

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Модель педагогических измерительных материалов (ПИМ) для сдачи ФЭПО .....	4
Элементы механики сплошных сред.....	9
Тесты с решениями.....	13
Элементы физической кинетики.....	15
Тесты с решениями.....	17
Кейс-задания.....	19

# 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
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 втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – 4-е изд., испр. – М. : Высш. школа, 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 втузов / Т. И. Трофимова, А. В. Фирсов. – М. : Academia, 2004. – 590 с. – (Высшее профессиональное образование).
11. Чертов А. Г. Задачник по физике: учеб. пособие для втузов / 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
	Не менее 70% баллов за задания блока 1 и меньше 70% баллов за задания каждого из блоков 2 и 3 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
	Не менее 70% баллов за задания каждого из блоков 1 и 2 и меньше 70% баллов за задания блока 3 или Не менее 70% баллов за задания каждого из блоков 1 и 3 и меньше 70% баллов за задания блока 2 или Не менее 70% баллов за задания каждого из блоков 2 и 3 и меньше 70% баллов за задания блока 1	Третий
	Не менее 70% баллов за задания каждого из блоков 1, 2 и 3	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 не ниже второго
Выборка студентов направления подготовки (специальности)	Процент студентов на уровне обученности не ниже второго	60% студентов на уровне обученности не ниже второго

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 происходящая 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

$$F = \rho g V,$$

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.

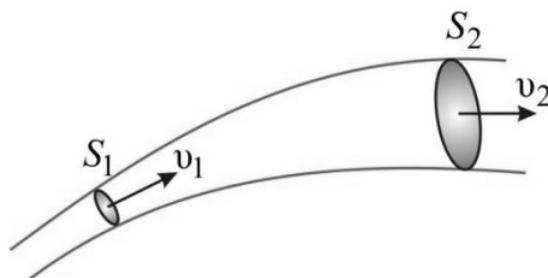


Рис.1. Уравнение неразрывности

**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.

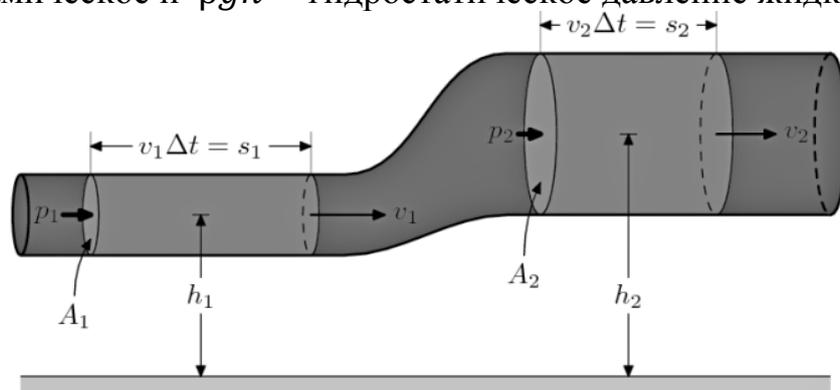


Рис. 2. Уравнение Бернулли

**Подъемная сила крыла самолета:** профиль крыла самолета имеет такую форму, что скорость обтекающего потока воздуха относительно крыла внизу меньше, а вверху 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  $\vec{R}$ .

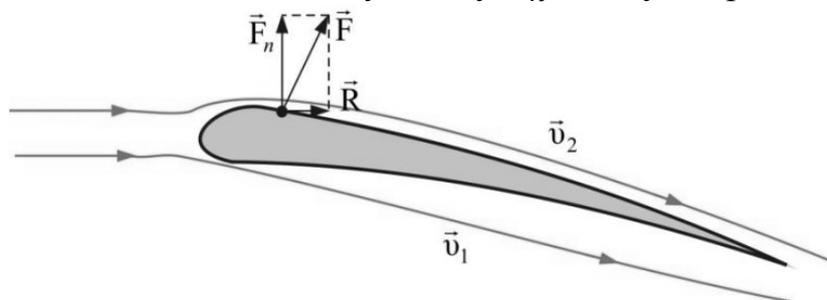


Рис. 3. Подъемная сила крыла

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

$$F = 6\pi\eta rv,$$

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)

$$Re = \frac{\rho vd}{\eta},$$

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 происходящая 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 напряжения. 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 органах труб.

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:

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

$$\rho gh = const,$$

$$\rho Vg = const,$$

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

## 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 объёму 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

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

где  $dm$  — масса газа, переносимого за время  $dt$  через площадку  $dS$ , расположенную перпендикулярно оси  $x$ ,  $d\rho/dx$  — 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 вид:

$$j_m = \frac{dm}{dSdt},$$

$$j_m = -D \frac{d\rho}{dx}.$$

**Коэффициент диффузии  $D$** , имеющий размерность  $\text{м}^2/\text{с}$ , 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  $\text{Па}\cdot\text{с}$ , 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 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 теплоёмкость газа при постоянном объеме (количество тепла, необходимое для нагревания 1 кг газа на 1 К при постоянном объёме).

## 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 останавливающий 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 возникающего 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).

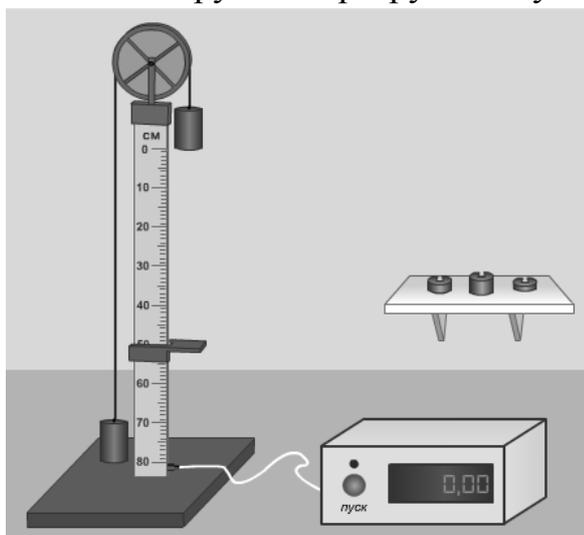


Рис. 4

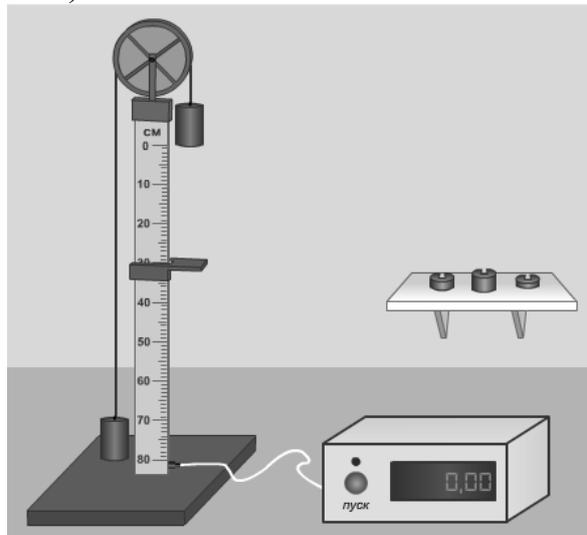


Рис. 5

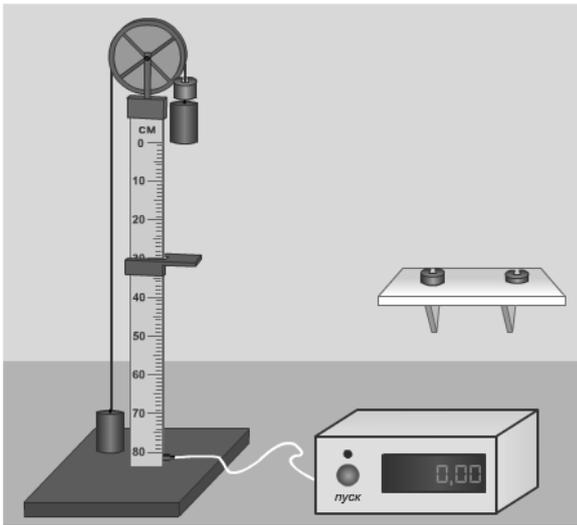


Рис. 6

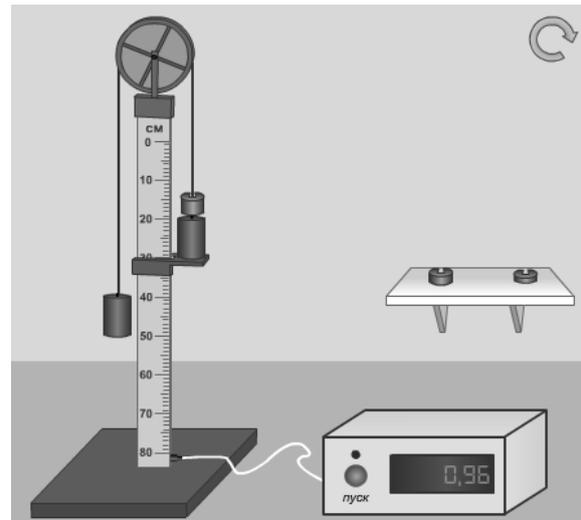


Рис. 7

## Расчёт

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 Аттвуда). 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

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

## Расчёт

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  $a = 0.65$  м/с<sup>2</sup> 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  $m = 7$  г масса большего груза  $M$  равна....

## Решение

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

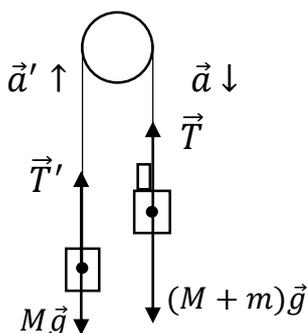


Рис.8

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

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

Проектируем векторное уравнение на ось, направленную вертикально вверх. Получаем

$$M\dot{a} = \dot{T} - Mg.$$

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

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

Проектирует векторное уравнение на ось, направленную вертикально вниз. Получаем

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

Здесь  $T, \dot{T}$  — силы, приложенные к грузам со стороны нити.

Так как нить и блок невесомы, то

$$\dot{T} = T.$$

Так как нить нерастяжима, то

$$\dot{a} = a.$$

Тогда имеем

$$\begin{aligned} Ma &= T - Mg, \\ (M + m)a &= (M + m)g - T. \end{aligned}$$

Сложим два уравнения.

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

Выразим массу  $M$

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

### Расчёт

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  $M = 50 \text{ г}$ , то сила натяжения нити при движении будет равна.... Н.

## Решение

Используем уравнения Ньютона в модульном виде

$$\begin{aligned}Ma &= T - Mg, \\(M + m)a &= (M + m)g - T.\end{aligned}$$

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

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

## Расчёт

$$T = 2 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \frac{50 \cdot 10^{-3} + 7 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3} + 7 \cdot 10^{-3}} = \frac{57}{107} = 0.53 \text{ Н.}$$

**Примечание.** Так как, видимо, первый эксперимент был проведем 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 масса 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 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 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).

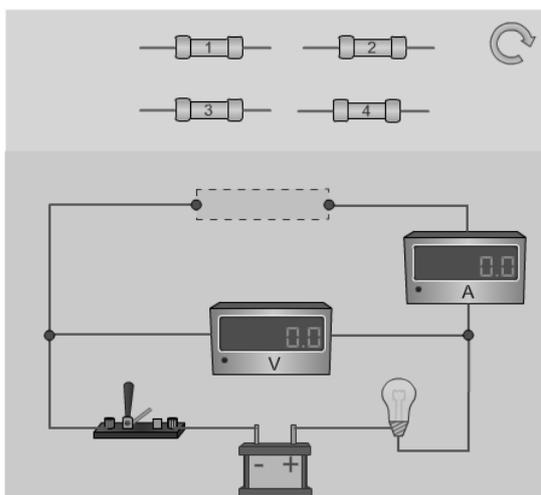


Рис.9

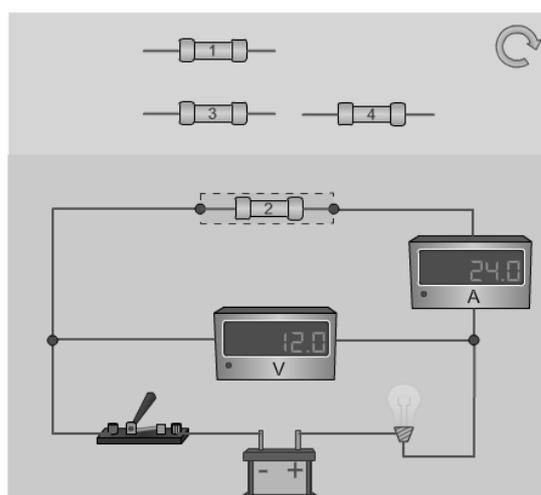


Рис.10

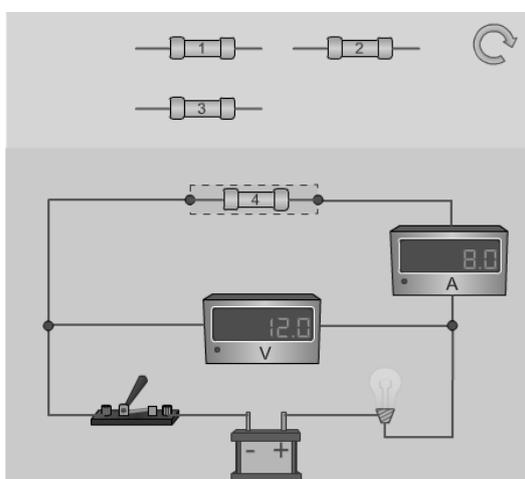


Рис. 11

### Расчёт

Рассчитаем по закону Ома сопротивление резисторов

Для №4:  $I = 8\text{A}$ ,  $U = 12\text{В}$ ,  $R_4 = 12/8 = 1.5\text{ Ом}$ .

Для №2:  $I = 24\text{A}$ ,  $U = 12\text{В}$ ,  $R_2 = 12/24 = 0.5\text{ Ом}$ .

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

Для №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

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

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).

### Решение

По закону Менделеева- Клайперона

$$PV = \nu RT$$

или

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

где  $V = 2 \text{ л} = 2 \text{ дм}^3 = 0,002 \text{ м}^3$ ,  $T = 100 \text{ К}$  (по термометру),  $R = 8,31 \text{ Дж/К}\cdot\text{моль}$  – газовая постоянная.

## Действие

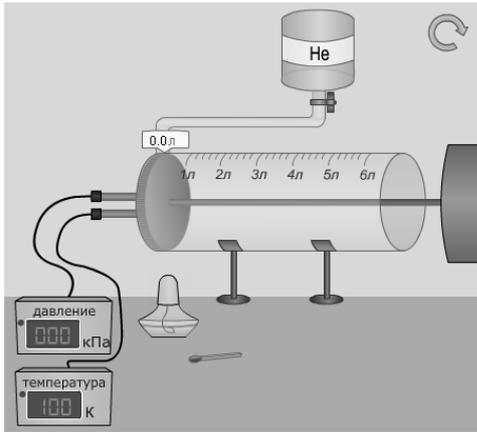


Рис. 12

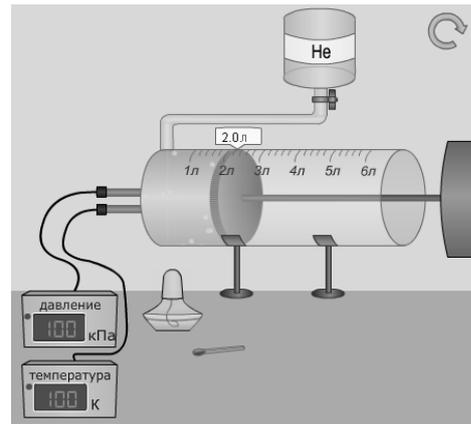


Рис. 13

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

## Расчёт

$$\nu = \frac{PV}{RT} = \frac{10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 10^2} = \frac{2}{8,31} = 0.24 \text{ (моля)}.$$

## 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

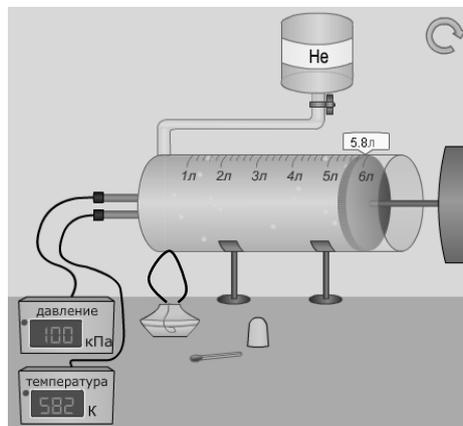


Рис. 14

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

За. 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

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

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

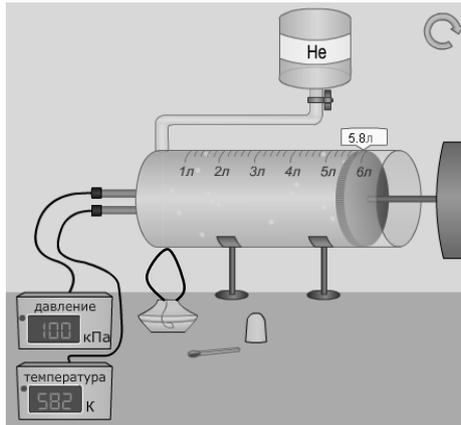


Рис. 15

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

3б. 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