) + 4 \cdot \left(\frac{1}{8} m_F\right) = \frac{(m_{Li} + m_F)}{2}.$$

По определению плотности вещества

$$\rho = \frac{M}{a^3} = \frac{m_{Li} + m_F}{2a^3} = \frac{\mu_{Li} + \mu_F}{2N_A a^3},$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{\mu_{Li} + \mu_F}{2\rho N_A}} = 0.2 \cdot 10^{-9} \text{ м}.$$



#### 2В. Сульфид цинка ZnS

Плотность вещества  $\rho$  определяется как суммарная масса  $M$  заключенная в единице объема  $a^3$ :

$$\rho = \frac{M}{a^3}.$$

Пусть масса одного атома цинка и масса атома серы равны  $m_{Zn}$  и  $m_S$  соответственно, так что

$$m_{Zn} = \frac{\mu_{Zn}}{N_A}; \quad m_S = \frac{\mu_S}{N_A}.$$

Суммарная масса вещества, заключенная в кубе со стороной  $a$ , складывается из:

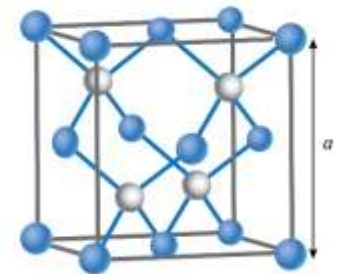
- Четырех молекул серы, которые полностью находятся внутри этого куба.
- Восьми молекул цинка в вершинах куба.
- Шести молекул цинка по бокам куба.

Учитывая вклад от каждого элемента после симметричного рассечения, суммарная масса вещества внутри куба равна

$$M = 4 \cdot m_S + 8 \cdot \left(\frac{1}{8} m_{Zn}\right) + 6 \cdot \left(\frac{1}{2} m_{Zn}\right) = 4(m_S + m_{Zn}).$$

Окончательно,

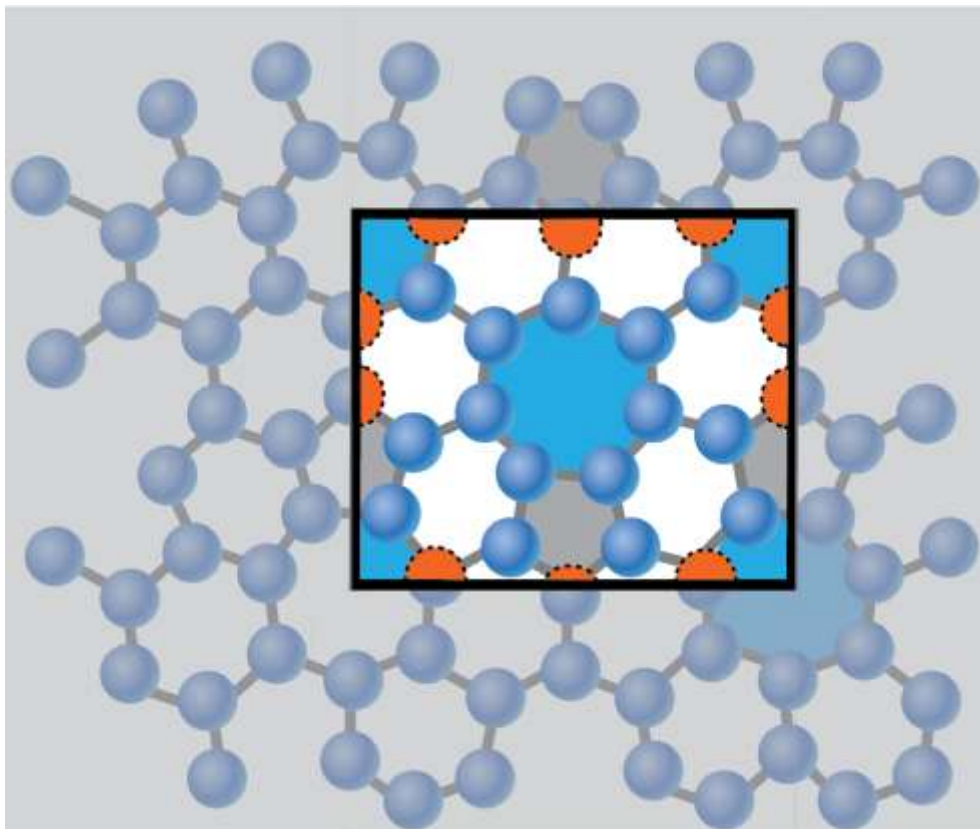
$$a = \sqrt[3]{\frac{4(\mu_S + \mu_{Zn})}{\rho N_A}} = 0.62 \text{ нм}.$$



#### 2С. Фаграфен

Выделим элементарную повторяющуюся ячейку из бесконечной плоской кристаллической структуры фаграфена.

Решения задач



Несмотря на то, что атомы поделены не ровно пополам, границами прямоугольника каждой части атома, показанной оранжевым, соответствует симметричная часть с другой стороны, так что вместе они собираются в один единый атом.

Таким образом, внутри выделенного прямоугольника заключены 15 целых атомов и 5 собранных из частей, т.е. суммарная масса  $M$ , заключенная внутри элементарной повторяющейся ячейки равна

$$M = m \cdot (15 + 5) = 20m.$$

Площадь данного прямоугольника может быть найдена как сумма площадей нескольких многоугольников.

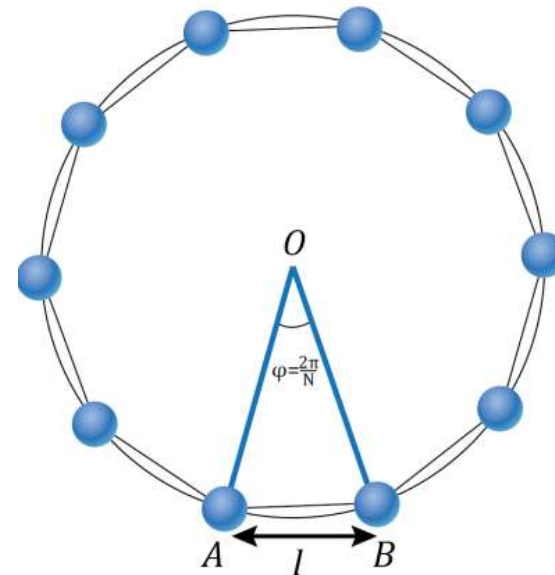
- Два семиугольника (один по центру и один собранных из кусков).
- Два пятиугольника (один целый и один собранный из двух симметричных половинок).
- Шесть шестиугольников (четыре целых и два собранных из кусочков).

Таким образом, площадь элементарной ячейки  $A$  равна

$$A = 2S_7 + 2S_5 + 6S_6.$$

Не все многоугольники идеальны, но как видно из рисунка площадь каждого из многоугольника может быть оценена с хорошей точностью как площадь равностороннего многоугольника.

Здесь  $S_N$  – площадь многоугольника с  $N$  сторонами равными  $l$ , которая может быть найдена делением многоугольника на  $N$  равнобедренных треугольников.



$$S_N = N \cdot S_{AOB} = N \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{l/2}{\tan(\frac{\varphi}{2})} = \frac{Nl^2}{4\tan(\frac{\pi}{N})}.$$

Подставляя в предыдущее уравнение, получаем

$$A = \frac{l^2}{2} \left( \frac{7}{\tan(\frac{\pi}{7})} + \frac{5}{\tan(\frac{\pi}{5})} + \frac{18}{\tan(\frac{\pi}{6})} \right).$$

Окончательно, поверхностная плотность фэграфена равна

$$\sigma = \frac{M}{A} = \frac{40m}{l^2 \left( \frac{7}{\tan(\frac{\pi}{7})} + \frac{5}{\tan(\frac{\pi}{5})} + \frac{18}{\tan(\frac{\pi}{6})} \right)} = 0.67 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2.$$

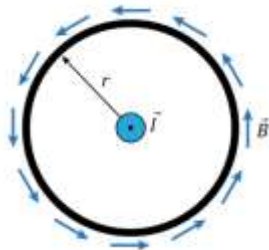
### Задача 3. Закон Ампера о циркуляции

#### 3А. Бесконечный прямой провод

Линии магнитного поля вокруг бесконечного прямого провода будут симметричны, поэтому по теореме Ампера

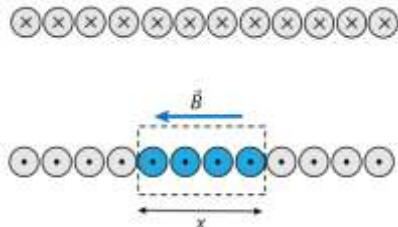
$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 I,$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$



#### 3В. Длинный соленоид

Рассмотрим соленоид в разрезе и выделим небольшой прямоугольный контур с длиной  $x$ , ограничивающий некоторое количество витков  $m$ .



Так как поле снаружи соленоида отсутствует, то по теореме Ампера о циркуляции магнитного поля

$$B \cdot x + 0 \cdot x = \mu_0 (mI),$$

или

$$B = \mu_0 I \cdot \frac{m}{x} = \mu_0 I \cdot \frac{N}{b}.$$

#### 3С. Скин-эффект

Рассмотрим элемент вблизи поверхности проводника с высотой  $h$ , толщиной  $s$  и образующий сектор с неким углом  $\theta$ . По закону Ома для этого кусочка

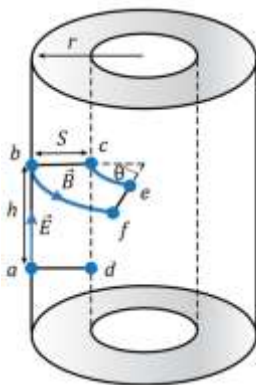
$$U = IR; \Rightarrow Eh = I \cdot \frac{\rho h}{rs\theta}.$$

Из закона Фарадея об электромагнитной индукции

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right|.$$

Единственный ненулевой вклад в интеграл по контуру "abcd" дает составляющая электрического поля вдоль поверхности "ab". Тогда закон Фарадея для контура "abcd" может быть записан как

$$Eh = \frac{dB}{dt} \cdot sh.$$



Вдобавок к этим двум законам может быть записана теорема Ампера о циркуляции магнитного поля вдоль замкнутого контура "bcef"

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = Br\theta = \mu_0 I.$$

Объединяя все три уравнения, получим

$$I\rho = \mu_0 s^2 \frac{dI}{dt}.$$

Для оценки можно считать, что

$$\frac{dI}{dt} \approx \frac{I}{T} \sim I\omega.$$

Тогда окончательно,

$$s \approx \sqrt{\frac{\rho}{\mu_0 \omega}} \approx 4.5 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Нужно заметить что тот же результат можно получить с помощью метода размерностей

#### 3Д. Колебания в бетатроне

Рассмотрим небольшой замкнутый контур с длиной  $\Delta r$  и высотой  $y$  вблизи устойчивой орбиты с вертикальной координатой  $y = 0$ . Так как в бетатроне не протекают внешние токи, то из теоремы Ампера о циркуляции магнитного поля можно записать следующее:

$$B_y(r) \cdot y + B_r(y) \cdot \Delta r - B_y(r + \Delta r) \cdot y - 0 \cdot \Delta r = 0.$$

Перегруппировав переменные, получим

$$B_r(y) = \frac{B_y(r + \Delta r) - B_y(r)}{\Delta r} \cdot y = \frac{dB_y}{dr} \cdot y.$$

Дифференцируя уравнение вертикальной составляющей магнитного поля в итоге позволяет найти его радиальную составляющую:

$$|B_r(y)| = \frac{1}{2} \frac{B_0 \sqrt{R}}{r^{3/2}} \cdot y \approx \frac{1}{2} B_0 \cdot \frac{y}{R}.$$

Если электрон движется по круговой орбите с тангенциальной скоростью  $v_\tau$ , то из закона Ньютона для силы Лоренца справедливо следующее

$$\frac{m_e v_\tau^2}{R} = e v_\tau B_0; \Rightarrow v_\tau = \frac{e B_0 R}{m_e}.$$

Колебания в вертикальной плоскости могут быть охарактеризованы как

$$m_e \ddot{y} = -e v_\tau B_r.$$

Подставляя последние два уравнения, получим классическое уравнение гармонических колебаний:

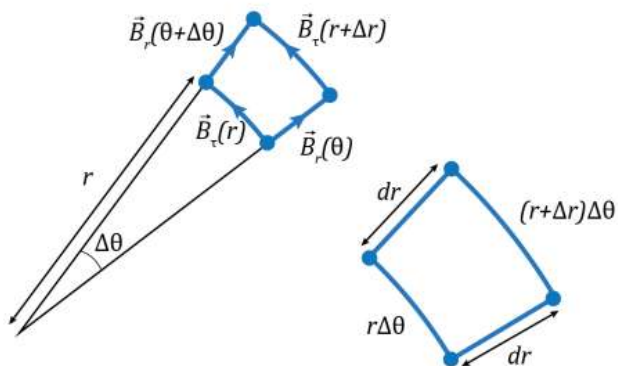
$$\ddot{y} + \frac{e^2 B_0^2}{2m_e^2} \cdot y = 0$$

с периодом колебаний

$$T_y = \frac{2\pi}{\omega_y} = \frac{2\sqrt{2}\pi m_e}{eB_0}.$$

**3Е. Соотношение компонент магнитного поля [3.0 балла]**

Основной трюк данной задачи состоит в выборе элементарного замкнутого контура. Обычный прямоугольник, используемый в Декартовой системе координат, оказывается не очень полезным, так как приводит к слишком громоздким выражениям. В данном случае необходимо выбирать приращения вдоль основных осей полярной системы координат, так чтобы векторы тангенциальной или нормальной составляющей магнитного поля были сонаправлены с линиями элементарного контура.



Поступим аналогичным способом, приведенным в подсказке для декартовой системы координат, с записью теоремы Ампера о циркуляции магнитного поля:

$$B_r(\theta) \cdot dr + B_\tau(r + \Delta r) \cdot (r + \Delta r)\Delta\theta - B_r(\theta + \Delta\theta) \cdot dr - B_\tau(r) \cdot r\Delta\theta = 0.$$

Перегруппировав переменные получим соотношение

$$\frac{B_r(\theta + \Delta\theta) - B_r(\theta)}{\Delta\theta} = \frac{B_\tau(r + \Delta r) \cdot (r + \Delta r) - B_\tau(r) \cdot r}{dr}.$$

По определению производной

$$\dot{y} = \frac{dy}{dx} = \frac{y(x + \Delta x) - y(x)}{\Delta x},$$

тогда

$$\frac{dB_r}{d\theta} = \frac{d(B_\tau r)}{dr}; \Rightarrow -\frac{2a \cos\theta \sin\theta}{r^5} = -\frac{4b \sin 2\theta}{r^5},$$

что дает в результате

$$\gamma = \frac{a}{b} = 4.$$

**Схема оценивания Республиканской олимпиады по физике (2019)**  
**Теоретический тур, 11 класс**

Проверяющий:

Код участника:

Для проверяющих: в последнюю пустую ячейку нужно ставить либо

- **Галочку**, если пункт решен **правильно**.
- **Ноль**, если решение **неправильно**.
- **Минус**, если **не было попытки** решать этот пункт в принципе.

Если задача решена каким-либо альтернативным (правильным) способом, не по разбаловке, то просто засчитать все пункты из разбаловки

Частичные баллы не ставятся. Отдельные, очень специфические случаи могут быть рассмотрены в пользу участника.

За верные уравнения, но **неправильные численные значения** снимается **-0.1 балл**.

**1А. Горизонтальные перемещения [2.0 балла]**

<b>M1</b>	<p>Приведен схематический рисунок, либо описано словами суть феномена, объясняющая, почему происходит такие передвижения:</p> <div style="text-align: center;"> </div>	<b>1.0</b>	
<b>M2</b>	<p>Расчет положения центр масс системы:</p> $x = \frac{mL}{2(M + m)}$	<b>0.5</b>	
<b>M3</b>	<p>Окончательный ответ для перемещения платформы:</p> $s = 2x = \frac{mL}{m + M}$	<b>0.5</b>	

**1В. Перемещения по полуокружности [3.0 балла]**

<b>M4</b>	<p>Упоминание о законе сохранения момента импульса (даже если сам закон записан неправильно)</p>	<b>1.0</b>	
<b>M5</b>	<p>Правильное уравнение закона сохранения момента импульса с учетом относительных перемещений:</p> $mr^2 \left( \frac{d\theta}{dt} - \frac{d\varphi}{dt} \right) + \frac{MR^2}{2} \frac{d\theta}{dt} = 0$	<b>1.0</b>	
<b>M6</b>	<p>Разделение переменных и суммирование, приводящие к результату:</p> $\theta = \frac{2mr^2}{2mr^2 + MR^2} \cdot \pi$	<b>1.0</b>	

**Схема оценивания Республиканской олимпиады по физике (2019)**  
**Теоретический тур, 11 класс**

Проверяющий:

Код участника:

**1С. Процесс над газом [2.0 балла]**

<b>M7</b>	Работа газа будет совершена только на изобарном участке 2-3 и равна $A = P_2(V_3 - V_2)$	<b>1.0</b>	
<b>M8</b>	Из уравнения Клайперона-Менделеева для одного моля идеального газа: состояние 1: $\alpha P_2 V_2 = RT$ ;	<b>0.3</b>	
<b>M9</b>	состояние 3: $P_2 V_3 = RT$	<b>0.3</b>	
<b>M10</b>	Окончательный результат $A = RT \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)$	<b>0.4</b>	

**1D. Вероятности [0.5 балла]**

<b>M11</b>	$p_A = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{1}{3}$	<b>0.2</b>	
<b>M12</b>	$p_B = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{36}$	<b>0.3</b>	

**1E. Погрешность измерений [1.5 балла]**

<b>M13</b>	Соотношению неопределенностей Гейзенберга $\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$ или приближенно $\Delta E \Delta t \approx \hbar$	<b>1</b>	
<b>M14</b>	Окончательный результат: $\Delta m \approx \frac{\hbar}{\tau c^2}$	<b>0.5</b>	

**1F. Двойное время жизни [2.0 балла]**

<b>M15</b>	Вероятность $p$ наблюдения распада $p_1 = \frac{dt}{\tau}$	<b>0.4</b>	
<b>M16</b>	Принцип суммирования вероятностей $p_N = \sum_{i=1}^N \frac{dt}{\tau} = \frac{Ndt}{\tau}$	<b>0.4</b>	
<b>M17</b>	Это приводит к известному закону радиоактивного распада $dN \sim \frac{Ndt}{\tau}$	<b>0.4</b>	
<b>M18</b>	Вероятность наблюдения распада мюона либо со средним временем жизни $\tau_1$ , либо со средним временем жизни $\tau_2$ $p_{1,2} = \frac{dt}{\tau_1} + \frac{dt}{\tau_2} = \frac{dt}{\left(\frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}\right)} = \frac{dt}{\tau_{eff}}$	<b>0.4</b>	

**Схема оценивания Республиканской олимпиады по физике (2019)**  
**Теоретический тур, 11 класс**

Проверяющий:

Код участника:

<b>M19</b>	Окончательный результат:	<b>0.4</b>	
	$\Delta m_{\mu} c^2 \cdot \tau_{eff} \approx \hbar$ $\Delta m_{\mu} \approx \frac{\hbar(\tau_1 + \tau_2)}{\tau_1 \tau_2 c^2}$		

**2A. Фторид лития LiF [2.0 балла]**

<b>M20</b>	Определение плотности как	<b>0.3</b>	
	$\rho = \frac{M}{a^3}$		
<b>M21</b>	Суммарная масса, заключенная внутри одной элементарной ячейки:	<b>1.0</b>	
	$M = 4 \cdot \left(\frac{1}{8} m_{Li}\right) + 4 \cdot \left(\frac{1}{8} m_F\right) = \frac{(m_{Li} + m_F)}{2}$		
<b>M22</b>	Окончательный результат: $a = \sqrt[3]{\frac{\mu_{Li} + \mu_F}{2\rho N_A}} = 0.2 \cdot 10^{-9} m$	<b>0.7</b>	

**3B. Сульфид цинка ZnS [3.0 балла]**

<b>M23</b>	Определение плотности как:	<b>0.2</b>	
	$\rho = \frac{M}{a^3}$		
<b>M24</b>	Четыре молекулы серы, которые полностью находятся внутри этого куба:	<b>0.7</b>	
	$4 \cdot m_S$		
<b>M25</b>	Восемь молекул цинка в вершинах куба:	<b>0.7</b>	
	$8 \cdot \left(\frac{1}{8} m_{Zn}\right)$		
<b>M26</b>	Шесть молекул цинка по бокам куба:	<b>0.7</b>	
	$6 \cdot \left(\frac{1}{2} m_{Zn}\right)$		
<b>M27</b>	Суммарная масса внутри куба:	<b>0.2</b>	
	$M = 4 \cdot m_S + 8 \cdot \left(\frac{1}{8} m_{Zn}\right) + 6 \cdot \left(\frac{1}{2} m_{Zn}\right) = 4(m_S + m_{Zn})$		
<b>M28</b>	Окончательный ответ: $a = \sqrt[3]{\frac{4(\mu_S + \mu_{Zn})}{\rho N_A}} = 0.62 \text{ нм}$	<b>0.5</b>	

**3C. Фаграфен [3.0 балла]**

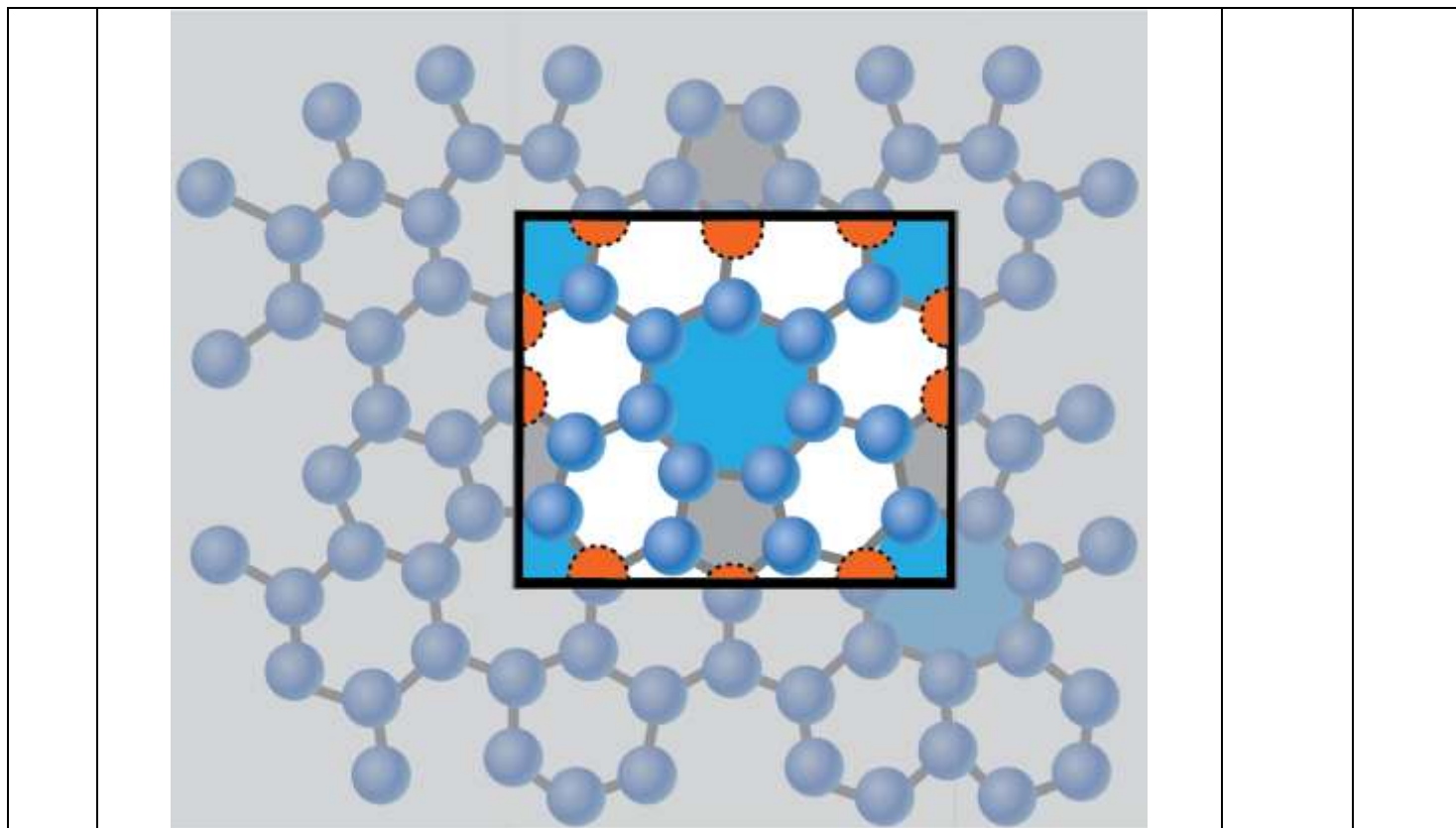
<b>M29</b>	Выделение элементарной повторяющейся ячейки:	<b>0.4</b>	
------------	--	------------	--



**Схема оценивания Республиканской олимпиады по физике (2019)**  
**Теоретический тур, 11 класс**

Проверяющий:

Код участника:



<b>М30</b>	Внутри выделенного прямоугольника заключены 15 целых атомов и 5 собранных из частей, т.е. суммарная масса $M$ , заключенная внутри элементарной повторяющейся ячейки равна $M = m \cdot (15 + 5) = 20m$	<b>0.7</b>	
<b>М31</b>	Элементарная ячейка содержит два семиугольника $2S_7$ (один по центру и один собранных из кусков)	<b>0.3</b>	
<b>М32</b>	Элементарная ячейка содержит два пятиугольника $2S_5$ (один целый и один собранный из двух симметричных половинок)	<b>0.3</b>	
<b>М33</b>	Элементарная ячейка содержит шесть шестиугольников $6S_6$ (четыре целых и два собранных из кусочков)	<b>0.3</b>	
<b>М34</b>	Окончательный ответ для площади элементарной ячейки $A = 2S_7 + 2S_5 + 6S_6$	<b>0.2</b>	
<b>М35</b>	Площадь $N$ -угольника с одинаковыми сторонами: $S_N = N \cdot S_{AOB} = N \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{l/2}{\tan(\frac{\varphi}{2})} = \frac{Nl^2}{4 \tan(\frac{\pi}{N})}$	<b>0.4</b>	
<b>М36</b>	Окончательный ответ для поверхностной плотности: $\sigma = \frac{M}{A} = \frac{40m}{l^2 \left( \frac{7}{\tan(\frac{\pi}{7})} + \frac{5}{\tan(\frac{\pi}{5})} + \frac{18}{\tan(\frac{\pi}{6})} \right)} = 0.67 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2$	<b>0.4</b>	

**Схема оценивания Республиканской олимпиады по физике (2019)**  
**Теоретический тур, 11 класс**

Проверяющий:

Код участника:

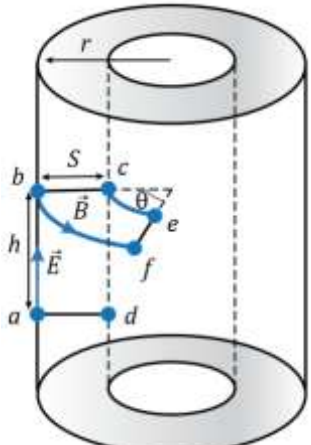
**3А. Бесконечный прямой провод**

<b>M37</b>	Окончательный ответ:	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$	<b>0.5</b>	
------------	----------------------	------------------------------	------------	--

**3В. Длинный соленоид**

<b>M38</b>	Окончательный ответ:	$B = \mu_0 I \cdot \frac{m}{x} = \mu_0 I \cdot \frac{N}{b}$	<b>0.5</b>	
------------	----------------------	---	------------	--

**3С. Скин-эффект**

<b>M39</b>	Закон Ома:	$U = IR; \Rightarrow Eh = I \cdot \frac{\rho h}{rs\theta}$	<b>0.5</b>	
<b>M40</b>	закон Фарадея для контура "abcd": $Eh = \frac{dB}{dt} \cdot sh$		<b>0.5</b>	
<b>M41</b>	Теорема Ампера о циркуляции магнитного поля вдоль замкнутого контура "bcef":	$\oint \vec{B} d\vec{l} = Br\theta = \mu\mu_0 I$	<b>1</b>	
<b>M42</b>	Приближение:	$\frac{\Delta I}{\Delta t} \approx \frac{I}{T} \sim I\omega$	<b>1</b>	

**Схема оценивания Республиканской олимпиады по физике (2019)**  
**Теоретический тур, 11 класс**

Проверяющий:

Код участника:

<b>M43</b>	Окончательный ответ:	<b>1</b>	
	$s \approx \sqrt{\frac{\rho}{\mu\mu_0\omega}} \approx 4.5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$		

**Колебания в бетатроне:**

<b>M44</b>	Теорема Ампера о циркуляции магнитного поля	<b>0.5</b>	
	$B_r(y) = \frac{B_y(r + \Delta r) - B_y(r)}{\Delta r} \cdot y = \frac{dB_y}{dr} \cdot y$		
<b>M45</b>	Дифференцирование уравнения вертикальной составляющей магнитного поля, его радиальная составляющая:	<b>0.5</b>	
	$ B_r(y)  = \frac{1}{2} \frac{B_0 \sqrt{R}}{r^{3/2}} \cdot y \approx \frac{1}{2} B_0 \cdot \frac{y}{R}$		
<b>M46</b>	Если электрон движется по круговой орбите с тангенциальной скоростью $v_t$ то из закона Ньютона для силы Лоренца справедливо следующее	<b>0.5</b>	
	$\frac{m_e v_t^2}{R} = e v_t B_0; \Rightarrow v_t = \frac{e B_0 R}{m_e}$		
<b>M47</b>	Колебания в вертикальной плоскости могут быть охарактеризованы как	<b>0.5</b>	
	$m_e \ddot{y} = -e v_t B_t$		
<b>M48</b>	Подставляя последние два уравнения, получим классическое уравнение гармонических колебаний:	<b>0.5</b>	
	$\ddot{y} + \frac{e^2 B_0^2}{2m_e^2} \cdot y = 0$		
<b>M49</b>	Окончательный ответ:	<b>0.5</b>	
	$T_y = \frac{2\pi}{\omega_y} = \frac{2\sqrt{2}\pi m_e}{e B_0}$		

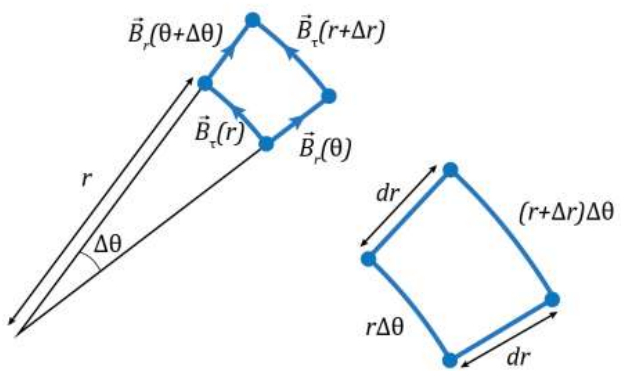
**3E. Соотношение компонент магнитного поля**

<b>M50</b>	Замкнутый контур вдоль основных осей полярной системы координат	<b>1</b>	
------------	---	----------	--

**Схема оценивания Республиканской олимпиады по физике (2019)**  
**Теоретический тур, 11 класс**

Проверяющий:

Код участника:

	 <p>или:</p> $\frac{B_r(\theta + \Delta\theta) - B_r(\theta)}{\Delta\theta} = \frac{B_\tau(r + \Delta r) \cdot (r + \Delta r) - B_\tau(r) \cdot r}{dr}$		
<b>M51</b>	<p>Преобразование:</p> $\frac{dB_r}{d\theta} = \frac{d(B_\tau r)}{dr}; \Rightarrow -\frac{2a \cos\theta \sin\theta}{r^5} = -\frac{4b \sin 2\theta}{r^5}$	<b>1</b>	
<b>M52</b>	<p>Окончательный ответ:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin: 10px auto;"> <math>\gamma = \frac{a}{b} = 4</math> </div>	<b>1</b>	