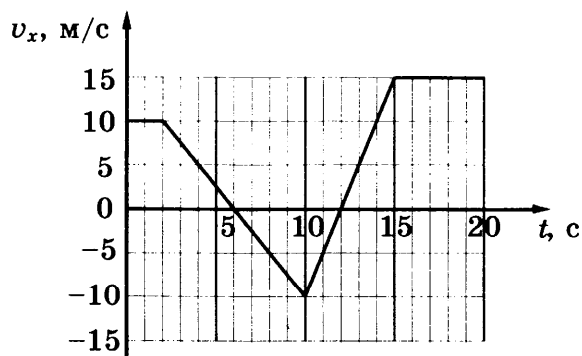


## РЕШЕНИЕ ВАРИАНТА 4

### Часть 1

1. На рисунке приведён график зависимости проекции скорости тела  $v_x$  от времени. Чему равна проекция ускорения этого тела  $a_x$  в интервале времени от 10 до 15 с?



*Решение:*

Проекцию ускорения тела на выделенную ось можно найти как отношение разности проекций скоростей тела на эту ось в конце и начале заданного промежутка времени к длительности промежутка:  $a_x = \frac{15 - (-10)}{5} = 5 \text{ м/с}^2$ .

*Ответ:* 5 м/с<sup>2</sup>.

2. У поверхности Земли на космонавта действует гравитационная сила 900 Н. Какая гравитационная сила действует со стороны Земли на того же космонавта в космическом корабле, который движется по круговой орбите на расстоянии двух радиусов Земли от земной поверхности?

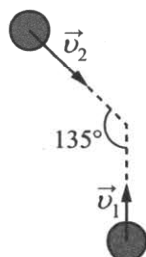
*Решение:*

Согласно закону всемирного тяготения, сила с которой Земля действует на космонавта, равна  $F = G \frac{Mm}{r^2}$ , где  $M$  — масса Земли,  $m$  — масса космонавта,  $G$  — гравитационная постоянная,  $r$  — расстояние от центра Земли до космонавта. Тогда у поверхности эта сила равна  $F_1 = G \frac{Mm}{R^2}$ , а на расстоянии двух радиусов от поверхности:

$$F_2 = G \frac{Mm}{(3R)^2} = \frac{F_1}{9} = 100 \text{ Н.}$$

*Ответ:* 100 Н.

3. Одинаковые шары массой 0,4 кг каждый движутся со скоростями, показанными на рисунке, и при столкновении слипаются. Чему будет равен суммарный импульс шаров после столкновения, если  $v_1 = 4 \text{ м/с}$ ,  $v_2 = \sqrt{2}v_1$ ?



*Решение:*

При столкновении шаров выполняется закон сохранения импульса:  $m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 = \vec{p}$ , где  $\vec{p}$  — импульс шаров после столкновения. Спроецируем это векторное равенство на вертикальную и горизонтальную ось:

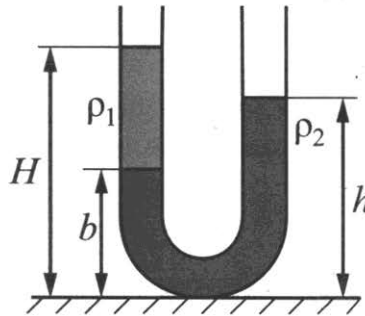
$$mv_1 - mv_2 \cos 45^\circ = p_y; \quad mv_2 \sin 45^\circ = p_x.$$

Учитывая связь между  $v_1$  и  $v_2$ , получим, что  $p_y = 0$ .

$$\text{Тогда } p = p_x = mv_2 \frac{\sqrt{2}}{2} = mv_1 = 1,6 \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

*Ответ:* 1,6 кг · м/с.

4. В широкую U-образную трубку, расположенную вертикально, налиты жидкости плотностью  $\rho_1$  и  $\rho_2$  (см. рисунок). Жидкости не смешиваются. На рисунке  $b = 15$  см,  $h = 30$  см,  $H = 35$  см. Чему равно отношение плотностей  $\frac{\rho_1}{\rho_2}$ ?



*Решение:*

На одном уровне в сообщающихся сосудах давление одинаково. На расстоянии  $b$  от пола давление в левом колене создаёт только жидкость плотностью  $\rho_1$ , а в правом — жидкость плотностью  $\rho_2$  (так как оба колена открытые, атмосферное давление можно не учитывать).

$$\text{Тогда: } \rho_1 g(H - b) = \rho_2 g(h - b). \text{ Получаем } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h - b}{H - b} = \frac{15}{20} = 0,75.$$

*Ответ:* 0,75.

5. Четыре тела одинаковой массы 100 г двигались вдоль оси  $Ox$ . В таблице представлена зависимость их координат от времени.

$t, \text{ с}$	0	1	2	3	4	5
$x_1, \text{ см}$	0	4	8	18	32	50
$x_2, \text{ см}$	2	2	2	2	2	2
$x_3, \text{ см}$	0	2	4	6	8	10
$x_4, \text{ см}$	0	2	0	-2	0	2

Выберите из предложенных утверждений **два**, которые верно отражают результаты этого опыта.

- 1) Первое тело двигалось равномерно.
- 2) Сумма сил, действующих на второе тело равна нулю.
- 3) Скорость третьего тела равна 2 м/с.
- 4) Период колебаний четвертого тела равен 2 с.
- 5) В момент времени 3 с кинетическая энергия третьего тела была равна 0,4 Дж.

*Решение:*

При равномерном движении за любые равные промежутки времени перемещение тела одинаковое, что не выполняется для первого тела — ответ 1 неверен.

Второе тело покоится, значит, сумма действующих на него сил равна нулю (согласно 2-му закону Ньютона) — это утверждение верное.

Тело 3 движется равномерно, и его скорость равна  $v = \frac{x(1) - x(0)}{1 - 0} = 2 \text{ м/с}$  — верный ответ.

Кинетическая энергия этого тела постоянна и равна  $E = \frac{mv^2}{2} = \frac{0,1 \cdot 4}{2} = 0,2 \text{ Дж}$  — ответ 5 неверен.

Тело 4 действительно колеблется, но движение полностью повторяется через 4 с, т.е.  $T = 4 \text{ с}$ .

**Ответ: 23 (или 32).**

6. Шарик, брошенный от поверхности земли вертикально вверх с начальной скоростью  $v_0$ , поднялся на высоту  $H$ , а затем упал обратно на землю. Что произойдет с ускорением шарика и его максимальной потенциальной энергией относительно земной поверхности, если уменьшить начальную скорость шарика в 2 раза? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

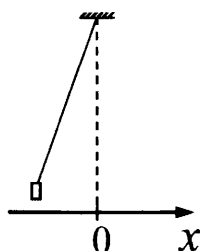
Ускорение шарика	Максимальная потенциальная энергия относительно земной поверхности

*Решение:*

Движение шарика в этом опыте является свободным падением и происходит с ускорением  $\vec{g}$ , которое постоянно вблизи поверхности земли и от скорости тела не зависит. При увеличении начальной скорости шарик поднимется на высоту  $H_1 > H$ . Так как потенциальная энергия шарика определяется его высотой  $h$  относительно земной поверхности и равна  $mgh$ , то она увеличится.

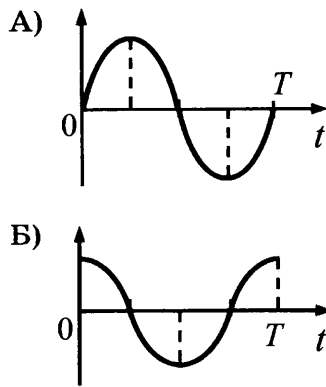
**Ответ: 32.**

7. Груз, привязанный к нити, отклонили от положения равновесия и отпустили из состояния покоя (см. рисунок). На графиках А и Б показано изменение физических величин, характеризующих движение груза после этого. Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять.



К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ГРАФИКИ**



**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- 1) кинетическая энергия  $E_k$
- 2) координата  $x$
- 3) проекция импульса  $p_x$
- 4) проекция ускорения  $a_x$

*Решение:*

Движение груза является гармоническим колебанием, при котором его координата, проекция скорости и ускорения на ось  $x$  меняются по законам  $\sin$  или  $\cos$ . Согласно рисунку, тело движется из положения, в котором его координата минимальна, значит, закон движения имеет вид:

$$x(t) = -A \cos(\omega t),$$

где  $A$  — амплитуда колебаний,  $\omega$  — циклическая частота. Оба представленных графика не соответствуют этому закону.

Проекцию скорости и ускорения на ось  $x$  можно найти следующим образом:

$$v_x(t) = x'(t) = A\omega \sin(\omega t)$$

$$a_x(t) = v_x'(t) = A\omega^2 \cos(\omega t).$$

Таким образом, график А соответствует зависимости от времени проекции скорости или импульса  $p_x = mv_x$ , а график Б — проекции ускорения  $a_x$ .

**Ответ: 34.**

8. Объём 1 моль водорода в сосуде при температуре  $T$  и давлении  $p$  равен 3 л. Чему равен объём 3 моль водорода при том же давлении и температуре  $2T$ ? (Водород считать идеальным газом.)

*Решение:*

Запишем уравнение Менделеева–Клапейрона для 1 моль водорода и для 3 моль водорода:  
 $pV = RT$ ;  $pV_1 = 3R \cdot 2T$ .

Поделив уравнения друг на друга, получим  $V_1 = 6V = 18$  л.

**Ответ: 18 л.**

9. Кусок металла с удельной теплоёмкостью 450 Дж / (кг · К) нагрели от 20 °С до 60 °С, затратив количество теплоты, равное 36 кДж. Чему равна масса этого куска металла?

*Решение:*

Количество теплоты, необходимое для нагревания вещества массой  $m$ , равно  $Q = cm\Delta t$ , где  $c$  — удельная теплоемкость вещества,  $\Delta t$  — изменение его температуры. Получим:

$$m = \frac{Q}{c\Delta t} = \frac{36000}{450 \cdot 40} = 2 \text{ кг.}$$

**Ответ: 2 кг.**

10. Газ в цилиндре расширился, совершив работу 150 Дж. Внутренняя энергия газа при этом уменьшилась на 30 Дж. Какое количество теплоты газ получил от окружающих тел?

*Решение:*

Согласно 1-му закону термодинамики  $Q = \Delta U + A$ , где  $Q$  — количество теплоты, полученное газом,  $\Delta U$  — изменение внутренней энергии газа,  $A$  — его работа. Подставляя числовые данные, получим  $Q = -30 + 150 = 120$  Дж.

*Ответ: 120 Дж.*

11. В жёстком закрытом сосуде находится влажный воздух при температуре 16 °С. Плотность водяных паров в сосуде равна  $1,155 \cdot 10^{-2}$  кг/м<sup>3</sup>. Воздух в сосуде нагревают до 25 °С. Пользуясь таблицей зависимости плотности насыщенных паров воды от температуры, выберите *два* верных утверждения о результатах этого опыта.

$t$ °С	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$\rho_{\text{нп}}, 10^{-2}$ кг/м <sup>3</sup>	1,36	1,45	1,54	1,63	1,73	1,83	1,94	2,06	2,18	2,30

- 1) При температуре 16 °С на стенках сосуда есть капельки росы.
- 2) Относительная влажность воздуха в сосуде при 18 °С равна 75%.
- 3) При увеличении температуры относительная влажность воздуха в сосуде уменьшается.
- 4) Давление в сосуде остаётся постоянным.
- 5) Плотность водяного пара в сосуде при нагревании увеличивается.

*Решение:*

Капли росы могут быть на стенках сосуда, только если пар насыщенный, так как при температуре 16 °С плотность пара меньше плотности насыщенного пара при этой температуре, значит, пар не насыщенный и росы нет.

По определению относительной влажности  $\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нп}}} \cdot 100\% = \frac{1,155}{1,54} \cdot 100\% = 75\%$  — ответ

верный.

При увеличении температуры плотность паров в сосуде не изменяется ( $m$  и  $V$  постоянны), а плотность насыщенных паров увеличивается — относительная влажность уменьшается, ответ верный.

При увеличении температуры в сосуде неизменного объема давление увеличивается — ответ неверен.

*Ответ: 23 (или 32).*

12. В ходе адиабатного процесса внутренняя энергия 1 моль разреженного гелия увеличивается. Как изменятся при этом температура гелия и его давление?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Температура гелия	Давление гелия

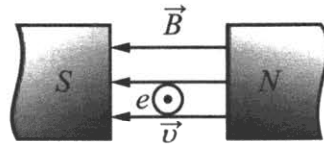
*Решение:*

Для одного моль идеального одноатомного газа внутренняя энергия равна  $U = \frac{3}{2} RT$ , то есть при увеличении внутренней энергии температура газа увеличивается.

При адиабатном процессе газ не обменивается теплом с окружающей средой. Тогда согласно 1-му закону термодинамики  $0 = \Delta U + A$ , где  $\Delta U$  — изменение внутренней энергии газа,  $A$  — его работа.  $\Delta U > 0$ , значит,  $A < 0$  и объём газа уменьшается, а давление увеличивается.

Ответ: 11.

13. Электрон  $e$  влетает в зазор между полюсами электромагнита со скоростью  $\vec{v}$ , направленной к наблюдателю перпендикулярно плоскости рисунка (см. рисунок, где кружок с точкой показывает направление движения электрона). Как направлена (*вправо, влево, вверх, вниз, к наблюдателю, от наблюдателя*) действующая на него сила Лоренца  $\vec{F}$ ? Ответ запишите словом (словами).



Решение:

Используя правило левой руки и учитывая, что заряд электрона отрицательный, получим направление силы Лоренца — вверх.

Ответ: **вверх**.

14. Заряженная пылинка массой  $m$  с зарядом  $q$  движется с ускорением  $a = 20 \text{ м/с}^2$  в однородном электрическом поле напряжённостью  $\vec{E}$ . Каково ускорение пылинки массой  $2m$  с зарядом  $3q$  в том же поле? (Силой тяжести, действующей на пылинку, пренебречь.)

Решение:

На пылинку в электрическом поле действует сила  $F = qE$ . Найдём её ускорение, используя 2-й закон Ньютона  $a = \frac{qE}{m}$ . Для второй пылинки  $a_1 = \frac{3qE}{2m} = \frac{3}{2}a = 30 \text{ м/с}^2$ .

Ответ: **30 м/с<sup>2</sup>**.

15. Индуктивность одного витка проволоки равна  $4 \cdot 10^{-3}$  Гн. При какой силе тока магнитный поток через поперечное сечение катушки, сделанной из 5 витков, равен 20 мВб?

Решение:

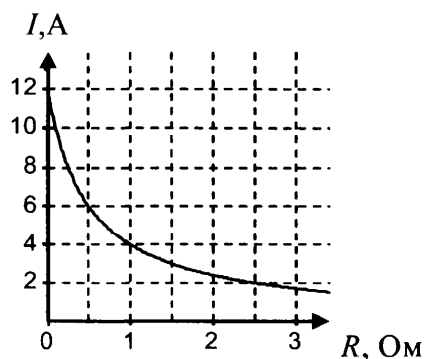
Магнитный поток через 1 виток равен  $\Phi = LI$ , через катушку из  $N$  витков  $\Phi_0 = NLI$ .

Тогда  $I = \frac{\Phi_0}{NL} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 1 \text{ А}$ .

Ответ: **1 А**.

16. К аккумулятору подключили реостат. На рисунке показан график изменения силы тока в реостате в зависимости от его сопротивления. Выберите из предложенных утверждений **два**, которые верно отражают результаты этого опыта.

- 1) Внутреннее сопротивление аккумулятора равно 0,5 Ом.
- 2) ЭДС аккумулятора равна 12 В.
- 3) Мощность, выделяемая в реостате, увеличивается при увеличении его сопротивления от 1 Ом до 2 Ом.
- 4) Напряжение на реостате при силе тока 2 А равно 5 В.
- 5) Напряжение на источнике не зависит от силы тока через реостат.



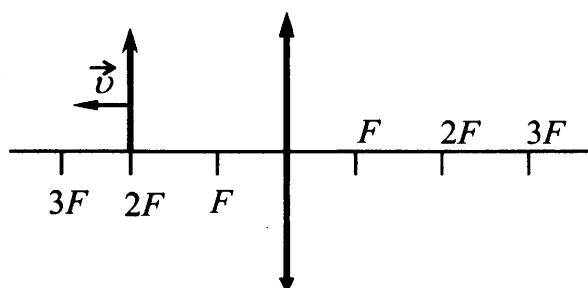
**Решение:**

По закону Ома для полной цепи  $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ , где  $\mathcal{E}$  — ЭДС источника,  $R$  — сопротивление внешней цепи (реостата),  $r$  — внутреннее сопротивление источника. Запишем этот закон для двух значений силы тока 4 А и 2 А (сопротивления реостата при этом равны 1 Ом и 2,5 Ом):  $4 \cdot 1 + 4r = \mathcal{E}$ ;  $2 \cdot 2,5 + 2r = \mathcal{E}$ . Из этих уравнений получаем  $r = 0,5$  Ом,  $\mathcal{E} = 6$  В. Ответ 1 верен, 2 — неверен.

Напряжение на реостате равно  $U = IR$ , при силе тока 2 А  $U = 5$  В. Ответ 4 — верный. Мощность, выделяемая в реостате, равна  $I^2R$  и уменьшается при увеличении его сопротивления от 1 Ом до 2 Ом. Напряжение на источнике равно напряжению на реостате и зависит от его сопротивления.

**Ответ:** 14 (или 41).

17. Предмет, расположенный на двойном фокусном расстоянии от тонкой собирающей линзы, передвигают к тройному фокусу (см. рисунок). Как изменятся при этом расстояние от линзы до изображения предмета и размер изображения?



Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Расстояние от линзы до изображения	Размер изображения

**Решение:**

Запишем формулу линзы:  $\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ ,  $F$  — фокусное расстояние линзы,  $a$  — расстояние от предмета до линзы,  $b$  — расстояние от линзы до изображения. Записав её для  $a_1 = 2F$  и  $a_2 = 3F$ , получим  $b_1 = 2F$ ,  $b_2 = 1,5 F$ . Расстояние от линзы до изображения уменьшилось. Размер изображения относится к размеру предмета так же, как  $b/a$ . Значит, размер изображения также уменьшился.

**Ответ:** 22.

18. Участок цепи постоянного тока содержит резистор. Установите соответствие между формулами для вычисления физических величин и названиями этих величин.

В формулах использованы обозначения:  $I$  — сила тока на участке цепи;  $U$  — напряжение на участке цепи,  $t$  — время протекания тока.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами. Сопротивлением контура пренебечь.

**ФОРМУЛЫ**

- А)  $IU$   
 Б)  $It$

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- 1) заряд, протекший через резистор  
 2) напряжение на резисторе  
 3) мощность тока, выделяющаяся на резисторе  
 4) сила тока через резистор

*Решение:*

Согласно определению силы тока, заряд, протекший через резистор за время  $t$ , равен  $q = It$ , согласно закону Ома для участка цепи, напряжение на этом участке равно  $U = IR$ , согласно закону Джоуля–Ленца, мощность тока, выделяющаяся на резисторе, равна  $I^2R = \frac{U^2}{R} = IU$ . Верные ответы 3 и 1.

*Ответ:* 31.

19. Ядро магния  ${}^{24}_{12}\text{Mg}$  захватило электрон. Определите число протонов и нейтронов в этом ядре, образовавшемся в результате такой реакции.

Число протонов	Число нейтронов
11	13

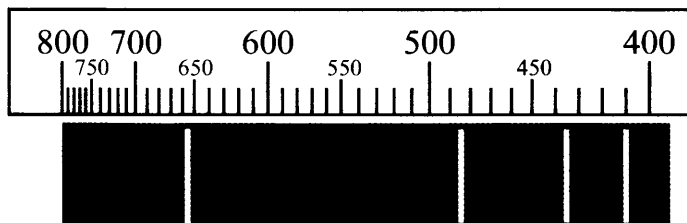
*Решение:*

Запишем описанную в условии ядерную реакцию, используя законы сохранения массового и зарядового числа:  ${}^{24}_{12}\text{Mg} + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^{24}_{11}\text{X}$ .

Получившееся ядро содержит 11 протонов и  $24 - 11 = 13$  нейтронов.

*Ответ:* 1113.

20. На рисунке представлен фрагмент спектра излучения атомарных паров водорода. Цифры на числовой оси — длины волн в нанометрах. Чему равна минимальная энергия фотонов на данном участке спектра?



*Решение:*

Энергия фотонов равна  $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ , где  $h$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света в вакууме,  $\lambda$  — длина волны. Энергия фотона минимальна для максимальной длины волны из рассматриваемого участка — 660 нм.

$$E = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{660 \cdot 10^{-9}} = 3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

*Ответ:*  $3 \cdot 10^{-19}$  Дж.

21. В ядерном реакторе цепочка ядерных реакций начинается с захвата ядром быстрого нейтрона. Как изменятся при захвате нейтрона следующие характеристики ядра: заряд ядра и число нуклонов в ядре?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась  
 2) уменьшилась  
 3) не изменилась



Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Заряд ядра	Число нуклонов в ядре

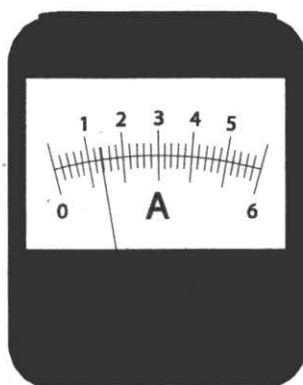
*Решение:*

Запишем описанную в условии ядерную реакцию, используя законы сохранения массового и зарядового числа:  ${}^A_ZX + {}^1_0n \rightarrow {}^{A+1}_ZY$ . Получившееся ядро  $Y$  имеет такой же заряд, что и ядро  $X$ , значит, количество протонов не изменилось. Массовое число увеличилось, количество нуклонов в ядре увеличилось.

*Ответ:* 31.

22. С помощью амперметра проводились измерения силы тока на участке цепи. Шкала амперметра проградуирована в А. Погрешность измерений силы тока равна половине цены деления шкалы амперметра.

Запишите в ответ величину силы тока в цепи с учётом погрешности измерений.



*Решение:*

Цена деления амперметра равна 0,2 А. Его показания равны  $(1,4 \pm 0,1)$  А.

*Ответ:* 1,40,1.

23. Необходимо собрать экспериментальную установку, с помощью которой можно определить ускорение тела, соскальзывающего с наклонной плоскости. Для этого школьник взял брусок и наклонную плоскость. Какие два предмета из приведённого ниже перечня оборудования необходимо дополнительно использовать для проведения этого эксперимента?

- 1) динамометр
- 2) пружина
- 3) секундомер
- 4) линейка
- 5) весы

В ответ запишите номера выбранных предметов.

*Решение:*

Согласно законам кинематики для определения ускорения тела, движущегося из состояния покоя, надо знать расстояние, которое оно прошло и время движения  $a = \frac{2S}{t^2}$ . Для определения этих величин нужны линейка и секундомер.

*Ответ:* 34 (или 43).

24. Рассмотрите таблицу, содержащую некоторые характеристики планет Солнечной системы. Размеры и параметры орбит даны в сравнении с планетой Земля.

Имя	Диаметр	Масса	Орбитальный радиус (а.е.)	Период обращения (земных лет)	Период вращения (земных суток)
Меркурий	0,38	0,06	0,39	0,24	58,6
Венера	0,95	0,82	0,72	0,62	243
Земля	1	1	1	1	1
Марс	0,53	0,11	1,5	1/9	1
Юпитер	11,2	318	5,2	11,9	0,41
Сатурн	9,5	95,2	9,5	29,5	0,43
Уран	4	14,6	19,2	84	0,72
Нептун	3,9	17,2	30,1	165	0,67

Выберите *два* утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

- 1) Средняя плотность Венеры меньше средней плотности Земли.
- 2) Центростремительное ускорение Юпитера при его вращении вокруг Солнца больше центростремительного ускорения Марса.
- 3) Первая космическая скорость для Нептуна меньше, чем для Урана.
- 4) Ускорение свободного падения на Меркурии составляет примерно  $1 \text{ м/с}^2$ .
- 5) Сила притяжения Сатурна к Солнцу больше, чем у Юпитера.

Решение:

1) Средняя плотность равна  $\rho = \frac{M}{V} = \frac{3M}{4\pi r^3}$ . Отношение средних плотностей Венеры и Земли равно  $\frac{\rho_{\text{В}}}{\rho_{\text{З}}} = \frac{M_{\text{В}}}{r_{\text{В}}^3} \cdot \frac{r_{\text{З}}^3}{M_{\text{З}}} = \frac{M_{\text{В}}}{d_{\text{В}}^3} \cdot \frac{d_{\text{З}}^3}{M_{\text{З}}} = \frac{0,82}{0,95^3} \cdot \frac{1}{1} \approx 0,956$ .

Следовательно, плотность Венеры меньше. Утверждение верное.

2) Центростремительное ускорение определяется из закона всемирного тяготения:

$Ma_{\text{ц}} = G \frac{MM_{\text{С}}}{R^2}$ , где  $M_{\text{С}}$  — масса Солнца. Отношение центростремительного ускорения

Юпитера к центростремительному ускорению Марса равно:  $\frac{a_{\text{цЮ}}}{a_{\text{цМ}}} = \frac{R_{\text{М}}^2}{R_{\text{Ю}}^2} = \frac{1,5^2}{5,2^2} \approx 0,083$ .

Таким образом, ускорение Юпитера меньше. Утверждение неверное.

3) Первая космическая скорость равна  $v = \sqrt{G \frac{M}{r}}$ . Сравнивая скорости для Нептуна и

Урана, получим:  $\frac{v_{\text{Н}}}{v_{\text{У}}} = \sqrt{\frac{M_{\text{Н}}}{r_{\text{Н}}}} \cdot \sqrt{\frac{r_{\text{У}}}{M_{\text{У}}}} = \sqrt{\frac{17,2 \cdot 4}{14,6 \cdot 3,9}} \approx 1,1$ . Первая космическая скорость для

Нептуна чуть больше, чем для Урана. Утверждение неверное.

4) Ускорение свободного падения равно  $g = G \frac{M}{r^2}$ . Тогда ускорение свободного падения на Меркурии определяется как:

$g_{\text{М}} = g_{\text{З}} \frac{M_{\text{М}}}{r_{\text{М}}^2} \cdot \frac{r_{\text{З}}^2}{M_{\text{З}}} = g_{\text{З}} \frac{M_{\text{М}}}{d_{\text{М}}^2} \cdot \frac{d_{\text{З}}^2}{M_{\text{З}}} = 10 \cdot \frac{0,11}{(2 \cdot 0,53)^2} \approx 0,99 \text{ м/с}^2 \approx 1 \text{ м/с}^2$ . Утверждение верное.

5) Сила притяжения планеты к Солнцу определяется, согласно закону всемирного тяго-

тения, как  $F = G \frac{M_{\text{С}}M}{R^2}$ . Тогда  $\frac{F_{\text{С}}}{F_{\text{Ю}}} = \frac{M_{\text{С}}}{R_{\text{С}}^2} \cdot \frac{R_{\text{Ю}}^2}{M_{\text{Ю}}} = \frac{M_{\text{С}}}{d_{\text{С}}^2} \cdot \frac{d_{\text{Ю}}^2}{M_{\text{Ю}}} = \frac{95,2 \cdot (11,2)^2}{318 \cdot (9,5)^2} \approx 0,42$ . Это оз-

начает, что сила притяжения Сатурна к Солнцу меньше, чем у Юпитера. Утверждение неверное.

Ответ: 14.

## Часть 2

25. Снаряд, летящий со скоростью 100 м/с, разрывается на два осколка. Один из осколков летит под углом  $90^\circ$  к первоначальному направлению, а второй — под углом  $60^\circ$ . Какова масса снаряда до разрыва, если второй осколок массой 1 кг имеет скорость 400 м/с? Массой взрывчатого вещества пренебречь.

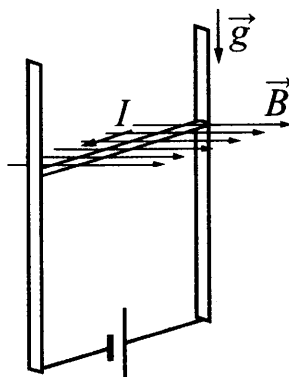
Решение:

Согласно закону сохранения импульса, импульс двух осколков в проекции на первоначальное направление снаряда должен сохраниться. Следовательно  $mv_0 = m_2v_2 \cos \alpha$ , где  $v_0 = 100$  м/с,  $v_2 = 400$  м/с,  $m_2 = 1$  кг.

Отсюда искомая масса снаряда равна:  $m = \frac{m_2 v_2 \cos \alpha}{v_0} = \frac{1 \cdot 400}{100 \cdot 2} = 2$  кг.

Ответ: 2 кг.

26. В однородном магнитном поле по вертикальным направляющим без трения скользит прямой горизонтальный проводник массой 0,2 кг, по которому течёт ток 2 А. Вектор магнитной индукции направлен горизонтально перпендикулярно проводнику (см. рисунок),  $B = 2$  Тл. Чему равна длина проводника, если известно, что ускорение проводника направлено вниз и равно  $2$  м/с<sup>2</sup>?



Решение:

На проводник с током действуют сила тяжести, направленная вниз, и сила Ампера, направленная вверх и равная  $F_A = IBl$ .

Уравнение движения проводника тяжести имеет следующий вид:

$$ma = mg - F_A = mg - IBl.$$

Отсюда искомая длина проводника равна:  $l = \frac{m(g - a)}{IB} = \frac{0,2 \cdot 8}{2 \cdot 2} = 0,4$  м

Ответ: 0,4 м.

27. Предмет расположен на горизонтальной главной оптической оси тонкой собирающей линзы. Оптическая сила линзы  $D = 5$  дптр. Изображение предмета действительное, увеличение (отношение высоты изображения предмета к высоте самого предмета)  $k = 2$ . Найдите расстояние от изображения предмета до линзы.

Решение:

Увеличение, даваемое тонкой собирающей линзой, равно:

$k = \frac{b}{a}$ , где  $a$  — расстояние от предмета до линзы,  $b$  — расстояние от изображения до линзы.

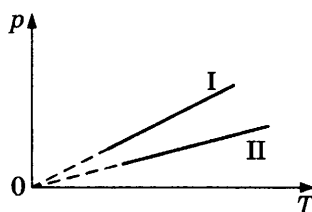
Согласно формуле тонкой линзы:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = D$ .

Отсюда получим:  $b = \frac{k+1}{D} = \frac{3}{5} = 0,6 \text{ м} = 60 \text{ см}$ .

Ответ: 60 см.

### Задания с развернутым ответом

28. Две порции одного и того же идеального газа нагреваются в сосудах одинакового объёма. Графики процессов представлены на рисунке. Почему изохора I лежит выше изохоры II? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



#### Возможное решение

Количество вещества в первой порции газа больше, чем во второй.

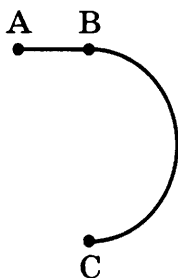
Для описания изохорного нагревания идеального газа используем уравнение Менделеева – Клапейрона:  $p = \frac{\nu RT}{V}$ , где  $\nu$  — число молей газа.

Отсюда следует, что при одинаковых температуре и объёме  $\frac{p_1}{p_2} = \frac{\nu_1}{\nu_2}$ .

Как следует из рисунка,  $p_1 > p_2$  (при одинаковых температуре и объёме).

Поэтому  $\nu_1 > \nu_2$ .

29. Стартуя из точки А (см. рисунок), спортсмен движется равноускоренно до точки В, после которой модуль скорости спортсмена остаётся постоянным вплоть до точки С. Во сколько раз время, затраченное спортсменом на участок ВС, больше, чем на участок АВ, если модуль ускорения на обоих участках одинаков? Траектория ВС — полуокружность.



#### Возможное решение

Ускорение на прямолинейном участке определяется по формуле  $a_1 = \frac{v}{t_1}$ , где  $v$  — скорость в точке В, а  $t_1$  — время движения по прямолинейному участку.

Ускорение при движении по дуге окружности есть центростремительное ускорение и определяется по формуле  $a_2 = \frac{v^2}{R}$ , где  $R$  — радиус полуокружности.

С учётом того что  $v = \frac{\pi R}{t_2}$ , получим  $a_2 = \frac{v\pi}{t_2}$ .

Приравнявая выражения для ускорений, получим  $\frac{v}{t_1} = \frac{v\pi}{t_2}$ ,

откуда для искомого отношения имеем  $\frac{t_2}{t_1} = \pi$ .

Ответ:  $\frac{t_2}{t_1} = \pi$ .

30. Два одинаковых теплоизолированных сосуда соединены короткой трубкой с краном. Объём каждого сосуда  $V = 1 \text{ м}^3$ . В первом сосуде находится  $\nu_1 = 1$  моль гелия при температуре  $T_1 = 400 \text{ К}$ ; во втором —  $\nu_2 = 3$  моль аргона при температуре  $T_2$ . Кран открывают. После установления равновесного состояния давление в сосудах  $p = 5,4 \text{ кПа}$ . Определите первоначальную температуру аргона  $T_2$ .

#### Возможное решение

Поскольку в указанном процессе газ не совершает работы и система является теплоизолированной, то в соответствии с первым законом термодинамики суммарная внутренняя энергия газов сохраняется:

$$\frac{3}{2} \nu_1 RT_1 + \frac{3}{2} \nu_2 RT_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) RT,$$

где  $T$  — температура в объединённом сосуде в равновесном состоянии после открытия крана.

В соответствии с уравнением Клапейрона—Менделеева для конечного состояния можно записать:

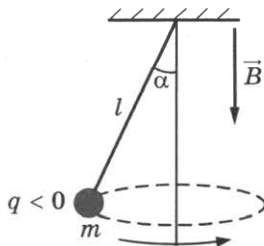
$$p(2V) = (\nu_1 + \nu_2) RT.$$

Исключая из двух записанных уравнений конечную температуру  $T$ , получаем искомое выражение для начальной температуры аргона:

$$T_2 = \frac{2Vp}{\nu_2 R} - \frac{\nu_1}{\nu_2} T_1 = \frac{2 \cdot 1 \cdot 5,4 \cdot 10^3}{3 \cdot 8,31} - \frac{1}{3} \cdot 400 \approx 300 \text{ К}.$$

Ответ:  $T_2 \approx 300 \text{ К}$ .

31. В однородном магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$ , направленной вертикально вниз, равномерно вращается по окружности в горизонтальной плоскости против часовой стрелки отрицательно заряженный шарик массой  $m$ , подвешенный на нити длиной  $l$  (конический маятник). Угол отклонения нити от вертикали равен  $\alpha$ , скорость вращения шарика равна  $v$ . Найдите заряд шарика  $q$ . Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шарик.



*Возможное решение*

На шарик действуют три силы: сила тяжести, сила натяжения нити и сила Лоренца (см. рисунок). Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси координат инерциальной системы отсчёта, связанной с Землёй:

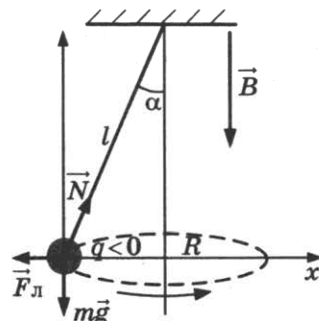
$$\begin{cases} N \sin \alpha - qvB = \frac{mv^2}{R} \\ N \cos \alpha - mg = 0 \end{cases}$$

Выражая  $N$ , получим:  $mg \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{mv^2}{R} + qvB$ .

Так как  $R = l \sin \alpha$ , получим ответ:

$$q = \frac{m}{B} \left( \frac{g}{v} \operatorname{tg} \alpha - \frac{v}{l \sin \alpha} \right).$$

Ответ:  $q = \frac{m}{B} \left( \frac{g}{v} \operatorname{tg} \alpha - \frac{v}{l \sin \alpha} \right).$



32. Фотокатод с работой выхода  $4,42 \cdot 10^{-19}$  Дж освещается монохроматическим светом. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией  $4 \cdot 10^{-4}$  Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля и движутся по окружностям. Максимальный радиус такой окружности 10 мм. Какова частота  $\nu$  падающего света?

*Возможное решение*

Электрон в магнитном поле движется по окружности радиусом  $R$  со скоростью  $v$  и центростремительным ускорением  $a = \frac{v^2}{R}$ .

Ускорение вызывается силой Лоренца ( $F = evB$ ) в соответствии со вторым законом Ньютона:  $ma = F$ , или  $m \frac{v^2}{R} = evB \Rightarrow v = \frac{eBR}{m}$ .

Для определения максимальной скорости движения электрона воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта:  $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$

Подставляя в это уравнение скорость электрона, получим выражение для частоты света:

$$\nu = \frac{A}{h} + \frac{(eBR)^2}{2mh} = \frac{4,42 \cdot 10^{-19}}{6,6 \cdot 10^{-34}} + \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-2})^2}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34}} \approx 10^{15} \text{ Гц.}$$

Ответ:  $\nu \approx 1 \cdot 10^{15}$  Гц.