

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Уральский государственный университет путей сообщения  
Кафедра «Естественнонаучные дисциплины»

Л. А. Фишбейн  
И. В. Поленц

Федеральный интернет-экзамен по физике  
в сфере профессионального образования  
(ФЭПО)

Сборник задач  
для студентов-бакалавров всех направлений  
подготовки и форм обучения

Екатеринбург  
УрГУПС  
2017

УДК 531  
ББК 39.18  
Ф68

**Фишбейн, Л. А.**

Ф68      Федеральный интернет-экзамен по физике в сфере профессионального образования (ФЭПО) / Л. А. Фишбейн, И. В. Поленц. – Екатеринбург : УрГУПС, 2017. – 34, [2] с.

Сборник задач предназначен для подготовки к интернет-экзамену по физике в сфере профессионального образования (ФЭПО). Рассмотрена структура и содержание ПИМ (педагогические измерительные материалы), а также дана система оценок результатов тестирования по этим материалам. Приведен теоретический и тестовый материал (с решениями) в той части, где он отличается от ПИМ для интернет-тренажеров по физике.

УДК 531  
ББК 39.18

*Издано по решению  
редакционно-издательского совета университета*

*Авторы:*      Л. А. Фишбейн, профессор кафедры «Естественнонаучные дисциплины», канд. физ.-мат. наук, УрГУПС  
                    И. В. Поленц, доцент кафедры «Строительная механика»,  
                    канд. техн. наук, УрФУ

*Рецензент:* В. П. Суетин, доцент кафедры «Естественнонаучные дисциплины», канд. физ.-мат. наук, УрГУПС

## Оглавление

Модель педагогических измерительных материалов (ПИМ) для сдачи ФЭПО.....	4
Элементы механики сплошных сред.....	10
Тесты и решения .....	15
Элементы физической кинетики.....	18
Тесты и решения .....	21
Кейс–задания.....	22

# Модель педагогических измерительных материалов (ПИМ) для сдачи ФЭПО

## Структура ПИМ

Бакалавр по направлению подготовки готовится к решению профессиональных задач в соответствии с видами профессиональной деятельности, обозначенными в ФГОС (Федеральный государственный образовательный стандарт). По каждому виду профессиональной деятельности в ФГОС определен перечень профессиональных компетенций выпускника.

В ФИЭБ (Федеральный интернет-экзамен для выпускников бакалавриата) для направлений подготовки бакалавриата используются ПИМ, с помощью которых оцениваются результаты освоения ООП (Основная образовательная программа) студентом на соответствие требованиям ФГОС, а также делается вывод о готовности к решению профессиональных задач и уровне сформированности профессиональных компетенций.

В рамках ФЭПО (Федеральный интернет-экзамен в сфере профессионального образования) используется уровневая модель ПИМ, представленная в трех взаимосвязанных блоках.

*Первый блок* — задания на уровне «знать», в которых очевиден способ решения, усвоенный студентом при изучении дисциплины. Задания этого блока выявляют в основном только знания по дисциплине и оцениваются по шкале «правильно-неправильно».

*Второй блок* — задания на уровне «знать» и «уметь», в которых нет явного указания на способ выполнения, и студент для их решения самостоятельно выбирает один из изученных способов. Задания данного блока позволяют оценить не только знания по дисциплине, но и умения пользоваться ими при решении стандартных, типовых задач. Результаты выполнения этого блока оцениваются с учетом частично правильно выполненных заданий.

*Третий блок* — задания на уровне «знать», «уметь», «владеть». Он представлен кейс-заданиями, содержание которых предполагает использование комплекса умений и навыков, для того чтобы студент мог самостоятельно сконструировать способ решения, комбинируя известные

ему способы и привлекая знания из разных дисциплин. Кейс-задание представляет собой учебное задание, состоящее из описания реальной практической ситуации и совокупности сформулированных к ней вопросов. Выполнение студентом кейс-заданий требует решения поставленной проблемы (ситуации) в целом и проявления умения анализировать конкретную информацию, проследить причинно-следственные связи, выделять ключевые проблемы и методы их решения. В отличие от первых двух блоков задания третьего блока носят интегральный характер и позволяют формировать нетрадиционный способ мышления.

Решение студентами подобного рода нестандартных практико-ориентированных заданий свидетельствует о степени влияния процесса изучения дисциплины на формирование у студентов общекультурных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС.

## Содержание ПИМ

### Блок 1. Темы

(Если конструировать темы, то сумма баллов должна быть не менее 14).

№ темы	Название	Баллы
1	Кинематика. Динамика	1
2	Момент импульса. Динамика вращательного движения	1
3	Энергия	1
4	Элементы механики сплошных сред	1
5	Релятивистская механика	1
6	Молекулярно-кинетическая теория	1
7	Феноменологическая термодинамика	1
8	Элементы физической кинетики	1
9	Электростатика. Проводники и диэлектрики в электрическом поле	1
10	Постоянный электрический ток	1
11	Магнитостатика. Электромагнитная индукция	1
12	Магнитное поле в веществе. Уравнения Максвелла	1
13	Гармонические колебания	1
14	Волны	1
15	Интерференция волн. Дифракция волн	1
16	Поляризация волн. Поглощение и дисперсия волн	1
17	Квантовые свойства электромагнитного излучения	1
18	Экспериментальные данные о структуре атомов	1
19	Элементы квантовой механики	1

№ темы	Название	Баллы
20	Квантово-механическое описание атомов. Оптические квантовые генераторы	1
21	Элементы квантовой микрофизики	1
22	Элементарные частицы	1

## Блок 2. Модули

(Если конструировать модули, то сумма баллов должна быть **не менее 16**).

№ модуля	Название	Баллы
1	Момент импульса. Динамика вращательного движения	2
2	Энергия	2
3	Релятивистская механика	2
4	Молекулярно-кинетическая теория	2
5	Второе начало термодинамики. Циклы	2
6	Магнитостатика	2
7	Электромагнитная индукция	2
8	Магнитное поле в веществе. Уравнения Максвелла	2
9	Гармонические колебания	2
10	Волны	2
11	Дифракция волн	2
12	Квантовые свойства электромагнитного излучения	2
13	Элементы квантовой механики	2
14	Элементарные частицы	2

## Блок 3. Кейс-задания

(Сумма баллов 20).

### Кейс 1 (Механика)

1.1	Подзадача 1	2
1.2	Подзадача 2	2
1.3	Подзадача 3	3

### Кейс 2 (Молекулярная физика)

2.1	Подзадача 1	2
2.2	Подзадача 2	2
2.3	Подзадача 3	2

### Кейс 3 (Электричество)

3.1	Подзадача 1	3
3.2	Подзадача 2	1
3.3	Подзадача 3	3

Примечание: одно кейс-задание может объединять несколько модулей.  
Сумма в баллах при конструировании –  $14 + 16 + 20 = 50$ .

### Список литературы, рекомендованный для подготовки к сдаче экзамена

1. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики : для студентов техн. вузов / В. С. Волькенштейн. – 3-е изд. испр. и доп. – СПб. : Книжный мир, 2004. – 327 с.
2. Детлаф А. А. Курс физики : учеб. пособие для вузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – 4-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2002. – 717, [1] с.
3. Курс физики : учеб. пособие для вузов по техн. специальностям и направлениям. В 2 т. Т. 1 / В. В. Арсентьев [и др.]; под ред. В. Н. Лозовского. – 6-е изд., испр. и доп. – СПб. : Лань, 2009. – 572 с.
4. Курс физики : учеб. пособие для вузов по техн. специальностям и направлениям. В 2 т. Т. 2 / В. В. Арсентьев [и др.]; под ред. В. Н. Лозовского. – 6-е изд., испр. и доп. – СПб. : Лань, 2009. – 600 с.
5. Савельев И. В. Курс общей физики : учеб. пособие для студентов вузов по техн. (550000) и технол. (650000) направлениям. В 3 т. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика / И. В. Савельев. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2007. – 498 с.
6. Савельев И. В. Курс общей физики : учеб. пособие для студентов вузов по техн. (550000) и технол. (650000) направлениям. В 3 т. Т. 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – 9-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2008. – 317 с.
7. Савельев И. В. Курс общей физики : учеб. пособие для студентов вузов по техн. (550000) и технол. (650000) направлениям. В 3 т. Т. 1. Механика. Молекулярная физика / И. В. Савельев. – 10-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2008. – 432 с.
8. Трофимова Т. И. Краткий курс физики с примерами решения задач: учеб. пособие / Т. И. Трофимова. – М. : КноРус, 2007. – 279 с.
9. Трофимова Т. И. Курс физики : учеб. пособие для инж.-техн. специальностей вузов / Т. И. Трофимова. – 17-е изд., стер. – М. :

- Academia, 2008. – 557, [1] с. – (Высшее профессиональное образование).
10. Трофимова Т. И. Курс физики. Задачи и решения : учеб. пособие для студентов вузов / Т. И. Трофимова, А. В. Фирсов. – М. : Academia, 2004. – 590 с. – (Высшее профессиональное образование).
  11. Чертов А. Г. Задачник по физике : учеб. пособие для вузов / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – 8-е изд., перераб. и доп. – М. : Физматлит, 2006. – 640 с.

## Оценка ПИМ

В рамках ФЭПО используется модель оценки результатов обучения, в основу которой положена методология В. П. Беспалько.

Объект оценки	Показатель оценки результатов обучения студента	Уровни обученности
Студент	Менее 70% баллов за задания каждого из блоков 1, 2 и 3	Первый
	<b>Не менее 70% баллов за задания блока 1 и меньше 70% баллов за задания каждого из блоков 2 и 3</b> или Не менее 70% баллов за задания блока 2 и меньше 70% баллов за задания каждого из блоков 1 и 3 или Не менее 70% баллов за задания блока 3 и меньше 70% баллов за задания каждого из блоков 1 и 2	Второй
	<b>Не менее 70% баллов за задания каждого из блоков 1 и 2 и меньше 70% баллов за задания блока 3</b> или <b>Не менее 70% баллов за задания каждого из блоков 1 и 3 и меньше 70% баллов за задания блока 2</b> или <b>Не менее 70% баллов за задания каждого из блоков 2 и 3 и меньше 70% баллов за задания блока 1</b>	Третий
	<b>Не менее 70% баллов за задания каждого из блоков 1, 2 и 3</b>	Четвертый

Предложенные показатели оценки результатов обучения позволяют сделать выводы об уровне обученности каждого отдельного студента и дать ему рекомендации для дальнейшего успешного продвижения в обучении. Данная модель, являясь **студентоцентрированной**, позволяет сфокусировать внимание на результатах каждого отдельного студента. Показатели и критерии оценки результатов обучения для студента и для выборки студентов направления подготовки (специальности) на основе предложенной модели представлены в таблице:

Объект оценки	Показатель оценки результатов обучения	Критерий оценки результатов обучения
Студент	Достигнутый уровень результатов обучения	Уровень обученности <b>не ниже второго</b>
<b>Выборка студентов направления подготовки (специальности)</b>	Процент студентов на уровне обученности не ниже второго	60% студентов на уровне обученности <b>не ниже второго</b>

Отличие структуры ПИМ для ФЭПО от структуры ПИМ для интернет-тренажеров заключается в наличии дополнительных тем: 4 (Элементы механики сплошных сред), 8 (Элементы физической кинетики) Блока 1 и Кейс-задания Блока 3.

## Элементы механики сплошных сред

**Деформацией** называется происходящее под действием внешних сил изменение взаимного расположения точек твердого тела, которое приводит к изменению его формы и размеров.

**Деформация называется упругой**, если после прекращения действия внешних сил восстанавливаются прежние форма и размеры тела, и неупругой в противоположном случае.

**Нормальное напряжение**  $\sigma$  стержня определяется как модуль силы  $F_{\perp}$ , приходящийся на единицу площади поперечного сечения стержня, при условии, что упругая сила распределена равномерно по сечению

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{S},$$

где значок  $\perp$  указывает на то, что сила перпендикулярна к площадке, на которую она действует,  $S$  — площадь поперечного сечения.

Закон Гука для малых упругих деформаций пружины (удлинение пружины  $x$  пропорционально внешней силе  $F$ )

$$x = \frac{F}{k},$$

где  $k$  — жесткость пружины, которая зависит не только от материала, но и от геометрии самой пружины.

**Абсолютное удлинение** стержня  $\Delta l$  равно

$$\Delta l = l - l_0,$$

где  $l_0$  — длина недеформированного стержня,  $l$  — длина деформированного стержня.

**Относительное удлинение** стержня  $\varepsilon$  равно

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0},$$

где  $l_0$  — длина недеформированного стержня,  $\Delta l$  — абсолютное удлинение стержня.

**Закон Гука** для малых упругих деформаций однородного стержня

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma,$$

где  $\varepsilon$  — относительное удлинение;  $E$  — модуль Юнга;  $\sigma$  — нормальное напряжение. Модуль Юнга  $E$  зависит только от упругих свойств материала стержня.

Если в каком-либо месте упругой среды возникла деформация, то по прекращению внешних воздействий она не остается на месте, а распространяется в среде во всех направлениях. В таких случаях говорят о распространении в среде **упругих возмущений**, или **волн**. Например, **звуковые волны** в твердых телах, жидкостях и газах.

**Продольными** называются возмущения (волны), в которых частицы среды смещаются вдоль направления распространения возмущения.

**Поперечными** называются возмущения (волны), в которых частицы среды смещаются перпендикулярно к направлению распространения возмущения.

В газах распространяются только **продольные** возмущения (волны), в жидкости распространяются **продольные** (в объеме среды) и поперечные (только на поверхности). В **твердом теле** — и **продольные** и **поперечные**.

**Световые** волны всегда **поперечны**.

**Скорость** распространения **звука** в идеальных газах

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}},$$

где  $\gamma$  — показатель адиабаты для газа:  $5/3$  для одноатомных газов,  $7/5$  для двухатомных и воздуха,  $\mu$  — молярная масса,  $R$  — газовая постоянная,  $T$  — температура.

## Механика жидкостей и газов

**Идеальная жидкость** — жидкость, у которой отсутствует внутреннее трение.

**Несжимаемая жидкость** — жидкость, для которой плотность не меняется при изменении давления.

**Стационарное течение жидкости** — течение, при котором скорость жидкости в любой точке пространства, через которую она протекает, не меняется со временем. При этом в разных точках пространства скорости в общем случае разные.

**Статическое давление жидкости**  $P$  на дно и стенки сосуда равно

$$P = \frac{F}{S},$$

где  $F$  – сила, действующая на поверхность, площадью  $S$ . В равновесии сила всегда перпендикулярна поверхности.

Гидростатическое давление  $P$  столба жидкости на глубине  $h$  равно

$$P = \rho gh,$$

где  $\rho$  – плотность жидкости.

**Закон Архимеда**

$$F = \rho gV,$$

где  $F$  – выталкивающая сила,  $V$  – объем жидкости (газа), вытесненной телом.

**Формула Торричелли**, позволяющая определить скорость истечения жидкости  $v$  из малого отверстия в открытом широком сосуде

$$v = \sqrt{2gh},$$

где  $h$  – глубина, на которой находится отверстие относительно уровня жидкости в открытом сосуде.

**Уравнение неразрывности** для несжимаемой жидкости

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \text{ или } Sv = \text{const},$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения,  $v$  – скорость тока в сечении.

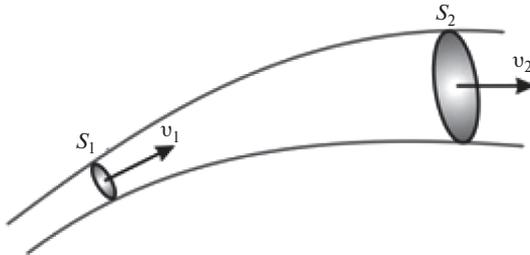


Рис. 1

**Уравнение Бернулли для стационарного течения несжимаемой жидкости**

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = \text{const},$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;  $h$  – высота, на которой расположено сечение;  $v$  – скорость тока в сечении,  $P$  – статическое давление для определенного сечения,  $\rho v^2/2$  – динамическое и  $\rho gh$  – гидростатическое давление жидкости.

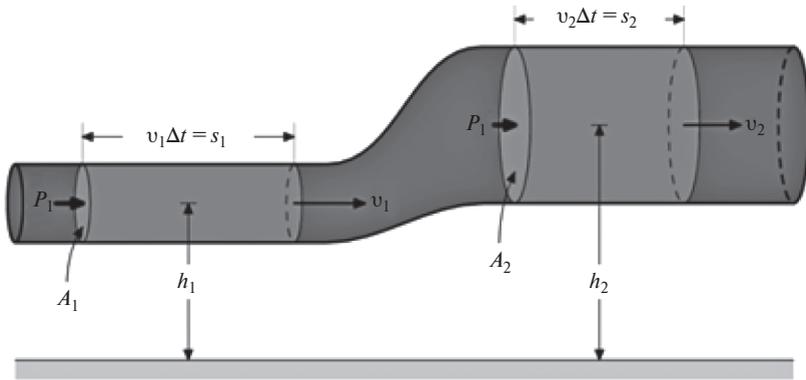


Рис. 2

**Подъемная сила крыла самолета:** профиль крыла самолета имеет такую форму, что скорость обтекающего потока воздуха относительно крыла внизу меньше, а сверху больше:  $v_2 > v_1$ . Поэтому давление над крылом меньше, чем под крылом:  $P_1 > P_2$ . Это приводит к избыточной силе  $\vec{F}$ , которую можно разложить на две составляющие: подъемную силу  $\vec{F}_n$  и силу сопротивления  $\vec{R}$ .

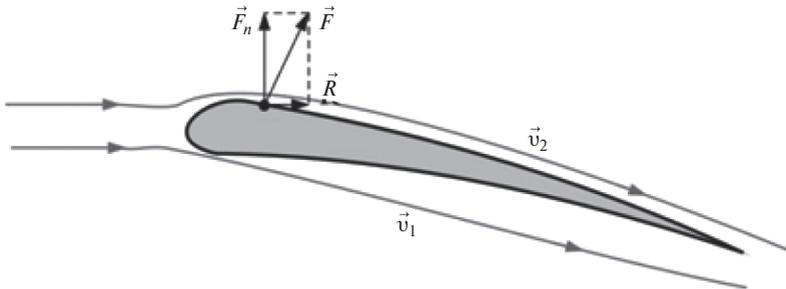


Рис. 3

**Формула Стокса**, позволяющая определить силу сопротивления, действующую на медленно движущийся в вязкой среде шарик

$$F = 6\pi\eta r v,$$

где  $r$  – радиус шарика;  $v$  – скорость шарика;  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости (см. далее).

**Ламинарное (слоистое) течение жидкости и газа** – течение, при котором, например в трубе, частицы движутся вдоль прямолинейных траекторий, параллельных оси трубы. Слои жидкости (газа) при этом не перемешиваются.

**Турбулентное течение жидкости и газа** – течение, при котором частицы совершают нерегулярные, неустановившиеся движения по сложной траектории, что приводит к интенсивному перемешиванию между слоями жидкости (газа).

**Постоянная (число) Рейнольдса  $Re$**  определяет относительную роль инерции и вязкости жидкости при течении и позволяет определить характер ее движения (ламинарный или турбулентный)

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta},$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;  $v$  – средняя скорость тока;  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости (см. далее);  $d$  – характерный линейный размер, например диаметр трубы. При больших числах основную роль играет инерция (турбулентное движение). При малых – вязкость (ламинарное). Таким образом, при возрастании скорости движение переходит от ламинарного к турбулентному.

**Формула Пуазейля**, позволяющая определить объем  $V$  жидкости, протекающий за время  $t$  через трубку длиной  $l$ , при ламинарном стационарном течении несжимающейся жидкости

$$V = \pi R^4 \Delta P t / 8\eta l,$$

где  $R$  – радиус трубки;  $\Delta P$  – разность давлений на концах трубки;  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости (см. далее).

## Тесты и решения

1. Рассматривается деформация тела. Неверным является утверждение:

– при упругой деформации удлинение пружины пропорционально внешней силе (закон Гука)

$$x = \frac{1}{k} F_{\text{внеш}},$$

– жесткость  $k$  пружины зависит только от ее материала,

– деформацией называется происходящее под действием внешних сил изменение взаимного расположения точек твердого тела, которое приводит к изменению его формы и размеров,

– деформация называется упругой, если после прекращения действия внешних сил восстанавливаются прежние форма и размеры тела.

2. Для однородного стержня закон Гука записывается следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma,$$

где  $\varepsilon$  – относительное приращение длины стержня,  $E$  – модуль Юнга,  $\sigma$  – нормальное напряжение. Неверным является утверждение, что.....:

– нормальное напряжение определяется как модуль силы, приходящийся на единицу площади поперечного сечения стержня, при условии, что упругая сила распределена равномерно по сечению

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{S},$$

где значок  $\perp$  указывает на то, что сила перпендикулярна к площадке, на которую она действует,

– относительное приращение длины стержня – это отношение длины деформированного стержня к его длине в недеформированном состоянии,

– модуль Юнга характеризует упругие свойства материала стержня.

3. Продольными волнами являются:

– световые волны в вакууме,

– волны, распространяющиеся вдоль струн музыкальных инструментов,

– волны на поверхности воды,

– звуковые волны в органических трубах.

4. Упругие поперечные волны могут распространяться в..... средах:

- любых,
- жидких,
- твердых,
- газообразных.

5. При одной и той же температуре распространяется звук в различных газах: кислороде, азоте, воздухе. Верным является утверждение, что скорость распространения звука....

- наибольшая в кислороде,
- не зависит от рода газа,
- наименьшая в воздухе,
- наибольшая в азоте.

### Решение

Кислород и азот – двухатомные газы. Поэтому у них и у воздуха один и тот же коэффициент  $\gamma$ . Тогда скорость звука при одной и той же температуре

$$v \sim \sqrt{\frac{1}{\mu}},$$

т. е. чем меньше молярная масса, тем больше скорость. Кислород  $O_2 \mu = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль, воздух  $\mu = 29 \cdot 10^{-3}$  кг/моль, азот  $N_2 \mu = 28 \cdot 10^{-3}$  кг/моль. Следовательно, наибольшая скорость – в азоте.

6. Идеальной называется жидкость:

- плотность которой равна нулю,
- для которой выполняются законы Паскаля и Архимеда,
- у которой полностью отсутствует внутреннее трение,
- плотность которой всюду одинакова и изменяться не может.

7. В уравнении Бернулли слагаемое  $(1/2)\rho v^2$ , где  $\rho$  – плотность жидкости, а  $v$  – скорость ее течения, называется .....давлением:

- статическим,
- динамическим,
- полным,
- гидростатическим.

8. Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости при ее стационарном течении имеет вид:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = \text{const},$$

$$\rho gh = \text{const},$$

$$\rho Vg = \text{const},$$

$$Sv = \text{const}.$$

## Элементы физической кинетики

### Явления переноса

Нарушение равновесия приводит к самопроизвольному переносу из одних мест среды в другие либо **вещества**, либо **энергии**, либо **импульса**.

**Потоком** какой-либо величины (массы, энергии, импульса) называется количество этой величины, проходящее в единицу времени через какую-либо площадь воображаемой поверхности.

**Стационарные потоки** — потоки, не меняющиеся со временем.

**Средняя длина свободного пробега** — это среднее расстояние (обозначаемое  $\langle \lambda \rangle$ ), которое частица пролетает за время свободного пробега от одного столкновения до следующего. Длина свободного пробега каждой молекулы различна, поэтому вводится понятие средней длины пробега.

### Диффузия. Закон Фика

Когда в смеси газов концентрация какого-либо газа распределена неравномерно, то возникает перенос молекул этого газа (т. е. **вещества**) в места с меньшей концентрацией. Такой процесс называется **диффузией**.

Если в сосуде находится только один газ с неодинаковой концентрацией по объему сосуда, то происходит диффузия молекул газа в среде того же самого газа.

Рассмотрим случай одномерной диффузии, предположив, что плотность (концентрация) газа изменяется, например только в направлении оси  $x$ .

### Закон Фика

$$dm = -D \frac{dc}{dx} dS dt,$$

где  $dm$  — масса газа, переносимого за время  $dt$  через площадку  $dS$ , расположенную перпендикулярно оси  $x$ ,  $dc/dx$  — градиент плотности газа, характеризующий изменения концентрации газа в пространстве на единицу длины,  $D$  — коэффициент диффузии. Знак «—» в законе Фика указывает на то, что перенос массы происходит в направлении убывания плотности. Введем  $j_m$  — плотность потока массы (масса газа, переносимого за единицу времени через единицу площади). Тогда закон Фика имеет следующий вид:

$$j_m = \frac{dm}{dS dt},$$

$$j_m = -D \frac{dc}{dx}.$$

Коэффициент диффузии  $D$ , имеющий размерность м<sup>2</sup>/с, равен

$$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle \lambda \rangle,$$

где  $\langle \lambda \rangle$  – средняя длина свободного пробега,  $\langle v \rangle$  – средняя скорость молекулы.

### **Внутреннее трение. Закон Ньютона**

В ламинарном (слоевом) потоке жидкости (газа) молекулы участвуют одновременно в двух движениях: хаотическом тепловом движении и упорядоченном движении со скоростью тока, намного меньшей скорости теплового движения.

При столкновениях молекул разных слоев, в направлении перпендикулярном направлению упорядоченного движения (тока), будет происходить перенос упорядоченного (направленного) импульса.

**Закон Ньютона (сила внутреннего трения  $F$ , действующая между слоями жидкости или газа)**

$$F = \eta \left| \frac{dv}{dx} \right| S,$$

где  $S$  – площадь соприкасающихся слоев;  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости,  $dv/dx$  – градиент скорости, численно равный изменению скорости потока на единице длины в направлении оси  $x$ , перпендикулярном направлению движения (тока) слоев.

**Коэффициент динамической вязкости  $\eta$** , имеющий размерность Па /с, равен

$$\eta = \frac{1}{3} m_0 n \langle v \rangle \langle \lambda \rangle,$$

где  $\langle \lambda \rangle$  – средняя длина свободного пробега,  $\langle v \rangle$  – средняя скорость молекулы,  $m_0$  – масса молекулы,  $n$  – концентрация молекул.

### **Теплопроводность. Закон Фурье**

Если в некоторой газовой среде вдоль, например, оси  $x$  возникнет градиент температуры  $dT/dx$ , то в газе возникнет вдоль этой оси перенос тепла (**энергии**) от более нагретого слоя к менее нагретому.

## Закон Фурье

$$dq = -\chi \frac{dT}{dx} dS dt,$$

где  $dq$  – количество тепла, переносимое за время  $dt$  через площадку  $dS$ ,  $\chi$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств среды и называемый теплопроводностью. Знак «–» в законе Фурье указывает на то, что перенос тепла (энергии) происходит в направлении убывания температуры. Введем  $j_q$  – плотность потока тепла (количество тепла, переносимое за единицу времени через единицу площади). Тогда закон Фурье имеет следующий вид:

$$j_q = \frac{dq}{dS dt},$$

$$j_q = -\chi \frac{dT}{dx}.$$

**Коэффициент теплопроводности  $\chi$** , имеющий размерность Вт / м · К, равен

$$\chi = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle \lambda \rangle C_v,$$

где  $\langle \lambda \rangle$  – средняя длина свободного пробега,  $\langle v \rangle$  – средняя скорость молекулы,  $C_v$  – удельная теплоемкость газа при постоянном объеме (количество тепла, необходимое для нагревания 1 кг газа на 1 К при постоянном объеме).

## Тесты и решения

1. Явление диффузии имеет место при наличии градиента:
  - *концентрации*,
  - электрического заряда,
  - температуры,
  - скорости слоев жидкости или газа.
2. Теплопроводность имеет место при наличии градиента:
  - концентрации,
  - электрического заряда,
  - *температуры*,
  - скорости слоев жидкости или газа.
3. Внутреннее трение имеет место при наличии градиента:
  - концентрации,
  - электрического заряда,
  - температуры,
  - *скорости слоев жидкости или газа*.
4. В процессе диффузии происходит перенос:
  - *вещества*,
  - электрического заряда,
  - энергии,
  - импульса.
5. В процессе теплопроводность происходит перенос:
  - вещества,
  - электрического заряда,
  - *энергии*,
  - импульса.
6. Явление внутреннего трения характеризует перенос:
  - массы,
  - электрического заряда,
  - энергии,
  - *импульса направленного движения*.

## Кейс–задания

### Механика

1. Через блок, массой которого можно пренебречь, перекинута невесомая нерастяжимая нить. К концам нити подвешены грузы одинаковой массы (машина Атвуда). Если к правому грузу добавить перегрузок № 2 то, на пути 0,3 м грузы будут двигаться с ускорением.... (рис. 4)

#### Решение

Так как силы, действующие на тела, не меняются в процессе движения, и тела в начале движения находятся в покое, то движение тел – равноускоренное без начальной скорости. Тогда

$$S = \frac{at^2}{2}$$

и

$$a = \frac{2S}{t^2}.$$

#### Действие

Необходимо (рис. 5) мышкой взять (навести стрелку и нажать левую клавишу) и перетащить (не отпуская левую клавишу) упор, оставив груз в положении 30 см (отпустить левую клавишу). Далее мышкой взять перегрузок № 2 (перегрузки на столике нумеруются слева направо) и поставить его на верхний груз (в область вознивающего пульсирующего кольца) (рис. 6). При наведении стрелки и нажатии левой клавишей мышки на кнопке «Пуск» таймера система тел приходит в движение, и таймер показывает время движения тел  $t$  до остановки груза и перегрузка на упоре (рис. 7).

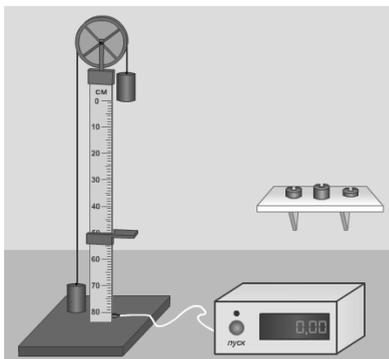


Рис. 4

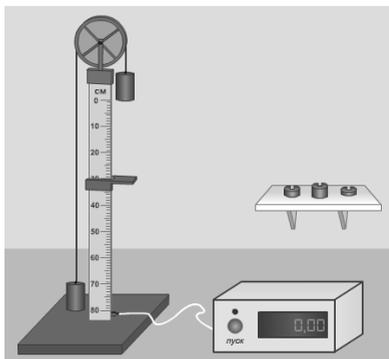


Рис. 5

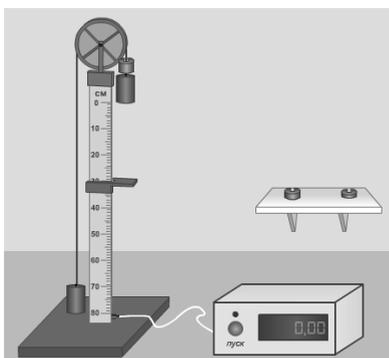


Рис. 6

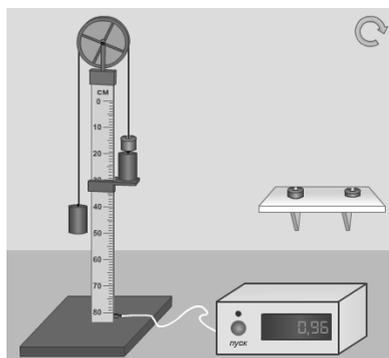


Рис. 7

### Расчет

В результате данного эксперимента таймер показывает время 0,96 с. Тогда

$$a = \frac{2 \cdot 0,3}{0,96^2} = 0,65 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

**Примечание.** Величина ускорения не зависит от того, где мы установим упор. Но значение времени на прохождении пути в 0,3 м понадобится в дальнейшем. В задании могут быть указаны другие перегрузки и другое положение упора.

### Варианты ответов

0,33 0,65 0,66 0,21

2. Через блок, массой которого можно пренебречь, перекинута невесомая нерастяжимая нить. К концам нити подвешены грузы одинаковой массы (машина Атвуда). Если к правому грузу добавить перегрузок № 2 то, в конце пути 0,3 м грузы будут иметь скорость....

### Решение

Так как силы, действующие на тела, не меняются в процессе движения и тела в начале движения находятся в покое, то движение тел — равноускоренное без начальной скорости. Следовательно,

$$v = at, a = \frac{2S}{t^2}$$

или

$$v = \frac{2S}{t}.$$

### Расчет

Подставляем данные эксперимента с перегрузком № 2, путь  $S = 0,3$  м и время  $t = 0,96$  с

$$v = \frac{2S}{t} = \frac{2 \cdot 0,3}{0,96} = 0,63 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

или рассчитанное ранее ускорение  $a = 0,65 \text{ м/с}^2$  и время  $t = 0,96$  с,

$$v = at = 0,65 \cdot 0,96 = 0,63 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

### Варианты ответов

0,36 0,71 0,63 0,25

3а. Через блок, массой которого можно пренебречь, перекинута невесомая нерастяжимая нить. К концам нити подвешены грузы одинаковой массы (машина Атвуда). Если к правому грузу добавить перегрузок № 2, то система придет в движение. При массе перегрузка  $m = 7$  масса большего груза  $M$  равна....

### Решение

Запишем второй закон Ньютона для груза и груза с перегрузком в векторном виде и спроектируем все векторы на направление соответствующего ускорения.

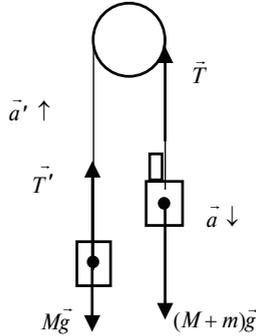


Рис. 8

Груз массой  $M$  движется вверх с ускорением  $\vec{a}'$

$$M\vec{a}' = \vec{T}' + M\vec{g}.$$

Проектируют векторное уравнение на ось, направленную вертикально вверх. Получаем

$$Ma' = T' - Mg.$$

Груз с перегрузком массой  $M + m$  движется вниз с ускорением  $\vec{a}$

$$(M + m)\vec{a} = (M + m)\vec{g} + \vec{T}.$$

Проектируют векторное уравнение на ось, направленную вертикально вниз. Получаем

$$(M + m)a = (M + m)g - T.$$

Здесь  $T, T'$  – силы, приложенные к грузам со стороны нити.

Так как нить и блок невесомы, то

$$T' = T.$$

Так как нить нерастяжима, то

$$a' = a.$$

Тогда имеем

$$Ma = T - Mg,$$

$$(M + m)a = (M + m)g - T.$$

Сложим два уравнения.

$$(2M + m)a = mg$$

Выразим массу  $M$

$$M = \frac{g - a}{2a} m.$$

### Расчет

Так как эксперимент был с перегрузком № 2, то  $a = 0,65 \text{ м/с}^2$  (если нет, то надо снова проводить эксперимент по определению ускорения) и

$$M = \frac{g - a}{2a} m = \frac{9,8 - 0,65}{2 \cdot 0,65} 7 \cdot 10^{-3} = 0,050 \text{ кг.}$$

### Варианты ответов

0,050 0,075 0,100 0,25

3б. Через блок, массой которого можно пренебречь, перекинута невесомая нерастяжимая нить. К концам нити подвешены грузы одинаковой массы (машина Атвуда). Если к правому грузу добавить перегрузок № 2, то система придет в движение. Если масса перегрузка  $m = 7 \text{ г}$ , а масса большего груза  $M = 50$ , то сила натяжения нити при движении будет равна.... Н.

### Решение

Используем уравнения Ньютона в модульном виде

$$Ma = T - Mg,$$

$$(M + m)a = (M + m)g - T.$$

Поделим первое уравнение на второе

$$\frac{Ma}{(M + m)a} = \frac{T - Mg}{(M + m)g - T}.$$

Сократим на  $a$ , приведем к общему знаменателю и отбросим его

$$(M + m)Mg - MT = (M + m)T - (M + m)Mg.$$

Оставим в правой части только слагаемые, связанные с  $T$

$$2(M + m)Mg = (M + m)T + MT$$

Тогда

$$T = 2Mg \frac{M + m}{2M + m}.$$

### Расчет

$$T = 2 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \frac{50 \cdot 10^{-3} + 7 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3} + 7 \cdot 10^{-3}} = \frac{57}{107} = 0,53 \text{ Н.}$$

**Примечание.** Так как, видимо, первый эксперимент был проведен именно с этими грузами и перегрузком, то  $a = 0,65 \text{ м/с}^2$  и  $Ma = T - Mg$ .

Следовательно,

$$T = M(g + a) = 50 \cdot 10^{-3}(10 + 0,65) = 0,53 \text{ Н.}$$

### Варианты ответов

0.33 0.21 0.53 0.66

Зв. Через блок, массой которого можно пренебречь, перекинута невесомая нерастяжимая нить. К концам нити подвешены грузы одинаковой массы (машина Атвуда). Если к правому грузу добавить перегрузок № 2, то система придет в движение. Если правый груз пройдет расстояние 30 см, то система будет иметь кинетическую энергию ..... Дж при массе перегрузка  $m = 7 \text{ г}$  и массе большего груза  $M = 50 \text{ г}$ .

### Решение

Считаем, что первый эксперимент был сделан именно с этими грузами и перегрузком. Так как нить нерастяжима, то все тела движутся с одинаковыми скоростями. Тогда

$$E_k = \frac{2M + m}{2} v^2 = \frac{2 \cdot 0,05 + 0,007}{2} 0,63^2 = \frac{0,107}{2} 0,40 = 0,021 \text{ Дж.}$$

### Варианты ответов

0,041 0,022 0,057 0,082

### Законы постоянного тока

1. Для изучения законов постоянного тока предложены схема и набор резисторов с неизвестными сопротивлениями. Внутренним сопротивлением источника тока, сопротивлением подводящих

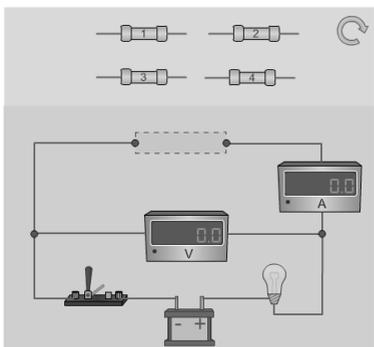


Рис. 9

резистор №....

### Решение

Для однородного участка цепи справедлив закон Ома

$$R = \frac{U}{I}.$$

### Действие

Если нажать мышкой на нужном резисторе и переместить его (не отпуская левую клавишу мыши) в указанное на рисунке место (отпустить клавишу), а потом щелкнуть мышкой по ключу и замкнуть цепь, то амперметр и вольтметр покажут ток, текущий через резистор, и напряжение на нем (рис.10, 11).

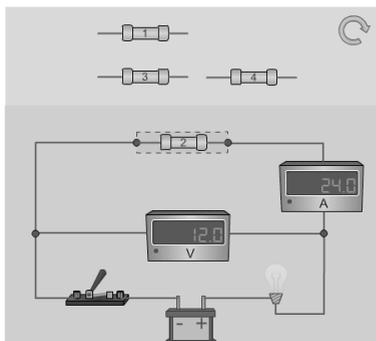


Рис.10

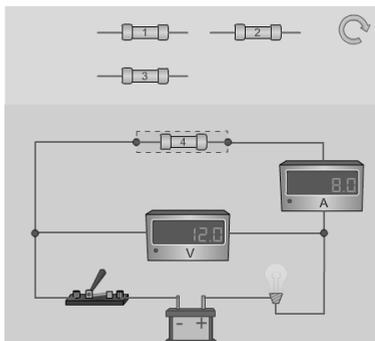


Рис. 11

проводов и лампочки можно пренебречь. Измерительные приборы амперметр и вольтметр считать идеальными (рис. 9).

Сопротивление резистора № 4 в ..... раз больше сопротивления резистора № 2, или

– на сколько.... сопротивление резистора № 4 больше сопротивления резистора № 2, или

– сопротивление резистора № 4 (№ 2) равно.... или

– сопротивление 1,5 Ом имеет

### Расчет

Рассчитаем по закону Ома сопротивление резисторов:

для № 4:  $I = 8 \text{ A}$ ,  $U = 12 \text{ В}$ ,  $R_4 = 12 / 8 = 1,5 \text{ Ом}$ .

№ 2:  $I = 24 \text{ A}$ ,  $U = 12 \text{ В}$ ,  $R_2 = 12 / 24 = 0,5 \text{ Ом}$ .

№ 3:  $I = 3 \text{ A}$ ,  $U = 12 \text{ В}$ ,  $R_3 = 12 / 4 = 4 \text{ Ом}$ .

№ 1:  $I = 6 \text{ A}$ ,  $U = 12 \text{ В}$ ,  $R_1 = 12 / 6 = 2 \text{ Ом}$ .

$$R_4 / R_2 = \frac{1,5}{0,5} = 3,$$

$$R_4 - R_2 = 1,5 - 0,5 = 1 \text{ Ом}.$$

2. Для изучения законов постоянного тока предложены схема и набор резисторов с неизвестными сопротивлениями. Внутренним сопротивлением источника тока, сопротивлением подводящих проводов и лампочки можно пренебречь. Измерительные приборы амперметр и вольтметр считать идеальными.

При замене резистора № 2 на резистор № 3 мощность, выделяемая в цепи, уменьшится в ..... раз (делим большее на меньшее), или — при замене резистора № 2 на резистор № 3 мощность, выделяемая в цепи, уменьшится на.....(вычитаем из большего меньшее), или — выделившаяся на этом (предыдущее задание) резисторе мощность равна.....

### Решение

Мощность сил тока (мощность тока), выделяемая в цепи, определяется по формуле

$$P = IU = I^2 R = U^2 / R.$$

Если у вас уже измерены силы тока, текущего через резисторы, или их сопротивления, то подставляйте их значения в формулу. Если нет, то сначала их надо измерить. Напряжение на всех резисторах одно и то же и задается батареей (12 В).

Если в....., то делим

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{I_2 U}{I_3 U} = \frac{I_2}{I_3} \text{ или } \frac{P_2}{P_3} = \frac{U^2 R_3}{R_2 U^2} = \frac{R_3}{R_2}.$$

Тогда

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{I_2}{I_3} = \frac{24}{3} = 8 \text{ или } \frac{P_2}{P_3} = \frac{R_3}{R_2} = \frac{4}{0,5} = 8.$$

Если на ....., то вычитаем

$$P_2 - P_3 = I_2 U - I_3 U = 24 \cdot 12 - 3 \cdot 12 = 288 - 36 = 252 \text{ Вт},$$

Если мощность, выделившаяся на резисторе, и этот резистор № 4, то

$$P_4 = I_4 U = 8 \cdot 12 = 96 \text{ Вт}.$$

3. Для изучения законов постоянного тока предложены схема и набор резисторов с неизвестными сопротивлениями. Внутренним сопротивлением источника тока, сопротивлением подводящих проводов и лампочки можно пренебречь. Измерительные приборы амперметр и вольтметр считать идеальными.

При замене резистора № 2 на резистор № 3 количество теплоты, выделяемое за 1 с на сопротивлении, уменьшится в ..... раз, или – при замене резистора № 2 на резистор № 3 количество теплоты, выделяемое за 1 с на сопротивлении, уменьшится на ..... Дж, или – количество теплоты, выделившееся на этом (предыдущее задание) резисторе за 5 с, равно.....

### Решение

По закону Джоуля- Ленца вся электрическая мощность переходит в тепловую. Так как ток в цепи постоянный, то

$$Q = A = Pt,$$

где  $Q$  – количество тепла,  $A$  и  $P$  – работа и мощность тока,  $t$  – время.

Если в....., то делим (см. данные предыдущего задания)

$$\frac{Q_2}{Q_3} = \frac{P_2 t}{P_3 t} = \frac{P_2}{P_3} = \frac{24}{3} = 8.$$

Если на..., то вычитаем

$$Q_2 - Q_3 = P_2 t - P_3 t = (P_2 - P_3) t = (24 - 3) \cdot 1 = 21 \text{ Дж}.$$

Если количество теплоты, выделившееся на этом (предыдущее задание) резисторе за 5 с, и этот резистор № 4, то

$$Q_4 = P_4 t = I_4 U t = 8 \cdot 12 \cdot 5 = 480 \text{ Дж}.$$

## Термодинамика

1. Установка для изучения законов термодинамики состоит из цилиндрического сосуда с поршнем,двигающимся без трения, и приборов для измерения давления, и температуры. Заполните сосуд гелием в объеме 2 л. Если считать газ идеальным, то под поршнем находится примерно ..... моль гелия (рис.12).

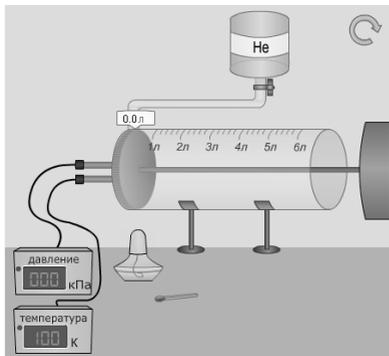


Рис. 12

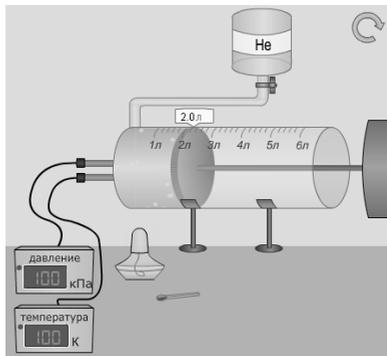


Рис. 13

### Решение

По закону Менделеева-Клайперона

$$PV = \nu RT$$

или

$$\nu = \frac{PV}{RT},$$

где  $V = 2 \text{ л} = 2 \text{ дм}^3 = 0,002 \text{ м}^3$ ,  $T = 10 \text{ К}$  (по термометру),  $R = 8,31 \text{ Дж/К} \cdot \text{ моль}$

— газовая постоянная.

### Действие

В результате поворота крана (щелканья по нему мышкой) в сосуд поступает то количество газа, которое указано в условиях (2 л). Манометр показывает  $P = 100 \text{ кПа}$ . Температура  $T = 100 \text{ К}$  (рис. 13).

## Расчет

$$\nu = \frac{PV}{RT} = \frac{10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 10^2} = \frac{2}{8,31} = 0,24 \text{ (моля)}.$$

## Варианты ответов

8,31 12,03 0,24 0,83

2а. Установка для изучения законов термодинамики состоит из цилиндрического сосуда с поршнем,двигающимся без трения, и приборов для измерения давления, и температуры. Нагревая газ гелий, доведем его объем до 6 л. При этом происходит ..... процесс (рис. 14).

## Действие

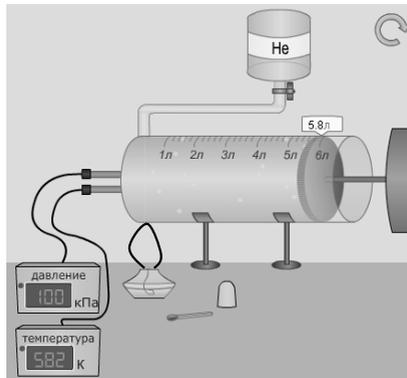


Рис. 14

Открываем кран. Заполняется 2 л. Манометр показывает 100 кПа, термометр 100 К. Мышкой снимаем колпачок со спиртовки (перетаскиваем в сторону). Берем спичку (она вспыхивает) и перетаскиваем к верхней части спиртовки (она начинает гореть). Происходит нагрев сосуда. Температура и, как следствие, объем газа растут, а давление не меняется. Когда объем подходит к 6 л, берем колпачок и перетаскиваем его к спиртовке. Спиртовка гаснет. Газ остывает и сжимается, показывая текущий объем и температуру (на термометре).

## Решение

Если давление не меняется, то это изобарический процесс.

### Варианты ответов

- *изобарический*
- *изохорический*
- *изотермический*
- *адиабатический*

3а. Установка для изучения законов термодинамики состоит из цилиндрического сосуда с поршнем,двигающимся без трения, и приборов для измерения давления, и температуры. В ходе этого (предыдущее задание) процесса газ совершил работу равную.....Дж.

### Решение

Так как процесс изобарический, то

$$A = P \cdot V = P(V_2 - V_1),$$

где  $P = 10^5$  Па,  $V_2 = 6 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>,  $V_1 = 2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>. Тогда

$$A = 10^5 (6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) = 4 \cdot 10^2 = 400 \text{ Дж.}$$

### Варианты ответов

200 110 400 300

2б. Установка для изучения законов термодинамики состоит из цилиндрического сосуда с поршнем,двигающимся без трения, и приборов для измерения давления, и температуры. Нагревая газ гелий, доведем его объем до 6 л. При этом происходит ..... процесс (рис. 15).

### Действие

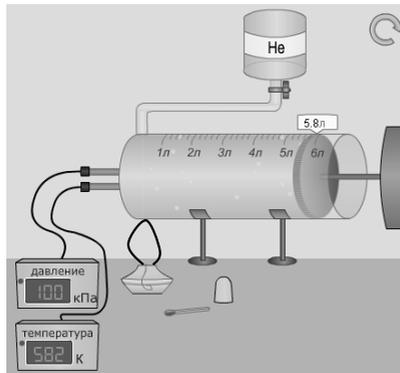


Рис. 15

Открываем кран. Заполняется 2 л. Манометр показывает 100 кПа, термометр 100 К. Мышкой снимаем колпачок со спиртовки. Берем спичку (она вспыхивает) и подносим к верхней части спиртовки (она начинает гореть).

Происходит рост давления в сосуде, а температура не меняется. Когда объем подходит к 6 л, берем колпачок и подносим его к спиртовке. Спиртовка гаснет. Газ остывает и сжимается, показывая текущий объем и давление (на манометре).

### **Решение**

Если температура не меняется, то это изотермический процесс.

Варианты ответов

- изобарический
- изохорический
- *изотермический*
- адиабатический

36. Установка для изучения законов термодинамики состоит из цилиндрического сосуда с поршнем,двигающимся без трения, и приборов для измерения давления, и температуры. В ходе этого (предыдущее задание) процесса гелий получил 110 Дж теплоты, следовательно, внутренняя энергия газа изменилась на....Дж.

### **Решение**

Первый закон термодинамики

$$Q = \Delta U + A,$$

где  $Q$  – количество тепла (теплоты) переданное газу,  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии газа,  $A$  – работа газа над внешними телами (поршнем).

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T,$$

где  $i$  – число степеней свободы молекулы (от 3 до 8). Так как процесс изотермический, то

$$\Delta T = 0 \text{ и } \Delta U = 0.$$

### **Варианты ответов**

310 110 200 0

*Учебное издание*

**Фишбейн Лев Абрамович**  
**Поленц Ирина Васильевна**

**Федеральный интернет-экзамен по физике  
в сфере профессионального образования (ФЭПО)**

Сборник задач  
для студентов-бакалавров всех направлений  
подготовки и форм обучения

Редактор *С. В. Пилюгина*  
Верстка *Н. А. Журавлевой*

Подписано в печать 14.03.2017. Формат 60×84 1/16.  
Усл. печ. л. 2.1. Тираж 60 экз. Заказ 11.

УрГУПС  
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66