

И.Ю. Просанов

Сборник тестовых заданий по физике

Книга 1

Механика.
Молекулярная физика
и основы термодинамики

Рекомендовано

*Дальневосточным региональным учебно-методическим
центром (ДВ РУМЦ) в качестве сборника
заданий для студентов вузов*



Москва «Высшая школа» 2010

УДК 53
ББК 22
П 82

Рецензенты:

кафедра физики Тихоокеанского государственного университета (зав. кафедрой д-р физ.-мат. наук, проф. *В.А. Кныр*); зав. кафедрой теоретической физики д-р физ.-мат. наук, проф. *В.И. Крылов* (Хабаровский государственный гуманитарный университет)

Просанов И.Ю.

П 82 Сборник тестовых заданий по физике. В 3 кн. Кн. 1. Механика. Молекулярная физика и основы термодинамики: Учеб. пособие для вузов / И.Ю. Просанов. – М.: Высш. шк., 2010. – 272 с.: ил.

ISBN 978-5-06-005984-7

Сборник тестовых заданий разработан в соответствии с профессиональной государственной образовательной программой по дисциплине «Физика».

Сборник состоит из трех книг. В первой книге представлены тестовые задания по разделам «Обработка результатов измерений», «Механика» и «Молекулярная физика и термодинамика» курса «Физика», пояснения и ответы к ним.

Для студентов 1-го и 2-го курсов всех специальностей и форм обучения, слушателей курсов повышения квалификации, а также для самоподготовки.

УДК 53
ББК 22

ISBN 978-5-06-005982-3
ISBN 978-5-06-005984-7 (Кн. 1)

©ОАО «Издательство «Высшая школа», 2010

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа», и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы высшее образование в нашей стране стало практически всеобщим. Многие получают более одного высшего образования. По-видимому, этот процесс отражает действительные потребности современного общества. Без глубоких знаний в различных областях невозможна успешная деятельность современного специалиста. Другим фактором, действующим в том же направлении, является интеграция России в мировое сообщество. Место, занимаемое в нем каждой страной, не в последнюю очередь определяется уровнем образования ее населения. Имеющиеся тенденции потребовали значительной перестройки системы образования. При этом в вузах в силу ряда причин ощущается нехватка квалифицированных преподавательских кадров, поэтому возрастает роль самоподготовки и дистанционного обучения, важным элементом которых является тестирование.

Тестирование — это эффективный инструмент обучения и контроля качества знаний студентов и работы преподавателей. Оно получило в последнее время большое распространение, обусловленное, в значительной мере, совершенствованием компьютерной техники и информационных технологий. Были опробованы на практике различные методы и сформировались определенные стандарты в этой области. Предлагаемые тестовые материалы по курсу физики имеют следующие особенности. Банк заданий имеет значительный объем (свыше полутора тысяч по всем разделам курса). Эти задания охватывают практически все важные вопросы. Предлагаются задания исключительно закрытого типа, как имеющие более однозначное толкование. Задания предлагаемого сборника лучше использовать как один из взаимосвязанных элементов обучения и контроля: лабораторных, практических, лекционных занятий и экзаменов. Используются задания трех типов. Наибольшее число заданий направлено на проверку знания физических законов и явлений. Еще одну группу составляют простые задачи, в которых проверяется

знание значений физических констант, основных законов, умения применять эти законы и проводить элементарные вычисления. Для выполнения заданий третьего типа необходимо знать способы практического применения физических явлений. Задачи подобраны таким образом, чтобы их можно было решить за 1–2 мин либо в уме, либо, в крайнем случае, делая записи на бумаге без использования калькулятора. К заданиям даны пояснения: почему должен быть выбран тот или иной ответ? Пояснения помогут студентам не просто механически запомнить материал, а понять связи между явлениями, проанализировать выбор размерностей, предельных переходов и овладеть другими приемами. Тестовые задания и пояснения к ним составлены на основе опыта преподавания автора с учетом наиболее типичных ошибок студентов.

В первой части сборника представлены задания по механике, молекулярной физике и термодинамике. В отдельный раздел выделены вопросы обработки результатов измерений, с которыми студенты сталкиваются в ходе лабораторного практикума.

1. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Физическая величина — это:

- a) значение данного свойства объекта или процесса, которое считается равным единице;
- b) число, которое можно сопоставить некоторому свойству физического объекта или процесса;
- c) объект, со свойствами которого сравниваются свойства объекта измерения;
- d) свойство физического объекта или процесса, которое можно измерить.

2. Размерность физической величины — это:

- a) значение данного свойства объекта или процесса, которое считается равным единице;
- b) число, которое можно сопоставить некоторому свойству физического объекта или процесса;
- c) комбинация основных физических величин в уравнении для определения данной величины;
- d) свойство физического объекта или процесса, которое можно измерить.

3. Единица измерения — это:

- a) комбинация основных физических величин в уравнении для определения данной величины;
- b) число, которое можно сопоставить некоторому свойству физического объекта или процесса;
- c) мера для нахождения значения физической величины;
- d) свойство физического объекта или процесса, которое можно измерить.

4. Основной физической величиной в СИ не является:

- a) масса;
- b) сила;
- c) время;
- d) длина.

5. Производные физические величины:

- a) определяются уравнениями, в которые входят комбинации основных физических величин;
- b) служат для установления размерностей физических величин;
- c) находятся как предел отношения малого приращения функции некоторой величины к вызвавшему ее приращению аргумента;
- d) являются мерами для нахождения значений физических величин.

6. Относительное значение физической величины — это:

- a) отношение одной физической величины к другой;
- b) отношение значения этой величины к некоторому эталонному значению;
- c) просто значение этой величины;
- d) число, которое можно сопоставить некоторому свойству физического объекта или процесса.

7. Абсолютное значение физической величины — это:

- a) значение одной физической величины относительно другой;
- b) значение данного свойства объекта или процесса, которое считается равным единице;
- c) ее максимально возможное значение;
- d) просто значение этой величины.

8. Установить соответствие между приставками к обозначениям единиц измерения и десятичными порядками:

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1 — микро (мк), | $a — 10^{-3},$ |
| 2 — гига (Г), | $b — 10^6,$ |
| 3 — пико (п), | $c — 10^{-2},$ |
| 4 — нано (н), | $d — 10^{-12},$ |
| 5 — деци (д), | $e — 10^{-9},$ |
| 6 — тера (Т), | $f — 10^{12},$ |
| 7 — санти (с), | $g — 10^3,$ |
| 8 — милли (м), | $h — 10^{-1},$ |
| 9 — мега (М), | $i — 10^{-6},$ |
| 10 — кило (к); | $j — 10^9.$ |

9. При округлении чисел во время вычислений сохраняется:

- a) разряд, на единицу меньший старшего разряда погрешности измерений;
- b) разряд, на единицу больший старшего разряда погрешности измерений;
- c) разряд, равный старшему разряду погрешности измерений;
- d) как можно больше разрядов чисел.

10. По способу проведения различают измерения:

- a) грубые и точные;
- b) прямые и косвенные;
- c) аналоговые и цифровые;
- d) абсолютные и относительные.

11. По способу индикации различают измерения:

- a) грубые и точные;
- b) прямые и косвенные;
- c) аналоговые и цифровые;
- d) абсолютные и относительные.

12. Прямым называется измерение:

- a) сделанное без использования приборов;
- b) проводимое при непосредственном контакте измеряемого объекта и измерительного прибора;
- c) при котором проводится сравнение объекта с эталоном;
- d) при котором значение искомой величины находится непосредственно из опытных данных.

13. Косвенным называется измерение:

- a) при проведении которого отсутствует непосредственный контакт измеряемого объекта и измерительного прибора;
- b) проводимое при непосредственном контакте измеряемого объекта и измерительного прибора;
- c) сделанное с помощью приборов;
- d) при котором значение искомой величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, измеряемыми непосредственно.

14. Какие по своему происхождению бывают погрешности измерений? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) систематические;
- b) абсолютные;
- c) относительные;
- d) случайные;
- e) вычислительные.

15. Систематическая погрешность:

- a) обусловлена влиянием случайных факторов на результаты измерений;
- b) остается постоянной при повторных измерениях одной и той же величины;
- c) обусловлена ошибками человека при проведении измерений;
- d) изменяется при повторных измерениях одной и той же величины.

16. Как можно уменьшить систематическую погрешность? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) внесением поправки;
- b) использованием более точных приборов;
- c) с помощью математической обработки результатов измерений;
- d) использованием более совершенных методов измерений;
- e) проводя повторные измерения.

17. Случайная погрешность:

- a) обусловлена влиянием случайных факторов на результаты измерений;
- b) остается постоянной при повторных измерениях одной и той же величины;
- c) обусловлена ошибками человека при проведении измерений;
- d) не может быть установлена.

18. Случайную погрешность можно обнаружить:

- a) при использовании более точных приборов;
- b) благодаря использованию более совершенных методов измерений;
- c) с помощью математической обработки результатов измерений;
- d) при повторных измерениях.

19. Случайную погрешность:

- a) можно уменьшить внесением поправки;
- b) можно уменьшить, используя более точные приборы;
- c) можно уменьшить, проводя повторные измерения;
- d) принципиально невозможно уменьшить.

20. Грубая ошибка:

- a) обусловлена ошибками человека при проведении измерений;
- b) повторяется при повторных измерениях одной и той же величины;
- c) остается постоянной при повторных измерениях одной и той же величины;
- d) приводит к тому, что результат измерения значительно отличается от истинного значения измеряемой величины.

21. Какие по способу представления бывают погрешности? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) абсолютные;
- b) прямые;
- c) косвенные;
- d) относительные;
- e) приближительные;
- f) точные.

22. Доверительный интервал — это:

- a) область значений измеряемой величины, в которую со стопроцентной вероятностью попадает ее истинное значение;
- b) область значений измеряемой величины, в которой с определенной вероятностью находится ее истинное значение;
- c) интервал между максимальным и минимальным значениями, полученными в серии повторных измерений;
- d) область возможных значений измеряемой величины.

23. Среднее значение случайной величины находят по формуле:

- a) $\langle x \rangle = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N}}$;
- b) $\langle x \rangle = \sum_{i=1}^N x_i$;
- c) $\langle x \rangle = N \sum_{i=1}^N x_i$;
- d) $\langle x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$.

24. Погрешность измерения Δx выражается через значения систематической δ и случайной d погрешностей следующим образом:

- a) $\Delta x = \sqrt{\delta^2 + d^2}$;
- b) $\Delta x = \delta + d$;
- c) $\Delta x = \sqrt{\delta d}$;
- d) $\Delta x = k_{\alpha, N}(\delta + d)$.

25. Класс точности прибора:

- a) это коэффициент, на который нужно умножить среднее значение измеряемой величины, чтобы получить значение абсолютной погрешности измерений;
- b) показывает процентную долю от максимального значения шкалы прибора, которую нужно взять для того, чтобы получить значение систематической погрешности;

- с) это отношение перемещения указателя прибора к значению измеряемой величины, вызвавшей это перемещение;
- д) это отношение предела измерений к числу делений шкалы прибора.

26. Систематическую погрешность прямого измерения можно определить:

- а) как произведение коэффициента Стьюдента на стандартное отклонение среднего значения измеряемой величины;
- б) как произведение коэффициента Стьюдента на абсолютную погрешность измеряемой величины;
- с) как сумму абсолютной и относительной погрешностей измерения;
- д) по цене деления либо по классу точности используемого прибора.

27. Стандартное отклонение среднего значения измеряемой величины оценивают по формуле:

$$a) s_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \langle x \rangle)^2}{(N-1)N}};$$

$$c) s_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N}};$$

$$b) s_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{(N-1)N}};$$

$$d) s_{\langle x \rangle} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}.$$

28. Абсолютное значение случайной погрешности измеряемой величины оценивают по формуле:

$$a) \Delta x = k_{\alpha, N} s_{\langle x \rangle};$$

$$c) \Delta x = \sqrt{\delta^2 + d^2};$$

$$b) \Delta x = \epsilon \langle x \rangle;$$

$$d) \Delta x = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta x_i}{N}.$$

29. Коэффициент Стьюдента — это:

- а) отношение перемещения указателя прибора к значению измеряемой величины, вызвавшей это перемещение;
- б) отношение предела измерений к числу делений шкалы прибора;
- с) коэффициент, на который нужно умножить стандартное отклонение среднего значения измеряемой величины, чтобы получить абсолютное значение его погрешности;

- d) коэффициент, на который нужно умножить среднее значение измеряемой величины, чтобы получить значение абсолютной погрешности измерений.

30. Коэффициент Стьюдента зависит от:

- числа измерений и вероятности попадания среднего значения измеряемой величины в доверительный интервал;
- величины доверительного интервала и вероятности попадания в него среднего значения измеряемой величины;
- числа измерений и величины доверительного интервала для среднего значения измеряемой величины;
- числа измерений и среднего значения измеряемой величины.

31. Относительная и абсолютная погрешности связаны соотношением:

- $\Delta x = k_{\alpha, N}(\delta + d);$
- $\Delta x = \sqrt{\delta^2 + d^2};$
- $\Delta x = \varepsilon \langle x \rangle;$
- $\Delta x = \varepsilon \alpha.$

32. Абсолютную погрешность косвенных измерений находят по формуле:

- $$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \Delta x + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \Delta y + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \Delta z + \dots};$$
- $\Delta f = \sqrt{\delta^2 + d^2};$
- $\Delta f = \varepsilon \langle x \rangle;$
- $$\Delta f = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta x_i}{N}.$$

33. Цену деления измерительного прибора определяют:

- отношением перемещения указателя прибора к значению измеряемой величины, вызвавшей это перемещение;
- отношением предела измерений на число делений шкалы прибора;
- как произведение коэффициента Стьюдента на число делений шкалы прибора;
- как произведение предела измерений на число делений шкалы прибора.

34. Чувствительность измерительного прибора:

- это отношение предела измерений к числу делений шкалы прибора;

- b) равна произведению коэффициента Стьюдента на число делений шкалы прибора;
- c) равна произведению предела измерений на число делений шкалы прибора;
- d) это отношение перемещения указателя прибора к значению измеряемой величины, вызвавшей это перемещение.

35. При повторных измерениях были получены следующие числовые значения некоторой величины: 1,2; 1,6; 1,4 и 1,8. Среднее значение этой величины равно:

- a) 1,4;
- b) 1,5;
- c) 1,3;
- d) 1,2.

36. Среднее значение некоторой величины 5,8, стандартное отклонение 0,2, коэффициент Стьюдента 2,5, доверительный интервал:

- a) [5,3; 6,3];
- b) [5,6; 6,0];
- c) [5,8; 6,0];
- d) [5,3; 5,8].

37. Среднее значение некоторой величины 5,8, стандартное отклонение 0,2, коэффициент Стьюдента 2,5, абсолютная погрешность:

- a) 14,4;
- b) 0,2;
- c) 0,5;
- d) 1,14.

38. При пяти измерениях числовое значение абсолютной погрешности измеряемой величины равно 6. Можно ожидать, что при двадцати измерениях ее значение будет равно:

- a) 1,5;
- b) 3,0;
- c) 0,3;
- d) 1,2.

39. Среднее значение некоторой величины равно 6, абсолютная погрешность 1,5, а относительная погрешность:

- a) 0,25;
- b) 4,0;
- c) 2,0;
- d) 9,0.

40. Прибор с классом точности 1 имеет 150 делений. Стрелка прибора отклонилась на 120 делений. Систематическая погрешность измерения равна:

- a) 1,25;
- b) 0,5;
- c) 1,2;
- d) 1,5.

41. Числовое значение случайной погрешности измерений составляет 0,3, систематической — 0,4, а общая погрешность:

a) 0,7;

c) 0,5;

b) 0,2;

d) 1,2.

42. Площадь прямоугольника определяется как произведение его сторон. Относительная погрешность измерения длины стороны равна 3,0 %, а относительная погрешность измерения площади:

a) 3 %;

c) 6 %;

b) 9 %;

d) 1,5 %.

2. МЕХАНИКА

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕХАНИКИ

1. Объектом изучения физики является:

- a) движение тел;
- b) материальные тела;
- c) свойства материи;
- d) окружающий человека мир.

2. Что является видами материи? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) время;
- b) поле;
- c) пространство;
- d) вещество.

3. Что является основным свойством материи? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) существование в пространстве и времени;
- b) способность исчезать и снова возникать;
- c) движение;
- d) превращение из одной формы в другую.

4. Механика изучает:

- a) наиболее общие свойства и формы движения материи и их взаимные превращения;
- b) движение и равновесие тел;
- c) свойства материальных тел;
- d) окружающий человека мир.

5. Движение в механике понимается как:

- a) изменение положения тел и их частей;
- b) изменение чего-либо с течением времени;
- c) превращения материальных тел;
- d) изменение тела под действием силы.

6. Основоположник классической механики:

- a) И. Ньютон;
- b) Р. Декарт;
- c) Г. Галилей;
- d) Демокрит.

7. По отношению к скорости движения рассматриваемых объектов выделяют следующие разделы механики. Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) классическую механику;
- b) кинематику;
- c) релятивистскую механику;
- d) квантовую механику;
- e) динамику.

8. По способам определения параметров движения тел различают следующие разделы механики. Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) статику;
- b) теорию упругости;
- c) классическую механику;
- d) кинематику;
- e) динамику;
- f) релятивистскую механику.

9. По отношению к природе рассматриваемых объектов выделяют следующие разделы механики. Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) механику материальной точки;
- b) механику твердого тела;
- c) классическую механику;
- d) квантовую механику;
- e) релятивистскую механику;
- f) механику сплошных сред;
- g) динамику;
- h) кинематику;
- i) статику.

10. Основная задача механики:

- a) изучение причин движения тел;
- b) определение состояния системы в последовательные моменты времени;
- c) изучение причин и характеристик движения тел;
- d) изучение физических свойств материальных тел.

11. Механическая система — это совокупность:

- a) тел, деформациями которых можно пренебречь;
- b) тел, выделенных для рассмотрения;
- c) объектов, по отношению к которым рассматривается движение, и часов;
- d) материальных объектов, не взаимодействующих с окружающими телами.

12. Система отсчета — это:

- a) способ определения пространственных координат тела и времени;
- b) тело, относительно которого рассматривается движение;
- c) совокупность координатных осей;
- d) совокупность тел, по отношению к которым рассматривается движение, и часы.

13. Материальная точка — это:

- a) тело, деформациями которого можно пренебречь;
- b) малая часть реального тела;
- c) тело, массой которого можно пренебречь;
- d) тело, размерами которого можно пренебречь.

14. Абсолютно твердое тело — это:

- a) тело, деформациями которого можно пренебречь;
- b) тело, размерами которого можно пренебречь;
- c) абсолютно упругое тело;
- d) тело, массой которого можно пренебречь.

15. Поступательное движение — это такое движение, при котором:

- a) тело движется по прямой;
- b) любая прямая, связанная с телом, перемещается параллельно самой себе;
- c) все точки тела движутся по прямым линиям, параллельным друг другу;
- d) все точки тела движутся по прямым линиям.

16. Вращение тела — это такое движение, при котором все его точки движутся:

- a) по окружностям;
- b) по окружностям одинакового радиуса;
- c) вокруг одной оси;
- d) вокруг одной оси по окружностям одинакового радиуса.

17. Траектория — это:

- a) расстояние между двумя точками, измеренное вдоль линии движения;
- b) линия, которую описывает материальная точка в процессе движения;
- c) вектор, проведенный от начальной точки движения к конечной;
- d) уравнения, задающие координаты точки как функции от времени движения.

18. Путь — это:

- a) расстояние между начальной и конечной точками, измеренное вдоль траектории движения;
- b) линия, которую описывает некоторая материальная точка в процессе движения;
- c) вектор, проведенный от начальной точки движения к конечной;
- d) вектор, проведенный из начала координат к материальной точке.

19. Перемещение — это:

- a) вектор, проведенный от начальной точки движения к конечной;
- b) расстояние между двумя точками, измеренное вдоль траектории движения;
- c) линия, которую описывает некоторая материальная точка в процессе движения;
- d) вектор, проведенный из начала координат к материальной точке.

20. Скорость материальной точки — это:

- a) производная от пути по времени;
- b) отношение пути, пройденного материальной точкой, к промежутку времени;
- c) производная от радиуса-вектора точки по времени;
- d) вектор, равный отношению вектора перемещения к промежутку времени.

21. Ускорение — это:

- a) производная от скорости точки по времени;
- b) вторая производная от пути по времени;

- c) отношение силы, действующей на тело, к его массе;
- d) вектор, направленный вдоль траектории движения материальной точки и характеризующий изменение ее скорости.

22. Средняя скорость находится как:

- a) отношение пути, пройденного материальной точкой, к промежутку времени;
- b) производная от радиуса-вектора точки по времени;
- c) производная от пути по времени;
- d) вектор, равный отношению вектора перемещения к промежутку времени.

23. Вектор — это:

- a) величина, характеризующаяся численным значением и направлением в пространстве, для которой задан закон сложения;
- b) величина, характеризующаяся тремя проекциями на оси координат, числовым значением и направлением в пространстве;
- c) величина, характеризующаяся численным значением и направлением в пространстве;
- d) направленный отрезок, проведенный из центра координат к данной точке.

24. Радиус-вектор задает:

- a) положение материальной точки;
- b) направление движения;
- c) радиус вращения;
- d) скорость вращения.

25. Физические величины представляются типами векторов:

- a) коллинеарными, компланарными и полярными;
- b) нормальными и тангенциальными;
- c) свободными, скользящими и связанными;
- d) линейными и скалярными.

26. В координатном представлении вектор задается:

- a) направленным отрезком;
- b) модулем и направлением;
- c) набором перпендикулярных друг другу векторов, при сложении которых получается исходный вектор;
- d) тремя проекциями на координатные оси.

27. Согласно теореме косинусов, модуль суммы двух векторов находится:

- a) по формуле $(a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha)^{1/2}$;
- b) как произведение модулей векторов и косинуса угла между ними;
- c) по формуле $[(a^2 + b^2) \cos \alpha]^{1/2}$;
- d) как произведение суммы модулей векторов на косинус угла между ними.

28. Сумма двух векторов в координатном представлении находится:

- a) по формуле $(a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha)^{1/2}$;
- b) как произведение модулей векторов и косинуса угла между ними;
- c) по формуле $(a_i + b_i, a_j + b_j, a_k + b_k)$;
- d) как произведение суммы модулей векторов на косинус угла между ними.

29. Модуль векторного произведения двух векторов находится по формуле:

- a) $(a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha)^{1/2}$;
- b) $ab \sin \alpha$;
- c) $ab \cos \alpha$;
- d) $(a_i b_i + a_j b_j + a_k b_k)^{1/2}$.

30. Векторное произведение двух векторов в координатном представлении находится по формуле:

- a) $(a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha)^{1/2}$;
- b) $(a_j b_k - a_k b_j)\mathbf{i} + (a_k b_i - a_i b_k)\mathbf{j} + (a_i b_j - a_j b_i)\mathbf{k}$;
- c) $ab \sin \alpha$;
- d) $(a_i b_i, a_j b_j, a_k b_k)$.

31. По каким формулам можно найти скалярное произведение двух векторов? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) $ab \sin \alpha$;
- b) $ab \cos \alpha$;
- c) $(a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha)^{1/2}$;
- d) $a_i b_i + a_j b_j + a_k b_k$.

32. Сумма векторов $\mathbf{a} = (1, 2, 3)$ и $\mathbf{b} = (2, 3, 1)$ равна:

- a) $(3, 5, 4)$;
- b) 12;
- c) $(2, 6, 3)$;
- d) 11.

33. Скалярное произведение векторов $\mathbf{a} = (1, 0)$ и $\mathbf{b} = (0, 1)$ равно:

- a) $(1, 1)$; c) $(0, 0)$;
b) 0; d) 1.

34. Скалярное произведение векторов $\mathbf{a} = (1, 0)$ и $\mathbf{b} = (1, 0)$ равно:

- a) 0; c) 1;
b) $(1, 0)$; d) $(2, 0)$.

35. Модуль векторного произведения векторов $\mathbf{a} = (2, 0, 0)$ и $\mathbf{b} = (0, 1, 0)$ равен:

- a) 2; c) 0;
b) $(2, 1, 0)$; d) $(0, 0, 0)$.

36. Скалярное произведение двух векторов единичной длины с углом 45° между ними равно:

- a) 1; c) $(1, 1)$;
b) $1/2$; d) $\sqrt{2}/2$.

37. Модуль векторного произведения двух векторов единичной длины с углом 60° между ними равен:

- a) 1; c) $(1, 1, 1)$;
b) $1/2$; d) $\sqrt{3}/2$.

38. Модуль суммы векторов $\mathbf{a} = (3, 1)$ и $\mathbf{b} = (0, 3)$ равен:

- a) 5; c) $(3, 4)$;
b) 7; d) $(0, 3)$.

39. Модуль векторного произведения двух единичных векторов параллельных друг другу равен:

- a) 0; c) $(1, 1)$;
b) 1; d) $(0, 0)$.

40. На тело действуют две перпендикулярные друг другу силы 2 и 4 Н. Значение суммарной силы:

- a) 6 Н; c) 0 Н;
b) 2 Н; d) $2\sqrt{5}$ Н.

41. Не может описывать траекторию движения уравнение:

- a) $y = 8x$; c) $y = 8t$;
b) $y = 8$; d) $x^2 + y^2 = 8$.

2.2. КИНЕМАТИКА

1. Кинематика — это:

- a) раздел физики, посвященный изучению движения тел в связи с вызывающими его причинами;
- b) описание движения как функции времени;
- c) раздел физики, посвященный изучению движения тел;
- d) раздел физики, посвященный изучению свойств тел.

2. На какие компоненты раскладывают вектор ускорения по отношению к траектории движения? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) вертикальную;
- b) горизонтальную;
- c) линейную;
- d) нормальную;
- e) тангенциальную;
- f) вращательную.

3. На какие элементарные виды движений можно разложить сложное движение тела? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) поступательное;
- b) равномерное;
- c) равноускоренное;
- d) вращательное;
- e) неравномерное.

4. Равномерное прямолинейное движение — это:

- a) прямолинейное движение с постоянной скоростью;
- b) движение вдоль прямой с постоянным ускорением;
- c) поступательное движение с постоянным ускорением;
- d) движение вдоль прямой.

5. Как выглядят уравнения кинематики прямолинейного равноускоренного движения? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) $s = v_0 t + at^2/2$;
- b) $s = v_0 t + at$;
- c) $v = v_0 t + at$;
- d) $E = mv^2/2$;
- e) $v = v_0 + at$;
- f) $p = mv$;
- g) $v = ds/dt$;
- h) $a = dv/dt$.

6. Вектор угловой скорости направлен:

- a) вдоль оси вращения;
- b) перпендикулярно оси вращения, в направлении от нее;

- c) в направлении вращения;
- d) перпендикулярно оси вращения, в направлении к ней.

7. В СИ угловая скорость измеряется в:

- a) радианах в секунду, рад/с;
- b) градусах в секунду, град/с;
- c) оборотах в секунду, об/с;
- d) обратных секундах, с^{-1} .

8. Равномерное вращательное движение — это вращение:

- a) с постоянным угловым ускорением;
- b) вокруг неподвижной оси;
- c) с постоянной угловой скоростью;
- d) с нулевым нормальным ускорением.

9. Равномерное вращательное движение материальной точки описывается характеристиками вращения:

- a) угловой скоростью и периодом;
- b) частотой и периодом;
- c) угловой скоростью и частотой;
- d) радиусом и частотой.

10. Частота вращения:

- a) обратно пропорциональна периоду;
- b) прямо пропорциональна периоду;
- c) равна 2π рад, деленных на период;
- d) равна 2π рад, умноженных на период.

11. Частота вращения ν связана с угловой скоростью ω соотношением:

- a) $\omega = 2\pi/\nu$;
- b) $\omega = 2\pi\nu$;
- c) $\omega = 1/\nu$;
- d) $\omega = \nu/2\pi$.

12. В СИ угловая частота вращения измеряется в:

- a) обратных секундах, с^{-1} ;
- b) радиан-секундах, рад·с;
- c) радианах, рад;
- d) радианах в секунду, рад/с.

13. В СИ частота периодического процесса измеряется в:

- a) герцах, Гц;
- b) радианах в секунду, рад/с;

- c) радиан-секундах, рад·с;
- d) радианах, рад.

14. Угловое ускорение — это:

- a) вторая производная от радиуса-вектора по времени;
- b) производная от угловой скорости по времени;
- c) отношение момента сил, действующих на тело, к его моменту инерции;
- d) производная радиуса-вектора по времени.

15. Линейная скорость движения точки равна:

- a) векторному произведению ее угловой скорости на радиус-вектор этой точки, проведенный из точки, лежащей на оси вращения;
- b) скалярному произведению ее угловой скорости на радиус-вектор этой точки, проведенный из точки, лежащей на оси вращения;
- c) отношению ее угловой скорости к радиусу-вектору этой точки, проведенному из точки, лежащей на оси вращения;
- d) произведению угловой скорости на время вращения.

16. Тангенциальное a_τ и угловое β ускорения материальной точки связаны через ее радиус вращения R соотношением:

- a) $a_\tau = \beta/R$;
- b) $a_\tau = R/\beta$;
- c) $a_\tau = \beta/R^2$;
- d) $a_\tau = \beta R$.

17. Как выглядят уравнения кинематики вращательного равноускоренного движения вокруг фиксированной оси? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) $\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \beta t^2/2$;
- b) $a_n = v^2/R$;
- c) $a_\tau = \beta R$;
- d) $a_n = v^2 R$;
- e) $a_\tau = \beta/R$;
- f) $\omega = \omega_0 + \beta t$;
- g) $M = J\beta$;
- h) $J = mR^2$.

18. Тело массой 20 кг упадет на землю с высоты 20 м за:

- a) 2 с;
- b) 0,1 с;
- c) 1 с;
- d) 0,5 с.

19. Снаряд вылетает из ствола пушки со скоростью 600 м/с под углом 60° к горизонту. На каком расстоянии от места выстрела он упадет через 1 мин 40 с, если не учитывать сопротивление воздуха?

- d) 60 км.

20. Тело массой 5 кг, падая на землю с высоты 20 м, имеет скорость:

- d) 50 м/с.

21. Тело массой 1 кг, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью 5 м/с, достигнет максимальной высоты подъема через:

- d) 2 c.

22. Тело массой 1 кг, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью 5 м/с, поднимется на высоту:

- d) 1,25 M.

23. Тело массой 1 кг, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью 5 м/с, вернется обратно через:

- d) 2,0 c.

24. Движение тела описывается кинематическими уравнениями: $y = t^2$ и $x = t^2$. При этом уравнение траектории:

- $$d) \quad y = x.$$

25. Автомобиль проехал по прямой 30 км со скоростью 60 км/ч. Затем он проехал в обратном направлении 20 км со скоростью 40 км/ч. В итоге, он проехал путь длиной:

- d) 20 км.

26. Автомобиль проехал по прямой 30 км со скоростью 60 км/ч. Затем он проехал в обратном направлении 20 км со скоростью 40 км/ч. В итоге, его перемещение составило:

- d) 20 км.

27. Автомобиль проехал по прямой 0,5 ч со скоростью 60 км/ч, постоял в течение часа, а затем проехал в обратном направлении 0,5 ч со скоростью 40 км/ч. В итоге, его средняя скорость составила:

- a) 5 км/ч;
b) 50 км/ч;

- c) 10 км/ч;
d) 25 км/ч.

28. Пешеход прошел половину окружности радиусом 2 км за 1,5 ч. Путь, пройденный пешеходом, составил:

- a) 4,0 км;
b) 3,0 км;

- c) 6,3 км;
d) 4,5 км.

29. Пешеход прошел половину окружности радиусом 2 км за 1,5 ч. При этом перемещение пешехода составило:

- a) 4,0 км;
b) 3,0 км;

- c) 6,3 км;
d) 4,5 км.

30. Пешеход прошел половину окружности радиусом 3 км за 1,5 ч. При этом средняя скорость пешехода составила:

- a) 2,0 км/ч;
b) 4,0 км/ч;

- c) 6,3 км/ч;
d) 9,5 км/ч.

31. Радиус Земли равен 6 400 км. При этом линейная скорость движения точки, находящейся на экваторе, равна:

- a) 64 м/с;
b) 128 м/с;

- c) 75 м/с;
d) 470 м/с.

32. За 4 ч Земля поворачивается на:

- a) 45° ;
b) 60° ;

- c) 30° ;
d) 20° .

33. При включении электродвигателя его ротор начинает вращаться равноускоренно и за первую секунду делает 5 оборотов. Число оборотов ротора через 4 с после включения:

- a) 80;
b) 10;

- c) 20;
d) 40.

34. Радиус Земли равен 6 400 км. При этом угловая скорость ее движения равна:

- a) 270 км/ч;
b) 75 м/с;

- c) $7 \cdot 10^{-5}$ рад/с;
d) 10^{-5} рад/с.

35. Самолет взлетает со скоростью 360 км/ч под углом 30° к горизонту. При этом за 2 с он поднимется на:

- a) 36 м;
b) 100 м;

- c) 72 м;
d) 18 м.

2.3. ДИНАМИКА

1. Динамика — это раздел физики, посвященный изучению:

- a) изменения состояния тел в пространстве и времени;
- b) причин, вызывающих движение тел и обуславливающих их равновесие;
- c) движения тел в связи с вызывающими его причинами;
- d) свойств систем взаимодействующих тел.

2. Законы Ньютона:

- a) были выведены из уравнений кинематики;
- b) являются доказанными математически теоремами;
- c) являются следствием уравнений кинематики и динамики;
- d) являются обобщением опытных фактов.

3. Первый закон Ньютона можно сформулировать следующим образом:

- a) во всех инерциальных системах отсчета все механические явления протекают одинаково при одинаковых начальных условиях;
- b) силы, с которыми действуют друг на друга взаимодействующие тела, равны по величине и противоположны по направлению;
- c) скорость изменения импульса тела равна действующей на него силе;
- d) всякое тело в отсутствие взаимодействия покоится или движется равномерно и прямолинейно.

4. Инерциальной называется система отсчета:

- a) в которой выполняется первый закон Ньютона;
- b) в которой все механические явления протекают одинаково при одинаковых начальных условиях;
- c) в которой выполняется второй закон Ньютона;
- d) которая движется равномерно и прямолинейно.

5. Классический принцип относительности можно сформулировать следующим образом:

- a) всякое тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, пока взаимодействие с другими телами не заставит его изменить это состояние;

- b) силы, с которыми действуют друг на друга взаимодействующие тела, равны по величине и противоположны по направлению;
- c) во всех инерциальных системах отсчета все механические явления протекают одинаково при одинаковых начальных условиях;
- d) скорость изменения импульса тела равна действующей на него силе.

6. Масса тела — это:

- a) мера его инертности;
- b) отношение плотности к объему этого тела;
- c) сила, с которой тело притягивается к Земле;
- d) сила, с которой тело действует на другие тела при их столкновениях.

7. Масса тела определяется:

- a) силой, с которой тело притягивается к Земле;
- b) его объемом и плотностью;
- c) его формой и плотностью;
- d) его способностью взаимодействовать с другими телами.

8. Плотность вещества — это:

- a) масса единичного объема вещества;
- b) мера инертности тела;
- c) произведение массы тела на его объем;
- d) его способность сохранять форму в условиях внешних воздействий.

9. В СИ плотность вещества измеряется в:

- a) килограммах, кг;
- b) килограмм-метрах кубических, $\text{кг} \cdot \text{м}^3$;
- c) кубических метрах на килограмм, $\text{м}^3/\text{кг}$;
- d) килограммах на кубический метр, $\text{кг}/\text{м}^3$.

10. Импульс тела — это:

- a) произведение массы тела на его скорость;
- b) произведение массы тела на квадрат его скорости, деленный на два;
- c) отношение силы, действующей на тело к его массе;
- d) кинетическая энергия движения тела.

11. Второй закон Ньютона можно сформулировать следующим образом:

- a) скорость изменения импульса тела равна действующей на него силе;
- b) во всех инерциальных системах отсчета все механические явления протекают одинаково при одинаковых начальных условиях;
- c) всякое тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, пока взаимодействие с другими телами не заставит его изменить это состояние;
- d) силы, с которыми действуют друг на друга взаимодействующие тела, равны по величине и противоположны по направлению.

12. Уравнение движения тела в нерелятивистской механике выглядит следующим образом:

- a) $E = mv^2/2$;
- b) $p = mv$;
- c) $v = ds/dt$;
- d) $F = ma$.

13. Третий закон Ньютона можно сформулировать следующим образом:

- a) силы, с которыми действуют друг на друга взаимодействующие тела, равны по величине и противоположны по направлению;
- b) скорость изменения импульса тела равна действующей на него силе;
- c) во всех инерциальных системах отсчета все механические явления протекают одинаково при одинаковых начальных условиях;
- d) всякое тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, пока взаимодействие с другими телами не заставит его изменить это состояние.

14. В СИ сила измеряется в:

- a) ньютонах, Н;
- b) паскалях, Па;
- c) килограммах, кг;
- d) метрах на секунду в квадрате, m/s^2 .

15. Тело массой 1 кг, двигаясь под действием силы тяжести в течение 2 с, получает импульс:

- a) $2 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; c) $20 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$;
b) $1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; d) $5 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

16. Импульс тела массой 1 кг , движущегося со скоростью 5 м/с , равен:

- a) $25 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; c) $10 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$;
b) $5 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; d) $12,5 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

17. Тело массой 2 кг , двигаясь под действием силы 3 Н в течение 1 с , получает импульс:

- a) $1,5 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; c) $5 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$;
b) $6 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; d) $3 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

18. Чтобы удержать от падения сорвавшегося альпиниста массой 70 кг , необходимо тянуть за страховочный трос с силой:

- a) 700 Н ; c) $9,8 \text{ Н}$;
b) 70 Н ; d) 98 Н .

19. Чтобы обеспечить подъем ракеты массой 100 кг с ускорением 5 м/с^2 , ее двигатель должен развивать силу тяги:

- a) 200 Н ; c) $1\,000 \text{ Н}$;
b) 500 Н ; d) $1\,500 \text{ Н}$.

20. Сила притяжения Земли к стоящему на ее поверхности человеку массой 100 кг равна:

- a) $1\,000 \text{ Н}$; c) 100 Н ;
b) 0 Н ; d) 1 Н .

21. Через 5 с после включения двигателя, развивающего силу тяги 200 Н , первоначально покоившийся космический аппарат массой 200 кг пройдет путь:

- a) 100 м ; c) 50 м ;
b) 25 м ; d) $12,5 \text{ м}$.

22. Через 5 с после включения двигателя, развивающего силу тяги 200 Н , первоначально покоившийся космический аппарат массой 200 кг будет иметь скорость:

- a) 5 м/с ; c) 20 м/с ;
b) 10 м/с ; d) 25 м/с .

2.4. СИЛЫ

1. Какие существуют типы фундаментальных взаимодействий? Выберите все правильные ответы из следующих:

- | | |
|----------------------|-------------------|
| a) гравитационное; | g) потенциальное; |
| b) электрическое; | h) центральное; |
| c) магнитное; | i) сильное; |
| d) электромагнитное; | j) слабое; |
| e) релятивистское; | k) классическое. |
| f) квантовое; | |

2. Основную роль в задачах классической механики играют следующие фундаментальные взаимодействия:

- сохраняющие энергию, импульс и момент импульса замкнутой системы;
- гравитационное и электромагнитное;
- гравитационное и упругое;
- потенциальное и кинетическое.

3. Каким взаимодействием между частицами, из которых состоят тела, обусловлены силы трения? Выберите из следующих вариантов:

- | | |
|----------------------|------------------|
| a) гравитационным; | c) тепловым; |
| b) электромагнитным; | d) механическим. |

4. Каким взаимодействием обусловлены силы упругости? Выберите из следующих вариантов:

- | | |
|--------------------|----------------------|
| a) гравитационным; | c) механическим; |
| b) тепловым; | d) электромагнитным. |

5. Какие виды сил различают в механике? Выберите несколько правильных ответов:

- стационарные и нестационарные;
- классические, квантовые и релятивистские;
- векторные и скалярные;
- потенциальные и кинетические;
- центральные и нецентральные;
- консервативные и неконсервативные.

6. Сила гравитационного взаимодействия описывается соотношением:

- | | |
|---|--------------------------------------|
| a) $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r};$ | c) $F = \gamma \frac{m_1 + m_2}{r};$ |
| b) $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r};$ | d) $F = mg.$ |

7. Гравитационные силы — это:

- центральные силы притяжения;

- b) консервативные силы притяжения и отталкивания;
- c) силы, возникающие при контакте тел;
- d) консервативные центральные упругие силы.

8. Сила тяжести — это сила:

- a) гравитационного взаимодействия между телом и Землей;
- b) с которой тело действует на опору или подвес;
- c) с которой опора или подвес действует на тело;
- d) гравитационного взаимодействия двух тел.

9. Сила тяжести связана с массой тела и параметрами гравитационного взаимодействия соотношением:

- a) $P = mg$;
- b) $P = \gamma m$;
- c) $P = mgh$;
- d) $P = \gamma m/R$.

10. Вес тела — это сила:

- a) с которой тело действует на опору или подвес;
- b) гравитационного взаимодействия между телом и Землей;
- c) с которой опора или подвес действует на тело;
- d) с которой взаимодействуют два тела.

11. Вес тела:

- a) в два раза больше силы тяжести;
- b) равен силе тяжести;
- c) в два раза меньше силы тяжести;
- d) равен силе тяжести по величине и противоположен по направлению.

12. Вес тела и сила тяжести:

- a) приложены к одному телу и уравновешивают друг друга;
- b) приложены к разным телам;
- c) отличаются знаком;
- d) отличаются направлением.

13. Закон всемирного тяготения был установлен:

- a) И. Ньютоном;
- b) И. Кеплером;
- c) А. Эйнштейном;
- d) Н. Коперником.

14. По своей природе различают следующие силы сопротивления движению тела в газе и жидкости. Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| a) вязкое трение; | e) силы сопротивления среды; |
| b) трение скольжения; | ды; |
| c) трение качения; | f) нормальные; |
| d) трение покоя; | g) тангенциальные. |

15. Какие различают внешние силы трения? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| a) вязкое трение; | d) нормальные; |
| b) силы сопротивления среды; | e) тангенциальные; |
| c) трение покоя; | f) силы трения скольжения; |
| | g) силы трения качения. |

16. Сила трения покоя равна:

- приложенной силе;
- силе реакции опоры;
- силе реакции опоры, умноженной на коэффициент трения;
- нулю.

17. Коэффициент трения — это отношение:

- максимальной силы трения покоя к силе реакции опоры;
- силы трения скольжения к проекции приложенной силы на плоскость скольжения;
- силы трения к силе реакции опоры;
- силы трения покоя к приложенной силе.

18. Гравитационная постоянная равна $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$. Сила притяжения между двумя телами массой 3 кг, находящимися на расстоянии 1 м друг от друга, равна:

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| a) $2,22 \cdot 10^{-11} \text{ Н};$ | c) $4 \cdot 10^{-10} \text{ Н};$ |
| b) $2 \cdot 10^{-10} \text{ Н};$ | d) $6 \cdot 10^{-10} \text{ Н}.$ |

19. Сила притяжения, действующая со стороны Земли на стоящий на ее поверхности автомобиль массой 1 000 кг, равна:

- | | |
|----------------------|----------------------|
| a) 0 Н; | c) $10^4 \text{ Н};$ |
| b) $10^2 \text{ Н};$ | d) $10^3 \text{ Н}.$ |

20. Бегун массой 70 кг развивает на старте силу тяги 1 000 Н. При этом на него действует сила трения:

- | | |
|-------------|-----------|
| a) 1 000 Н; | c) 700 Н; |
| b) 0 Н; | d) 70 Н. |

21. На человека массой 80 кг, стоящего на дороге с уклоном 30° , действует сила трения:

- a) 0 Н;
- b) $400\sqrt{3}$ Н;

- c) 800 Н;
- d) 400 Н.

2.5. ДЕФОРМАЦИЯ ТЕЛА

1. Деформация — это:

- a) изменение положения тела под действием приложенных сил;
- b) изменение формы тела под действием приложенных сил;
- c) изменение объема тела в результате действия внешних или внутренних сил;
- d) изменение свойств тела в результате взаимодействия с другими телами.

2. Коэффициент жесткости — это:

- a) коэффициент пропорциональности между приложенной к телу силой и величиной его линейной деформации;
- b) отношение силы, действующей на тело, к площади поверхности, к которой эта сила приложена;
- c) коэффициент пропорциональности между приложенной к телу силой и величиной изменения его объема;
- d) отношение силы, действующей на тело, к параллельной ей поверхности, по которой распределена эта сила.

3. Формула, описывающая закон Гука, выглядит следующим образом:

- a) $F = k\Delta x$;
- b) $F = k\Delta x^2/2$;
- c) $F = ma$;
- d) $F = mgh$.

4. Относительное изменение длины тела — это:

- a) изменение длины одного тела относительно другого;
- b) просто изменение длины тела;
- c) отношение длины деформированного тела к его длине в недеформированном состоянии;
- d) отношение абсолютного изменения длины к длине тела.

5. Нормальное напряжение — это:

- a) отношение силы, действующей на тело, к площади параллельной ей поверхности, по которой распределена эта сила;
- b) напряжение, при котором наступает разрушение тела;
- c) сила, приложенная перпендикулярно к поверхности тела;
- d) отношение силы, действующей на тело, к площади перпендикулярной ей поверхности, по которой распределена эта сила.

6. Нормальное напряжение измеряется в:

- a) ньютонах, Н;
- b) ньютон-метрах квадратных, Н·м²;
- c) метрах квадратных на ньютон, м²/Н;
- d) ньютонах на метр квадратный, Н/м².

7. Тангенциальное напряжение — это:

- a) отношение силы, действующей на тело, к площади параллельной ей поверхности, по которой распределена эта сила;
- b) отношение силы, действующей на тело, к площади перпендикулярной ей поверхности, по которой распределена эта сила;
- c) сила, сообщающая телу тангенциальное ускорение;
- d) сила, приложенная вдоль поверхности тела.

8. Тангенциальное напряжение измеряется в:

- a) ньютонах на метр квадратный, Н/м²;
- b) ньютонах, Н;
- c) ньютон-метрах квадратных, Н·м²;
- d) метрах квадратных на ньютон, м²/Н.

9. Модуль Юнга — это коэффициент пропорциональности между:

- a) тангенциальным напряжением и тангенсом угла сдвиговой деформации тела;
- b) приложенной силой и деформацией тела;
- c) приложенной силой и напряжением;
- d) нормальным напряжением и относительной деформацией тела.

10. Модуль Юнга измеряется в:

- a) паскалях на метр квадратный, Па/м²;
- b) ньютонах, Н;
- c) ньютон-метрах квадратных, Н·м²;
- d) паскалях, Па.

11. От чего зависит модуль Юнга? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) приложенной силы;
- b) формы тела;
- c) объема тела;
- d) природы тела;
- e) параметров состояния тела (температура, давление).

12. Характеристикой сдвиговой деформации является:

- a) относительная деформация;
- b) тангенциальное напряжение;
- c) модуль сдвига;
- d) тангенс угла сдвига.

13. Модуль сдвига — это коэффициент пропорциональности между:

- a) нормальным напряжением и относительной деформацией тела;
- b) тангенциальным напряжением и тангенсом угла сдвига;
- c) приложенной силой и тангенсом угла сдвига;
- d) приложенной силой и тангенциальным напряжением.

14. От чего зависит модуль сдвига? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) приложенной силы;
- b) формы тела;
- c) объема тела;
- d) природы тела;
- e) параметров состояния тела (температура, давление).

15. Под действием силы 10 Н пружина жесткостью 200 Н/м сократится на:

- a) 10 см;
- b) 20 см;
- c) 5 см;
- d) 2 см.

16. К металлическому стержню с площадью сечения 1 см^2 приложена растягивающая сила 10^4 Н . Модуль Юнга материала стержня составляет $5 \cdot 10^{10} \text{ Па}$. Относительное удлинение стержня составит:

- a) 0,5 %;
- b) 0,2 %;
- c) 5 мм;
- d) 2 мм.

17. Нормальное напряжение, создаваемое силой 20 Н, приложенной перпендикулярно поверхности площадью 5 см^2 , равно:

- a) 10^2 Н/м^2 ;
- b) 4 Н/м^2 ;
- c) $4 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$;
- d) 100 Н/м^2 .

18. На резиновую прокладку толщиной 2 см действует сдвиговое напряжение $5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$. Модуль сдвига резины $2,5 \cdot 10^6 \text{ Па}$. При этом смещение плоскостей прокладки составляет:

- a) 1,2 мм;
- b) 0,4 мм;
- c) 1 мм;
- d) 2 мм.

2.6. ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

1. Уравнение динамики вращательного движения относительно неподвижной оси описывается формулой:

a) $a_n = v^2/R$;

c) $a_\tau = \beta R$;

b) $F = ma$;

d) $M = J\beta$.

2. Момент силы относительно оси вращения — это:

a) векторное произведение силы на радиус-вектор точки ее приложения;

b) скалярная величина, аналог силы в уравнении динамики вращательного движения;

c) производная от силы по времени;

d) сила, деленная на радиус вращения.

3. Момент силы относительно точки определяется выражением:

a) $\mathbf{M} = \mathbf{R} \times \mathbf{F}$;

c) $M = v^2/R$;

b) $\mathbf{M} = J\beta$;

d) $\mathbf{M} = \beta R$.

4. Свободные оси — это:

a) оси вращения, которые не закреплены;

b) оси вращения, совпадающие по направлению с осями координат;

c) такие оси, в точках крепления которых при вращении силы не действуют;

d) оси вращения, перпендикулярные друг другу и вектору приложенной силы.

5. Аналогом массы в уравнении динамики вращательного движения является:

a) момент инерции;

c) момент силы;

b) момент вращения;

d) угловая масса.

6. Тензор — это:

a) математический оператор, задающий некоторое правило преобразования векторов;

b) матрица размерности 3×3 ;

c) правило преобразования векторов;

d) момент инерции тела.

7. Моменту инерции свободно движущегося тела соответствует математический объект, называемый:

- a) вектором;
- b) скаляром;
- c) матрицей;
- d) тензором.

8. Момент инерции абсолютно твердого тела зависит от:

- a) ориентации осей координат;
- b) углового ускорения;
- c) распределения масс по объему тела;
- d) момента приложенной силы.

9. Главные оси вращения — это:

- a) оси ортогональной системы координат;
- b) такие оси вращения, относительно которых момент инерции тела принимает максимальное или минимальное значение;
- c) такие оси вращения, относительно которых момент инерции тела максимален;
- d) оси координат, при приведении к которым тензор момента инерции принимает диагональный вид.

10. Главные моменты инерции — это:

- a) моменты инерции, посчитанные относительно осей координат;
- b) числа, стоящие на главной диагонали тензора момента инерции, приведенного к диагональному виду;
- c) максимальный и минимальный моменты инерции тела;
- d) максимальное и минимальное числа в матрице, представляющей тензор момента инерции тела.

11. Момент инерции материальной точки относительно фиксированной оси вращения определяется выражением:

- a) $J = \int R^2 dm$;
- b) $J = \int m R^2 dR$;
- c) $J = Rm$;
- d) $J = mR^2$.

12. Чтобы найти момент инерции твердого тела конечных размеров, необходимо:

- a) умножить массу тела на расстояние от оси вращения до центра масс;
- b) умножить массу тела на квадрат расстояния от оси вращения до центра масс;
- c) разбить тело на малые части, перемножить их массы и расстояния до оси вращения и сложить эти величины;
- d) разбить тело на малые части, посчитать их моменты инерции и сложить их.

13. Момент инерции однородного диска радиусом R и массой m относительно его оси вращения определяется выражением:

a) $J = mR^2/2$;

c) $J = mR$;

b) $J = 2mR^2$;

d) $J = mR^2$.

14. Момент инерции стержня длиной l и массой m относительно оси, проходящей через его конец перпендикулярно стержню, определяется выражением:

a) $J = ml^2/3$;

c) $J = 3ml^2$;

b) $J = 2ml^2$;

d) $J = ml^2$.

15. Момент инерции тонкостенного цилиндра радиусом R и массой m относительно оси, проходящей вдоль его оси симметрии, определяется выражением:

a) $J = 2mR^2$;

c) $J = mR^2$;

b) $J = 5mR^2/2$;

d) $J = 2mR^2/5$.

16. Теорему Штейнера можно сформулировать следующим образом:

a) момент силы, приложенной к телу, равен производной по времени от произведения момента инерции на угловое ускорение;

b) момент инерции относительно произвольной оси равен сумме момента инерции относительно оси параллельной данной и проходящей через центр масс тела, и произведения массы тела на квадрат расстояния между осями;

c) момент силы равен произведению силы на плечо силы;

d) путем преобразования системы координат можно получить тензор момента инерции диагонального вида.

17. Теорема Штейнера описывается формулой:

a) $J = J_c + mR^2$;

c) $\mathbf{M} = d(J\omega)/dt$;

b) $\mathbf{M} = \mathbf{R} \times \mathbf{F}$;

d) $\mathbf{M} = \beta \mathbf{R}$.

18. Гироскоп — это:

a) прибор для обнаружения поворотов объекта, движущегося по сложной траектории;

b) массивное тело, движущееся с большой скоростью вокруг оси, относительно которой оно обладает максимальным моментом инерции;

c) прибор для измерения углов поворота движущегося объекта;

d) массивное тело, вращающееся с большой скоростью вокруг своей оси симметрии.

19. Гироскопы используют для:

- a) создания гирокомпасов;
- b) измерения ускорений;
- c) измерения углов;
- d) измерения сил.

20. Прецессия гироскопа — это:

- a) медленное вращение оси гироскопа вокруг другой оси;
- b) точность отсчета по шкале гироскопа;
- c) стремление гироскопа сохранить ориентацию своей оси вращения;
- d) характеристика его инерционных свойств.

21. При разгоне велосипедиста массой 60 кг сила трения между колесом радиусом 30 см и дорогой составляет 600 Н. При этом момент силы, действующей на колесо велосипеда, равен:

- a) 2 000 Н·м;
- b) 20 Н·м;
- c) 180 Н·м;
- d) 10 Н/кг.

22. Момент силы, действующей на колесо радиусом 20 см неподвижной тележки массой 100 кг, равен:

- a) 20 Н·м;
- b) 50 Н·м;
- c) 200 Н·м;
- d) 0 Н·м.

23. Момент инерции модели самолета массой 1 кг, вращающейся на корде длиной 5 м относительно оси вращения, равен:

- a) 5 кг·м;
- b) 25 кг·м²;
- c) 0,2 кг/м;
- d) 50 Н·м.

24. Момент инерции автомобиля массой 1 000 кг при движении со скоростью 36 км/ч по прямолинейному участку дороги равен:

- a) не определен;
- b) 1 000 кг;
- c) 10⁴ кг;
- d) 980 Н.

25. Под действием момента силы 100 Н·м маховик массой 20 кг с моментом инерции 20 кг·м² приобретает угловое ускорение:

- a) 100 Н/м²;
- b) 50 м/с²;
- c) 2 000 рад/с;
- d) 5 рад/с².

26. Момент силы, сообщающей маховику массой 4 кг с моментом инерции 2 кг·м² угловое ускорение 12 рад/с², равен:

- a) 24 Н·м;
- b) 48 Н;
- c) 6 м/с²;
- d) 1,5 Н·м.

27. Момент инерции тела, движущегося с угловым ускорением 2 рад/с^2 под действием момента силы $4 \text{ Н}\cdot\text{м}$, равен:

- a) $8 \text{ Н}\cdot\text{м/с}^2$;
- b) $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- c) $0,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- d) $1,0 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

28. Момент силы, действующей на маховик радиусом 50 см со стороны груза массой 10 кг , подвешенного на намотанной на маховик нити, равен:

- a) $200 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- b) $5 \text{ кг}\cdot\text{м}$;
- c) $2,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- d) $50 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

29. Тонкостенный цилиндр радиусом 20 см имеет момент инерции $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ относительно своей оси. Относительно оси, проходящей вдоль его боковой поверхности, он имеет момент инерции:

- a) $1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- b) $4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- c) $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- d) $10 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

30. Момент инерции стержня относительно оси, проходящей перпендикулярно стержню через его центр, — $5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Момент инерции стержня относительно оси, проходящей перпендикулярно стержню через его конец, равен:

- a) $10 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- b) $2,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- c) $20 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- d) $1,25 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

2.7. НЕИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА

1. Законы Ньютона:

- a) не выполняются в неинерциальных системах отсчета;
- b) выполняются в неинерциальных системах отсчета;
- c) применимы для неинерциальных систем отсчета, движущихся прямолинейно;
- d) применимы в неинерциальных системах отсчета, движущихся с нерелятивистскими скоростями.

2. Движение тела в неинерциальных системах отсчета описывают:

- a) без использования законов Ньютона;
- b) без использования уравнения движения;
- c) используя преобразование системы координат;
- d) используя фиктивную силу инерции.

3. Сила инерции — это:

- a) фиктивная сила, которую вводят для того, чтобы исследовать движение тела в неинерциальной системе отсчета;
- b) сила, действующая на тело после прекращения внешнего воздействия;
- c) сила, заставляющая тело двигаться в инерциальной системе отсчета;
- d) сила, сообщающая телу вращательное движение.

4. Центробежная сила — это:

- a) сила инерции во вращающейся системе отсчета;
- b) часть силы инерции во вращающейся системе отсчета, обусловленная движением тела в ней;
- c) сила, действующая на тело во вращающейся системе отсчета;
- d) сила, действующая на тело, неподвижное во вращающейся системе отсчета.

5. Центростремительная сила — это:

- a) сила, действующая на тело, неподвижное во вращающейся системе отсчета;
- b) сила инерции во вращающейся системе отсчета;
- c) часть силы инерции во вращающейся системе отсчета, обусловленная движением тела в ней;
- d) сила, действующая на тело, во вращающейся системе отсчета.

6. Центробежная сила описывается формулой:

- a) $F_{цб} = \mathbf{R} \times \mathbf{F}$;
- b) $F_{цб} = J\beta$;
- c) $F_{цб} = mv^2/R$;
- d) $F_{цб} = \beta R$.

7. Сила Кориолиса — это:

- a) сила, действующая на тело, неподвижное во вращающейся системе отсчета;
- b) сила инерции во вращающейся системе отсчета;
- c) часть силы инерции, действующей на тело во вращающейся системе отсчета, обусловленная движением тела в ней;
- d) сила, действующая на тело, во вращающейся системе отсчета.

8. Модуль силы Кориолиса определяется соотношением:

- a) $F_K = mv^2/R$;
- b) $F_K = 2mv\omega \cos \alpha$;
- c) $F_K = 2mv\omega \sin \alpha$;
- d) $F_K = J\beta v \cos \alpha$.

9. Сила Кориолиса направлена:

- a) параллельно вектору угловой скорости;

- b) параллельно вектору линейной скорости;
- c) вдоль радиуса, проведенного от оси вращения к телу;
- d) перпендикулярно векторам угловой и линейной скорости.

10. Центробежная сила, действующая на материальную точку массой 2 кг, движущуюся по окружности радиусом 0,5 м со скоростью 4 м/с, равна:

- a) 16 Н;
- b) 64 Н;
- c) 32 Н;
- d) 20 Н.

11. При угловой скорости вращения планеты 10^{-4} рад/с сила Кориолиса, действующая на космический аппарат массой 80 кг, движущийся по поверхности планеты вдоль ее экватора со скоростью 2 м/с, равна:

- a) $1,6 \cdot 10^{-3}$ Н;
- b) $4,0 \cdot 10^{-3}$ Н;
- c) 0 Н;
- d) $3,2 \cdot 10^{-2}$ Н.

12. Сила Кориолиса, действующая на человека массой 70 кг, пересекающего земной экватор в направлении с севера на юг со скоростью 5 км/ч, равна:

- a) 0 Н;
- b) $3,5 \cdot 10^{-3}$ Н;
- c) $1,4 \cdot 10^{-3}$ Н;
- d) $7,0 \cdot 10^{-3}$ Н.

2.8. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

1. Механическая система называется замкнутой, если:

- a) в ней действуют только внутренние силы;
- b) на ее элементы не действуют никакие силы;
- c) на нее действуют только внешние силы;
- d) в ней действуют только внутренние консервативные силы.

2. Интегралы движения — это:

- a) интегралы от координат и импульсов по времени движения;
- b) интегралы от координат и импульсов по перемещению тела;
- c) интегралы от энергии, импульса и момента импульса;
- d) функции координат и скоростей, которые сохраняются со временем.

3. Какие интегралы движения представляют наибольший интерес в классической механике? Выберите все правильные ответы из следующих:

- a) энергия;
- b) путь;
- c) перемещение;
- d) скорость;
- e) ускорение;
- f) импульс;
- g) момент импульса.

4. В основе закона сохранения энергии лежит свойство:

- a) однородности пространства;
- b) изотропности пространства;
- c) однородности времени;
- d) постоянства скорости света.

5. В основе закона сохранения импульса лежит свойство:

- a) однородности времени;
- b) изотропности пространства;
- c) постоянства скорости света;
- d) однородности пространства.

6. В основе закона сохранения момента импульса лежит свойство:

- a) изотропности пространства;
- b) однородности пространства;
- c) однородности времени;
- d) постоянства скорости света.

7. В замкнутой системе законы сохранения выполняются:

- a) всегда;
- b) только в нерелятивистской механике;
- c) только в классической механике;
- d) только в инерциальных системах отсчета.

8. Использование законов сохранения позволяет:

- a) найти уравнения, решая которые можно описать движение тела;
- b) ограничить область допустимых значений динамических переменных;
- c) облегчить решение некоторых задач;
- d) найти, как изменяются координаты и скорости тел, не решая уравнений движения.

9. Относительно консервативных сил можно утверждать, что:

- a) они не зависят от координат и скоростей движения тел;
- b) законы сохранения энергии, импульса и момента импульса выполняются только в случае действия в замкнутой системе консервативных сил;

- c) они создают поле, каждой точке которого можно сопоставить потенциальную энергию тела;
- d) это силы, действующие между элементами замкнутой системы.

10. Кинетическая энергия материальной точки — это:

- a) произведение ее массы на скорость;
- b) функция динамических переменных, сохраняющая свою величину при взаимодействиях;
- c) квадрат ее импульса, деленный на удвоенную массу;
- d) параметр движения, сохраняющий свое значение при взаимодействиях.

11. Кинетическая энергия вращающегося тела в классической механике определяется соотношением:

- a) $E_k = J \omega^2 / 2$;
- b) $E_k = mv^2 / 2$;
- c) $E_k = mgh$;
- d) $E_k = mv^2 / R$.

12. Относительно потенциальной энергии тела можно утверждать, что:

- a) ее изменение при перемещении из одной точки пространства в другую равно работе, совершаемой над телом;
- b) это сила, действующая на тело в данной точке пространства;
- c) ее изменение равно работе консервативных сил при перемещении тела;
- d) это энергия, которой тело может обладать, находясь в данной точке пространства.

13. Механическая энергия — это:

- a) сумма кинетической и потенциальной энергий тела;
- b) работа, которую совершают механические силы при перемещении тела;
- c) сумма кинетической энергии тела и совершенной над ним работы;
- d) сумма всех видов энергии тела и совершенной над ним работы.

14. Энергия деформации сжатой пружины определяется формулой:

- a) $E = k \Delta x^2 / 2$;
- b) $E = k \Delta x$;
- c) $E = mgh$;
- d) $E = mv^2 / 2$.

15. Механическая работа, совершаемая при перемещении тела, определяется как:

- a) интеграл вдоль пути движения от скалярного произведения силы на элементарное перемещение тела;
- b) произведение силы на путь, пройденный телом;
- c) скалярное произведение силы, действующей на тело, на его перемещение;
- d) разность энергий тела в начальной и конечной точках движения.

16. В СИ работа измеряется в:

- a) килограммах на метр, кг/м;
- b) ньютонах, Н;
- c) джоулях, Дж;
- d) ваттах, Вт.

17. Закон сохранения механической энергии можно сформулировать следующим образом:

- a) механическая энергия замкнутой системы остается постоянной;
- b) механическая энергия замкнутой консервативной системы остается постоянной;
- c) механическая энергия тела остается постоянной при взаимодействиях;
- d) механическая энергия тела не изменяется под действием консервативных сил.

18. Состояние равновесия тела — это состояние:

- a) с минимумом потенциальной энергии и нулевой кинетической энергией;
- b) когда тело находится в покое;
- c) с минимумом потенциальной энергии;
- d) с равной нулю первой производной и отрицательной второй производной потенциальной энергии тела по координате.

19. Необходимым условием равновесия является:

- a) равенство нулю первой производной потенциальной энергии по координате;
- b) равенство нулю кинетической и потенциальной энергий;
- c) минимум потенциальной энергии;
- d) равенство нулю потенциальной энергии.

20. Каким может быть механическое равновесие? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) устойчивым;
- b) неустойчивым;
- c) статическим;
- d) абсолютным;
- e) относительным;
- f) внешним;
- g) внутренним.

21. Необходимым и достаточным условием устойчивого равновесия тела является:

- a) равенство нулю первой производной и отрицательность второй производной потенциальной энергии по координате;
- b) равенство нулю кинетической и потенциальной энергий;
- c) равенство нулю скорости;
- d) минимум потенциальной и равенство нулю кинетической энергии.

22. Закон сохранения импульса можно сформулировать следующим образом:

- a) импульс замкнутой системы материальных тел остается постоянным;
- b) импульс замкнутой консервативной системы материальных тел остается постоянным;
- c) импульс консервативной системы материальных тел остается постоянным;
- d) импульс тела не изменяется при взаимодействии.

23. В случае абсолютно упругого взаимодействия:

- a) сохраняются кинетическая и потенциальная энергии каждого тела;
- b) механическая энергия взаимодействующих тел может переходить в другие виды энергии;
- c) механическая энергия взаимодействующих тел не переходит в другие виды энергии;
- d) сохраняется кинетическая энергия каждого из взаимодействующих тел.

24. В случае неупругого взаимодействия:

- a) сохраняется механическая и не сохраняется кинетическая энергия каждого тела;
- b) механическая энергия взаимодействующих тел полностью переходит в другие виды энергии;
- c) не сохраняется общий импульс взаимодействующих тел;
- d) механическая энергия взаимодействующих тел частично переходит в другие виды энергии.

25. В случае абсолютно неупругого взаимодействия:

- сохраняется механическая и не сохраняется кинетическая энергия каждого тела;
- механическая энергия взаимодействующих тел полностью переходит в другие виды энергии;
- не сохраняется общий импульс взаимодействующих тел;
- тела после взаимодействия движутся как единое целое.

26. После абсолютно упругого удара скорости тел равны:

$$\begin{aligned} a) \quad v_1 &= \frac{2m_2v_{20} + (m_1 - m_2)v_{10}}{m_1 + m_2}, & v_2 &= \frac{2m_1v_{10} + (m_2 - m_1)v_{20}}{m_1 + m_2}, \\ b) \quad v_1 &= \frac{2m_2v_{20} + (m_1 - m_2)v_{10}}{m_1 + m_2}, & v_2 &= \frac{2m_2v_{20} + (m_1 - m_2)v_{10}}{m_1 + m_2}, \\ c) \quad v_1 &= \frac{2m_2v_{20} + (m_1 - m_2)v_{10}}{m_1 + m_2}, & v_2 &= \frac{m_1v_{10} + m_2v_{20}}{m_1 + m_2}, \\ d) \quad v_1 &= \frac{m_1v_{10} + m_2v_{20}}{m_1 + m_2}, & v_2 &= \frac{m_1v_{10} + m_2v_{20}}{m_1 + m_2}. \end{aligned}$$

27. После абсолютно неупругого удара скорости тел равны:

$$\begin{aligned} a) \quad v_1 &= \frac{2m_2v_{20} + (m_1 - m_2)v_{10}}{m_1 + m_2}, & v_2 &= \frac{m_1v_{10} + m_2v_{20}}{m_1 + m_2}, \\ b) \quad v_1 &= \frac{2m_2v_{20} + (m_1 - m_2)v_{10}}{m_1 + m_2}, & v_2 &= \frac{2m_2v_{20} + (m_1 - m_2)v_{10}}{m_1 + m_2}, \\ c) \quad v_1 &= \frac{m_1v_{10} + m_2v_{20}}{m_1 + m_2}, & v_2 &= \frac{m_1v_{10} + m_2v_{20}}{m_1 + m_2}, \\ d) \quad v_1 &= \frac{2m_2v_{20} + (m_1 - m_2)v_{10}}{m_1 + m_2}, & v_2 &= \frac{2m_1v_{10} + (m_2 - m_1)v_{20}}{m_1 + m_2}. \end{aligned}$$

28. Радиус-вектор центра масс можно найти следующим образом:

$$\begin{aligned} a) \quad \mathbf{r}_{ц.м} &= \frac{\sum_{i=1}^N p_i \mathbf{r}_i}{\sum_{i=1}^N p_i}, & c) \quad \mathbf{r}_{ц.м} &= \frac{\sum_{i=1}^N \mathbf{r}_i}{N}, \\ b) \quad \mathbf{r}_{ц.м} &= \sum_{i=1}^N \mathbf{r}_i, & d) \quad \mathbf{r}_{ц.м} &= \frac{\sum_{i=1}^N m_i \mathbf{r}_i}{\sum_{i=1}^N m_i}. \end{aligned}$$

29. Закон сохранения центра масс можно сформулировать следующим образом:

- у консервативной системы центр масс покоится или движется равномерно и прямолинейно;
- центр масс инерциальной системы покоится или движется равномерно и прямолинейно;

- c) у замкнутой системы центр масс покоится или движется равномерно и прямолинейно;
- d) положение центра масс замкнутой консервативной системы не изменяется со временем.

30. Момент импульса материальной точки — это:

- a) векторное произведение ее радиуса-вектора и импульса;
- b) величина, сохраняющаяся при взаимодействиях тел;
- c) производная от импульса по времени;
- d) сумма произведений координат материальной точки на соответствующие им проекции импульса.

31. Закон сохранения момента импульса можно сформулировать следующим образом:

- a) момент импульса замкнутой консервативной системы остается постоянным;
- b) момент импульса замкнутой системы остается постоянным;
- c) момент импульса консервативной механической системы остается постоянным;
- d) момент импульса инерциальной системы остается постоянным.

32. Закон сохранения проекции момента импульса можно сформулировать следующим образом:

- a) проекция момента импульса на неподвижную ось вращения сохраняется, если сумма моментов внешних сил относительно этой оси равна нулю;
- b) проекция момента импульса замкнутой системы на неподвижную ось вращения сохраняется, если сумма моментов внешних сил относительно этой оси равна нулю;
- c) проекция момента импульса консервативной механической системы на неподвижную ось вращения сохраняется, если сумма моментов внешних сил относительно этой оси равна нулю;
- d) проекция момента импульса замкнутой консервативной системы на неподвижную ось вращения сохраняется, если сумма моментов внешних сил относительно этой оси равна нулю.

33. Модель самолета массой 1 кг, вращающаяся на корде длиной 5 м со скоростью 10 м/с, обладает моментом импульса:

- a) $250 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$;
- b) $100 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$;
- c) $50 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$;
- d) $500 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$.

34. Модель самолета массой 1 кг вращается на корде длиной 6 м со скоростью 10 м/с. При быстром уменьшении длины корда до 3 м кинетическая энергия модели стала равна:

- a) 150 Дж;
- b) 100 Дж;
- c) 400 Дж;
- d) 200 Дж.

35. Для того чтобы подвести к берегу рыбу, тянущую за крючок с силой 20 Н, при длине лески 10 м рыбак должен совершить работу:

- a) 200 Дж;
- b) 50 Дж;
- c) 20 Дж;
- d) 100 Дж.

36. Чтобы удерживать груз массой 2 кг на высоте 5 м в течение 1 с, необходимо совершить работу:

- a) 20 Н;
- b) 100 Дж;
- c) 0 Дж;
- d) 10 Н.

37. Чтобы перенести груз массой 2 кг на расстояние 4 м, необходимо совершить работу:

- a) 20 Дж;
- b) 8 Дж;
- c) 0 Дж;
- d) 80 Дж.

38. Бильярдный шар, скорость которого задается вектором $\mathbf{v}_{1н} = (2, 5)$ м/с, сталкивается с двумя другими покоящимися шарами такой же массы. После соударения скорости двух шаров: $\mathbf{v}_{1к} = (1, 1)$ м/с и $\mathbf{v}_{2к} = (1, 2)$ м/с, а третьего:

- a) (4, 8) м/с;
- b) (0, 1) м/с;
- c) (2, 3) м/с;
- d) (0, 2) м/с.

39. Тонкостенный цилиндр массой 5 кг, катящийся без проскальзывания по горизонтальной поверхности со скоростью 2 м/с, попадая на наклонный участок, поднимется на высоту:

- a) 0,4 м;
- b) 0,2 м;
- c) 0,5 м;
- d) 0,1 м.

40. Два одинаковых груза массой 0,5 кг соединены невесомой пружиной жесткостью 10^4 Н/м, сжатой на 1 см. После распрямления пружины скорость каждого груза:

- a) 2 м/с;
- b) 1 м/с;
- c) 5 м/с;
- d) 10 м/с.

41. Хоккеист массой 80 кг ударом по шайбе массой 100 г сообщает ей скорость 40 м/с. Максимальная скорость, которую хоккеист может приобрести при таком ударе:

a) 0,8 м/с;

b) 0,2 м/с;

c) 0,05 м/с;

d) 0,1 м/с.

42. Два груза массами 2 и 6 кг расположены на расстоянии 3 м друг от друга. Центр их масс находится от груза большей массы на расстоянии:

a) 0,5 м;

b) 1,5 м;

c) 1,0 м;

d) 2,0 м.

43. Муха массой 0,5 г, летящая со скоростью 2 м/с, попадает в подвешенный липкий лист бумаги массой 1,5 г. Сразу после столкновения скорость движения листа с прилипшей к нему мухой составляет:

a) 2,5 м/с;

b) 1,5 м/с;

c) 1,0 м/с;

d) 0,5 м/с.

44. Падая с высоты 1 м, груз массой 2 кг может сжать пружину жесткостью 10^5 Н/м на:

a) 0,2 см;

b) 2,0 см;

c) 1,0 см;

d) 0,5 см.

45. Шар массой 100 г, движущийся со скоростью 10 м/с, после абсолютно упругого столкновения с другим таким же покоившимся шаром имеет скорость 6 м/с. Скорость второго шара после столкновения:

a) 2 м/с;

b) 6 м/с;

c) 8 м/с;

d) 4 м/с.

46. Тело массой 1 кг с координатами: $x = 1$ м и $y = 1$ м движется вдоль оси x со скоростью 4 м/с. Проекция вектора момента импульса этого тела на ось z равна:

a) $2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$;

b) $2\sqrt{2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$;

c) $4\sqrt{2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$;

d) $4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$.

2.9. МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ СРЕД

1. Назовите разделы механики сплошных сред. Выберите несколько правильных ответов из следующих:

a) гидростатика;

b) гидродинамика;

c) кинематика;

d) динамика;

e) статика;

f) газовая динамика;

g) теория упругости;

h) механика материальной точки;

i) механика твердого тела.

2. Закон Паскаля можно сформулировать следующим образом:
 - a) на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости;
 - b) давление в неподвижной несжимаемой жидкости определяется по формуле: $P = \rho gh$;
 - c) поток жидкости сквозь систему пропорционален разности давлений на ее входе и выходе;
 - d) давление в любом месте покоящейся жидкости одинаково по всем направлениям и передается по всему объему этой жидкости.
3. Давление в неподвижной несжимаемой жидкости:
 - a) не зависит от расстояния до ее поверхности;
 - b) не зависит от рода жидкости;
 - c) зависит от расстояния до ее поверхности и не зависит от рода жидкости;
 - d) определяется по формуле $P = \rho gh$.
4. Закон Архимеда можно сформулировать следующим образом:
 - a) на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости;
 - b) давление в любом месте покоящейся жидкости одинаково по всем направлениям и передается по всему объему этой жидкости;
 - c) давление в неподвижной несжимаемой жидкости определяется по формуле $P = \rho gh$;
 - d) поток жидкости сквозь систему пропорционален разности давлений на ее входе и выходе.
5. Закон Архимеда описывается формулой:

a) $F_A = mgh$;	c) $F_A = \rho gV$;
b) $F_A = F/S$;	d) $F_A = \rho gh$.
6. Течение — это:
 - a) движение жидкости;
 - b) совокупность частиц движущейся жидкости;
 - c) линия, касательные к которой в каждой точке направлены вдоль скорости движения частиц жидкости;
 - d) часть жидкости, ограниченная линиями тока.
7. Поток — это:
 - a) линия, касательные к которой в каждой точке направлены вдоль скорости движения частиц жидкости;

- b) часть жидкости, ограниченная линиями тока;
- c) совокупность частиц движущейся жидкости;
- d) движение жидкости.

8. Линия тока — это:

- a) движение жидкости;
- b) совокупность частиц движущейся жидкости;
- c) часть жидкости, ограниченная линиями тока;
- d) линия, касательные к которой в каждой точке направлены вдоль скорости движения частиц жидкости.

9. Трубка тока — это:

- a) часть жидкости, ограниченная линиями тока;
- b) движение жидкости;
- c) совокупность частиц движущейся жидкости;
- d) линия, касательные к которой в каждой точке направлены вдоль скорости движения частиц жидкости.

10. Идеальная жидкость — это жидкость:

- a) с нулевой плотностью;
- b) для которой выполняются законы Паскаля и Архимеда;
- c) в которой отсутствует внутреннее трение;
- d) для которой выполняется закон Бернулли.

11. Стационарным называют течение:

- a) параметры которого не зависят от координаты;
- b) для которого выполняются законы Паскаля и Архимеда;
- c) которое не изменяется со временем;
- d) для которого число Рейнольдса не превышает 1 000.

12. Условие неразрывности жидкости описывается формулой:

- a) $S_1 v_1 = S_2 v_2$;
- b) $P_1 v_1 = P_2 v_2$;
- c) $\rho_1 g h = \rho_2 g h$;
- d) $\rho_1 g V_1 = \rho_2 g V_2$.

13. Уравнение Бернулли описывается формулой:

- a) $\rho v^2/2 + \rho g h + P = \text{const}$;
- b) $m v^2/2 + m g h + P = \text{const}$;
- c) $\rho g V = \text{const}$;
- d) $S v + \rho g h + P = \text{const}$.

14. Какие различают виды давления? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) динамическое;
- b) нормальное;
- c) гидростатическое;
- d) тангенциальное.

15. Динамическое давление определяется следующим образом:

- a) $P_d = \rho v^2/2$;
- b) $P_d = \rho gh$;
- c) $P_d = \rho gV$;
- d) $P_d = F/S$.

16. Полное давление в потоке:

- a) определяется выражением $P_n = \rho v^2/2 + \rho gh$;
- b) определяется выражением $P_n = F/S + \rho gh$;
- c) это сумма нормального и тангенциального давлений;
- d) это сумма гидростатического и динамического давлений.

17. Формула Торричелли:

- a) показывает, что скорость истечения жидкости такая же, как скорость, приобретаемая телом при падении с соответствующей высоты;
- b) позволяет определить давление в потоке несжимаемой жидкости;
- c) позволяет определить давление в неподвижной несжимаемой жидкости;
- d) описывает зависимость потока жидкости сквозь систему от разности давлений на ее входе и выходе и геометрических параметров системы.

18. Формула Торричелли выглядит следующим образом:

- a) $v = \sqrt{2gh}$;
- b) $\rho v^2/2 + \rho gh + P = \text{const}$;
- c) $P = 2gh\rho$;
- d) $Q = \Delta P \pi R^4/8\eta l$.

19. Давление струи жидкости, вытекающей из сосуда, определяется выражением:

- a) $P = 2gh\rho$;
- b) $P = \Delta P \pi R^4/8\eta l$;
- c) $P = \sqrt{2gh}$;
- d) $P = \rho v^2/2 + \rho gh$.

20. Работа реактивного двигателя основана на:

- a) законе сохранения энергии;
- b) использовании давления струи вытекающих газов на окружающие тела;
- c) возникновении динамического давления в струе газов;
- d) действии силы реакции вытекающих газов.

21. Особенность реактивного двигателя состоит в том, что:

- a) он более экономичен, чем тепловой;

- b) он позволяет получать большую силу тяги, чем тепловой;
- c) у него больший коэффициент полезного действия, чем у теплового;
- d) он может приводить в движение аппараты, находящиеся в вакууме.

22. Вязкость — это:

- a) свойство реальной жидкости оказывать сопротивление перемещению ее слоев друг относительно друга;
- b) возникновение сил трения при скольжении частей системы друг относительно друга;
- c) обусловленное тепловым движением молекул проникновение одних веществ в объем, занятый другими веществами;
- d) процесс уменьшения скорости движения жидкости как целого.

23. Какие различают режимы течений? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) турбулентное;
- b) статическое;
- c) ламинарное;
- d) динамическое;
- e) нормальное;
- f) капиллярное.

24. При ламинарном течении:

- a) слои жидкости перемешиваются между собой;
- b) параметры потока не изменяются со временем;
- c) слои жидкости не перемешиваются между собой;
- d) не выполняется условие непрерывности.

25. Число Рейнольдса:

- a) определяет характер течения жидкости;
- b) определяет величину силы сопротивления движению твердого тела в жидкости;
- c) это отношение динамического давления к статическому в потоке жидкости;
- d) показывает, выполняется ли условие непрерывности.

26. От чего зависит число Рейнольдса? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) зависит от свойств жидкости;
- b) не зависит от свойств жидкости;

- c) не зависит от геометрических свойств системы;
- d) зависит от скорости течения жидкости;
- e) зависит от геометрических свойств системы;
- f) не зависит от скорости течения жидкости.

27. Число Рейнольдса:

- a) пропорционально скорости движения жидкости;
- b) обратно пропорционально скорости движения жидкости;
- c) не зависит от скорости движения жидкости;
- d) обратно пропорционально квадрату скорости движения жидкости.

28. Число Рейнольдса определяется формулой:

- a) $P = 2gh\rho$;
- b) $v = \sqrt{2gh}$;
- c) $\rho v^2/2 + \rho gh + P = \text{const}$;
- d) $\text{Re} = \rho vl/\eta$.

29. Ламинарный режим течения наблюдается при числах Рейнольдса:

- a) $\text{Re} < 1\,000$;
- b) $\text{Re} > 2\,000$;
- c) $\text{Re} < 10$;
- d) $\text{Re} > 20$.

30. Формула Стокса:

- a) определяет характер течения жидкости;
- b) определяет силу сопротивления движению твердого тела в жидкости;
- c) это отношение динамического давления к статическому в потоке жидкости;
- d) показывает, выполняется ли условие непрерывности.

31. При движении тела в вязкой жидкости сила сопротивления не зависит от:

- a) вязкости жидкости;
- b) массы тела;
- c) скорости движения;
- d) размеров тела.

32. Как и от чего зависит сила сопротивления при небольшой скорости движения тела в вязкой жидкости? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) прямо пропорциональна вязкости жидкости;
- b) обратно пропорциональна скорости движения тела;
- c) не зависит от размеров тела;
- d) обратно пропорциональна вязкости жидкости;
- e) прямо пропорциональна скорости движения тела.

33. Какие силы действуют на крыло, движущееся в струе жидкости или газа? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) сила реакции;
- b) сила лобового сопротивления;
- c) сила динамического давления;
- d) подъемная сила;
- e) реактивная сила.

34. Значение качества крыла показывает отношение:

- a) подъемной силы к силе сопротивления;
- b) силы сопротивления к подъемной силе;
- c) подъемной силы к динамическому давлению;
- d) динамического давления к статическому.

35. Формула Пуазейля:

- a) показывает, что скорость истечения жидкости равна скорости, приобретаемой телом при падении с соответствующей высоты;
- b) позволяет определить давление в потоке несжимаемой жидкости;
- c) описывает зависимость потока жидкости от разности давлений и размеров трубы;
- d) позволяет определить давление в неподвижной несжимаемой жидкости.

36. Формула Пуазейля выглядит следующим образом:

- a) $P = 2gh\rho$;
- b) $v = \sqrt{2gh}$;
- c) $\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = \text{const}$;
- d) $Q = \frac{\Delta P \pi R^4}{8\eta l}$.

37. Поток жидкости через трубу:

- a) обратно пропорционален разности давлений на ее концах;
- b) пропорционален квадрату разности давлений на ее концах;
- c) прямо пропорционален разности давлений на ее концах;
- d) пропорционален четвертой степени разности давлений на ее концах.

38. При ламинарном течении поток жидкости через трубу круглого сечения при постоянном перепаде давлений на ее концах:

- a) пропорционален четвертой степени радиуса трубы;
- b) пропорционален квадрату радиуса трубы;

- с) пропорционален радиусу трубы;
- д) обратно пропорционален радиусу трубы.

39. Уровень жидкости в сосуде 20 см. Скорость ее вытекания из отверстия в дне сосуда равна:

- а) 0,5 м/с;
- б) 2,0 м/с;
- с) 5,0 м/с;
- д) 1,0 м/с.

40. Масса батискафа вместимостью 5 м^3 не должна быть меньше:

- а) 5,0 т;
- б) 0,5 т;
- с) 1,0 т;
- д) 10 т.

41. Давление в водоеме на глубине 1 м равно:

- а) 10^2 Па ;
- б) 10^3 Па ;
- с) 10^4 Па ;
- д) 10 Па.

42. Высота ртутного столба в манометре составляет 760 мм, плотность ртути — $13\,600 \text{ кг/м}^3$. При этом атмосферное давление составляет:

- а) 10^2 Па ;
- б) 10^3 Па ;
- с) 10^4 Па ;
- д) 10^5 Па .

43. Две трубы длиной 1 м и диаметрами 10 и 5 см включены параллельно друг другу. Поток жидкости, проходящий через трубу меньшего диаметра, — 1 л/с. Поток жидкости, проходящий через трубу большего диаметра:

- а) 10 л/с;
- б) 4 л/с;
- с) 2 л/с;
- д) 16 л/с.

44. Давление на входе трубы длиной 2 м составляет 4 Па, а на выходе — 16 Па. В средней части трубы давление составляет:

- а) 9 Па;
- б) 10 Па;
- с) 6 Па;
- д) 8 Па.

45. Наливная горловина заполненного жидкостью резервуара имеет диаметр 5 см. В нее поступает жидкость со скоростью 2 см/с. Из сливного отверстия диаметром 10 см этого резервуара одновременно вытекает жидкость со скоростью:

- а) 4 см/с;
- б) 2 см/с;
- с) 1 см/с;
- д) 0,5 см/с.

46. При скорости течения 2 см/с динамическое давление в водопроводной трубе составляет:

- a) 0,2 Па;
b) 1,0 Па;

- c) 0,5 Па;
d) 0,1 Па.

47. Диаметр малого цилиндра гидравлического домкрата 1,5 см, а большого — 3 см. Чтобы с помощью этого домкрата поднять груз массой 1 т, к его поршню необходимо приложить силу:

- a) 10 000 Н;
b) 1 000 Н;

- c) 2 500 Н;
d) 4 000 Н.

48. Уровень воды в резервуаре 5 м. Динамическое давление в открытом сливном отверстии этого резервуара:

- a) $0,5 \cdot 10^5$ Па;
b) $0,1 \cdot 10^5$ Па;

- c) $0,2 \cdot 10^5$ Па;
d) $0,4 \cdot 10^5$ Па.

49. Уровень жидкости в ведре 30 см. Максимальное давление, которое может оказывать вытекающая из отверстия в боковой стенке ведра струя воды:

- a) 200 Па;
b) $4 \cdot 10^4$ Па;

- c) 1 000 Па;
d) 6 000 Па.

50. После установления стационарного движения камня массой 2 кг, падающего на дно водоема, сила сопротивления равна:

- a) 5 Н;
b) 20 Н;

- c) 10 Н;
d) 15 Н.

51. Значение качества крыла равно 2. Сила сопротивления движению крыла — 100 Н. Подъемная сила:

- a) 25 Н;
b) 100 Н;

- c) 50 Н;
d) 200 Н.

2.10. КОЛЕБАНИЯ

1. Механическое колебание — это:

- a) повторяющийся процесс движения механической системы;
b) процесс, происходящий с некоторой долей повторяемости;
c) изменение некоторой физической величины со временем;
d) повторяющийся процесс изменения некоторой физической величины.

2. Какие типы колебаний выделяют по отношению к внешнему воздействию? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) свободные;
- b) связанные;
- c) резонансные;
- d) вынужденные;
- e) параметрические;
- f) автоколебания.

3. При совпадении частоты внешней силы и собственной частоты системы колебания называют:

- a) связанными;
- b) резонансными;
- c) вынужденными;
- d) параметрическими.

4. В том случае если система сама задает периодичность воздействия на нее внешней силы, ее колебания называют:

- a) резонансными;
- b) вынужденными;
- c) параметрическими;
- d) автоколебаниями.

5. При периодическом изменении какого-либо параметра колебательной системы ее колебания называют:

- a) связанными;
- b) резонансными;
- c) вынужденными;
- d) параметрическими.

6. Гармоническими называют колебания:

- a) у которых фаза изменяется со временем по гармоническому закону;
- b) которые можно представить как совокупность гармонических функций;
- c) которые описываются гармоническими функциями;
- d) которые совершаются на резонансной частоте.

7. Почему гармоническим колебаниям уделяют особое внимание? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) процессы в природе часто близки к гармоническим;
- b) их легче исследовать;
- c) это простейший вид колебаний;
- d) их можно описать аналитическими функциями;
- e) любые колебания можно рассматривать как суперпозицию гармонических;
- f) именно гармонические колебания используют в технике.

8. Уравнение движения, описывающее малые собственные колебания без учета затухания, выглядит следующим образом:

- a) $x'' + \omega^2 x = 0$;
- b) $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$;
- c) $x'' + 2\beta x' + \omega^2 x = f(t)$;
- d) $x = Ae^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$.

9. Кинематическое уравнение, описывающее собственные колебания без учета затухания, выглядит следующим образом:

- a) $x'' + \omega^2 x = 0$; c) $x'' + 2\beta x' + \omega^2 x = 0$;
b) $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$; d) $x = Ae^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$.

10. Круговая частота незатухающих собственных упругих колебаний связана с параметрами колебательной системы следующим образом:

- a) $\omega^2 = km$; c) $\omega = 1/km$;
b) $\omega = m/k$; d) $\omega^2 = k/m$.

11. Фаза колебаний — это:

- a) аргумент периодической функции, описывающей колебания;
b) текущий момент времени;
c) параметр колебательной системы;
d) определенный повторяющийся момент колебаний.

12. Фаза колебания имеет размерность:

- a) времени; c) не имеет размерности;
b) угла; d) длины.

13. Чем характеризуется колебательный процесс? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) временем; d) амплитудой;
b) координатой; e) фазой;
c) длиной волны; f) частотой.

14. Уравнение движения, описывающее собственные колебания с учетом затухания, выглядит следующим образом:

- a) $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$; c) $x'' + 2\beta x' + \omega^2 x = 0$;
b) $x'' + \omega^2 x = 0$; d) $x = Ae^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$.

15. Кинематическое уравнение, описывающее собственные колебания с учетом затухания, выглядит следующим образом:

- a) $x = Ae^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$; c) $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$;
b) $x'' + 2\beta x' + \omega^2 x = 0$; d) $x'' + \omega^2 x = 0$.

16. Круговая частота затухающих собственных колебаний связана с параметрами колебательной системы следующим соотношением:

- a) $\omega = \sqrt{k/m}$; c) $\omega = 2\pi/\lambda$;
b) $\omega = k/m$; d) $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$.

17. Уравнение движения, описывающее вынужденные колебания, выглядит следующим образом:

$$a) x = A \cos(\omega t + \varphi_0);$$

$$c) x = A e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0);$$

$$b) x'' + \omega^2 x = 0;$$

$$d) x'' + 2\beta x' + \omega^2 x = f(t).$$

18. Амплитуда вынужденных гармонических колебаний связана с параметрами механической системы соотношением:

$$a) A = F_0 / m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}; \quad c) A = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2};$$

$$b) A = F_0 / m \sqrt{(\omega_0^2 - \beta^2)^2 + 4\omega_0^2 \omega^2}; \quad d) A = F_0 / m.$$

19. Начальная фаза вынужденных гармонических колебаний связана с параметрами механической системы соотношением:

$$a) \varphi_0 = \arctg\left(\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}\right); \quad c) \varphi_0 = 2\omega / (\omega_0^2 - \beta^2);$$

$$b) \varphi_0 = 2\beta / (\omega_0^2 - \omega^2); \quad d) \varphi_0 = \arctg[2\beta\omega / (\omega_0^2 - \omega^2)].$$

20. При резонансе:

- a) амплитуда вынужденных колебаний достигает максимума;
- b) фаза вынужденных колебаний достигает максимума;
- c) амплитуда вынужденных колебаний превышает амплитуду внешней силы;
- d) внешнее воздействие оказывается в фазе с колебаниями системы.

21. Резонансная частота колебаний:

- a) меньше частоты собственных колебаний;
- b) больше частоты собственных колебаний;
- c) равна частоте собственных колебаний;
- d) не равна частоте действия внешней силы.

22. Численное значение коэффициента затухания:

- a) меньше частоты собственных колебаний;
- b) больше частоты собственных колебаний;
- c) равно частоте действия внешней силы;
- d) не зависит от частоты действия внешней силы.

23. Период колебаний пружинного маятника связан с параметрами колебательной системы соотношением:

$$a) T = 2\pi\sqrt{l/g}; \quad c) T = 2\pi\sqrt{mk};$$

$$b) T = 2\pi\sqrt{m/k}; \quad d) T = 2\pi/\omega.$$

24. Период колебаний математического маятника определяется выражением:

$$a) T = 2\pi\sqrt{l/g};$$

$$b) T = 2\pi\sqrt{g/l};$$

$$c) T = 2\pi\sqrt{m/k};$$

$$d) T = 2\pi/\omega.$$

25. Математический маятник состоит из:

- a) физического тела, совершающего колебания под действием силы тяжести;
- b) материального тела, подвешенного на невесомой упругой нити;
- c) груза, закрепленного на пружине;
- d) материальной точки, подвешенной на невесомой нерастяжимой нити.

26. Физический маятник — это:

- a) материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити;
- b) материальное тело, подвешенное на невесомой упругой нити;
- c) груз, закрепленный на пружине;
- d) физическое тело, совершающее колебания под действием силы тяжести.

27. Циклическая частота колебаний груза массой 20 г, закрепленного на невесомой пружине с коэффициентом жесткости 0,32 Н/м, равна:

$$a) 3\text{ с}^{-1};$$

$$b) 2\text{ с}^{-1};$$

$$c) 1\text{ с}^{-1};$$

$$d) 4\text{ с}^{-1}.$$

28. Циклическая частота колебаний математического маятника массой 200 г, подвешенного на нити длиной 16 см, равна:

$$a) 0,2\text{ с}^{-1};$$

$$b) 0,8\text{ с}^{-1};$$

$$c) 0,4\text{ с}^{-1};$$

$$d) 0,1\text{ с}^{-1}.$$

29. Циклическая частота колебаний маятника 5 с^{-1} . Период его колебаний равен:

$$a) 1,0\text{ с};$$

$$b) 1,25\text{ с};$$

$$c) 2,5\text{ с};$$

$$d) 5,0\text{ с}.$$

30. Колебания точки описываются выражением $x = 2\sin(5t + 2)$. Начальная фаза колебаний равна:

$$a) 2\text{ рад};$$

$$b) 5\text{ рад};$$

$$c) 7\text{ рад};$$

$$d) 0\text{ рад}.$$

31. Колебания точки описываются выражением $x = 2\sin(5t + 2)$. Через 2 с после начала колебаний их фаза равна:

- a) 0 рад; c) 7 рад;
b) 2 рад; d) 12 рад.

32. Решением уравнения $x'' + 4x = 0$ является функция:

- a) $x = 4 \sin(\omega t + \varphi_0)$; c) $x = 4 \sin(2t + 1)$;
b) $x = A \sin(4t + \varphi_0)$; d) $x = 2 \sin(4t + 2)$.

33. Собственные колебания системы описываются уравнением движения $x'' + 3x' + 4x = 0$. Под действием внешней силы $f(t) = 5 \sin t$ эта система будет колебаться с частотой:

- a) 3 с^{-1} ; c) 4 с^{-1} ;
b) 2 с^{-1} ; d) 1 с^{-1} .

34. Собственные колебания системы описываются уравнением движения $x'' + 4x = 0$. Циклическая частота колебаний этой системы равна:

- a) 2 с^{-1} ; c) 4 с^{-1} ;
b) 16 с^{-1} ; d) 1 с^{-1} .

35. Собственные колебания системы описываются уравнением движения $x'' + 2x' + 64x = 0$. Коэффициент затухания колебаний этой системы равен:

- a) 2 с^{-1} ; c) 64 с^{-1} ;
b) 1 с^{-1} ; d) 32 с^{-1} .

36. Собственные колебания системы описываются уравнением движения $x'' + x = 0$. При воздействии на систему периодической силы с амплитудой 4 Н резонанс будет наблюдаться на частоте:

- a) $2,0 \text{ с}^{-1}$; c) $4,0 \text{ с}^{-1}$;
b) $0,2 \text{ с}^{-1}$; d) $1,0 \text{ с}^{-1}$.

37. Собственные колебания системы описываются уравнением движения $x'' + 12x' + 100x = 0$. Частота ее колебаний равна:

- a) $4,0 \text{ с}^{-1}$; c) $8,0 \text{ с}^{-1}$;
b) $36,0 \text{ с}^{-1}$; d) $3,6 \text{ с}^{-1}$.

2.11. ВОЛНЫ

1. Звуковая волна — это:

- a) направленное движение частиц среды;
b) процесс, происходящий с некоторой долей повторяемости;
c) повторяющееся согласованное движение частиц среды;
d) колебания частиц среды.

2. Назовите аргументы функции, описывающей распространение волны. Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) время;
- b) амплитуда;
- c) фаза;
- d) частота;
- e) координата;
- f) длина волны;
- g) период.

3. Функция, описывающая распространение волны, выглядит следующим образом:

- a) $A \cos(\omega t \pm kx + \varphi_0)$;
- b) $A \sin(\omega t + \varphi_0)$;
- c) $x'' + \omega^2 x = 0$;
- d) $\omega t + \varphi_0$.

4. Волновое число — это:

- a) число колебаний, происходящих в единицу времени;
- b) число узлов волны, приходящихся на единицу длины;
- c) число максимумов колебаний в волне;
- d) коэффициент в выражении, описывающем фазу волны.

5. Волновое число связано с длиной волны соотношением:

- a) $k = 2\pi\lambda$;
- b) $k = c\lambda$;
- c) $k = 2\pi/\lambda$;
- d) $k = \omega\lambda$.

6. Волновая поверхность — это:

- a) передняя граница волны;
- b) геометрическое место точек, вдоль которых происходит распространение фронта волны;
- c) геометрическое место точек волны, имеющих одинаковую фазу;
- d) плоскость, в которой происходят колебания частиц.

7. Фронт волны — это:

- a) геометрическое место точек волны, имеющих одинаковую фазу;
- b) передняя волновая поверхность, наиболее удаленная от источника волны;
- c) геометрическое место точек, вдоль которых происходит распространение фронта волны;
- d) плоскость, в которой происходят колебания частиц.

8. Луч — это:

- a) геометрическое место точек волны, имеющих одинаковую фазу;
- b) геометрическое место точек, вдоль которых происходит распространение фронта волны;
- c) передняя волновая поверхность, наиболее удаленная от источника волны;
- d) плоскость, в которой происходят колебания частиц.

9. Фаза волны определяется выражением:

- a) $\omega t + \varphi_0$;
- b) φ_0 ;
- c) $2\pi/\lambda$;
- d) $\omega t \pm kx + \varphi_0$.

10. Фазовая скорость распространения волны описывается формулой:

- a) ω/k ;
- b) $d\omega/dk$;
- c) $2\pi/\lambda$;
- d) $2\pi\lambda$.

11. Групповая скорость распространения волн описывается формулой:

- a) ω/k ;
- b) $2\pi/\lambda$;
- c) $2\pi\lambda$;
- d) $d\omega/dk$.

12. Интенсивность звуковой волны — это:

- a) мощность, переносимая волной через единичную поверхность, перпендикулярную направлению ее распространения;
- b) мощность, переносимая волной через единичную поверхность, перпендикулярную направлению распространения волны в единицу времени;
- c) ее амплитуда;
- d) квадрат ее амплитуды.

13. Интенсивность звуковой волны при прочих равных условиях:

- a) обратно пропорциональна плотности среды;
- b) уменьшается с увеличением плотности среды;
- c) пропорциональна плотности среды;
- d) не зависит от плотности среды.

14. Интенсивность звуковой волны:

- a) пропорциональна квадрату амплитуды колебаний;
- b) пропорциональна амплитуде колебаний;
- c) обратно пропорциональна амплитуде колебаний;
- d) никак не связана с амплитудой колебаний.

15. Интенсивность звуковой волны:

- a) пропорциональна частоте ее колебаний;
- b) пропорциональна квадрату частоты ее колебаний;
- c) обратно пропорциональна частоте ее колебаний;
- d) не зависит от частоты колебаний.

16. Какие типы волн различают по характеру движения волновой поверхности? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) бегущие;
- b) плоские;
- c) сферические;
- d) стоячие;
- e) звуковые;
- f) поперечные;
- g) продольные.

17. Какие типы волн различают по направлению колебаний? Выберите все правильные ответы из следующих:

- a) бегущие;
- b) стоячие;
- c) плоские;
- d) сферические;
- e) поперечные;
- f) продольные.

18. Какие типы волн могут распространяться только в материальной среде? Выберите все правильные ответы из следующих:

- a) электромагнитные;
- b) звуковые;
- c) поперечные;
- d) волны температуры;
- e) волны намагниченности;
- f) продольные;
- g) плоские и сферические.

19. Отличие бегущей волны от стоячей в следующем:

- a) направление луча меняется со временем;
- b) значение фазы меняется со временем;
- c) форма фронта меняется со временем;
- d) положение поверхности постоянной фазы меняется со временем.

20. Отличие стоячей волны от бегущей в следующем:

- a) направление луча остается постоянным;
- b) положение поверхности постоянной фазы не меняется со временем;
- c) положение волнового фронта не меняется со временем;
- d) волновое число не меняется со временем.

21. Продольные колебания происходят:

- a) в направлении, параллельном направлению распространения волны;
- b) в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны;
- c) вдоль волновой поверхности;
- d) вдоль поверхности постоянной фазы.

22. Поперечные колебания происходят в направлении:

- a) параллельном направлению распространения волны;
- b) перпендикулярном волновой поверхности;

- с) перпендикулярном поверхности постоянной фазы;
- д) перпендикулярном направлению распространения волны.

23. Какие эффекты наблюдаются при распространении волн? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- а) отражение;
- б) направленность;
- с) наличие конечной скорости;
- д) преломление;
- е) дифракция;
- ф) интерференция.

24. В технике звуковые волны не используют для:

- а) передачи информации;
- б) передачи энергии;
- с) эхолокации;
- д) дефектоскопии.

25. Распространение волны описывается выражением $6 \cos(2000t + 5x + 1000)$. Ее волновое число равно:

- а) 250 м/с;
- б) 4 рад;
- с) 5 м^{-1} ;
- д) 2 с^{-1} .

26. Распространение волны описывается выражением $6 \cos(2000t + 5x + 1000)$. Ее фазовая скорость равна:

- а) 200 м/с;
- б) 400 м/с;
- с) 250 м/с;
- д) 500 м/с.

27. Зависимость циклической частоты колебаний от волнового числа описывается формулой $\omega = 400\sqrt{k}$. Скорость распространения волны с частотой 800 с^{-1} равна:

- а) 800 м/с;
- б) 400 м/с;
- с) 200 м/с;
- д) 100 м/с.

28. Длина волны 1 м, циклическая частота 800 с^{-1} , а волновое число равно:

- а) 200 с/м;
- б) 100 м^{-1} ;
- с) $6,3 \text{ м}^{-1}$;
- д) 0,5 м/с.

29. Распространение волны описывается выражением $6 \cos(2000t + 5x + 1000)$. Фаза этой волны в точке $x = 200 \text{ м}$ в момент времени $t = 1 \text{ с}$ равна:

- а) 4 000 рад;
- б) 2 000 рад;
- с) 1 000 рад;
- д) 3 000 рад.

30. Распространение волны описывается выражением $6 \cos(2000t + 5x + 1000)$. Ее интенсивность 2 Вт/м^2 . При возрастании амплитуды волны в 2 раза ее интенсивность становится равной:

a) 12 Вт/м^2 ;

b) 10 Вт/м^2 ;

c) 4 Вт/м^2 ;

d) 8 Вт/м^2 .

31. Распространение волны описывается выражением $6 \cos(2000t + 5x + 1000)$. Ее циклическая частота равна:

a) $2\,000 \text{ с}^{-1}$;

b) $5\,000 \text{ с}^{-1}$;

c) $1\,000 \text{ с}^{-1}$;

d) 250 с^{-1} .

32. Распространение волны описывается выражением $6 \cos(2000t + 5x + 1000)$. Ее длина равна:

a) 10 м ;

b) $2,5 \text{ м}$;

c) 5 м ;

d) $1,25 \text{ м}$.

33. Зависимость скорости распространения волны от волнового числа описывается формулой: $v = 400/\sqrt{k}$. Для значения волнового числа 4 м^{-1} фазовая скорость равна:

a) 100 м/с ;

b) 200 м/с ;

c) 400 м/с ;

d) 800 м/с .

34. Зависимость скорости распространения волны от волнового числа описывается формулой: $v = 200/\sqrt{k}$. Для значения волнового числа 4 м^{-1} циклическая частота равна:

a) 100 с^{-1} ;

b) 200 с^{-1} ;

c) 400 с^{-1} ;

d) 800 с^{-1} .

2.12. СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

1. Специальная теория относительности — это:

a) теория пространства и времени для случая пренебрежимо малых гравитационных полей;

b) релятивистская теория гравитации;

c) теория, описывающая механику микрочастиц;

d) теория, устанавливающая относительность материи и поля.

2. Общая теория относительности — это:

a) теория пространства и времени для случая пренебрежимо малых гравитационных полей;

b) релятивистская теория гравитации;

c) теория, описывающая механику микрочастиц;

d) теория, устанавливающая относительность материи и поля.

3. Что лежит в основе специальной теории относительности? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) корпускулярно-волновой дуализм;
- b) принцип относительности Галилея;
- c) принцип неопределенности Гейзенберга;
- d) принцип относительности Эйнштейна;
- e) принцип постоянства скорости света.

4. Принцип относительности Эйнштейна утверждает, что:

- a) все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета;
- b) во всех инерциальных системах отсчета все механические явления протекают одинаково при одинаковых начальных условиях;
- c) пространство и время относительны;
- d) скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света.

5. Принцип постоянства скорости света утверждает, что скорость света:

- a) одинакова во всех системах отсчета и не зависит от среды, в которой он распространяется;
- b) одинакова во всех системах отсчета и зависит только от его частоты и длины волны;
- c) не зависит от среды распространения и движения источников и приемников света, а зависит только от частоты и длины волны;
- d) в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света.

6. Следствием постулатов специальной теории относительности является:

- a) относительность пространства и времени;
- b) корпускулярно-волновой дуализм;
- c) принцип неопределенности;
- d) постоянство скорости света.

7. Интервал в специальной теории относительности — это:

- a) промежуток между событиями в четырехмерном пространстве-времени;
- b) квадрат расстояния между событиями в четырехмерном пространстве-времени;
- c) скалярное произведение векторов пространства-времени двух событий;

- d) векторное произведение векторов пространства-времени двух событий.

8. Интервал в специальной теории относительности определяется следующим выражением:

$$\begin{array}{ll} a) c^2 t^2 + x^2 + y^2 + z^2; & c) (c^2 t^2 + x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}; \\ b) c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2; & d) c^2 t_1 t_2 + x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2. \end{array}$$

9. Особенность интервала в специальной теории относительности заключается в том, что он:

- a) не зависит от скорости движения тела;
- b) связывает релятивистские преобразования размеров тела в различных инерциальных системах координат;
- c) задает преобразования координат и времени в различных инерциальных системах координат;
- d) инвариантен по отношению к преобразованиям координат и времени при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой.

10. Преобразования Лоренца связывают:

- a) координаты и время в двух различных инерциальных системах координат, движущихся друг относительно друга;
- b) координаты и время в двух различных неинерциальных системах координат;
- c) интервалы между событиями в двух различных инерциальных системах координат;
- d) размеры тела в двух различных инерциальных системах координат.

11. При переходе к инерциальной системе отсчета, движущейся вдоль оси x со скоростью v_0 , преобразования Лоренца выглядят следующим образом:

$$\begin{array}{ll} a) x = x' \sqrt{1 + v_0^2/c^2}, & t = t' + (v_0/c^2)x'; \\ b) x = (x' + v_0 t')(\sqrt{1 + v_0^2/c^2})^{-1}, & t = t' + (v_0/c^2)x'; \\ c) x = x' + v_0 t', & t = (t' + v_0 x'/c^2)(\sqrt{1 + v_0^2/c^2})^{-1}; \\ d) x = (x' + v_0 t')(\sqrt{1 - v_0^2/c^2})^{-1}, & t = (t' + v_0 x'/c^2)(\sqrt{1 - v_0^2/c^2})^{-1}. \end{array}$$

12. Размеры тел, измеренные вдоль направления движения, в различных инерциальных системах отсчета связаны соотношением:

$$a) l = l_0 \sqrt{1 - v_0^2/c^2};$$

$$c) l = l_0 \sqrt{1 + v_0^2/c^2};$$

$$b) l = l_0 (\sqrt{1 + v_0^2/c^2})^{-1};$$

$$d) l = l_0 + v_0 t'.$$

13. Временные интервалы в различных инерциальных системах отсчета связаны соотношением:

$$a) \Delta\tau = \Delta t (1 + v_0^2/c^2)^{-1};$$

$$c) \Delta\tau = \Delta t \sqrt{1 + v_0^2/c^2};$$

$$b) \Delta\tau = \Delta t \sqrt{1 - v_0^2/c^2};$$

$$d) \Delta\tau = \Delta t (1 - v_0^2/c^2).$$

14. Размеры тел в различных инерциальных системах отсчета соотносятся между собой следующим образом:

a) в движущейся системе наблюдается сокращение размеров вдоль направления движения;

b) в движущейся системе наблюдается увеличение размеров вдоль направления движения;

c) в движущейся системе наблюдается сокращение размеров в направлении, перпендикулярном направлению движения;

d) в движущейся системе наблюдается увеличение размеров в направлении, перпендикулярном направлению движения.

15. Временные интервалы в различных инерциальных системах отсчета соотносятся между собой следующим образом:

a) собственное время в движущейся системе течет быстрее, чем в неподвижной;

b) собственное время в системе движущейся с ускорением течет быстрее, чем в неподвижной;

c) собственное время в движущейся с постоянной скоростью системе течет так же, как в неподвижной;

d) собственное время в движущейся системе течет медленнее, чем в неподвижной.

16. Релятивистское выражение для кинетической энергии выглядит следующим образом:

$$a) E_k = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}} - 1 \right); \quad c) E_k = mc^2 \left(\sqrt{1 - v_0^2/c^2} + 1 \right);$$

$$b) E_k = mc^2;$$

$$d) E_k = mc^2 \left(\sqrt{1 + v_0^2/c^2} - 1 \right).$$

17. Энергия покоя частицы в специальной теории относительности определяется выражением:

a) mc^2 ;

c) $mc^2\sqrt{1 + v_0^2/c^2}$;

b) $\frac{mc^2}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}$;

d) $mc^2(1 + v_0^2/c^2)$.

18. Релятивистская масса частицы определяется выражением:

a) $m\sqrt{1 + v_0^2/c^2}$;

c) $\frac{m}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}$;

b) $m(1 + v/c)^2$;

d) $m(1 + v_0^2/c^2)$.

19. Событие A происходит в момент $t_1 = 0$ в точке $(0,5,8)$ м, а событие B в момент $t_2 = 10^{-8}$ с в точке $(0,6,6)$ м. Интервал между этими событиями равен:

a) $\sqrt{5}$ м;

c) 2 м;

b) 5 м²;

d) 4 м².

20. Стержень длиной 1 м движется со скоростью $1,5 \cdot 10^8$ м/с в направлении, перпендикулярном своей длинной стороне. Его длина при этом равна:

a) $\sqrt{3}$ м;

c) 1 м;

b) $\sqrt{2}$ м;

d) $\sqrt{3}/2$ м.

21. Стержень длиной 1 м движется со скоростью $1,5 \cdot 10^8$ м/с в направлении, параллельном своей длинной стороне. Его длина при этом равна:

a) $\sqrt{3}$ м;

c) 1 м;

b) $\sqrt{2}$ м;

d) $\sqrt{3}/2$ м.

22. В покоящейся системе отсчета промежуток времени между двумя событиями составляет 2 с. В системе, движущейся со скоростью $1,5 \cdot 10^8$ м/с, промежуток времени между этими же событиями равен:

a) 1 с;

c) $\sqrt{3}$ с;

b) 2 с;

d) $\sqrt{2}$ с.

23. Энергия покоящегося тела массой 1 г составляет:

a) 10^{14} Дж;

c) 10 Дж;

b) 0 Дж;

d) $3 \cdot 10^7$ Дж.

24. Масса покоя тела 1 г. При скорости движения $1,5 \cdot 10^8$ м/с его масса равна:

a) $\sqrt{3}/2$ г;

c) 2 г;

b) $2/\sqrt{3}$ г;

d) 0,5 г.

3. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

3.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПОНЯТИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

1. Укажите все основные положения молекулярно-кинетической теории:

- a) все тела состоят из молекул;
- b) молекулы представляются материальными точками, не взаимодействующими между собой;
- c) собственный объем молекул пренебрежимо мал по сравнению с объемом сосуда;
- d) столкновения молекул между собой и со стенками сосуда абсолютно упругие;
- e) молекулы постоянно хаотически движутся;
- f) молекулы взаимодействуют между собой посредством электромагнитных сил;
- g) молекулы оказывают давление на стенки сосуда;
- h) температура является мерой средней кинетической энергии движения молекул.

2. Идею о молекулярном строении вещества одним из первых высказал:

- | | |
|--------------------|--------------|
| a) М.В. Ломоносов; | c) Демокрит; |
| b) Пифагор; | d) Архимед. |

3. Какие методы непосредственно подтверждают молекулярное строение вещества? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) электронная спектроскопия;
- b) диффузия;
- c) внутреннее трение;
- d) полевая ионная микроскопия;

- e) туннельная электронная микроскопия;
- f) броуновское движение;
- g) оптическая микроскопия.

4. Что является косвенным свидетельством молекулярного строения вещества? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) диффузия;
- b) данные электронной спектроскопии;
- c) внутреннее трение;
- d) броуновское движение;
- e) данные оптической микроскопии.

5. Почему невозможно полное механическое описание системы многих частиц? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) большое влияние на состояние системы оказывают случайные факторы;
- b) задача расчета движения системы многих частиц не имеет аналитического решения;
- c) невозможно одновременно измерить координаты и импульсы многих частиц;
- d) необходим слишком большой объем расчетов;
- e) существуют релятивистские ограничения.

6. Статистический метод описания систем многих частиц заключается в:

- a) использовании малого числа параметров, описывающих систему, и средних значений механических величин;
- b) использовании квантовых законов для описания систем многих частиц;
- c) замене взаимодействующих молекул на не взаимодействующие между собой материальные точки;
- d) полном описании микроскопических и макроскопических величин статистическими методами.

7. Термодинамический подход:

- a) основан на статистическом методе и представлениях о молекулярном строении вещества;
- b) представляет собой аксиоматическую теорию, основанную на постулатах термодинамики;
- c) представляет собой теорию, основанную на постулатах квантовой механики;

- d) это метод математического описания систем многих частиц, для него не важна их природа.
8. Особенность термодинамического подхода состоит в том, что он:
- a) основан на представлениях о конкретной структуре вещества;
 - b) основан на молекулярном строении вещества;
 - c) основан на статистических методах рассмотрения систем многих частиц;
 - d) не связан с представлениями о конкретной структуре вещества.
9. Атомная единица массы — это:
- a) масса атома водорода;
 - b) 10^{-10} кг;
 - c) 10^{-20} кг;
 - d) $1/12$ массы изотопа углерода ^{12}C .
10. Относительная атомная масса — это:
- a) отношение массы атома к атомной единице массы;
 - b) число нуклонов в ядре;
 - c) зарядовое число атома;
 - d) номер атома в периодической системе Д.И. Менделеева.
11. Относительная молекулярная масса — это:
- a) масса молекулы, выраженная в атомных единицах массы;
 - b) $1/12$ массы изотопа углерода ^{12}C ;
 - c) масса атома водорода;
 - d) масса молекулы, отнесенная к числу составляющих ее атомов.
12. Единицей измерения количества вещества является:
- a) килограмм;
 - b) масса;
 - c) молекула;
 - d) моль.
13. Единица количества вещества:
- a) содержит столько же молекул, как 12 г изотопа ^{12}C ;
 - b) весит столько же, как и один моль молекул водорода;
 - c) весит столько же, как и один моль изотопа ^{12}C ;
 - d) содержит столько же молекул, как и один грамм молекул водорода.
14. Молярная масса — это:
- a) количество вещества, содержащегося в одном моле;
 - b) количество вещества, содержащегося в одном килограмме;

- c) число молей вещества, содержащихся в одном килограмме;
- d) масса одного моля вещества.

15. Молярная масса вещества, выраженная в граммах на моль, численно равна:

- a) относительной молекулярной массе;
- b) массе одного моля изотопа углерода ^{12}C ;
- c) относительной молекулярной массе изотопа углерода ^{12}C ;
- d) количеству вещества, содержащегося в одном моле изотопа углерода ^{12}C .

16. Число Авогадро:

- a) равно числу частиц в одном моле вещества;
- b) это коэффициент пропорциональности в уравнении состояния идеальных газов;
- c) это коэффициент пропорциональности между средней кинетической энергией молекулы и температурой идеального газа;
- d) равно $1/12$ массы изотопа углерода ^{12}C .

17. Термодинамическая система — это любой макроскопический объект:

- a) свойства которого исследуют;
- b) содержащий большое число молекул;
- c) поведение которого подчиняется статистическим закономерностям;
- d) находящийся в состоянии термодинамического равновесия.

18. Изолированной называется система:

- a) элементы которой не взаимодействуют друг с другом и внешними телами;
- b) имеющая границу, отделяющую ее от внешней среды;
- c) имеющая ограниченный объем;
- d) не взаимодействующая с внешними телами.

19. Термодинамические переменные — это:

- a) экспериментально измеримые физические величины, задающие состояние системы;
- b) совокупность координат и импульсов частиц системы;
- c) характеристики системы, которые могут меняться в результате внешних воздействий и внутренних процессов;
- d) внешние параметры, задающие состояние системы.

20. Уравнение состояния:

- a) показывает, как изменяются термодинамические параметры системы со временем;
- b) устанавливает взаимосвязь между микро- и макроскопическими параметрами термодинамической системы;
- c) показывает, как зависит состояние системы от внешних воздействий;
- d) устанавливает взаимосвязь между термодинамическими переменными.

21. Какие различают термодинамические параметры? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) внешние и внутренние;
- b) интенсивные и экстенсивные;
- c) равновесные и неравновесные;
- d) микроскопические и макроскопические.

22. Состояние системы называется равновесным, если:

- a) она не взаимодействует с внешним окружением;
- b) оно не изменяется во времени и в системе нет разного рода потоков;
- c) оно не изменяется во времени;
- d) в системе не происходит флуктуаций термодинамических параметров.

23. Закон теплового равновесия утверждает, что любая термодинамическая:

- a) изолированная система со временем приходит в состояние равновесия, характеризуемое некоторой температурой;
- b) система со временем приходит в состояние равновесия с внешней средой;
- c) изолированная система всегда находится в состоянии равновесия, характеризуемом некоторой температурой;
- d) система со временем приходит в состояние равновесия, характеризуемое некоторой температурой.

24. Время релаксации — это время перехода системы из:

- a) равновесного состояния в неравновесное;
- b) неравновесного состояния в равновесное;
- c) одного равновесного состояния в другое равновесное состояние;
- d) одного состояния в другое.

25. Квазиравновесный процесс — это процесс:

- a) изменения состояния системы за время, меньшее времени релаксации;
- b) допускающий возможность возвращения системы в первоначальное состояние без того, чтобы в окружающей среде остались какие-либо изменения;
- c) происходящий в замкнутой системе.
- d) изменения состояния системы за время, большее времени релаксации.

26. Транзитивность теплового равновесия заключается в следующем:

- a) все части замкнутой системы находятся в состоянии теплового равновесия друг с другом;
- b) состояние теплового равновесия передается от одного тела к другому при их взаимодействии;
- c) изолированная система со временем приходит в состояние равновесия, характеризуемое некоторой температурой;
- d) если одно тело находится в состоянии теплового равновесия со вторым телом, находящимся в равновесии с третьим, то первое и третье также находятся в состоянии теплового равновесия.

27. Круговой процесс — это такой:

- a) произвольный процесс, в котором начальное и конечное состояния системы совпадают;
- b) процесс, который допускает возвращение системы в первоначальное состояние без того, чтобы в окружающей среде остались какие-либо изменения;
- c) равновесный процесс, в котором начальное и конечное состояния системы совпадают;
- d) процесс, при котором процесс изменения состояния системы имеет вид окружности на координатной плоскости.

28. Температура — это:

- a) термодинамический параметр состояния системы;
- b) характеристика энергии взаимодействия молекул;
- c) количество теплоты, которым обладает тело;
- d) мера внутренней энергии тела.

29. Какие существуют температурные шкалы? Указать несколько правильных ответов из следующих:

- a) международная практическая;

- b) Фаренгейта;
- c) Карно;
- d) абсолютная шкала температур;
- e) абсолютная термодинамическая шкала температур;
- f) Больцмана.

30. Абсолютная шкала температур отличается тем, что:

- a) в ней законы идеальных газов имеют наиболее простой вид;
- b) она строится независимо от свойств рабочего тела;
- c) в ней точка замерзания воды соответствует нулю градусов, а точка кипения воды — ста градусам;
- d) она основана на первом начале термодинамики.

31. Абсолютная термодинамическая шкала температур замечательна тем, что:

- a) в ней законы идеальных газов имеют наиболее простой вид;
- b) в ней точка замерзания воды соответствует нулю градусов, а точка кипения воды — ста градусам;
- c) эта шкала строится независимо от свойств рабочего тела;
- d) она основана на первом начале термодинамики.

32. Термодинамические функции — это:

- a) экспериментально измеримые физические величины, задающие состояние системы;
- b) характеристики системы, которые могут меняться в результате внешних воздействий и внутренних процессов;
- c) физические величины, имеющие определенное значение для каждого равновесного состояния системы и не зависящие от ее предыстории;
- d) функции, устанавливающие взаимосвязь между термодинамическими переменными.

33. Функции состояния — это:

- a) то же, что и термодинамические функции;
- b) экспериментально измеримые физические величины, задающие состояние системы;
- c) функции, устанавливающие взаимосвязь между термодинамическими переменными;
- d) характеристики системы, которые могут меняться в результате внешних воздействий и внутренних процессов.

34. Относительная молекулярная масса молекулы водорода H_2 равна:

a) $1,7 \cdot 10^{-27}$ кг;

b) $1/6$;

c) 2;

d) $3,2 \cdot 10^{-27}$ кг.

35. Атомная единица массы $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг. Атомная масса изотопа углерода ^{12}C равна:

a) $1,7 \cdot 10^{-27}$ кг;

b) 12;

c) 1;

d) $20,4 \cdot 10^{-27}$ кг.

36. В одном моле водорода содержится молекул:

a) $6 \cdot 10^{23}$;

b) $12 \cdot 10^{23}$;

c) $3 \cdot 10^{-23}$;

d) 10^{-23} .

37. Один моль изотопа углерода ^{12}C имеет массу:

a) 12 г;

b) 1 г;

c) 1 кг;

d) $20,4 \cdot 10^{-27}$ кг.

38. В молекуле кислорода содержится атомов:

a) 4;

b) 0,5;

c) 1;

d) 2.

39. Больше всего в воздухе содержится молекул:

a) CO_2 ;

b) H_2O ;

c) N_2 ;

d) O_2 .

40. Два одинаковых тела находятся одновременно в термодинамическом равновесии с третьим телом, температура которого 20°C . После того как они приводятся в тепловой контакт друг с другом и изолируются от других тел, их равновесные температуры становятся равными:

a) 0 и 40°C ;

b) 10°C ;

c) 40°C ;

d) 20°C .

3.2. ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

1. Пять основных законов идеального газа — это:

a) закон Дальтона;

b) первое начало термодинамики;

c) закон Бойля — Мариотта;

d) закон Шарля;

e) закон Гей-Люссака;

f) закон Авогадро;

g) второе начало термодинамики;

h) основное уравнение молекулярно-кинетической теории;

- i) закон Клапейрона — Клаузиуса;
- j) закон Ван-дер-Ваальса;
- k) закон Максвелла — Больцмана;
- l) закон теплового равновесия.

2. Закон Дальтона можно сформулировать следующим образом:

- a) суммарное давление смеси газов равно сумме парциальных давлений компонентов;
- b) одинаковые количества газов при одинаковых температуре и давлении занимают одинаковый объем;
- c) температура системы пропорциональна средней кинетической энергии молекул;
- d) два тела имеют равную температуру, если при тепловом контакте их состояния не изменяются.

3. Закон Бойля — Мариотта (уравнение изотермы) описывается следующим выражением:

- a) $V = V_0[1 + \alpha(t - t_0)]$;
- b) $P = P_0[1 + \alpha(t - t_0)]$;
- c) $PV = \text{const}$;
- d) $PV^\gamma = \text{const}$.

4. Закон Шарля в произвольной шкале температур (уравнение изохоры) выглядит следующим образом:

- a) $V = V_0[1 + \alpha(t - t_0)]$;
- b) $P = P_0[1 + \alpha(t - t_0)]$;
- c) $PV = \text{const}$;
- d) $PV^\gamma = \text{const}$.

5. Закон Гей-Люссака в произвольной шкале температур (уравнение изобары) выглядит следующим образом:

- a) $V = V_0[1 + \alpha(t - t_0)]$;
- b) $P = P_0[1 + \alpha(t - t_0)]$;
- c) $PV = \text{const}$;
- d) $PV^\gamma = \text{const}$.

6. Закон Авогадро можно сформулировать следующим образом:

- a) суммарное давление смеси газов равно сумме парциальных давлений компонентов;
- b) температура системы пропорциональна средней кинетической энергии молекул;
- c) два тела имеют равную температуру, если при тепловом контакте их состояния не изменяются;
- d) одинаковые количества газов при одинаковых температуре и давлении занимают одинаковый объем.

7. В изотермическом процессе не изменяется:

- a) количество теплоты;

- b) внутренняя энергия;
- c) температура;
- d) отношение давления к объему.

8. В изобарическом процессе остается постоянным:

- a) объем;
- b) произведение объема на температуру;
- c) произведение давления на температуру;
- d) давление.

9. В изохорическом процессе остается постоянным:

- a) объем;
- b) давление;
- c) произведение объема на температуру;
- d) произведение давления на температуру.

10. Изотермы идеального газа в координатах $P—V$ представляют собой:

- a) параболы;
- b) прямые;
- c) гиперболы;
- d) адиабаты.

11. Изохоры идеального газа в координатах $P—T$ представляют собой:

- a) прямые;
- b) гиперболы;
- c) параболы;
- d) адиабаты.

12. Изобары идеального газа в координатах $V—T$ представляют собой:

- a) гиперболы;
- b) прямые;
- c) параболы;
- d) адиабаты.

13. Закон Гей-Люссака в абсолютной шкале температур определяется следующим выражением:

- a) $V/P = \text{const}$;
- b) $V/T = \text{const}$;
- c) $PT = \text{const}$;
- d) $VT = \text{const}$.

14. Уравнение Клапейрона — Менделеева выглядит следующим образом:

- a) $P + V = \mu RT$;
- b) $PV = \mu RT$;
- c) $P + V = R/T$;
- d) $P/V = \mu RT$.

15. Идеальный газ:

- a) состоит из молекул, которые представляются жесткими сферами, не взаимодействующими друг с другом;
- b) подчиняется закону Больцмана;
- c) подчиняется уравнению Клапейрона — Менделеева;
- d) подчиняется уравнению Ван-дер-Ваальса.

16. Поведение реального газа приближается к поведению идеального газа:

- a) в пределе высоких давлений и высоких температур;
- b) в пределе низких давлений и низких температур;
- c) ниже критической температуры;
- d) в пределе низких давлений и высоких температур.

17. Универсальная газовая постоянная равна:

- a) 8,31 Дж/(К·моль);
- b) 1,38 Дж/К;
- c) $6 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹;
- d) 9,8 м/с².

18. Модель идеального газа заключается в следующем:

- a) размеры молекул идеального газа малы по сравнению с межмолекулярным расстоянием, а энергией движения молекул можно пренебречь;
- b) размеры молекул идеального газа малы по сравнению с межмолекулярным расстоянием, а энергией взаимодействия молекул можно пренебречь;
- c) это твердые шарики, двигающиеся хаотически;
- d) идеальный газ подчиняется уравнению Клапейрона — Менделеева.

19. Приблизительный размер молекул равен:

- a) 10^{-10} м;
- b) 10^{-9} м;
- c) 10^{-7} м;
- d) 10^{-12} м.

20. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории выглядит следующим образом:

- a) $PV = \nu RT$;
- b) $P = (2/3)n\langle E_k \rangle$;
- c) $Q = U + A$;
- d) $S = k \ln W$.

21. Скорость молекул в газах при комнатной температуре по порядку величины равна:

- a) 100 км/с;
- b) 10 м/с;
- c) 1 000 м/с;
- d) 1 м/с.

22. Постоянная Больцмана равна:

- a) $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;
- b) $8,31$ Дж/(К·моль);
- c) $6,0 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$;
- d) $9,8$ м/с 2 .

23. С точки зрения молекулярно-кинетической теории смысл температуры состоит в том, что она:

- a) является параметром состояния системы;
- b) характеризует термодинамическое равновесие тела;
- c) пропорциональна средней кинетической энергии молекулы;
- d) пропорциональна количеству теплоты, которым обладает тело.

24. Температура идеального газа и средняя кинетическая энергия его молекул связаны соотношением:

- a) $\langle E_k \rangle = RT$;
- b) $\langle E_k \rangle = nkT$;
- c) $\langle E_k \rangle = 3kT/2$;
- d) $\langle E_k \rangle = VT$.

25. Температура, давление и концентрация частиц идеального газа связаны соотношением:

- a) $P = nkT$;
- b) $P = nRT$;
- c) $P = 3nT/2$;
- d) $P = 3kT/2$.

26. В двух одинаковых баллонах находится кислород под давлением 3 и 5 Па. После того, как оба баллона соединили между собой и выровняли давление в них при постоянной температуре, общее давление в баллонах стало равным:

- a) 5 Па;
- b) 2 Па;
- c) 8 Па;
- d) 4 Па.

27. Плотность воздуха $1,2$ кг/м 3 . Для того чтобы воздушный шар массой 200 г и вместимостью 1 м 3 поднялся в небо, воздух внутри него необходимо нагреть до:

- a) 120°C ;
- b) 100°C ;
- c) 80°C ;
- d) 200°C .

28. При температуре 0°C и давлении 10^5 Па один моль воздуха занимает объем:

- a) 1,38 л;
- b) 6,2 л;
- c) 8,3 л;
- d) 22,4 л.

29. При температуре 27°C и давлении 10^5 Па количество вещества в 1 м 3 воздуха составляет:

a) 0,5 моль;

b) 10 моль;

c) 40 моль;

d) 20 моль.

30. В баллоне вместимостью $0,1 \text{ м}^3$ при давлении $0,5 \text{ МПа}$ и комнатной температуре находится кислорода:

a) 10 моль;

b) 20 моль;

c) 5 моль;

d) 8 моль.

31. Сколько молей водорода имеет массу 12 г ? Выберите правильный ответ из следующих:

a) 4;

b) 12;

c) 6;

d) 1.

32. Пять молей водорода имеют массу:

a) $0,4 \text{ г}$;

b) $2,5 \text{ г}$;

c) 10 г ;

d) 5 г .

33. Сколько водорода находится в воздушном шаре вместимостью 1 м^3 при температуре 20°C ? Атмосферное давление равно примерно 10^5 Па . Выберите ответ из следующих:

a) 80 г ;

b) 40 г ;

c) 60 г ;

d) 20 г .

34. Какой объем занимает 1 г водорода при температуре 0°C и атмосферном давлении (примерно 10^5 Па)? Выберите ответ из следующих:

a) $1,38 \text{ л}$;

b) $8,31 \text{ л}$;

c) $11,2 \text{ л}$;

d) $22,4 \text{ л}$.

35. При охлаждении баллона, в котором находился водород под давлением 6 Па от 30 до -20°C , давление в нем:

a) увеличивается до 10 Па ;

b) возрастает на 1 Па ;

c) уменьшается до 1 Па ;

d) уменьшается на 1 Па .

36. При атмосферном давлении (примерно 10^5 Па) и концентрации молекул кислорода в сосуде 10^{23} м^{-3} их средняя энергия движения равна:

a) $1,5 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$;

b) $1,2 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$;

c) $0,4 \cdot 10^{-27} \text{ Дж}$;

d) $0,6 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}$.

37. При 20°C энергия движения молекулы водорода равна:

a) $0,2 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$;

b) $0,6 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$;

c) $0,4 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$;

d) $1,2 \cdot 10^{-27} \text{ Дж}$.

38. Плотность водорода в баллоне вместимостью $0,1 \text{ м}^3$ составляет 400 г/м^3 . В этом баллоне находится водорода:

- a) 20 моль;
- b) 10 моль;
- c) 40 моль;
- d) 50 моль.

39. При концентрации молекул 10^{23} м^{-3} и температуре 20°C давление кислорода в баллоне составляет:

- a) 100 Па;
- b) 2 000 Па;
- c) 1 200 Па;
- d) 400 Па.

3.3. ДАВЛЕНИЕ И ЕГО ИЗМЕРЕНИЕ

1. Давление — это:

- a) средняя сила, с которой молекулы газа действуют на поверхность единичной площади;
- b) мера средней кинетической энергии движения молекул;
- c) средняя сила, с которой молекулы газа взаимодействуют между собой;
- d) внешний термодинамический параметр, определяющий состояние системы.

2. Атмосферное давление равно приблизительно:

- a) 10^3 Па;
- b) 10 мм рт. ст.;
- c) 9,8 Н;
- d) 10^5 Па.

3. Вакуум — это:

- a) состояние, при котором длина свободного пробега больше, чем размеры сосуда;
- b) отсутствие молекул;
- c) состояние термодинамической системы с низким давлением;
- d) состояние, при котором расстояние между молекулами больше, чем размеры сосуда.

4. По принципу действия различают следующие виды манометров.

Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) жидкостные;
- b) деформационные;
- c) стеклянные;
- d) электрические;
- e) ионизационные;
- f) термоэлектрические;
- g) физические.

5. В СИ давление измеряется в:

- a) паскалях, Па;
- b) миллиметрах ртутного столба, мм рт. ст.;
- c) ньютонах, Н;
- d) атмосферах, атм.

6. В основе работы гидравлического пресса лежат следующие закономерности. Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) зависимость давления от высоты столба жидкости;
- b) равенство давления произведению приложенной силы на площадь ее приложения;
- c) зависимость давления от диаметра столба жидкости;
- d) передача давления в жидкости;
- e) пропорциональность силы произведению давления на площадь.

7. Наибольшие динамические давления, полученные искусственным путем, достигаются с помощью:

- a) прессов;
- b) взрывов;
- c) адиабатического сжатия;
- d) изохорного нагрева.

8. В порядке убывания давления расположите следующие варианты ответов:

- a) в центре Земли;
- b) в атмосфере вблизи поверхности Земли;
- c) человека на поверхность Земли;
- d) в баллоне лампы накаливания;
- e) в эпицентре ядерного взрыва.

9. Высокие давления используют в следующих областях. Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) для дезинфекции продуктов и материалов;
- b) в работе электропривода;
- c) в работе двигателей внутреннего сгорания;
- d) для формования изделий;
- e) для сушки материалов и изделий;
- f) для получения низких температур;
- g) для теплоизоляции.

10. Низкие давления и вакуум используют в следующих областях. Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) для сушки материалов и изделий;
- b) в электротехнических изделиях;
- c) для звукоизоляции;
- d) в пневматических инструментах;
- e) для получения низких температур;
- f) для формования изделий;
- g) для теплоизоляции.

11. В батискафе, находящемся на глубине 5 м под водой, давление равно:

- a) 0,15 МПа;
- b) 0,10 МПа;
- c) 0,05 МПа;
- d) 0,50 МПа.

12. Если считать плотность воздуха 1 кг/м^3 постоянной по высоте, то толщина слоя земной атмосферы равна:

- a) 2 км;
- b) 5 км;
- c) 1 км;
- d) 10 км.

3.4. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ ГАЗА

1. Внутренняя энергия газа:

- a) является суммой энергий всех его молекул;
- b) является суммой кинетических энергий всех его молекул;
- c) это работа, которую может совершить газ;
- d) это количество теплоты, которое содержится в газе.

2. Из чего складывается внутренняя энергия газа? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) кинетической энергии движения молекул;
- b) энергии связи молекул;
- c) внутренней энергии движения молекул;
- d) энергии взаимодействия молекул;
- e) кинетической энергии движения газа как целого;
- f) потенциальной энергии молекул во внешнем поле.

3. Что равно нулю у идеального газа? Выберите ответ из следующих:

- a) энергия взаимодействия молекул;
- b) энергия связи молекул;
- c) кинетическая энергия движения молекул;
- d) внутренняя энергия движения молекул.

4. Теорему о равнораспределении энергии по степеням свободы можно сформулировать следующим образом. В состоянии теплового равновесия:

- a) на каждую поступательную, вращательную и колебательную степень свободы любой молекулы в среднем приходится кинетическая энергия kT ;
- b) температура системы пропорциональна произведению средней энергии молекул на число степеней свободы одной молекулы;
- c) два тела имеют равную температуру, если при тепловом контакте их состояния не изменяются и тела состоят из молекул, имеющих одинаковое число степеней свободы;
- d) на каждую поступательную и вращательную степень свободы любой молекулы в среднем приходится энергия $kT/2$, а на колебательную — kT .

5. Число степеней свободы молекулы:

- a) совпадает с числом независимых координат, которые необходимо ввести, чтобы задать положение атомов молекулы в пространстве;
- b) совпадает с числом независимых координат, которые необходимо ввести, чтобы задать положение в пространстве молекулы как целого;
- c) для одноатомных — 3, для двухатомных — 5, для многоатомных — 7;
- d) равно числу атомов в молекуле, умноженному на три минус число связей между атомами.

6. Число степеней свободы N -атомной молекулы ($N > 2$) равно:

- a) $3N - 1$;
- b) $3N - 2$;
- c) 7;
- d) $3N$.

7. Число поступательных степеней свободы молекулы равно:

- a) 5;
- b) 7;
- c) $3N$;
- d) 3.

8. Число вращательных степеней свободы молекулы равно:

- a) $3N$;
- b) для атомов — 0, для линейных молекул — 2, для нелинейных молекул — 3;
- c) $3N - 1$;

d) для атомов — 3, для линейных молекул — 5, для нелинейных молекул — 7.

9. Число колебательных степеней свободы молекулы равно:

a) 3;

b) $3N - 3 - i_r$, где i_r — число вращательных степеней свободы; N — число атомов;

c) 5;

d) $3N - 3 - k$, где N — число атомов в молекуле; k — число связей между атомами в молекуле.

10. На каждую колебательную степень свободы в среднем приходится энергия:

a) $kT/2$;

c) $kx^2/2$;

b) $mv^2/2$;

d) kT .

11. Полная энергия молекулы находится по формуле:

a) $E = (3 + i_r + 2j)kT/2$, где i_r — число вращательных степеней свободы; j — число колебательных степеней свободы;

b) $E = (3 + 2i_r + j)kT/2$, где i_r — число вращательных степеней свободы; j — число колебательных степеней свободы;

c) $E = mv^2/2$, где m — масса молекулы; v — средняя скорость ее движения;

d) $E = (3 + i_r + j)mv^2/2$, где i_r — число вращательных степеней свободы; j — число колебательных степеней свободы.

12. «Замораживание» степеней свободы молекул заключается в следующем:

a) при низких температурах колебательные и вращательные степени свободы не дают вклада в полную энергию молекулы из-за квантовых ограничений;

b) при высоких температурах колебательные и вращательные степени свободы не дают вклада в полную энергию молекулы из-за квантовых ограничений;

c) при высоких скоростях движения поступательные степени свободы не дают вклада в полную энергию молекулы из-за релятивистских ограничений;

d) при низких температурах поступательные степени свободы не дают вклада в полную энергию молекулы из-за релятивистских ограничений.

13. «Замораживание» колебательных степеней свободы происходит при температурах порядка:

- a) 10 K;
- b) 100 K;
- c) 1 000 K;
- d) 100 °C.

14. «Замораживание» вращательных степеней свободы происходит при температурах порядка:

- a) 1 000 K;
- b) 100 K;
- c) 100 °C;
- d) 10 K.

15. Внутренняя энергия идеального газа равна:

- a) произведению средней кинетической энергии одной молекулы на число молекул;
- b) сумме кинетических и потенциальных энергий всех молекул;
- c) произведению средней энергии одной молекулы на число молекул;
- d) $E = NkT$.

16. Теплоемкость газа:

- a) увеличивается с увеличением числа степеней свободы;
- b) уменьшается с увеличением числа степеней свободы;
- c) не зависит от числа степеней свободы;
- d) увеличивается с увеличением числа поступательных степеней свободы и не зависит от числа вращательных и колебательных степеней свободы.

17. Теплоемкость:

- a) это отношение изменения температуры системы к количеству теплоты, вызвавшей это изменение;
- b) это количество теплоты, содержащейся в системе;
- c) показывает, какое количество теплоты надо подвести к системе, чтобы изменить ее температуру на один градус;
- d) это количество теплоты, сообщенной системе.

18. Удельная теплоемкость — это:

- a) теплоемкость одного моля вещества;
- b) теплоемкость всей системы;
- c) средняя теплоемкость вещества, из которого состоит система;
- d) теплоемкость единицы массы вещества.

19. Молярная теплоемкость — это:

- a) теплоемкость единицы массы вещества;
- b) теплоемкость всей системы;

- c) средняя теплоемкость вещества, из которого состоит система;
- d) теплоемкость одного моля вещества.

20. Для газов наиболее часто используют:

- a) молярную и молекулярную теплоемкости;
- b) удельную и молекулярную теплоемкости;
- c) удельную и молекулярную теплоемкости при постоянной температуре;
- d) молярные теплоемкости при постоянном объеме и давлении.

21. Формула Майера выглядит следующим образом:

- a) $c_{\mu P} = c_{\mu V} + R$;
- b) $c_P/c_V = \gamma$;
- c) $PV^\gamma = \text{const}$;
- d) $S = k \ln W$.

22. Показатель адиабаты — это:

- a) отношение теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме;
- b) отношение теплоемкости при постоянном объеме к теплоемкости при постоянном давлении;
- c) коэффициент, показывающий, во сколько раз изменение энергии системы в адиабатическом процессе больше количества подведенной к системе теплоты;
- d) коэффициент, показывающий, во сколько раз количество подведенной к системе теплоты больше изменения энергии системы в адиабатическом процессе.

23. Молярная теплоемкость одноатомного идеального газа при постоянном давлении равна:

- a) $3R/2$;
- b) $5kT/2$;
- c) $5R/2$;
- d) $2R$.

24. Молярная теплоемкость двухатомного идеального газа при постоянном объеме при комнатной температуре равна:

- a) $5R/2$;
- b) $3R/2$;
- c) $5kT/2$;
- d) $2R$.

25. Показатель адиабаты двухатомного газа равен:

- a) 1,33;
- b) $5kT/2$;
- c) 1,4;
- d) $2R$.

26. Внутренняя энергия одного моля гелия при температуре 20°C равна:

- a) 1 кДж; c) 5 кДж;
b) 2 кДж; d) 3 кДж.

27. Внутренняя энергия одного моля водорода при температуре 20°C равна:

- a) 5 кДж; c) 1 кДж;
b) 3 Дж; d) 20 Дж.

28. Средняя энергия молекулы воды при температуре 20°C равна:

- a) $3 \cdot 10^{-5}$ Дж; c) $1,2 \cdot 10^{-20}$ Дж;
b) $0,6 \cdot 10^{-10}$ Дж; d) $1,5 \cdot 10^{-15}$ Дж.

29. Средняя энергия молекулы кислорода при температуре 2 000 К равна:

- a) 10^{-16} Дж; c) 10^{-23} Дж;
b) 10^{-19} Дж; d) 10^{-12} Дж.

30. При нормальных условиях показатель адиабаты у кислорода равен:

- a) 2,5; c) 1,4;
b) 1,33; d) 1,5.

31. Теплоемкость при постоянном объеме аргона, находящегося в баллоне, равна 1 200 Дж/К. При этом в баллоне содержится аргона:

- a) 10^{24} молекул; c) 10 г;
b) 1 л; d) 100 моль.

32. Молярная теплоемкость некоторого газа при постоянном объеме равна 12 Дж/(моль·К) при комнатной температуре. Молекула этого газа состоит из атомов:

- a) 4; c) 2;
b) 3; d) 1.

33. Молярная теплоемкость при постоянном объеме некоторого газа равна 12 Дж/(моль·К), а его молярная теплоемкость при постоянном давлении равна:

- a) 16 Дж/(моль·К); c) 20 Дж/(моль·К);
b) 8 Дж/(моль·К); d) 4 Дж/(моль·К).

34. Чтобы нагреть один моль водорода в баллоне от 0 до 20°C , ему надо сообщить количество теплоты:

- a) 400 Дж;
- b) 100 Дж;

- c) 200 Дж;
- d) 250 Дж.

3.5. ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

1. Первое начало термодинамики можно сформулировать следующим образом:

- a) невозможен самопроизвольный переход теплоты от тела с более низкой к телу с более высокой температурой;
- b) количество теплоты, сообщенное системе, идет на приращение ее внутренней энергии и совершение ею работы над внешними телами;
- c) невозможен самопроизвольный переход теплоты от тела с более высокой к телу с более низкой температурой;
- d) невозможен круговой процесс, единственным результатом которого было бы совершение работы за счет охлаждения теплового резервуара.

2. Уравнение, выражающее первое начало термодинамики, выглядит следующим образом:

a) $Q = \Delta U + A$;

c) $dQ = TdS$;

b) $\eta = 1 - T_2/T_1$;

d) $S = k \ln \Omega$.

3. Правило выбора знака приращения внутренней энергии и работы термодинамической системы заключается в следующем:

- a) приращение энергии ΔU находится как разность энергий конечного и начального состояний $U_2 - U_1$. Если система совершает работу над внешними телами $A < 0$;
- b) приращение энергии ΔU находится как разность энергий начального и конечного состояний $U_1 - U_2$. Если система совершает работу над внешними телами $A > 0$;
- c) приращение энергии ΔU находится как разность энергий начального и конечного состояний $U_1 - U_2$. Если система совершает работу над внешними телами $A < 0$;
- d) приращение энергии ΔU находится как разность энергий конечного и начального состояний $U_2 - U_1$. Если система совершает работу над внешними телами $A > 0$.

4. Первое начало термодинамики:

- a) выражает закон взаимного превращения теплоты и работы;
- b) выражает закон сохранения энергии в изолированной системе;

- с) констатирует неэквивалентность различных видов энергии и постулирует направление протекания тепловых процессов;
- д) выражает закон сохранения энергии применительно к тепловым процессам.

5. Закон сохранения энергии применительно к тепловым процессам первым сформулировал:

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| а) Джеймс П. Джоуль; | с) Рудольф Клаузиус; |
| б) Герман Гельмгольц; | д) Роберт Майер. |

6. Различие между работой и теплотой состоит в том, что:

- а) теплота описывает макроскопический процесс обмена механической энергией между системой и внешней средой, а работа — микроскопический процесс обмена энергией, протекающий при непосредственном соударении молекул;
- б) работа описывает макроскопический процесс обмена механической энергией между системой и внешней средой, а теплота — микроскопический процесс обмена энергией, протекающий при непосредственном соударении молекул;
- с) теплота характеризует энергию молекул на микроскопическом уровне, а работа — энергию системы на макроскопическом уровне;
- д) теплота может передаваться только от внешних тел, а работа может совершаться изолированной системой.

7. Калориметрия — это:

- а) метод измерения теплоемкости и теплоты, содержащейся в теле, основанный на анализе калорического уравнения состояния;
- б) метод определения внутренней энергии тела на основе законов термодинамики;
- с) совокупность методов получения и анализа зависимостей тепловых эффектов от температуры;
- д) раздел физики, в котором изучаются тепловые процессы, протекающие в термодинамических системах.

8. Для определения чего используют калориметрию? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- а) температуры фазовых переходов;
- б) теплоемкости веществ;
- с) охлаждения и сжижения газов;

- d) критических характеристик вещества;
- e) теплоты фазовых переходов.

9. Работа, совершаемая системой в изотермическом процессе, определяется выражением:

- a) 0;
- b) $A_{1,2} = P(V_2 - V_1)$;
- c) $A_{1,2} = \nu(V_2 - V_1) \ln(P_1/P_2)$;
- d) $A_{1,2} = \nu RT \ln(P_1/P_2)$.

10. Теплоемкость в изотермическом процессе равна:

- a) $\pm\infty$;
- b) 0;
- c) νR ;
- d) νRT .

11. Уравнение адиабаты выглядит следующим образом:

- a) $c_{\mu P} = c_{\mu V} + R$;
- b) $PV^\gamma = \text{const}$;
- c) $c_P/c_V = \gamma$;
- d) $S = k \ln W$.

12. Адиабатический процесс — это:

- a) неравновесный процесс, протекающий в теплоизолированной системе;
- b) равновесный процесс, протекающий в изолированной системе;
- c) равновесный процесс, протекающий в теплоизолированной системе;
- d) неравновесный изотермический процесс.

13. При распространении звука в газах приблизительно реализуется процесс:

- a) изотермический;
- b) изобарический;
- c) изохорический;
- d) адиабатический.

14. Удельная теплоемкость воды 4,2 кДж/(кг·К). Чтобы нагреть 1 л воды на 10 °С, необходимо затратить энергию равную:

- a) 42 кДж;
- b) 21 кДж;
- c) 360 кДж;
- d) 420 кДж.

15. Оболочка воздушного шара, содержащая один моль водорода, под действием солнечных лучей нагрелась на 5 °С. При этом газ внутри оболочки получил количество теплоты:

- a) 120 Дж;
- b) 150 Дж;
- c) 100 Дж;
- d) 80 Дж.

16. При изобарическом нагреве 5 молей кислорода от 20 до 40 °С совершается работа:

- a) 5 Дж;
b) 20 Дж;

17. Чтобы при изобарическом расширении кислорода получить работу 100 Дж, необходимо сообщить газу количество теплоты:

- a) 440 Дж; c) 350 Дж;
b) 380 Дж; d) 420 Дж.

18. Чтобы в изотермическом процессе сжать некоторое количество воздуха от 1 до 2 МПа, надо совершить работу 100 Дж, от 1 до 4 МПа — надо совершить работу:

- a) 300 Дж; c) 400 Дж;
b) 50 Дж; d) 200 Дж.

19. При изотермическом сжатии 6 молей воздуха от давления P_1 до P_2 необходимо затратить работу 100 Дж. При сжатии же 3 молей воздуха от давления P_1 до P_2 необходимо затратить работу:

- a) 150 Дж; c) 200 Дж;
b) 25 Дж; d) 50 Дж.

20. При адиабатическом сжатии объем газа уменьшился в 2 раза, давление увеличилось в 3 раза, а температура:

- а) уменьшилась в 2,5 раза;
б) увеличилась в 3 раза;
в) увеличилась в 1,5 раза;
г) уменьшилась в 2 раза.

21. Показатель адиабаты газа — 1,4. Сколько атомов в его молекуле? Выберите вариант из следующих:

- a) 1; c) 3;
b) 2; d) 4.

3.6. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ

1. Отступление от законов идеального газа обусловлено:

- a) многоатомностью молекул;
- b) наличием межмолекулярного взаимодействия;
- c) наличием вращательных и колебательных степеней свободы;
- d) отсутствием межмолекулярного взаимодействия.

2. Какие различают межмолекулярные силы притяжения? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- | | |
|---------------------|--------------------|
| a) поляризационные; | d) электрические; |
| b) квантовые; | e) дисперсионные; |
| c) релятивистские; | f) гравитационные. |

3. Поляризационные силы:

- a) обусловлены появлением наведенной поляризации при сближении молекул;
- b) имеют квантовую природу;
- c) обусловлены несимметричностью распределения зарядов в целом нейтральной молекуле;
- d) возникают между заряженными молекулами.

4. Дисперсионные силы:

- a) обусловлены несимметричностью распределения зарядов в целом нейтральной молекуле;
- b) обусловлены появлением наведенной поляризации при сближении молекул;
- c) имеют квантовую природу;
- d) возникают между заряженными молекулами.

5. Межмолекулярные силы отталкивания:

- a) имеют квантовую природу;
- b) обусловлены несимметричностью распределения зарядов в целом нейтральной молекуле;
- c) обусловлены появлением наведенной поляризации при сближении молекул;
- d) возникают между заряженными молекулами.

6. Потенциал Леннарда-Джонса описывает:

- a) функцию распределения частиц вещества;
- b) взаимодействие молекул;
- c) распределение электрического поля;
- d) распределение энергии по степеням свободы.

7. Выражение, описывающее потенциал Леннарда-Джонса, выглядит следующим образом:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| a) $U(r) = a/r^{12} - b/r^6;$ | c) $U(r) = a \exp(-br^2);$ |
| b) $U(r) = a/r^2;$ | d) $U(r) = a \exp(-b/r^2).$ |

8. Свойства молекул в уравнении Ван-дер-Ваальса учитываются введением:

- a) потенциала Леннарда-Джонса;

- b) дисперсионных и поляризационных сил;
- c) собственного объема молекул и внутреннего давления;
- d) молекулярных сил притяжения и отталкивания.

9. «Внутреннее» давление газа — это:

- a) давление молекул друг на друга, обусловленное их столкновениями;
- b) давление, действующее на молекулы поверхностного слоя со стороны остальных молекул газа;
- c) сила, действующая на молекулы поверхностного слоя единичной площади со стороны внешних тел;
- d) средняя сила ударов молекул о поверхность единичной площади.

10. Уравнение Ван-дер-Ваальса выглядит следующим образом:

- a) $(P + v/V^2)(V - vb) = vRT$; c) $(P + a v^2/V^2)(V/v - b) = RT$;
- b) $(P + a/V^2)(V - b) = vRT$; d) $(P + v^2/V^2)(V - vb) = vRT$.

11. Кроме уравнения Ван-дер-Ваальса существуют другие уравнения состояния реальных газов. Выберите все правильные ответы из следующих:

- | | |
|-----------------------------|----------------------|
| a) Дитеричи; | e) Больцмана; |
| b) Клапейрона — Менделеева; | f) Клаузиуса; |
| c) Берглю; | g) Камерлинг-Оннеса; |
| d) Томсона; | h) Максвелла. |

12. Критические параметры вещества:

- a) определяют точку на диаграмме состояния, в которой исчезают различия между фазами;
- b) определяют область состояний на диаграмме состояния, в которой могут одновременно существовать несколько фаз;
- c) это значения термодинамических параметров, при которых одновременно могут существовать несколько различных фаз;
- d) отделяют область на диаграмме состояния, в пределах которой можно использовать уравнение состояния.

13. Критический объем выражается через параметры уравнения Ван-дер-Ваальса соотношением:

- | | |
|----------------------|----------------------|
| a) $V_k = a/27b^2$; | c) $V_k = 8a/27Rb$; |
| b) $V_k = a/27b$; | d) $V_k = 3b$. |

14. В точке с критическими параметрами состояния:
- a) равны нулю первая и вторая производные давления по объему, взятые вдоль изотермы;
 - b) равны нулю частные производные термодинамических параметров, выраженных как функции друг от друга;
 - c) одновременно могут существовать несколько различных фаз одного и того же вещества;
 - d) сжимаемость, теплоемкость и коэффициент теплового расширения вещества становятся равными нулю.
15. На изотермах реальных газов нет участка:
- a) со значениями параметров состояния меньше критических;
 - b) соответствующего двухфазной области;
 - c) соответствующего переохлажденному пару и перегретой жидкости;
 - d) с положительным значением $\partial P / \partial V$.
16. Правило Максвелла:
- a) устанавливает, как проходит реальная изотерма в двухфазной области;
 - b) устанавливает соотношение жидкой и газообразной фаз;
 - c) определяет знак эффекта Джоуля — Томсона;
 - d) определяет положение критической точки.
17. Перегретая жидкость — это:
- a) жидкость, находящаяся при температуре, превышающей температуру кипения;
 - b) жидкость, находящаяся при температуре, превышающей температуру замерзания;
 - c) жидкость, находящаяся при температуре, превышающей температуру плавления;
 - d) вещество, находящееся в области выше критической изотермы.
18. Переохлажденный пар — это газообразное состояние:
- a) сохраняющееся при температуре выше температуры испарения;
 - b) в области выше критической изотермы;
 - c) в области ниже критической изотермы;
 - d) сохраняющееся при температуре ниже температуры конденсации.

19. Внутренняя энергия одного моля газа Ван-дер-Ваальса определяется выражением:

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| a) $U = c_V T + aV$; | c) $U = c_V T - a/V$; |
| b) $U = c_V T + a/V^2$; | d) $U = c_V T$. |

20. Эффект Джоуля — Томсона заключается в:

- a) изменении температуры газа при его адиабатическом расширении;
- b) изменении температуры газа при его прохождении через малое отверстие;
- c) исчезновении/появлении границы раздела фаз при переходе через критическую точку;
- d) охлаждении жидкости при ее испарении.

21. Эффект Джоуля — Томсона в идеальном газе:

- a) положительный;
- b) отрицательный;
- c) отсутствует;
- d) отрицательный выше точки инверсии и положительный ниже ее.

22. Температура инверсии эффекта Джоуля — Томсона — это температура:

- a) выше которой не наблюдается различия жидкой и газовой фаз;
- b) при которой эффект меняет знак;
- c) при которой эффект появляется;
- d) при которой происходит конденсация пара.

23. Укажите известные методы охлаждения из следующих:

- a) испарение жидкости;
- b) эффект Джоуля — Томсона;
- c) изобарическое расширение;
- d) изотермическое расширение;
- e) адиабатическое расширение;
- f) растворение одного вещества в другом.

24. Параметр b уравнения Ван-дер-Ваальса для азота равен $38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$, а характерный размер молекулы азота равен:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| a) 10^{-7} м ; | c) $4 \cdot 10^{-10} \text{ м}$; |
| b) $2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$; | d) $5 \cdot 10^{-11} \text{ м}$. |

25. Параметры уравнения Ван-дер-Ваальса для кислорода: $a = 0,14 \text{ Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$ и $b = 32 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$. В состоянии, когда 10^4 моль

этого вещества при температуре 0°C занимают объем 1 м^3 , его давление равно:

- a) $6 \cdot 10^8\text{ Па}$;
- b) $5 \cdot 10^6\text{ Па}$;
- c) 10^9 Па ;
- d) $2 \cdot 10^7\text{ Па}$.

26. Параметры уравнения Ван-дер-Ваальса для водорода: $a = 0,025\text{ Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$ и $b = 27 \cdot 10^{-6}\text{ м}^3/\text{моль}$. Чтобы давление 1 моля этого газа, заключенного в объеме 1 м^3 , достигло 10^8 Па , его необходимо нагреть до температуры:

- a) $1\,400\text{ К}$;
- b) 500 К ;
- c) 900 К ;
- d) $1\,800\text{ К}$.

27. Параметр a уравнения Ван-дер-Ваальса для ксенона равен $0,41\text{ Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$. Внутренняя энергия одного моля этого газа, находящегося в сосуде вместимостью $0,2\text{ л}$ при температуре 300 К , равна:

- a) 2 кДж ;
- b) 4 кДж ;
- c) 6 кДж ;
- d) 8 кДж .

3.7. СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМ МНОГИХ ЧАСТИЦ. РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

1. Что используют для статистического описания систем многих частиц? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) средние значения;
- b) отклонения от средних значений;
- c) степени свободы частиц;
- d) функции распределения;
- e) уравнения термодинамики;
- f) уравнения состояния.

2. Флуктуации — это:

- a) отклонения физических величин от средних значений;
- b) случайные значения физических величин в различные моменты времени;
- c) значения физических величин, полученные в результате усреднения большого числа измерений;
- d) средние отклонения физических величин от их средних значений.

3. Флуктуации возникают из-за:

- a) квантовой неопределенности термодинамических параметров;

- b) действия внешних факторов;
- c) погрешности измерений;
- d) дискретной структуры вещества.

4. Амплитуда флуктуаций термодинамических параметров и число частиц в системе связаны между собой следующим образом:

- a) чем больше частиц в системе, тем меньше флуктуации;
- b) чем больше частиц в системе, тем больше флуктуации;
- c) величина флуктуаций не зависит от числа частиц в системе;
- d) величина флуктуаций имеет минимум при оптимальном числе частиц в системе.

5. Функция распределения случайной величины:

- a) описывает зависимость диапазона значений, которые случайная величина может принимать от состояния системы;
- b) это функция, связывающая термодинамические параметры системы;
- c) это функция, связывающая макроскопические и микроскопические параметры системы;
- d) описывает вероятность, с которой случайная величина принимает то или иное значение.

6. Какие различают функции распределения? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) макроскопические;
- b) дискретные;
- c) непрерывные;
- d) микроскопические.

7. Дискретная функция распределения описывает:

- a) вероятность, с которой случайная величина может иметь одно из возможных непрерывных значений;
- b) вероятность, с которой случайная величина принимает одно из возможных дискретных значений;
- c) плотность вероятности дискретных значений, которые может принимать случайная величина;
- d) плотность вероятности непрерывных значений, которые может принимать случайная величина.

8. Непрерывная функция распределения описывает:

- a) вероятность, с которой случайная величина может иметь одно из возможных дискретных значений;
- b) плотность вероятности дискретных значений, которые может принимать случайная величина;

- c) вероятность, с которой случайная величина может попадать в некоторый интервал возможных непрерывных значений;
- d) вероятность, с которой случайная величина может иметь одно из возможных непрерывных значений.

9. Среднее значение случайной величины с дискретной функцией распределения находится как:

- a) интеграл от произведения случайной величины на ее функцию распределения по области допустимых значений $\langle x \rangle = \int x p(x) dx$;
- b) сумма возможных значений случайной величины, деленная на их число $\langle x \rangle = (\sum_{i=1}^N x_i) / N$;
- c) сумма произведений каждого возможного значения дискретной величины на ее вероятность $\langle x \rangle = \sum_{i=1}^N x_i W_i$;
- d) сумма вероятностей случайной величины, деленная на число ее значений $\langle x \rangle = (\sum_{i=1}^N W_i) / N$.

10. Среднее значение случайной величины с непрерывной функцией распределения находится как:

- a) сумма произведений каждого значения дискретной величины на ее вероятность $\langle x \rangle = \sum_{i=1}^N x_i W_i$;
- b) интеграл от случайной величины по области допустимых значений $\langle x \rangle = \int x dx$;
- c) интеграл от произведения случайной величины на ее функцию распределения по области допустимых значений $\langle x \rangle = \int x p(x) dx$;
- d) интеграл от функции распределения случайной величины по области допустимых значений $\langle x \rangle = \int p(x) dx$.

11. Согласно условию нормировки:

- a) вероятность того, что случайная величина имеет хоть какое-то значение из всех допустимых, должна быть равна единице;
- b) вероятность того, что среднее значение случайной величины имеет хоть какое-то значение из всех допустимых, должна быть равна единице;
- c) среднее значение случайной величины равно нулю;

- d) отклонение от среднего значения случайной величины равно нулю.

12. У равномерной функции распределения:

- a) вероятность (или плотность вероятности) равна единице в некотором диапазоне значений переменной и нулю вне его;
- b) вероятность (или плотность вероятности) равномерно возрастает во всем допустимом диапазоне значений переменной;
- c) вероятность (или плотность вероятности) равномерно возрастает от нуля до единицы во всем допустимом диапазоне значений переменной;
- d) вероятность (или плотность вероятности) постоянна в некотором диапазоне значений переменной и равна нулю вне его.

13. Макросостояние термодинамической системы — это состояние:

- a) макроскопического тела, охарактеризованное наиболее подробным образом;
- b) микроскопического тела, заданное с помощью макроскопических параметров;
- c) макроскопической изолированной системы;
- d) макроскопического тела, заданное с помощью макроскопических параметров.

14. Микросостояние термодинамической системы — это состояние:

- a) макроскопического тела, заданное с помощью макроскопических параметров;
- b) микроскопического тела, заданное с помощью макроскопических параметров;
- c) макроскопического тела, охарактеризованное наиболее подробным образом;
- d) микроскопического тела, заданное с помощью микроскопических параметров.

15. С точки зрения статистического подхода равновесное состояние термодинамической системы — это:

- a) одно из ее возможных микросостояний;
- b) одно из ее возможных макросостояний;
- c) макросостояние, которое является наиболее вероятным;
- d) наиболее вероятное микросостояние.

16. Наиболее вероятное состояние термодинамической системы — это:

- a) макросостояние с наибольшим статистическим весом;
- b) макросостояние с наименьшим статистическим весом;
- c) наиболее вероятное микросостояние;
- d) то состояние, которое может сохраняться бесконечно долго.

17. Характеристикой флуктуации термодинамической величины является:

- a) среднее отклонение этой величины от ее среднего значения: $\langle \Delta x \rangle$;
- b) среднеквадратичное значение этой величины $\langle x^2 \rangle^{1/2}$;
- c) среднее значение этой величины $\langle x \rangle$;
- d) среднеквадратичное отклонение этой величины от ее среднего значения $\langle \Delta x^2 \rangle^{1/2}$.

18. Относительная флуктуация аддитивной величины:

- a) прямо пропорциональна квадратному корню из числа молекул, входящих в систему;
- b) обратно пропорциональна числу молекул, входящих в систему;
- c) прямо пропорциональна числу молекул, входящих в систему;
- d) обратно пропорциональна квадратному корню из числа молекул, входящих в систему.

19. Нормальная функция распределения выглядит следующим образом:

- a) $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x+a}{2\sigma}\right)$;
- b) $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right)$;
- c) $f(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) 4\pi v^2$;
- d) $n = n_0 \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right)$.

20. Среднее значение физической величины с функцией распределения $f(x) = A \exp[(x-a)^2/2\sigma^2]$ равно:

- a) A ;
- b) a ;
- c) σ ;
- d) x .

21. Физическая величина имеет равномерную функцию распределения в интервале 1...5. Ее среднее значение равно:

- a) 4; c) 0,25;
b) 3; d) 0,2.

22. Физическая величина имеет равномерную функцию распределения в интервале $1 \dots 5$. В точке $x = 4$ она имеет значение:

- a) 4; c) 0,25;
b) 1; d) 0,75.

23. Физическая величина имеет равномерную функцию распределения в интервале $1 \dots 5$. В точке $x = 6$ она имеет значение:

- a) 0; c) 1;
b) 0,25; d) 6.

24. Физическая величина принимает значение 1,0 с вероятностью 0,1, значение 2,0 с вероятностью 0,1, значение 3,0 с вероятностью 0,2, значение 4,0 с вероятностью 0,4 и значение 5,0 с вероятностью 0,2. Среднее значение этой физической величины равно:

- a) 0,25; c) 3;
b) 0,2; d) 3,5.

25. Функция распределения физической величины, принимающей значения в интервале $1 \dots \infty$ $f(x) = 2/x^3$. Среднее значение этой физической величины равно:

- a) 0; c) 1;
b) ∞ ; d) 2.

26. Распределение Максвелла описывает распределение частиц:

- a) по энергиям; c) в пространстве;
b) по размерам; d) по скоростям движения.

27. Распределение Максвелла описывается выражением:

- a) $f(v) = \left(\frac{m}{2\pi T k}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) 4\pi v^2$;
b) $U(r) = a/r^{12} - b/r^6$;
c) $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{(2\sigma)^2}\right)$;
d) $n = n_0 \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right)$.

28. Среднеквадратичная скорость частицы определяется соотношением:

- a) $\langle v^2 \rangle^{1/2} = (3kT/m)^{1/2}$; c) $\langle v^2 \rangle^{1/2} = (2kT/m)^{1/2}$;
b) $\langle v^2 \rangle^{1/2} = (8kT/\pi m)^{1/2}$; d) $\langle v^2 \rangle^{1/2} = (3kT/\pi m)^{1/2}$.

29. Барометрическая формула имеет вид:

- a) $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{(2\sigma)^2}\right);$
- b) $U(r) = a/r^{12} - b/r^6;$
- c) $f(v) = \left(\frac{m}{2\pi T k}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) 4\pi v^2;$
- d) $n = n_0 \exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right).$

30. Барометрическая формула:

- a) описывает зависимость концентрации молекул от скорости движения;
- b) описывает зависимость концентрации молекул от высоты;
- c) описывает зависимость скорости молекул от высоты;
- d) показывает, как связаны кинетическая и потенциальная энергии молекулы.

31. Распределение Больцмана:

- a) описывает распределение частиц по скоростям движения;
- b) описывает распределение частиц по энергиям;
- c) описывает распределение частиц в потенциальном поле;
- d) показывает, как связаны кинетическая и потенциальная энергии молекулы.

32. Распределение Больцмана выглядит следующим образом:

- a) $n = n_0 \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right);$
- b) $U(r) = a/r^{12} - b/r^6;$
- c) $f(v) = \left(\frac{m}{2\pi T k}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) 4\pi v^2;$
- d) $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{(2\sigma)^2}\right).$

33. Распределение Максвелла — Больцмана:

- a) описывает распределение частиц по энергиям;
- b) описывает распределение частиц по скоростям движения;
- c) описывает распределение частиц в потенциальном поле;
- d) показывает, как связаны кинетическая и потенциальная энергии молекулы.

34. Распределение Максвелла — Больцмана выглядит следующим образом:

- a) $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{(2\sigma)^2}\right);$
 b) $f(v) = \left(\frac{m}{2\pi T k}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) 4\pi v^2;$
 c) $A \exp\left(-\frac{E_n + E_k}{kT}\right);$
 d) $n = n_0 \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right).$

35. Среднеквадратичная скорость движения молекулы водорода (атомная единица массы $1,7 \cdot 10^{-27}$ кг) при комнатной температуре равна:

- a) 800 м/с; c) 2 000 м/с;
 b) 200 м/с; d) 500 м/с.

36. При температуре 100 К среднеквадратичная скорость движения молекул равна 300 м/с, а при 400 К:

- a) 1 200 м/с; c) 800 м/с;
 b) 600 м/с; d) 1 000 м/с.

3.8. ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

1. Обратимым называют процесс:

- a) изменения состояния системы за время, большее времени релаксации;
 b) в котором количество теплоты, сообщенное системе, идет на приращение внутренней энергии и совершение ею работы над внешними телами;
 c) при котором термодинамическая система циклически возвращается в исходное состояние;
 d) допускающий возможность возвращения системы в первоначальное состояние без того, чтобы в окружающей среде остались какие-либо изменения.

2. Обратимый и равновесный процессы соотносятся между собой следующим образом:

- a) равновесным может быть лишь обратимый процесс, но не всякий обратимый процесс является равновесным;
 b) обратимый и равновесный процессы — это одно и то же;
 c) обратимым может быть лишь равновесный процесс, но не всякий равновесный процесс обратим;

- d) обратимый процесс относится только к выделенной системе, а в равновесном процессе участвует и ее окружение.

3. Смысл второго начала термодинамики заключается в том, что оно:

- a) выражает закон сохранения энергии применительно к тепловым процессам;
- b) постулирует направление протекания тепловых процессов;
- c) выражает закон взаимного превращения теплоты и работы;
- d) выражает закон сохранения энергии в изолированной системе.

4. Формулировка Клаузиуса второго начала термодинамики заключается в следующем:

- a) теплота не может самопроизвольно переходить от тела более нагретого к менее нагретому;
- b) количество теплоты, сообщенное системе, идет на приращение ее внутренней энергии и совершение ею работы над внешними телами;
- c) невозможен самопроизвольный переход теплоты от тела с более высокой к телу с более низкой температурой;
- d) теплота не может самопроизвольно переходить от тела менее нагретого к более нагретому.

5. Формулировка Томсона второго начала термодинамики заключается в следующем:

- a) теплота не может самопроизвольно переходить от тела более нагретого к менее нагретому;
- b) количество теплоты, сообщенное системе, идет на приращение ее внутренней энергии и совершение ею работы над внешними телами;
- c) невозможен самопроизвольный переход теплоты от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой;
- d) невозможен круговой процесс, единственным результатом которого было бы совершение работы за счет охлаждения теплового резервуара.

6. Вечный двигатель второго рода — это устройство, которое позволяло бы:

- a) совершать работу только за счет охлаждения теплового резервуара;
- b) совершать работу без потребления энергии из внешних источников;

- c) осуществлять процесс, в котором работа совершалась бы за счет охлаждения теплового резервуара;
- d) совершать работу за счет теплоты, полученной при сжигании топлива.

7. Тепловой двигатель — это устройство:

- a) в котором совершается обратимый термодинамический процесс;
- b) позволяющее осуществлять процесс, в котором работа совершается только за счет охлаждения теплового резервуара;
- c) позволяющее совершать работу за счет теплоты, полученной при сжигании топлива;
- d) в котором совершается циклический термодинамический процесс.

8. Не обязательным элементом теплового двигателя является:

- a) нагреватель;
- b) топливо;
- c) рабочее тело;
- d) холодильник.

9. В тепловом двигателе второго рода для получения работы за счет тепловой энергии упускается из вида необходимость использования:

- a) рабочего тела;
- b) нагревателя;
- c) холодильника;
- d) топлива.

10. Цикл Карно:

- a) состоит из двух изотерм и двух изобар;
- b) состоит из двух изохор и двух изобар;
- c) состоит из двух изотерм и двух адиабат;
- d) это то же самое, что обратимый процесс.

11. КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно:

- a) всегда больше, чем КПД любого другого цикла;
- b) зависит только от свойств рабочего тела и не зависит от температур нагревателя и холодильника;
- c) зависит от свойств рабочего тела и разности температур нагревателя и холодильника;
- d) не зависит от свойств рабочего тела и температур нагревателя и холодильника.

12. Вторую теорему Карно можно сформулировать следующим образом:

- a) КПД любого цикла не может быть больше, чем КПД цикла Карно;

- b) КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, зависит только от температур нагревателя и холодильника;
- c) КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, зависит только от свойств рабочего тела и не зависит от температур нагревателя и холодильника;
- d) любой циклический процесс можно рассматривать как совокупность циклов Карно.

13. Опишите циклический процесс. Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) можно представить как комбинацию циклов Карно;
- b) имеет КПД не больше чем $\eta = 1 - T_{\min}/T_{\max}$;
- c) имеет КПД, равный $\eta = 1 - T_{\min}/T_{\max}$;
- d) имеет КПД меньший, чем КПД цикла Карно равной площади.

14. Выражение для КПД цикла Карно выглядит следующим образом:

- a) $\eta = 1 - T_{\max}/T_{\min}$;
- b) $\eta = T_{\min}/T_{\max}$;
- c) $\eta = T_{\min}/T_{\max} - 1$;
- d) $\eta = 1 - T_{\min}/T_{\max}$.

15. Энтропия — это функция состояния:

- a) элементарное приращение которой складывается из сообщенного системе элементарного количества теплоты и совершенной над телом работы $\delta S = \delta Q + \delta A$;
- b) элементарное приращение которой складывается из сообщенного системе элементарного количества теплоты и внутренней энергии $\delta S = \delta Q + dU$;
- c) дифференциал которой равен произведению элементарного теплового эффекта и температуры $dS = \delta Q/T$;
- d) дифференциал которой связан с элементарным тепловым эффектом в обратимом процессе соотношением $\delta Q = T dS$.

16. Энтропия измеряется в:

- a) джоулях на кельвин, Дж/К;
- b) джоулях, Дж;
- c) джоуль-кельвинах, Дж·К;
- d) джоулях на килограмм-кельвин, Дж/(К·кг).

17. Молярная энтропия идеального газа определяется выражением:

- a) $S(T, V) = C_{\mu V} \ln T + R \ln V$;
- b) $S(T, V) = C_{\mu V} \ln V$;
- c) $S = Q/T$;
- d) $S = Q/U$.

18. При приближении к абсолютному нулю температуры энтропия системы:

- a) становится неопределенной;
- b) стремится к максимуму;
- c) стремится к конечному пределу;
- d) стремится к бесконечности.

19. Энтропия связана со статистическим весом термодинамического состояния системы соотношением:

- a) $S = \exp \Omega$;
- b) $S = k / \exp \Omega$;
- c) $S = 1 / \exp \Omega$;
- d) $S = k \ln \Omega$.

20. При протекании необратимых процессов энтропия термодинамической системы:

- a) убывает;
- b) остается постоянной;
- c) становится неопределенной;
- d) возрастает.

21. Энтропия системы, находящейся в равновесном состоянии:

- a) равна нулю;
- b) равна единице;
- c) достигает максимума;
- d) достигает минимума.

22. При протекании обратимых процессов энтропия изолированной термодинамической системы:

- a) остается постоянной;
- b) возрастает;
- c) убывает;
- d) возрастает при сообщении теплоты системе и убывает в противном случае.

23. В цикле Карно газ нагревается до температуры 100°C и охлаждается до температуры 0°C . КПД такого цикла равен:

- a) 46 %;
- b) 78 %;
- c) 37 %;
- d) 27 %.

24. Работа, совершаемая в результате равновесного циклического процесса, составляет 100 Дж, количество теплоты, получаемой от нагревателя, — 450 Дж, а холодильнику передается теплота, равная:

- a) 450 Дж;
- b) 550 Дж;
- c) 350 Дж;
- d) 100 Дж.

25. Количество теплоты, полученной от нагревателя в ходе равновесного циклического процесса, — 500 Дж, холодильнику передается 300 Дж, а КПД процесса равен:

- a) 40 %; c) 50 %;
b) 60 %; d) 70 %.

26. Работа, совершаемая в результате равновесного циклического процесса, составляет 100 Дж, количество теплоты, получаемой от нагревателя, — 500 Дж, а КПД процесса равен:

- a) 20 %; c) 25 %;
b) 5 %; d) 10 %.

27. КПД цикла Карно составляет 50 %, температура холодильника в этом процессе 300 К, а температура нагревателя равна:

- a) 500 К; c) 450 К;
b) 400 К; d) 600 К.

28. В изотермическом процессе при температуре 300 К к системе было подведено 150 Дж теплоты, при этом энтропия системы увеличилась на:

- a) 2,0 Дж/К; c) 0 Дж/К;
b) 0,5 Дж/К; d) 4,5 Дж/К.

29. В адиабатическом процессе температура одного моля водорода увеличилась от 100 до 200 К, а объем уменьшился от 1 до 0,2 л, при этом изменение энтропии составило:

- a) 0 Дж/К; c) 4 Дж/К;
b) 8 Дж/К; d) 2 Дж/К.

30. При таянии 1 г льда (удельная теплота плавления 334 кДж/кг) его энтропия изменяется на:

- a) 2,4 Дж/К; c) 0 Дж/К;
b) 1,2 Дж/К; d) 3,5 Дж/К.

3.9. АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ. ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ

1. Особенность газообразного состояния вещества заключается в том, что:

- a) в газе межмолекулярные расстояния превышают размеры молекул;
b) газ занимает весь предоставленный ему объем;
c) газ принимает форму сосуда, в который он заключен;
d) газ не имеет кристаллической структуры.

2. Особенность твердого состояния заключается в том, что:
 - a) тело не изменяет своей формы;
 - b) в твердом теле расстояния между молекулами меньше размеров молекул;
 - c) твердое тело имеет кристаллическую структуру;
 - d) твердое тело имеет определенную температуру плавления.
3. В расположении молекул газа:
 - a) есть ближний и дальний порядок;
 - b) есть только ближний порядок;
 - c) есть только дальний порядок;
 - d) нет порядка.
4. В расположении молекул жидкости:
 - a) нет порядка;
 - b) есть ближний и дальний порядок;
 - c) есть только ближний порядок;
 - d) есть только дальний порядок.
5. В расположении молекул кристаллического тела:
 - a) есть только ближний порядок;
 - b) нет порядка;
 - c) есть ближний и дальний порядок;
 - d) есть только дальний порядок.
6. Явление поверхностного натяжения вызвано тем, что:
 - a) на молекулы, находящиеся вблизи поверхности, действуют не скомпенсированные силы со стороны других молекул;
 - b) на молекулы, находящиеся вблизи поверхности, действуют силы со стороны внешних тел и молекул жидкости;
 - c) молекулы, находящиеся на поверхности, взаимодействуют друг с другом и с границей поверхности;
 - d) силы притяжения между молекулами поверхностного слоя превышают силы отталкивания, действующие между ними.
7. Коэффициент поверхностного натяжения — это:
 - a) коэффициент пропорциональности между силой поверхностного натяжения и энергией поверхности;
 - b) работа, которую нужно затратить, чтобы увеличить поверхность жидкости на единицу площади;
 - c) работа, которую нужно затратить, чтобы увеличить длину контура, охватывающего поверхность жидкости на единицу длины;

- d) сила, которую нужно приложить, чтобы удерживать в равновесии элемент контура, ограничивающий поверхность жидкости единичной площади.

8. От чего зависит коэффициент поверхностного натяжения? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) площади поверхности;
- b) природы жидкости и газовой фазы;
- c) температуры;
- d) наличия примесей;
- e) длины контура, ограничивающего поверхность.

9. Коэффициент поверхностного натяжения измеряется в:

- a) ньютонах на метр, Н/м;
- b) паскаль-метрах квадратных, Па·м²;
- c) ньютон-метрах квадратных, Н·м²;
- d) паскалях на метр, Па/м.

10. Коэффициент поверхностного натяжения:

- a) пропорционален параметру a уравнения Ван-дер-Ваальса;
- b) пропорционален параметру b уравнения Ван-дер-Ваальса;
- c) обратно пропорционален параметру b уравнения Ван-дер-Ваальса;
- d) пропорционален отношению параметров b/a уравнения Ван-дер-Ваальса.

11. Поверхностно-активные вещества:

- a) всегда увеличивают коэффициент поверхностного натяжения;
- b) как правило, увеличивают поверхностное натяжение;
- c) не уменьшают коэффициент поверхностного натяжения;
- d) уменьшают поверхностное натяжение.

12. Силу поверхностного натяжения, действующую на подвижный элемент контура, ограничивающего поверхность жидкости, можно определить по формуле:

- a) $f = \sigma(1/R_1 + 1/R_2)$;
- b) $f = 2\sigma l$;
- c) $f = \sigma_{23} + \sigma_{12} \cos \varphi$;
- d) $f = 2\sigma \cos \varphi / \rho g R$.

13. Формула Лапласа позволяет определить:

- a) величину избыточного давления под искривленной поверхностью жидкости;
- b) силу поверхностного натяжения, действующую на подвижный элемент контура, ограничивающего поверхность жидкости;

- c) высоту подъема жидкости в капилляре;
- d) условие равновесия границы трех фаз.

14. Формула Лапласа выглядит следующим образом:

$$\begin{array}{ll} a) \Delta P = \sigma(R_1 + R_2); & c) \Delta P = \sigma/(R_1 + R_2)^2; \\ b) \Delta P = \sigma/(R_1 + R_2); & d) \Delta P = \sigma(1/R_1 + 1/R_2). \end{array}$$

15. Условие равновесия для границы трех фаз выглядит следующим образом:

$$\begin{array}{ll} a) \sigma_{13} = \sigma_{23} + \sigma_{12} \cos \varphi; \\ b) \sigma_{13} = \sigma_{23} \sigma_{12} \cos \varphi; \\ c) \sigma_{13} = \sigma_{23} / \sigma_{12} \cos \varphi; \\ d) \sigma_{13} = (\sigma_{23}^2 + \sigma_{12}^2 - \sigma_{23} \sigma_{12} \cos \varphi)^{1/2}. \end{array}$$

16. Краевой угол:

- a) отсчитывается через область, занятую газом между касательными к поверхностям твердого тела и жидкости в точке касания их границ;
- b) это угол между направлением действия силы поверхностного натяжения и элементом контура, ограничивающего поверхность жидкости;
- c) это угол, образованный поверхностями жидкости и твердого тела при их соприкосновении;
- d) используется в формуле Лапласа для определения избыточного давления, под искривленной поверхностью жидкости.

17. Краевой угол связан с условием смачивания следующим образом:

- a) если $\varphi < \pi/2$, то говорят, что жидкость смачивает твердое тело, если $\varphi > \pi/2$ — то нет. При $\varphi = \pi$ имеем полное смачивание, если $\varphi = 0$ — полное несмачивание;
- b) если $\varphi > \pi/2$, то говорят, что жидкость смачивает твердое тело, если $\varphi < \pi/2$ — то нет. При $\varphi = \pi$ имеем полное смачивание, если $\varphi = 0$ — полное несмачивание;
- c) если $\varphi > \pi/2$, то говорят, что жидкость смачивает твердое тело, если $\varphi < \pi/2$ — то нет. При $\varphi = 0$ имеем полное смачивание, если $\varphi = \pi$ — полное несмачивание;
- d) если $\varphi < \pi/2$, то говорят, что жидкость смачивает твердое тело, если $\varphi > \pi/2$ — то нет. При $\varphi = 0$ имеем полное смачивание, если $\varphi = \pi$ — полное несмачивание.

18. Высота подъема жидкости в капилляре описывается формулой:

$$a) h = 2\sigma \cos \varphi / \rho g R;$$

$$b) h = 2\sigma R / \rho g;$$

$$c) h = 2\sigma \rho / g R^2;$$

$$d) h = 2\sigma R / \pi \rho g.$$

19. Коэффициент поверхностного натяжения воды $76 \cdot 10^{-3}$ Н/м. Чтобы оторвать от поверхности воды кольцо радиусом 1 см, необходимо приложить силу:

$$a) 1 \text{ Н};$$

$$b) 10^{-1} \text{ Н};$$

$$c) 10^{-2} \text{ Н};$$

$$d) 10 \text{ Н}.$$

20. Коэффициент поверхностного натяжения воды $76 \cdot 10^{-3}$ Н/м. Чтобы увеличить энергию поверхности воды на 1 Дж, ее площадь надо увеличить на:

$$a) 5 \text{ м}^2;$$

$$b) 9 \text{ м}^2;$$

$$c) 13 \text{ м}^2;$$

$$d) 7 \text{ м}^2.$$

21. Коэффициент поверхностного натяжения воды $76 \cdot 10^{-3}$ Н/м. Избыточное давление в пузырьке воздуха радиусом 10^{-4} см, находящемся вблизи поверхности воды, равно:

$$a) 0,3 \text{ МПа};$$

$$b) 0,25 \text{ МПа};$$

$$c) 0,15 \text{ МПа};$$

$$d) 0,2 \text{ МПа}.$$

22. Коэффициент поверхностного натяжения воды $76 \cdot 10^{-3}$ Н/м, плотность воды 1000 кг/м^3 . Радиус капилляра 1 мм, краевой угол равен 60° , вода поднимется на высоту:

$$a) 3,2 \text{ мм};$$

$$b) 4,6 \text{ мм};$$

$$c) 5,8 \text{ мм};$$

$$d) 7,5 \text{ мм}.$$

23. Коэффициент поверхностного натяжения твердого тела на границе с воздухом равен $0,14 \text{ мН/м}$, на границе с жидкостью $0,13 \text{ мН/м}$, а коэффициент поверхностного натяжения жидкости на границе с воздухом $0,06 \text{ мН/м}$. При этом косинус угла смачивания равен:

$$a) 0,32;$$

$$b) 0,56;$$

$$c) 0,24;$$

$$d) 0,17.$$

3.10. ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

1. Фазовый переход первого рода:

- это кривая в координатах $P-T$, точки которой соответствуют двухфазным состояниям вещества;
- это превращение вещества из твердого состояния в жидкое;
- сопровождается скачкообразным изменением первых производных физических величин по термодинамическим параметрам;

- d) сопровождается скачкообразным изменением какого-либо свойства вещества.

2. Кристаллизация — это переход вещества из:

- a) одного кристаллического состояния в другое;
- b) твердого состояния в газообразное;
- c) твердого состояния в жидкое;
- d) жидкого или газообразного состояния в твердое.

3. Особенность процесса плавления кристаллического твердого тела заключается в том, что:

- a) у кристаллического твердого тела нет четко выраженной температуры плавления. Есть область размягчения;
- b) в этом процессе скачком изменяется температура тела;
- c) подвод теплоты происходит при постоянной температуре;
- d) оно сначала становится аморфным, а затем — жидким.

4. Относительно кривой фазового равновесия можно утверждать следующее:

- a) при значениях термодинамических параметров, соответствующих точкам этой кривой, в системе сосуществуют две фазы;
- b) при значениях термодинамических параметров, соответствующих точкам этой кривой, в системе сосуществуют три фазы;
- c) эта кривая разделяет области существования твердой и газообразной фаз;
- d) она является участком изотермы Ван-дер-Ваальса в области существования двух фаз.

5. Уравнение Клапейрона — Клаузиуса описывает:

- a) кривую фазового равновесия;
- b) кривую плавления;
- c) изотерму Ван-дер-Ваальса;
- d) равновесное состояние системы.

6. Уравнение Клапейрона — Клаузиуса имеет вид:

- a) $\frac{dP}{dT} = \frac{\lambda}{T(V_2 - V_1)}$;
- b) $PV = \nu RT$;
- c) $P = A \exp\left(-\frac{E_n + E_k}{kT}\right)$;
- d) $n = n_0 \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right)$.

7. Центр кристаллизации — это:

- a) небольшой затравочный кристалл;
- b) точка сосуществования твердой, жидкой и газообразной фаз на диаграмме состояния;

- c) тройная точка на диаграмме состояния;
- d) точка, в которой начинается рост кристалла.

8. Различие между кристаллическими и аморфными телами проявляется в:

- a) их плотности;
- b) их теплоемкости;
- c) способе их перехода в жидкое состояние;
- d) их способности к деформации.

9. Температура размягчения — это температура:

- a) при которой кристаллическое тело становится мягким;
- b) перехода из кристаллического в жидкое состояние;
- c) перехода из кристаллического в аморфное состояние;
- d) характеризующая область перехода аморфного тела из твердого состояния в жидкое.

10. От чего зависит температура плавления вещества? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) внешних условий;
- b) содержания примесей;
- c) предыстории образца;
- d) способа нагревания.

11. Диаграмма плавкости — это:

- a) диаграмма зависимости температуры плавления смеси от ее состава;
- b) зависимость температуры системы от времени;
- c) кривая, разделяющая области существования различных фаз;
- d) кривая, разделяющая области существования твердой и аморфной фаз.

12. В эвтектической точке:

- a) сосуществуют твердая, жидкая и газообразная фазы;
- b) происходит плавление смеси веществ;
- c) происходит кипение смеси веществ;
- d) находятся в равновесии твердые и жидкие компоненты смеси.

13. Тройная точка — это точка:

- a) в которой смесь двух веществ сосуществует с обоими своими компонентами;
- b) в которой все три корня уравнения Ван-дер-Ваальса становятся одинаковыми;

- c) сосуществования твердой, жидкой и газообразной фаз;
- d) плавления смеси трех веществ.

14. Возгонка — это:

- a) переход из газообразной в твердую фазу, минуя жидкую;
- b) переход из твердой в газообразную фазу, минуя жидкую;
- c) переход из жидкой в газообразную фазу, минуя двухфазную область;
- d) разделение смеси веществ на компоненты при ее нагревании.

15. Диаграмма состояния — это:

- a) кривая в координатах P — T , точки которой соответствуют двухфазным состояниям вещества;
- b) диаграмма зависимости температуры плавления смеси от ее состава;
- c) зависимость температуры системы от времени;
- d) зависимость термодинамических параметров друг от друга, задаваемая уравнением состояния.

3.11. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА

1. Что относится к явлениям переноса в молекулярной физике? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) теплопроводность;
- b) температуропроводность;
- c) передача давления;
- d) диффузия;
- e) внутреннее трение.

2. Теплопроводность — это:

- a) обусловленное тепловым движением молекул проникновение одних веществ в объем, занятый другими веществами;
- b) процесс обмена импульсами молекул между слоями вещества;
- c) процесс переноса тепловой энергии, обусловленный хаотическим движением молекул;
- d) процесс нагревания или охлаждения термодинамической системы.

3. Диффузия — это:

- a) обусловленное тепловым движением молекул проникновение одних веществ в объем, занятый другими веществами;
- b) процесс переноса тепловой энергии, обусловленный хаотическим движением молекул;

- c) процесс обмена импульсами молекул между слоями вещества;
- d) процесс перемещения частиц вещества в пространстве.

4. Внутреннее трение можно определить, как:

- a) процесс изменения скоростей движения молекул;
- b) обусловленное тепловым движением молекул проникновение одних веществ в объем, занятый другими веществами;
- c) свойство реальной жидкости оказывать сопротивление перемещению ее слоев друг относительно друга;
- d) процесс установления равновесного состояния системы.

5. Потоки теплоты возникают в веществе из-за:

- a) наличия градиентов концентрации;
- b) пространственной неоднородности параметров состояния;
- c) высокой температуры;
- d) наличия градиентов температуры.

6. Плотность потока теплоты — это количество тепловой энергии:

- a) выделяющееся в единице объема в единицу времени;
- b) содержащееся в единице объема;
- c) проходящей через единицу объема в единицу времени;
- d) проходящее через площадь единичного сечения в единицу времени.

7. Плотность потока теплоты измеряется в:

- a) ваттах на метр квадратный, Вт/м²;
- b) джоулях на метр кубический, Дж/м³;
- c) ваттах на метр кубический, Вт/м³;
- d) ваттах, Вт.

8. Плотность потока теплоты связана с градиентом температуры следующим соотношением:

- | | |
|---|--|
| a) $\mathbf{j} = -\lambda \nabla T$; | c) $\rho_{cV} \frac{\partial T}{\partial t} = -(\nabla \cdot \mathbf{j}) + q(x, y, z)$; |
| b) $\rho_{cV} \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial j}{\partial x}$; | d) $\rho_{cV} \frac{\partial T}{\partial t} = -(\nabla \cdot \mathbf{j})$. |

9. Уравнение, описывающее теплопроводность в общем случае, выглядит следующим образом:

- | | |
|---|--|
| a) $\rho_{cV} \frac{\partial T}{\partial t} = -(\nabla \cdot \mathbf{j})$; | c) $\mathbf{j} = -\lambda \cdot \nabla T$; |
| b) $\rho_{cV} \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial j}{\partial x}$; | d) $\rho_{cV} \frac{\partial T}{\partial t} = -(\nabla \cdot \mathbf{j}) + q(x, y, z)$. |

10. Стационарные задачи на расчет теплопроводности отличаются от нестационарных тем, что:

- a) в уравнениях, описывающих стационарную задачу, есть явная зависимость от времени;
- b) в уравнениях, описывающих стационарную задачу, нет явной зависимости от времени;
- c) в нестационарных задачах нельзя использовать понятие термодинамических переменных;
- d) в стационарных задачах нельзя использовать понятие термодинамических переменных.

11. Температура в плоской бесконечной однородной пластине толщиной l и температурами T_1 и T_2 на границах:

- a) пропорциональна квадрату координаты;
- b) пропорциональна квадратному корню от координаты;
- c) обратно пропорциональна координате;
- d) линейно зависит от координаты.

12. Наибольшая теплопроводность наблюдается у:

- a) твердых тел;
- b) жидкостей;
- c) газов;
- d) металлов.

13. Коэффициент теплопроводности — это:

- a) коэффициент пропорциональности между плотностью потока теплоты и градиентом температуры;
- b) скорость изменения температуры;
- c) количество теплоты, выделяющееся в единице объема в единицу времени;
- d) количество тепловой энергии, проходящее через площадь единичного сечения в единицу времени.

14. Коэффициент теплопроводности измеряется в:

- a) градус на секунду, град/с;
- b) ваттах на метр кубический, Вт/м³;
- c) ваттах на метр-кельвин, Вт/(м·К) ;
- d) ваттах на метр квадратный, Вт/м².

15. Причиной диффузии является:

- a) наличие внешнего силового поля;
- b) градиент концентрации вещества;
- c) тепловое движение молекул;
- d) взаимодействие молекул.

16. Термодиффузия — это:

- a) перенос вещества, происходящий в результате теплового взаимодействия молекул;
- b) перенос молекул из области с меньшей температурой в область с большей температурой;
- c) процесс переноса тепловой энергии, обусловленный хаотическим движением молекул;
- d) возникновение градиентов концентрации при наличии градиентов температуры.

17. Какие различают виды диффузии? Выберите несколько правильных ответов из следующих:

- a) концентрационная;
- b) температурная;
- c) термодиффузия;
- d) самодиффузия;
- e) тепловая.

18. Закон Фика описывается формулой:

- a) $f = \eta \frac{dv}{dx}$;
- b) $\Delta M = -D \frac{dc}{dx} S \Delta t$;
- c) $\mathbf{j} = -\lambda \nabla T$;
- d) $\rho_{cv} \frac{\partial T}{\partial t} = -(\nabla \cdot \mathbf{j})$.

19. Коэффициент диффузии — это:

- a) скорость изменения массы единичного объема вещества;
- b) диффузионный поток, проходящий через единицу объема;
- c) диффузионный поток, проходящий через площадь единичного сечения;
- d) коэффициент пропорциональности между диффузионным потоком и градиентом концентрации.

20. Коэффициент диффузии измеряется в:

- a) килограммах на метр квадратный-секунду, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;
- b) килограммах на метр кубический, $\text{кг}/\text{м}^3$;
- c) килограммах на метр кубический-секунду, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$;
- d) метрах квадратных на секунду, $\text{м}^2/\text{с}$.

21. Вязкость — это:

- a) то же самое, что и внутреннее трение;
- b) уменьшение скорости теплового движения молекул;
- c) обусловленное тепловым движением молекул проникновение одних веществ в объем, занятый другими веществами;
- d) процесс установления равновесного состояния системы.

22. Формула Ньютона выглядит следующим образом:

a) $j = -\lambda \nabla T$;

c) $f = \eta \frac{dv}{dx}$;

b) $\Delta M = -D \frac{dc}{dx} S \Delta t$;

d) $\rho c_V \frac{\partial T}{\partial t} = -(\nabla \cdot j)$.

23. Коэффициент вязкости — это коэффициент пропорциональности между:

- a) скоростью движения слоя и ее градиентом;
- b) силой внутреннего трения и градиентом скорости;
- c) силой внутреннего трения и скоростью движения слоя жидкости;
- d) диффузионным потоком и градиентом концентрации.

24. Коэффициент вязкости измеряется в:

- a) паскаль-метрах, Па·м;
- b) паскаль-секундах, Па·с;
- c) ньютон-секундах на метр, Н·с/м;
- d) ньютон-секундах, Н·с.

25. С увеличением температуры вязкость жидкостей:

- a) увеличивается;
- b) не меняется;
- c) как правило, уменьшается;
- d) может вести себя по-разному.

26. С увеличением температуры вязкость газов:

- a) как правило, увеличивается;
- b) уменьшается;
- c) не меняется;
- d) может вести себя по-разному.

27. Длина свободного пробега:

- a) прямо пропорциональна произведению концентрации на площадь сечения молекул;
- b) прямо пропорциональна концентрации и обратно пропорциональна площади сечения молекул;
- c) обратно пропорциональна концентрации и прямо пропорциональна площади сечения молекул;
- d) обратно пропорциональна произведению концентрации на площадь сечения молекул.

28. Коэффициент диффузии связан со средними значениями микроскопических параметров газа соотношением:

$$a) D = (1/3)lv_{\text{ср}}\rho_{\text{св}};$$

$$c) D = (1/2)v_{\text{ср}}\rho_{\text{св}};$$

$$b) D = (1/3)lv_{\text{ср}}\rho;$$

$$d) D = (1/3)lv_{\text{ср}}.$$

29. Коэффициент теплопроводности связан со средними значениями микроскопических параметров газа соотношением:

$$a) \lambda = (1/3)lv_{\text{ср}}\rho_{\text{св}};$$

$$c) \lambda = 2l\rho_{\text{св}};$$

$$b) \lambda = (1/3)lv_{\text{ср}};$$

$$d) \lambda = (1/3)lv_{\text{ср}}\rho.$$

30. Коэффициент вязкости связан со средними значениями микроскопических параметров газа соотношением:

$$a) \eta = (1/3)lv_{\text{ср}}\rho;$$

$$c) \eta = (1/3)lv_{\text{ср}}\rho_{\text{св}};$$

$$b) \eta = (1/3)lv_{\text{ср}};$$

$$d) \eta = (1/2)v_{\text{ср}}\rho_{\text{св}}.$$

31. Разность температур внутри и снаружи помещения 20 К, коэффициент теплопроводности воздуха 0,02 Вт/(м·К), расстояние между стеклами в оконной раме 10 см, а плотность теплового потока через нее составляет:

$$a) 2 \text{ Вт/м}^2;$$

$$c) 1 \text{ Вт/м}^2;$$

$$b) 5 \text{ Вт/м}^2;$$

$$d) 4 \text{ Вт/м}^2.$$

32. Градиент концентрации газа составляет 0,1 моль/м⁴, коэффициент диффузии — 1,5·10⁻⁵ м²/с, а плотность диффузионного потока:

$$a) 2,5 \text{ мкмоль/(м}^2 \cdot \text{с)};$$

$$c) 1,5 \text{ мкмоль/(м}^2 \cdot \text{с)};$$

$$b) 3,0 \text{ мкмоль/(м}^2 \cdot \text{с)};$$

$$d) 0,75 \text{ мкмоль/(м}^2 \cdot \text{с)}.$$

33. Коэффициент вязкости жидкости 2·10⁻³ Па·с, градиент скорости движения — 4,0 с⁻¹, а сила, действующая на единицу площади движущегося в жидкости тела, равна:

$$a) 8 \text{ мН};$$

$$c) 2 \text{ мН};$$

$$b) 5 \text{ мН};$$

$$d) 6 \text{ мН}.$$

34. Средняя скорость движения молекул углекислого газа при температуре 100 °С — 400 м/с, длина свободного пробега 0,9·10⁻⁷ м, а коэффициент диффузии равен:

$$a) 0,24 \text{ см}^2/\text{с};$$

$$c) 0,36 \text{ см}^2/\text{с};$$

$$b) 0,12 \text{ см}^2/\text{с};$$

$$d) 0,18 \text{ см}^2/\text{с}.$$

35. При атмосферном давлении длина свободного пробега молекулы в баллоне с газом составляет 2·10⁻⁷ м, а при вдвое меньшем давлении и той же температуре:

$$a) 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

$$c) 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

$$b) 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

$$d) 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

1. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Физическая величина — это свойство физического объекта или процесса, которое можно измерить. Значение данного свойства объекта или процесса, которое считается равным единице, называется единицей измерения физической величины, число, которое можно сопоставить некоторому свойству физического объекта или процесса, — это числовое значение физической величины, а объект, со свойствами которого сравнивают свойства объекта измерения, называется эталоном.

2. Размерность физической величины — это комбинация основных физических величин в уравнении для определения данной величины, в котором коэффициент пропорциональности принят равным единице. Каждая из основных величин входит в это уравнение в виде множителя в некоторой степени. Размерностью относительно некоторой величины, строго говоря, называют этот показатель степени, с которым основная физическая величина входит в соотношение.

3. Единица измерения — это мера для нахождения значения физической величины. Чтобы найти значение физической величины, ее необходимо сравнить с этой мерой, которая должна иметь ту же природу, что и измеряемая величина.

4. В СИ за основные принимаются 7 физических величин: длина, масса, время, сила электрического тока, термодинамическая температура, количество вещества и сила света. Сила является производной величиной, ее размерность определяется на основании второго закона Ньютона как $\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2$. Для нее введена отдельная единица измерения — ньютон.

5. Производные физические величины определяются уравнениями, в которые входят комбинации основных физических величин. Все физические величины связаны друг с другом уравнениями, выражающими

физические законы. Выразив нужную физическую величину в одном из таких уравнений через другие величины и используя, при необходимости, для выражения последних другие уравнения, можно в итоге получить выражение, содержащее только основные физические величины. Такая комбинация определяет размерность исходной величины. Как следует из сказанного, производные физические величины не служат для установления размерности. Предел отношения малого приращения функции некоторой величины к вызвавшему ее приращению аргумента — это производная функции, а мерами для нахождения значений физических величин являются единицы измерения.

6. Относительное значение физической величины — это отношение ее абсолютного значения к некоторому эталонному значению. Относительные значения являются безразмерными, а абсолютные имеют размерность. В некоторых случаях использование относительных единиц является более удобным, чем абсолютных. Отношение одной физической величины к другой имеет смысл в том случае, если оно дает третью физическую величину, т.е. устанавливает закон взаимосвязи между ними. Число, которое можно сопоставить некоторому свойству физического объекта или процесса, — это (абсолютное) числовое значение физической величины, или просто значение этой величины.

7. Абсолютное значение физической величины — это просто значение этой величины. Абсолютным оно называется для того, чтобы отличить его от относительного. Значение данного свойства объекта или процесса, которое считается равным единице, называется единицей измерения. Максимально возможное значение физической величины может еще называться ее предельным значением. Значение одной физической величины относительно другой смысла не имеет.

8. Десятичные кратные и дольные единицы образуются умножением исходной единицы на один из множителей, приведенных в табл. 1.

9. При округлении чисел во время вычислений сохраняется разряд, на единицу меньший старшего разряда погрешности измерений. Счет разрядов идет справа. Это правило служит для того, чтобы, с одной стороны, не усложнять восприятие результатов большим количеством цифр, а, с другой стороны, обозначить их погрешность.

10. По способу проведения различают прямые и косвенные измерения. На грубые и точные измерения делят по отношению к их точности. Затраты на проведение грубых измерений обычно значительно меньше. Иногда их проводят предварительно для того, чтобы лучше спланировать проведение точных измерений. Абсолютных и относительных

Таблица 1. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Множитель	Приставка	Обозначения приставки	
		международное	русское
10^{18}	экса	E	Э
10^{15}	пета	P	П
10^{12}	тера	T	Т
10^9	гига	G	Г
10^6	мега	M	М
10^3	кило	k	к
10^2	гекто	h	г
10^1	дека	da	да
10^{-1}	деци	d	д
10^{-2}	санти	c	с
10^{-3}	милли	m	м
10^{-6}	микро	μ	мк
10^{-9}	нано	n	н
10^{-12}	пико	p	п
10^{-15}	фемто	f	ф
10^{-18}	атто	a	а

измерений не бывает. Правильнее говорить об измерении абсолютных и относительных величин.

11. По способу индикации различают аналоговые и цифровые измерения. Электронные приборы с цифровой индикацией получили в последнее время значительное распространение. При проведении измерений, в которых важна точность, приходится обращать внимание на способ считывания результата со шкалы прибора.

12. Прямым называется измерение, при котором значение искомой величины находится непосредственно из опытных данных. К измерениям, сделанным без помощи приборов или каких-либо инструментов, можно отнести, пожалуй, лишь счет объектов. Измерение, проводимое при непосредственном контакте измеряемого объекта и измерительного прибора, относится к группе контактных методов. Кроме них есть еще бесконтактные, или дистанционные, методы, для осуществления которых непосредственный контакт средства и объекта измерения не требу-

ется. Сравнение объекта с эталоном — это лишь один из способов прямых измерений. Часто при прямых измерениях сначала проводят преобразование искомой величины в другую, которую затем сравнивают с эталоном.

13. Косвенным называется измерение, при котором значение искомой величины находят на основании известной зависимости между ней и величинами, измеряемыми непосредственно. Практически все измерения и прямые, и косвенные проводят с помощью приборов.

14. По своему происхождению погрешности измерений бывают систематическими и случайными. Систематическая погрешность обусловлена погрешностью приборов и несовершенством методов измерений, случайная — влиянием случайных факторов на результаты измерений. Кроме этого еще говорят о грубых ошибках, когда ошибается человек, проводящий измерение. На абсолютные и относительные погрешности подразделяются относительно способов их представления. Вычислительные погрешности относятся уже не к измерениям, а к вычислениям, хотя часто их бывает трудно разделить. Так, при косвенных измерениях всегда используют вычисления.

15. Систематическая погрешность остается постоянной при повторных измерениях одной и той же величины. Так как приборы и методы остаются теми же, то и значение величины, полученное при повторных измерениях, не меняется.

16. Систематическую погрешность можно уменьшить внесением поправки, использованием более точных приборов и более совершенных методов измерений.

17. Случайная погрешность обусловлена влиянием случайных факторов на результаты измерений. Эти случайные факторы изменяются во времени, поэтому при повторных измерениях получают различные результаты.

18. Случайную погрешность можно обнаружить при повторных измерениях. При использовании более точных приборов ее обнаружить не удастся, так как причины погрешности при этом не устраняются. Применение более совершенных методов измерений может устранить влияние случайных факторов и уменьшить случайную погрешность, но это нельзя назвать способом обнаружения. То же самое можно сказать и о математической обработке результатов измерений.

19. Случайную погрешность можно уменьшить, проводя повторные измерения и их математическую обработку. При нахождении среднего значения измеряемой величины случайные погрешности компенсируют

друг друга. Использование более точных приборов случайную погрешность не уменьшает, так как причины при этом не устраняются.

20. Грубая ошибка обусловлена ошибками человека при проведении измерений. Часто ее можно выявить при сравнении результатов измерений. Ошибочные результаты такого рода, как правило, значительно отличаются от остальных, однако так случается не всегда. Кроме того, значительное отклонение результата от общего уровня может быть обусловлено влиянием случайных факторов и физическими закономерностями (как, например, в опытах Резерфорда по рассеянию частиц), поэтому такую особенность нельзя считать свидетельством грубой ошибки. При повторных измерениях грубая ошибка может повторяться, если она, например, является ошибкой в проведении измерений.

21. По способу представления погрешности бывают абсолютные и относительные. Относительная погрешность — это отношение абсолютной погрешности к среднему значению измеряемой величины. Абсолютная погрешность — это просто отклонение результата измерения от истинного значения величины, которое само является неизвестным. Абсолютной она называется для того, чтобы подчеркнуть ее отличие от относительной. Прямых, косвенных, приближительных и точных погрешностей не бывает.

22. Доверительный интервал — это область значений измеряемой величины, в которой с определенной вероятностью находится ее истинное значение. Согласно теории ошибок, на основании результатов измерений можно говорить о том, что искомая физическая величина принимает некоторое значение лишь с определенной вероятностью, если эта величина дискретная, т.е. может принимать лишь счетное число значений. Если измеряемая физическая величина является непрерывной, то можно говорить лишь о некоторой вероятности того, что истинное значение этой величины лежит в некотором интервале ее значений. Эта область значений и называется доверительным интервалом. Его границы определяются на основании результатов измерений и задаваемой вероятности попадания истинного значения измеряемой величины в этот интервал. Область значений измеряемой величины, в которую со стопроцентной вероятностью попадает ее истинное значение, можно назвать областью ее допустимых значений, как и область возможных значений измеряемой величины. Интервал между максимальным и минимальным значениями, полученными в серии повторных измерений, называют разбросом результатов измерений.

23. Среднее значение случайной величины находится по формуле:

$\langle x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$, где x_i — результат отдельного измерения; N — число измерений. Выражение $\sum_{i=1}^N x_i$ представляет сумму всех измерений, остальные соотношения смысла не имеют.

24. Погрешность измерения Δx выражается через значения систематической δ и случайной d погрешностей следующим образом:

$\Delta x = \sqrt{\delta^2 + d^2}$. Остальные соотношения смысла не имеют.

25. Класс точности прибора показывает процентную долю от максимального значения шкалы прибора, которую нужно взять, чтобы получить значение систематической погрешности. Эта величина, как ясно из ее определения, служит для нахождения систематической погрешности. Коэффициент, на который нужно умножить среднее значение измеряемой величины, чтобы получить значение абсолютной погрешности измерений, называется относительной погрешностью. Отношение перемещения указателя прибора к значению измеряемой величины, вызвавшей это перемещение, — это чувствительность прибора, отношение предела измерений к числу делений шкалы прибора — это цена его деления.

26. Систематическую погрешность прямого измерения можно определить по цене деления либо по классу точности используемого прибора. Абсолютная погрешность измерения определяется как произведение коэффициента Стьюдента на стандартное отклонение среднего значения измеряемой величины. Произведение коэффициента Стьюдента на абсолютную погрешность измеряемой величины смысла не имеет так же, как и сумма абсолютной и относительной погрешностей измерения, ибо это величины разной размерности.

27. Стандартное отклонение среднего значения измеряемой величины

оценивают по формуле $s_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \langle x \rangle)^2}{(N-1)N}}$, где x_i — результат отдельного измерения; $\langle x \rangle$ — среднее значение; N — число измерений.

28. Абсолютное значение случайной погрешности измеряемой величины оценивают по формуле $\Delta x = k_{\alpha, N} s_{\langle x \rangle}$, где $k_{\alpha, N}$ — коэффициент Стьюдента, определяемый вероятностью α попадания истинного значения в доверительный интервал и числом измерений N ; $s_{\langle x \rangle}$ — стандартное отклонение среднего значения $\langle x \rangle$ измеряемой величины x .

29. Коэффициент Стьюдента — это коэффициент, на который нужно умножить стандартное отклонение среднего значения измеряемой величины, чтобы получить абсолютное значение его погрешности. Эта величина названа по псевдониму английского математика Уильяма Госсета (1876—1937), нашедшего функцию распределения этой величины.

30. Коэффициент Стьюдента зависит от числа измерений и вероятности попадания среднего значения измеряемой величины в доверительный интервал. С возрастанием числа измерений величина доверительного интервала уменьшается примерно пропорционально квадратному корню из числа измерений (при постоянной вероятности попадания истинного значения в доверительный интервал). Вероятность попадания задается исходя из целей использования результата измерений. Коэффициент Стьюдента больше при больших вероятностях. Для числа измерений порядка 10 и вероятности попадания 95 %, которая обычно используется по умолчанию, коэффициент Стьюдента имеет значение, примерно равное 2.

31. Относительная ε и абсолютная Δx погрешности связаны соотношением $\Delta x = \varepsilon \langle x \rangle$, где $\langle x \rangle$ — среднее значение.

32. Абсолютная погрешность косвенных измерений находится по формуле $\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \Delta x + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \Delta y + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \Delta z + \dots}$, где частные производные берутся от функции, связывающей косвенно измеряемую величину с непосредственно измеряемыми величинами Δx , Δy и Δz и т.д.

33. Цена деления измерительного прибора определяется отношением предела измерений на число делений шкалы прибора. Ее часто выбирают таким образом, чтобы систематическая погрешность измерений составляла половину цены деления прибора.

34. Чувствительность измерительного прибора — это отношение перемещения указателя прибора к значению измеряемой величины, вызвавшей это перемещение.

35. Воспользовавшись формулой для определения среднего значения, найдем: $(1,2 + 1,6 + 1,4 + 1,8)/4 = 6/4 = 1,5$.

36. Сначала необходимо найти абсолютную погрешность: $\Delta x = k_{\alpha, N} s_{\langle x \rangle}$, где $k_{\alpha, N}$ — коэффициент Стьюдента; $s_{\langle x \rangle}$ — стандартное отклонение. $\Delta x = 2,5 \cdot 0,2 = 5,0$. Границы доверительного интервала определяются соотношением: $[\langle x \rangle - \Delta x; \langle x \rangle + \Delta x]$, где $\langle x \rangle$ — среднее значение. Подставив численные значения, получим: $[5,3; 6,3]$.

37. Абсолютная погрешность определится соотношением $\Delta x = k_{\alpha, N} s_{\langle x \rangle}$, где $k_{\alpha, N}$ — коэффициент Стьюдента; $s_{\langle x \rangle}$ — стандартное отклонение. $\Delta x = 2,5 \cdot 0,2 = 0,5$. Среднее значение здесь не используется.

38. Абсолютная погрешность определяется соотношением: $\Delta x = k_{\alpha, N} s_{\langle x \rangle}$, где $k_{\alpha, N}$ — коэффициент Стьюдента; $s_{\langle x \rangle}$ — стандартное отклонение. Коэффициент Стьюдента относительно слабо зависит от числа измерений. Стандартное отклонение связано с числом измерений

соотношением $s_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \langle x \rangle)^2}{(N-1)N}}$, где x_i — результат отдельного измерения; $\langle x \rangle$ — среднее значение; N — число измерений. При увеличении числа измерений числитель в подкоренном выражении возрастает пропорционально N , а знаменатель пропорционально N^2 . Таким образом: $s_{\langle x \rangle} \sim 1/\sqrt{N}$, поэтому и $\Delta x \sim 1/\sqrt{N}$, $\Delta x_{20} = \Delta x_5 \sqrt{5}/\sqrt{20} = 6\sqrt{5}/2\sqrt{5} = 3$.

39. Связь относительной ε и абсолютной Δx погрешностей дается выражением $\Delta x = \varepsilon \langle x \rangle$, где $\langle x \rangle$ — среднее значение. Выразив отсюда относительную погрешность и подставив числовые значения, найдем: $\varepsilon = 1,5/6 = 0,25$.

40. Класс точности прибора показывает процентную долю от максимального значения шкалы прибора, которую нужно взять для того, чтобы получить значение систематической погрешности. Взяв один процент от 150 делений, получим 1,5 деления. Показания прибора здесь не важны.

41. Погрешность измерения Δx выражается через значения систематической δ и случайной d погрешностей следующим образом: $\Delta x = \sqrt{\delta^2 + d^2}$. Подставив в эту формулу числовые значения, получим: $\Delta x = \sqrt{0,4^2 + 0,3^2} = \sqrt{0,16 + 0,09} = \sqrt{0,25} = 0,5$.

42. Если некоторая величина определяется произведением двух других физических величин, то ее относительная погрешность определяется как сумма относительных погрешностей сомножителей. В данном случае площадь определяется произведением сторон прямоугольника, относительные погрешности измерения которых равны, поэтому получаем: $3 + 3 = 6\%$.

2. МЕХАНИКА

2.1. Основные понятия механики

1. Объектом изучения физики являются свойства материи. Возможны и другие, близкие по смыслу, формулировки. Точно обозначить объект изучения в краткой форме затруднительно, однако некоторое общее понимание этого вопроса необходимо. Определение наиболее общих понятий относится к области философии. Современная физика основана на материалистическом мировоззрении, в котором утверждается первичность материи, существующей в виде поля и вещества. При этом ее успехи в познании явлений природы все же не дают полной уверенности в отсутствии нематериальных факторов. Это является одной из причин, почему нельзя сказать, что объектом изучения является весь окружающий человека мир. В других неправильных ответах упускается из виду существование полей, свойства которых также изучаются физикой. Кроме того, в ответе «а» отмечено лишь одно свойство материальных тел — движение. Кроме него физика изучает такие свойства тел, как их существование во времени и пространстве, превращения и изменение состояния.

2. Видами материи являются поле и вещество. Дать исчерпывающее определение того, что такое пространство и время, — затруднительно, однако по современным представлениям к видам материи они не относятся.

3. Основными свойствами материи являются существование в пространстве и времени, движение и превращение из одной формы в другую. Согласно материалистической концепции, на которой основана современная физика, материя не может исчезать или возникать из ничего, она может лишь превращаться из одной формы в другую.

4. Механика ограничивается изучением движения и условий равновесия тел. Движение тел и их равновесное состояние как частный случай движения обусловлены взаимодействием вещества и поля. Это влияние поля в механике учитывается с помощью представления о силах, действующих на тела. Таким образом, всю физику можно представить состоящей из двух взаимно дополняющих друг друга разделов: механики и теории поля. Наиболее общие свойства и формы движения материи и их взаимные превращения являются предметом изучения физики в целом. Окружающий человека мир изучается всем комплексом наук. Изучение превращений материальных тел выходит за рамки механики,

так как оно невозможно без явного учета свойств полей, создаваемых частицами, из которых состоят материальные тела.

5. Движение в механике понимается как изменение положения тел и их частей относительно других тел. Все остальные варианты ответов охватывают формы движения, изучаемые также и другими разделами физики, такими, как физика элементарных частиц и молекулярная физика.

6. Основоположителем классической механики является английский физик Исаак Ньютон (1643—1727), сформулировавший основные законы этого раздела физики, а также сделавший ряд важных открытий в других ее областях. Рене Декарт (1596—1650) — французский ученый и философ, разработавший физическую концепцию, предшествовавшую концепции, основанной на механике Ньютона. Галилео Галилей (1564—1642) — итальянский ученый, сформулировавший закон инерции, основоположник экспериментального метода исследования природы. Демокрит (ок. 460—370 до н. э.) — греческий философ, один из основоположников атомистического учения.

7. По отношению к скорости движения рассматриваемых объектов выделяют классическую и релятивистскую механику. В первом из этих разделов физики, называемом иногда также Ньютоновской механикой, рассматривается движение тел со скоростями, значительно меньшими скорости распространения света. Во втором разделе, наоборот, рассматривается движение тел со скоростями, сравнимыми со скоростью распространения света.

Кинематика — это раздел механики, в котором движение тел рассматривается безотносительно сил, его вызывающих. В динамике в явном виде учитываются взаимодействия между телами. Квантовая механика описывает особенности поведения частиц малых размеров с малыми энергиями движения, когда становится необходимым учет волновых свойств тел. В классической механике эти эффекты не рассматриваются.

8. По способам определения параметров движения тел различают кинематику и динамику. При использовании первого из этих подходов координаты точки описываются функциями от времени. Преимуществом этого метода является его простота, а недостатком — необходимость априорного знания функциональных зависимостей координат от времени, что редко бывает возможным. В динамике определяется ускорение тела на основе учета взаимодействия тел, т.е. расчета сил,

которые, в свою очередь, зависят от положения и скоростей тел. Таким образом, суть динамического подхода заключается в составлении замкнутой системы дифференциальных уравнений, описывающих движение тела (они называются уравнениями движения) и нахождении ее решения. Этот метод более универсален, чем кинематический.

Статика является частным случаем динамики, когда силы, действующие на тело, уравновешивают друг друга. Теория упругости выделяется не способом определения параметров движения, а тем, что в ней изучается частный вид движения — деформация тела. Особенность релятивистской механики — в ней учитывается ограничение возможной скорости движения тела. В обоих этих разделах могут использоваться кинематический и динамический методы.

9. По отношению к природе рассматриваемых объектов выделяют механику материальной точки, твердого тела и сплошных сред. Понятие материальной точки является одним из основных в механике. Его использование позволяет значительно упростить решение задач. В некоторых случаях представление реальных объектов можно непосредственно осуществить с помощью материальных точек без большого ущерба для точности вычислений, как, например, при рассмотрении движения планет. В других случаях сложное движение реального тела можно представить как комбинацию движения материальной точки — его центра масс и движения тела относительно этой точки, что так же упрощает вычисления.

В механике твердого тела изучают объекты, которые нельзя приближенно рассматривать как материальные точки. В этом случае некоторое упрощение задачи достигается с помощью модели абсолютно твердого тела. Одним из разделов механики твердого тела можно считать теорию упругости, в которой использование этой модели недопустимо.

Дополняет механику материальной точки и твердого тела механика сплошных сред, в которой рассматривается движение жидкостей и газов. Выделение релятивистской механики в особый раздел обусловлено существованием предельной скорости движения, при приближении к которой необходимо учитывать влияние скорости на геометрические характеристики и ход времени. Разделение механики на классическую и квантовую соответствует пренебрежению или, наоборот, учету волновых свойств тел.

10. Основная задача механики — определение состояния системы в последовательные моменты времени. Это означает указание ее положения, скорости, ускорения и т.д. в данный момент. Решить эту задачу

можно, в общем случае, составив уравнение движения (точнее, систему уравнений) и решив его. Уравнение движения представляет собой некоторую функцию координат, скоростей и ускорений, т.е. является дифференциальным уравнением второго порядка (так как ускорение есть вторая производная от координат по времени). Как известно из теории дифференциальных уравнений, для нахождения определенного решения (его называют частным решением) такого уравнения необходимо задание начальных условий: координат и скоростей.

Существуют и другие задачи механики, например, по известной зависимости координат от времени найти силы, действующие на тело. Что касается установления причин движения, то в механике ограничиваются указанием сил в качестве этих причин. Изучение природы взаимодействий выходит за рамки данного раздела.

11. Механическая система — это совокупность тел, выделенная для рассмотрения.

12. Наиболее полный ответ: «Система отсчета — это совокупность неподвижных друг относительно друга тел, по отношению к которым рассматривается движение, и часы». Существует различие между понятиями системы отсчета и системы координат. Система координат состоит из системы отсчета и заданного способа определения координат точки. Например, система отсчета может состоять из декартовых осей координат, а способы определения координат точки в этой системе могут быть различными: при помощи проекций на оси, углов между осями и радиусом-вектором точки и др. С определением времени подобной неоднозначности нет. Считается, что в каждой точке пространства можно установить часы, синхронизованные с часами, находящимися в других точках.

13. Материальная точка — это тело, размерами которого можно пренебречь. Положение материальной точки в пространстве характеризуется тремя ее координатами, а, например, абсолютно твердого тела — шестью. Таким образом, описать движение материальной точки оказывается значительно проще, чем реальных объектов конечных размеров. С другой стороны, движение реальных объектов во многих случаях можно с хорошей точностью представить как движение материальных точек. Обычно в качестве положений таких точек выбирают положения центров масс тел. В качестве примера можно указать задачу расчета траектории движения снаряда. В этом случае его вполне допустимо считать

материальной точкой. Материальная точка необязательно должна представлять малую часть реального тела, как это полагается в одном из неправильных вариантов ответов. Она может представлять и все тело в целом.

14. Абсолютно твердое тело — это тело, деформациями которого можно пренебречь. Использование этого понятия позволяет существенно упростить описание движения реальных тел. Положение абсолютно твердого тела определяется шестью координатами, в то время, как для его полного описания необходимо задание бесконечного числа координат каждого элемента. Кроме того, для абсолютно твердых тел более простыми являются уравнения движения и их решения. Например, момент инерции в этих уравнениях не зависит от угловой скорости вращения. Такое приближение часто вполне приемлемо с точки зрения точности полученных результатов.

15. Поступательное движение — это такое движение, при котором любая прямая, связанная с телом, перемещается параллельно самой себе. Необходимо различать понятия поступательного и прямолинейного движения. Прямолинейное движение, строго говоря, применимо к материальным точкам, а не к телам конечных размеров. В этом случае материальная точка движется по прямой. Понятие поступательного движения, наоборот, используется для характеристики движения именно твердого тела, когда каждая точка тела может двигаться по кривой линии. Случай, когда все точки тела движутся по прямым линиям параллельным друг другу, может являться частным случаем поступательного движения, а может представлять собой сложный случай, включающий деформацию тела, и не относящийся к поступательному движению. То же самое можно сказать и о варианте, когда все точки тела движутся по прямым линиям.

16. Вращение тела — это такое движение, при котором все его точки движутся вокруг одной оси. Двигаться по окружностям одинакового радиуса точки тела могут и в случае поступательного движения. Движение по окружностям одинакового радиуса вокруг одной оси может происходить только в некоторых особых случаях, поэтому соответствующий ответ нельзя считать общим определением вращательного движения.

17. Траектория — это линия, которую описывает некоторая материальная точка в процессе движения. Она определяется функциональной

зависимостью одной или двух координат точки (для движения в плоскости и трехмерном пространстве соответственно) от другой ее координаты. Например, $y(x) = A \sin(x)$ или $z(x) = kx + b$; $y(x) = x^2$. Чтобы описать траекторию, необходимо в одном из уравнений кинематики выразить время через соответствующую координату и подставить это выражение в оставшиеся кинематические уравнения. Например, имеем исходные уравнения кинематики: $x(t) = 2t$, $y(t) = 4t$ и $z(t) = 4t^2$. Выразив $t = x/2$ и подставив в другие выражения, получим систему уравнений, описывающих траекторию движения точки в трехмерном пространстве: $y(x) = 2x$, $z(x) = x^2$.

18. Путь — это расстояние между начальной и конечной точками, измеренное вдоль траектории движения.

19. Перемещение — это вектор, проведенный от начальной точки движения к конечной.

20. Скорость материальной точки — это производная от радиус-вектора точки по времени. Производная от пути по времени равна модулю скорости.

21. Ускорение — это производная от скорости движения точки по времени. Вторая производная от пути по времени равна модулю тангенциального ускорения. Выражение «Ускорение — это отношение силы, действующей на тело, к его массе» не является определением ускорения, однако в силу второго закона Ньютона указанное в нем соотношение действительно имеет место. Вектор ускорения в общем случае не направлен вдоль траектории движения в отличие от вектора скорости.

22. Средняя скорость находится как вектор, равный отношению вектора перемещения к промежутку времени. Отношение пути, пройденного материальной точкой к промежутку времени, равно среднему модулю скорости. Эта величина широко используется в повседневной жизни и для простоты называется средней скоростью, из-за чего может возникнуть неправильное представление об этом понятии.

23. Вектор — это величина, характеризующаяся численным значением и направлением в пространстве, для которой задан закон сложения.

24. Радиус-вектор задает положение материальной точки. Он проводится из начала системы координат к данной точке.

25. Физические величины представляются свободными, скользящими и связанными типами векторов. В зависимости от природы физической величины, обозначающий ее вектор можно соответственно либо свободно перемещать в пространстве, либо свободно перемещать вдоль прямой, либо нельзя перемещать. Коллинеарными и компланарными могут быть пары сравниваемых векторов. Нормальным и тангенциальным может быть вектор по отношению к таким объектам, как поверхность и кривая. Полярными называют обычные векторы для того, чтобы подчеркнуть отличие от похожих на них объектов — аксиальных или псевдовекторов, которые иначе преобразуются при изменении системы координат. Псевдовектором является, например, угловая скорость. Все перечисленные в неправильных ответах наименования не обозначают общие типы векторов.

26. В координатном представлении вектор задается тремя проекциями на координатные оси. Задание вектора направленным отрезком или, что то же самое, модулем и направлением является геометрическим представлением. Представление вектора в виде суммы нескольких векторов называется разложением вектора на компоненты.

27. Согласно теореме косинусов, модуль суммы двух векторов находится по формуле $(a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha)^{1/2}$, где a и b — модули векторов; α — угол между ними.

28. Сумма двух векторов в координатном представлении находится по формуле $(a_i + b_i, a_j + b_j, a_k + b_k)$, где индексы указывают проекции векторов $\mathbf{a}$ и $\mathbf{b}$ на соответствующие оси декартовой системы координат.

29. Модуль векторного произведения двух векторов находится по формуле $ab \sin \alpha$, где α — угол между векторами.

30. Векторное произведение двух векторов в координатном представлении находится по формуле: $(a_j b_k - a_k b_j)\mathbf{i} + (a_k b_i - a_i b_k)\mathbf{j} + (a_i b_j - a_j b_i)\mathbf{k}$, где индексы указывают проекции векторов $\mathbf{a}$ и $\mathbf{b}$ на соответствующие оси декартовой системы координат, а векторы $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$ и $\mathbf{k}$ являются единичными векторами (ортами), направленными вдоль координатных осей.

31. Скалярное произведение двух векторов можно найти по формулам: $ab \cos \alpha$ и $a_i b_i + a_j b_j + a_k b_k$, где α — угол между векторами, а индексы указывают проекции векторов $\mathbf{a}$ и $\mathbf{b}$ на соответствующие оси декартовой системы координат.

32. Сумма векторов в координатном представлении находится как сумма их соответствующих проекций на координатные оси: $\mathbf{a} + \mathbf{b} = (1 + 2, 2 + 3, 3 + 1) = (3, 5, 4)$.

33. Скалярное произведение векторов $\mathbf{a} = (1, 0)$ и $\mathbf{b} = (0, 1)$ равно нулю, так как они взаимно ортогональны. Это видно из того, что они имеют ненулевые проекции на различные оси координат. Скалярное произведение векторов можно интерпретировать геометрически как произведение модуля одного из векторов на проекцию второго вектора на направление первого. Так как проекция вектора на перпендикулярное ему направление равна нулю, или, иными словами, косинус угла в 90° равен нулю, то и скалярное произведение взаимно перпендикулярных векторов равно нулю.

34. Скалярное произведение векторов $\mathbf{a} = (1, 0)$ и $\mathbf{b} = (1, 0)$ равно 1. Из координатного представления этих векторов видно, что они коллинеарные, т.е. направлены вдоль одной прямой, совпадающей с одной из осей координат, поэтому их проекции равны их модулям. Скалярное произведение векторов можно интерпретировать геометрически как произведение модуля одного из векторов на проекцию второго вектора на направление первого. В случае коллинеарных векторов эта проекция вектора равна его модулю. В итоге получаем величину, равную произведению проекций.

35. Модуль векторного произведения векторов $\mathbf{a} = (2, 0, 0)$ и $\mathbf{b} = (0, 1, 0)$ равен 2. Из координатного представления этих векторов видно, что они ортогональны друг другу, так как имеют ненулевые проекции на различные оси координат. Модуль векторного произведения можно найти по формуле $ab \sin \alpha$, где a и b — модули векторов; α — угол между векторами. В данном случае: $a = 2$, $b = 1$, $\sin \alpha = \sin 90^\circ = 1$, поэтому: $|\mathbf{a} \times \mathbf{b}| = ab \sin \alpha = 2 \cdot 1 \cdot 1 = 2$.

36. Скалярное произведение двух векторов единичной длины с углом 45° между ними равно $\sqrt{2}/2$. Скалярное произведение можно найти по формуле $ab \cos \alpha$, где a и b — модули векторов; α — угол между ними. В данном случае: $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = ab \cos \alpha = 1 \cdot 1 \cdot \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2$.

37. Модуль векторного произведения двух векторов единичной длины с углом 60° между ними равен $\sqrt{3}/2$. Модуль векторного произведения можно найти по формуле $ab \sin \alpha$, где a и b — модули векторов; α — угол между векторами. В данном случае: $a=1$, $b=1$, $\sin \alpha = \sin 60^\circ = \sqrt{3}/2$, поэтому $|\mathbf{a} \times \mathbf{b}| = ab \sin \alpha = 1 \cdot 1 \cdot \sqrt{3}/2 = \sqrt{3}/2$.

38. Модуль суммы векторов $\mathbf{a} = (3, 1)$ и $\mathbf{b} = (0, 3)$ равен 5. Сумма векторов в координатном представлении находится как сумма их соответствующих проекций на координатные оси: $\mathbf{a} + \mathbf{b} = (3 + 0, 1 + 3) = (3, 4)$. Модуль вектора можно найти по формуле Пифагора как квадратный корень из суммы квадратов его координат. В данном случае: $|(x, y)| = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{9 + 16} = \sqrt{25} = 5$.

39. Модуль векторного произведения двух единичных векторов, параллельных друг другу, равен нулю. Его можно найти по формуле $ab \sin \alpha$, где a и b — модули векторов; α — угол между векторами. В данном случае: $a = 1$, $b = 1$, $\sin \alpha = \sin 0^\circ = 0$, поэтому: $|\mathbf{a} \times \mathbf{b}| = ab \sin \alpha = 1 \cdot 1 \cdot 0 = 0$.

40. Величина суммарной силы $2\sqrt{5}$ Н. Чтобы получить значение модуля суммы двух векторов $\mathbf{a}$ и $\mathbf{b}$, можно воспользоваться теоремой косинусов: $|\mathbf{a} + \mathbf{b}| = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha}$, где a и b — модули векторов; α — угол между векторами. В данном случае $\cos \alpha = \cos 90^\circ = 0$, и теорема косинусов переходит в теорему Пифагора. В итоге получаем: $|\mathbf{a} + \mathbf{b}| = \sqrt{2^2 + 4^2 - 0} = \sqrt{4 + 16} = \sqrt{20} = 2\sqrt{5}$.

41. Не может описывать траекторию движения уравнение $y = 8t$. Уравнение траектории — это зависимость одной или двух координат точки (для движения в плоскости и трехмерном пространстве соответственно) от другой ее координаты. Выражения $y = 8x$ и $x^2 + y^2 = 8$ непосредственно представляют такие зависимости. В уравнении $y = 8$ одна из координат отсутствует, но это является лишь частным случаем зависимости между координатами, когда множитель при одной из них равен нулю. Чтобы описать траекторию, необходимо в одном из уравнений кинематики выразить время через соответствующую координату и подставить это выражение в оставшиеся кинематические уравнения. В уравнение $y = 8t$ явным образом входит время, чего не должно быть исходя из сказанного.

2.2. Кинематика

1. Кинематика — это описание движения как функции времени. Например, кинематическое уравнение $x(t) = A \sin(\omega t)$ описывает изменение координаты x , происходящее с циклической частотой ω и амплитудой A . Чтобы найти значение координаты x материальной точки в произвольный момент времени, надо просто подставить это значение времени в формулу. Продифференцировав функцию $x(t)$, получим выраже-

ние, позволяющее находить скорости движения в произвольные моменты времени. Аналогичным образом можно найти зависимость ускорения материальной точки от времени. По существу, кинематика не является разделом механики, а относится к математике, однако традиционно она включается в механику на основании общности объекта исследования.

2. По отношению к траектории движения вектор ускорения раскладывают на нормальную и тангенциальную компоненты. Нормальное ускорение — это вектор, направленный перпендикулярно к траектории движения, а тангенциальное — это вектор, направленный вдоль траектории движения. Вектор полного ускорения получается при сложении его нормальной и тангенциальной компонент. Необходимость разложения обусловлена возможностью разделения сложного движения точки на вращательное и прямолинейное, что позволяет значительно упростить решение задач. При этом нормальное ускорение используют для описания вращательного, а тангенциальное — прямолинейного движения точки.

3. Сложное движение тела можно разложить на поступательное и вращательное. При этом ось вращения может проходить через тело или лежать вне его.

4. Равномерное прямолинейное движение — это прямолинейное движение с постоянной скоростью. Движение вдоль прямой с постоянным ускорением называется прямолинейным равноускоренным. Поступательное движение не обязательно является прямолинейным, а движение вдоль прямой не обязательно равномерным.

5. Уравнения кинематики прямолинейного равноускоренного движения: $s = v_0 t + at^2/2$ и $v = v_0 + at$.

6. Вектор угловой скорости направлен вдоль оси вращения. В этом проявляется его отличие от вектора линейной скорости, который направлен вдоль траектории движения. Такая особенность обусловлена тем, что углу поворота в кинематике соответствует вектор, направленный вдоль оси вращения, согласно правилу правого винта.

7. Угловая скорость измеряется в радианах в секунду, рад/с. Стоит отметить отличие размерности угловой скорости и угла поворота и единиц их измерения. Так, размерность угловой скорости — единица на время, а угол поворота размерности не имеет. Угол (центральный) в

один радиан опирается на дугу, длина которой равна радиусу окружности. Эту особенность необходимо учитывать при анализе размерностей. Градус в секунду является внесистемной единицей измерения угловой скорости, а оборот в секунду является внесистемной единицей измерения частоты вращения, которая измеряется в обратных секундах.

8. Равномерное вращательное движение — это вращение с постоянной угловой скоростью. Вращение с постоянным угловым ускорением называется равноускоренным вращательным движением. Вращение вокруг неподвижной оси может быть не только равномерным. При постоянном нулевом нормальном ускорении тело движется прямолинейно или покоится, т.е. движение не является вращательным.

9. Равномерное вращательное движение материальной точки характеризуется радиусом и частотой вращения. Для полного описания равномерного вращательного движения необходимо задание двух независимых параметров.

10. Частота вращения обратно пропорциональна периоду. Эти величины связаны соотношением $\nu = 1/T$.

11. Частота вращения ν связана с угловой скоростью ω соотношением $\omega = 2\pi\nu$.

12. В СИ угловая частота вращения измеряется в радианах в секунду, рад/с. В случае равномерного вращательного движения эта частота (ее называют также круговой, или циклической, частотой) совпадает с угловой скоростью. Размерность угловой частоты, так же как и размерность угловой скорости, надо отличать от единицы ее измерения.

13. В СИ частота периодического процесса измеряется в герцах.

14. Угловое ускорение — это производная от угловой скорости по времени.

15. Линейная скорость движения точки равна векторному произведению ее угловой скорости на радиус-вектор этой точки, проведенный из точки, лежащей на оси вращения: $\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}$. Так как она является векторной величиной, она не может быть равна скалярному произведению угловой скорости на радиус-вектор. Линейная скорость перпендикулярна угловой, поэтому она не может быть равна отношению угловой скорости к радиусу или ее произведению на время вращения, так как в этом случае они имели бы одинаковые направления (а также из соображений соответствия размерностей).

16. Тангенциальное a_τ и угловое β ускорения материальной точки связаны через ее радиус вращения R соотношением $a_\tau = \beta R$.

17. Уравнения кинематики вращательного равноускоренного движения вокруг фиксированной оси: $\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \beta t^2/2$ и $\omega = \omega_0 + \beta t$.

18. Тело массой 20 кг упадет на землю с высоты 20 м за 2 с. Чтобы найти время движения, в данном случае необходимо воспользоваться уравнением кинематики равноускоренного прямолинейного движения: $h = gt^2/2$, где h — высота; g — ускорение свободного падения; t — время. Выразив время, получим: $t = \sqrt{2h/g} = \sqrt{2 \cdot 20/9,8} \approx 2$ с. Масса тела, в данном случае, значения не имеет, как и в других задачах кинематики.

19. Снаряд упадет на расстоянии 30 км от места выстрела. Чтобы получить этот результат, необходимо выразить время в секундах, найти значение проекции скорости на горизонтальную ось и умножить ее на время движения: 1 мин 40 с — это 100 с; $v_x = v \cos 60^\circ$; $s = 600 \cdot 1/2 \times 100 = 30\,000$ м = 30 км.

20. Тело массой 5 кг, падая на землю с высоты 20 м, имеет скорость 20 м/с. Чтобы получить этот результат, необходимо воспользоваться уравнением кинематики равноускоренного прямолинейного движения $v = gt$, где g — ускорение свободного падения; t — время. Для нахождения времени движения используем второе уравнение кинематики $h = gt^2/2$, где h — высота. Выразив время, получим: $t = \sqrt{2h/g} = \sqrt{2 \cdot 20/9,8} \approx 2$ с. Окончательно: $v = 9,8 \cdot 2 \approx 20$ м/с. Масса тела, в данном случае, значения не имеет, как и в других задачах кинематики.

21. Тело массой 1 кг, подброшенное вертикально вверх с начальной скоростью 5 м/с, достигнет максимальной высоты подъема через 0,5 с. Чтобы найти время движения, в данном случае необходимо воспользоваться уравнением кинематики равноускоренного прямолинейного движения $v = gt$, где g — ускорение свободного падения; t — время. Выразив время из этого выражения, получим $t = v/g = 5/9,8 \approx 0,5$ с. Масса тела, в данном случае, значения не имеет, как и в других задачах кинематики.

22. Тело массой 1 кг, подброшенное вертикально вверх с начальной скоростью 5 м/с, поднимется на высоту 1,25 м. Чтобы получить этот

результат, необходимо воспользоваться уравнением кинематики равноускоренного прямолинейного движения $h = gt^2/2$, где h — высота; g — ускорение свободного падения; t — время. Для нахождения времени движения используем второе уравнение кинематики $v = gt$. Выразив время, получим $t = v/g = 5/9,8 \approx 0,5$ с. Подставив его в предыдущее выражение, найдем: $h = 9,8 \cdot 0,5^2/2 \approx 5 \cdot 0,25 = 1,25$ м. Масса тела, в данном случае, значения не имеет, как и в других задачах кинематики.

23. Тело массой 1 кг, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью 5 м/с, вернется обратно через 1,0 с. Это время в два раза больше времени подъема до максимальной высоты. Чтобы найти время подъема, необходимо воспользоваться уравнением кинематики равноускоренного прямолинейного движения $v = gt$, где g — ускорение свободного падения; t — время. Выразив время из этого выражения, получим $t = v/g = 5/9,8 \approx 0,5$ с и общее время — 1 с. Масса тела, в данном случае, значения не имеет, как и в других задачах кинематики.

24. Уравнение траектории: $y = x$. Траектория — это линия, которую описывает некоторая материальная точка в процессе движения. Траектория определяется функциональной зависимостью одной или двух координат точки (для движения в плоскости и трехмерном пространстве соответственно) от другой ее координаты. Чтобы описать траекторию, необходимо в одном из уравнений кинематики выразить время через соответствующую координату и подставить это выражение в оставшиеся кинематические уравнения. В данном случае, выразив $t = \sqrt{x}$ и подставив в уравнение $y = t^2$, получим уравнение траектории $y = x$.

25. Автомобиль проехал путь длиной 50 км. Путь — это расстояние между двумя точками, измеренное вдоль траектории движения, поэтому, чтобы его найти, надо сложить длины обоих участков: $30 + 20 = 50$ км. Скорость движения здесь значения не имеет.

26. Перемещение автомобиля составило 10 км. Перемещение — это вектор, проведенный от начальной точки движения к конечной, поэтому, чтобы найти его модуль, надо вычесть длину участка пути, пройденного автомобилем в одном направлении, из длины участка пути, пройденного в противоположном направлении: $30 - 20 = 10$ км.

27. Средняя скорость автомобиля 5 км/ч. Средняя скорость находится как отношение перемещения ко времени. Перемещение находится как вектор, проведенный от начальной точки движения к конечной. Нас

будет интересовать лишь его модуль: $x = x_1 - x_2 = v_1 t_1 - v_2 t_2 = 0,5 \times 60 - 0,5 \cdot 40 = 30 - 20 = 10$ км, где x_1 и x_2 — перемещения, пройденные в прямом и обратном направлениях соответственно; v_1 и v_2 — скорости; t_1 и t_2 — время движения в прямом и обратном направлениях. Тогда: $v_{\text{ср}} = x/t = 10/(0,5 + 1 + 0,5) = 5$ км/ч.

28. Путь, пройденный пешеходом, составил 6,3 км. Путь — это расстояние между двумя точками, измеренное вдоль траектории движения. В данном случае путь равен длине дуги: $l = \pi R = 3,14 \cdot 2 \approx 6,3$ км. Время движения здесь значения не имеет.

29. Перемещение пешехода составило 4 км. Перемещение — это вектор, проведенный от начальной точки движения к конечной. Модуль вектора равен диаметру окружности $d = 2R = 4$ км.

30. Средняя скорость пешехода составила 4,0 км/ч. Средняя скорость находится как отношение перемещения ко времени. Перемещение находится как вектор, проведенный от начальной точки движения к конечной. По модулю эта величина равна диаметру окружности $d = 2R = 6$ км. Тогда средняя скорость: $v_{\text{ср}} = d/t = 6/1,5 = 4$ км/ч.

31. Линейная скорость движения точки, находящейся на экваторе, равна 470 м/с. Чтобы получить этот результат, надо выразить угловую скорость через период вращения Земли (24 ч) в секундах и воспользоваться соотношением, связывающим радиус, линейную и угловую скорости вращения. $v = \omega R = \frac{2\pi}{24 \cdot 3600} 64 \cdot 10^6 = 470$ м/с.

32. За 4 ч Земля поворачивается на 60° . Чтобы найти этот угол, надо угол полного поворота 360° разделить на период вращения — 24 ч и умножить на заданное время $\varphi = \frac{360}{24} 4 = 60^\circ$.

33. Через 4 с после включения ротор сделает 40 оборотов. Чтобы получить этот результат, надо воспользоваться уравнением кинематики равноускоренного вращательного движения $\varphi = \beta t^2/2$, где φ — угол поворота; β — угловое ускорение; t — время; $\varphi = 5 \cdot 4^2/2 = 5 \times 8 = 40$ оборотов.

34. Угловая скорость движения Земли равна $7 \cdot 10^{-5}$ рад/с. Чтобы ее найти, надо 2π разделить на период вращения Земли (24 ч), выраженный в секундах: $\omega = 2\pi/(24 \cdot 3600) \approx 7 \cdot 10^{-5}$ рад/с.

35. За 2 с самолет поднимется на 100 м. Чтобы получить ответ, надо выразить значение скорости в метрах в секунду, найти проекцию скорости на вертикальную ось и умножить ее на время движения: $h = 360 \times \times 1000 / 3600 \sin 30^\circ \cdot 2 = 100 \text{ м}$.

2.3. Динамика

1. Динамика — это раздел физики, посвященный изучению движения тел в связи с вызывающими его причинами. В ней, на основании второго закона Ньютона, определяется ускорение тела на основе учета взаимодействия тел, т.е. расчета сил, которые, в свою очередь, зависят от положения и скоростей тел. Таким образом, суть динамического подхода заключается в составлении замкнутой системы дифференциальных уравнений, описывающих движение тела (они называются уравнениями движения) и нахождении ее решения.

2. Законы Ньютона являются обобщением опытных фактов. Из уравнений кинематики законы Ньютона выведены быть не могут хотя бы потому, что в последних не используется масса тел, являющаяся важнейшей динамической характеристикой, определяющей соотношение между действующими силами и скоростями изменения импульсов тел. Вывести законы Ньютона с использованием уравнений динамики также нельзя потому, что они сами являются выражением законов Ньютона. Законы Ньютона нельзя считать доказанными математическими теоремами, так как не существует более общих законов, следствием которых их можно было бы представить.

3. Первый закон Ньютона можно сформулировать следующим образом: всякое тело в отсутствие взаимодействия покоится или движется равномерно и прямолинейно. Этот закон является обобщением закона инерции Галилея, установленного для горизонтального движения.

4. Инерциальной называется система отсчета, в которой выполняется первый закон Ньютона. Так как понятие движения имеет смысл лишь при указании системы отсчета, первый закон Ньютона фактически постулирует существование таких систем отсчета, в которых тело, на которое не действуют внешние силы, движется равномерно и прямолинейно (или покоится). Такие системы отсчета называются инерциальными, а сам первый закон Ньютона — законом инерции.

5. Классический принцип относительности (принцип относительности Галилея) можно сформулировать следующим образом: во всех инер-

циальных системах отсчета все механические явления протекают одинаково при одинаковых начальных условиях.

6. Масса тела — это мера его инертности, определяющая соотношение между действующими силами и ускорениями тел. Чем больше масса, тем меньшее влияние оказывает на тело одна и та же сила. Мерой воздействия здесь является ускорение тела. Массой определяется также гравитационное взаимодействие тел. В частности, сила, с которой тело притягивается к Земле, пропорциональна (но не равна, как указано в одном из неправильных вариантов ответов) его массе. Удивительным является факт совпадения (точнее, пропорциональности) инертной и гравитационной масс — величин, необходимых для описания двух независимых физических процессов. Согласно второму закону Ньютона, сила, действующая между телами при их столкновениях, пропорциональна изменению импульсов этих тел, т.е. произведений их масс на скорости движения, поэтому сама масса тела не может характеризовать силу взаимодействия.

7. Масса тела определяется его объемом и плотностью. Массы тел одинаковой природы зависят от их объемов. При этом оказывается возможным учесть отдельно влияние на массу объема и природы вещества с помощью понятия плотности.

8. Плотность вещества — это масса единичного объема вещества.

9. В СИ плотность вещества измеряется в килограммах на кубический метр, кг/м^3 .

10. Импульс тела — это произведение массы тела на его скорость. Согласно второму закону Ньютона, скорость изменения импульса равна действующей на тело силе. Это является одной из причин выделения импульса как особой величины. Второй причиной является выполнение закона сохранения импульса, обусловленное в конечном счете свойством однородности пространства.

11. Второй закон Ньютона можно сформулировать следующим образом: скорость изменения импульса тела равна действующей на него силе. Это наиболее общая формулировка, справедливая как в классической, так и в релятивистской механике, когда необходимо учитывать зависимость массы от скорости движения тела.

12. Уравнение движения тела в нерелятивистской механике: $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, где $\mathbf{F}$ — сила, действующая на материальную точку; m — ее масса; $\mathbf{a}$ —

ускорение. Для каждой конкретной механической системы в данном уравнении необходимо в явном виде записать силу как функцию координат и скоростей. В результате получится дифференциальное уравнение второго порядка (т.е. содержащее функцию, ее первую и вторую производные), а точнее, система дифференциальных уравнений, решая которую можно описать состояние механической системы, т.е. определить положение материальной точки в произвольный момент времени, зная ее начальное положение и скорость.

13. Третий закон Ньютона можно сформулировать следующим образом: силы, с которыми действуют друг на друга взаимодействующие тела, равны по величине и противоположны по направлению.

14. В СИ сила измеряется в ньютонах по имени английского ученого Исаака Ньютона (1643—1727), внесшего значительный вклад в развитие различных областей физики и математики. Согласно второму закону Ньютона, размерность силы: ML/T^2 , где M — размерность массы; L — длины; T — времени.

15. Сила, действующая на тело, $F = mg = 1 \cdot 9,8 \approx 10$ Н. Согласно второму закону Ньютона, сила равна скорости изменения импульса. В данном случае можно записать: $F = \Delta p / \Delta t$, где Δp — изменение импульса тела; Δt — промежуток времени. Отсюда получаем: $p = \Delta p = F \cdot \Delta t = 10 \cdot 2 = 20$ кг·м/с.

16. $p = mv = 1 \cdot 5 = 5$ кг·м/с.

17. Согласно второму закону Ньютона, сила равна скорости изменения импульса. В данном случае можно записать: $F = \Delta p / \Delta t$, где Δp — изменение импульса тела; Δt — промежуток времени. Отсюда получаем: $p = \Delta p = F \Delta t = 3 \cdot 1 = 3$ кг·м/с.

18. Согласно третьему закону Ньютона, сила тяги должна быть равна силе натяжения троса, которая, в свою очередь, равна силе тяжести, действующей на тело: $P = mg$. Таким образом, окончательно получаем: $F = mg = 70 \cdot 9,8 \approx 700$ Н.

19. Согласно второму закону Ньютона, $F = ma$, где F — общая сила, действующая на тело; m — масса; a — ускорение тела. Общая сила складывается из силы тяги F_T и силы тяжести $P = mg$, направленных в противоположные стороны, поэтому: $F = F_T - P$, тогда: $F_T = ma + mg = m(a + g) = 100(5 + 9,8) \approx 100 \cdot 15 = 1500$ Н.

20. Согласно третьему закону Ньютона, сила притяжения, действующая на Землю со стороны человека, равна силе, действующей на человека со стороны Земли, т.е. силе тяжести: $P = mg = 100 \cdot 9,8 \approx 1000 \text{ Н}$.

21. Согласно второму закону Ньютона, ускорение космического аппарата: $a = F/m = 200/200 = 1 \text{ м/с}^2$. Подставив это значение в уравнение кинематики $s = at^2/2$, где s — перемещение; a — ускорение; t — время, получим: $s = 1 \cdot 25/2 = 12,5 \text{ м}$.

22. Согласно второму закону Ньютона, ускорение космического аппарата: $a = F/m = 200/200 = 1 \text{ м/с}^2$. Подставив это значение в уравнение кинематики $v = at$, где v — скорость; a — ускорение, получим: $v = 1 \cdot 5 = 5 \text{ м/с}$.

2.4. Силы

1. В современной физике различают четыре типа фундаментальных взаимодействий: гравитационное, электромагнитное, сильное (или ядерное) и слабое. Гравитационное взаимодействие зависит от массы тел. Электромагнитное наблюдается между заряженными телами. Особенностью ядерных и слабых взаимодействий является то, что они играют основную роль на малых расстояниях порядка размеров атомов. Фундаментальные могут проявляться по-разному в конкретных ситуациях, в связи с этим существует и другая классификация сил. Электрические и магнитные силы рассматриваются как проявление единого электромагнитного взаимодействия. Не существует понятий релятивистского и классического взаимодействий. Говорят о квантовых взаимодействиях, имея в виду особенности поведения частиц, обусловленные проявлением их волновых свойств.

2. Основную роль в задачах классической механики играют гравитационное и электромагнитное фундаментальные взаимодействия.

3. Силы трения обусловлены электромагнитным взаимодействием между частицами, из которых состоят тела. Они намного превосходят гравитационные силы, действующие между ними.

4. Силы упругости обусловлены электромагнитным взаимодействием. Они возникают при деформации тел под влиянием внешних воздействий и стремятся компенсировать их и восстановить форму тела. Эти силы являются результатом взаимодействий между заряженными частицами, из которых состоят атомы и молекулы. Они намного превосходят гравитационные взаимодействия между этими же частицами.

5. В механике различают стационарные и нестационарные, центральные и нецентральные, консервативные и неконсервативные силы. Эта классификация основана на противопоставлении характера сил. Стационарные и нестационарные соответственно остаются постоянными или изменяются со временем. Центральные направлены вдоль прямой, соединяющей центры взаимодействующих частиц. Центральными являются, например, гравитационные и электростатические силы, а нецентральными — ядерные.

6. Сила гравитационного взаимодействия описывается соотношением $\mathbf{F} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}$, где γ — гравитационная постоянная; m_1 и m_2 — массы взаимодействующих тел; r — расстояние между ними. Формула $\mathbf{F} = m\mathbf{g}$ описывает частный случай гравитационного взаимодействия — силу, действующую на тело вблизи поверхности Земли.

7. Гравитационные силы — это центральные силы притяжения, т.е. они всегда действуют вдоль прямой, соединяющей материальные точки, и стремятся сблизить взаимодействующие тела. Гравитационные силы являются консервативными, т.е. их работа по перемещению тела по замкнутому контуру равна нулю.

8. Сила тяжести — это сила гравитационного взаимодействия между телом и Землей. Это понятие более узкое, чем понятие гравитационного взаимодействия вообще.

9. Сила тяжести связана с массой тела и параметрами гравитационного взаимодействия соотношением: $\mathbf{P} = m\mathbf{g}$, где $\mathbf{g}$ — вектор ускорения свободного падения ($g = \gamma \frac{M_3}{R_3^2}$, где γ — гравитационная постоянная; M_3 и R_3 — масса и радиус Земли).

10. Вес тела — это сила, с которой тело действует на опору или подвес. Сила, с которой опора или подвес действует на тело, — это сила реакции опоры.

11. Вес тела равен силе тяжести. Они отличаются точками приложения. Сила тяжести приложена к самому телу, а вес — к опоре или подвесу. Противоположно силе тяжести направлена сила реакции опоры.

12. Вес тела и сила тяжести приложены к разным телам и направлены в одну сторону. Обычно тело находится в покое, если приложенные к нему силы тяжести и реакции опоры уравновешивают друг друга.

13. Закон всемирного тяготения был установлен английским ученым Исааком Ньютоном (1643—1727) на основе обобщения законов Кеплера, описывающих движение небесных тел. Иоганн Кеплер (1571—1630) — немецкий астроном, экспериментально установивший законы движения небесных тел, известен также своими исследованиями в области оптики. Немецкий физик Альберт Эйнштейн (1879—1955) создал теорию относительности, дал объяснение законов фотоэффекта, а также получил некоторые другие важные результаты. Николай Коперник (1473—1543) — польский ученый, внесший важнейший вклад в утверждение гелиоцентрической системы.

14. По своей природе различают следующие силы сопротивления движению тела в газе и жидкости: вязкое трение и силы сопротивления среды. Силы вязкого трения обусловлены передачей импульса движения частиц вещества между соседними слоями среды. Силы сопротивления среды имеют другую природу, их разделяют на силу лобового сопротивления и подъемную силу.

15. Различают следующие внешние силы трения: скольжения и качения. Внешние силы трения действуют между соприкасающимися твердыми телами, а внутренние — между частями одного и того же тела.

16. Сила трения покоя равна приложенной силе (точнее, ее проекции на плоскость скольжения тела). После того как приложенная сила превысит некоторое критическое значение, тело начнет двигаться и сила трения станет равной силе реакции опоры, умноженной на коэффициент трения (рис. 1). Сила реакции опоры направлена перпендикулярно силе трения скольжения и сила трения покоя с ней никак не связана. Сила трения покоя в общем случае не равна нулю. Она должна уравновешивать приложенную к телу внешнюю силу для того, чтобы оно оставалось в состоянии покоя.

17. Коэффициент трения — это отношение максимальной силы трения покоя (или силы трения скольжения) к силе реакции опоры. Эта величина зависит только от свойств соприкасающихся поверхностей (приблизительно). Зная ее и силу реакции опоры, которая определяется силой тяжести, действующей на тело, можно найти силу трения скольжения и минимальную силу, которую необходимо приложить к телу, чтобы сдвинуть его с места.

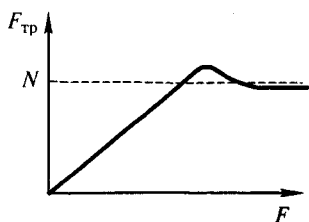


Рис. 1. Зависимость силы трения от приложенной силы

$$18. F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{3 \cdot 3}{1^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 9 \approx 6 \cdot 10^{-10} \text{ Н.}$$

$$19. \text{ В данном случае сила притяжения равна силе тяжести: } F = \gamma \frac{m_a m_3}{R_3^2} = m_a g = 10^3 \cdot 9,8 \approx 10^4 \text{ Н.}$$

$$20. \text{ Согласно третьему закону Ньютона, сила трения равна силе тяги: } F_{\text{тр}} = F_{\text{т}} = 1000 \text{ Н.}$$

$$21. \text{ Сила трения покоя равна проекции силы тяжести на плоскость скольжения: } F_{\text{тр}} = mg \sin 30^\circ = 80 \cdot 9,8 \cdot 1/2 \approx 400 \text{ Н.}$$

2.5. Деформация тела

1. Деформация — это изменение формы тела под действием приложенных сил. Кроме деформации под действием внешних сил может происходить изменение положения тела, т.е. движение. Изменение объема тела является частным случаем деформации. Различают изменение линейных размеров и сдвиговую деформацию. Изменение свойств тела — понятие более широкое, чем деформация. Деформацией можно назвать изменение геометрических характеристик тела.

2. Коэффициент жесткости — это коэффициент пропорциональности между приложенной к телу силой и его линейной деформацией. Возможность использования такого коэффициента обусловлена выполнением закона Гука, согласно которому деформацию можно представить как линейную функцию приложенной силы.

3. Формула, описывающая закон Гука: $F = k \Delta x$, где F — сила, действующая на тело; k — коэффициент жесткости; Δx — линейная деформация. Для силы упругости этот закон запишется в виде $F_{\text{упр}} = -k \Delta x$. Здесь знак минус означает, что сила упругости стремится восстановить форму деформированного тела. Этот закон назван по имени английского ученого Роберта Гука (1635—1703).

4. Относительное изменение длины тела — это отношение абсолютного изменения длины к длине недеформированного тела. Само изменение длины тела называют абсолютным, чтобы подчеркнуть его отличие от относительного. Отношение длины деформированного тела к его длине в недеформированном состоянии можно назвать коэффициентом растяжения/сжатия. Эта величина используется реже, чем относительное изменение длины для тех же целей.

5. Нормальное напряжение — это отношение силы, действующей на тело к площади перпендикулярной ей поверхности, по которой распределена эта сила. Напряжение, при котором наступает разрушение тела, называется пределом прочности. Силу, приложенную перпендикулярно к поверхности тела, можно назвать нормальной силой. Обычно силу, приложенную не перпендикулярно поверхности, разлагают на нормальную и тангенциальную компоненты.

6. Нормальное напряжение измеряется в ньютонах на квадратный метр (или в паскалях).

7. Тангенциальное напряжение — это отношение силы, действующей на тело к площади параллельной ей поверхности, по которой она распределена. Силу, приложенную вдоль поверхности тела, можно назвать тангенциальной силой. Понятие силы, сообщающей телу тангенциальное ускорение, используется при рассмотрении движения материальной точки, когда полную силу раскладывают на перпендикулярную (нормальную) и касательную (тангенциальную) к траектории движения компоненты.

8. Тангенциальное напряжение измеряется в ньютонах на квадратный метр.

9. Модуль Юнга — это коэффициент пропорциональности между нормальным напряжением и относительной деформацией тела. Использование модуля Юнга совместно с понятиями нормального напряжения и относительной деформации позволяет провести расчет деформации тел сложной формы под действием заданных сил.

10. Модуль Юнга измеряется в паскалях.

11. Модуль Юнга зависит от природы и параметров состояния тела. Использование модуля Юнга позволяет описать отдельно влияние приложенной силы (точнее напряжения) и характеристик материала, из которого изготовлено тело на величину его деформации, а также провести

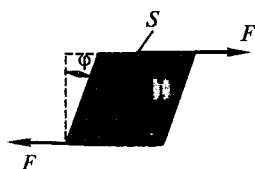


Рис. 2. Сдвиговая деформация тела

расчет деформации тела сложной формы под действием заданных сил. Сам модуль Юнга не зависит от геометрических характеристик тела.

12. Характеристикой сдвиговой деформации является тангенс угла сдвига (рис. 2). Эта величина позволяет наиболее простым образом описать сдвиговую деформацию.

13. Модуль сдвига — это коэффициент пропорциональности между тангенциальным напряжением и тангенсом угла сдвига.

14. Модуль сдвига зависит от природы и параметров состояния тела. Его использование позволяет описать отдельно влияние приложенной силы (точнее, напряжения) и характеристик материала, из которого изготовлено тело на величину его деформации, а также провести расчет деформации тела сложной формы под действием заданных сил. Сам модуль сдвига не зависит от геометрических характеристик тела.

15. Согласно закону Гука, $F = k\Delta x$, где F — сжимающая сила; k — жесткость пружины; Δx — изменение длины пружины. Имеем: $10 = 200\Delta x$, откуда $\Delta x = 10/200 = 0,05$ м.

16. Согласно закону Гука, $\epsilon = \sigma/E$, где ϵ — относительная деформация; σ — нормальное напряжение; E — модуль Юнга. $\sigma = F_{\text{п}}/S$, где $F_{\text{п}}$ — приложенная сила; S — площадь поверхности, перпендикулярной приложенной силе. Подставляя значения в исходную формулу, получим: $\epsilon = 10^4/(10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^{10}) = 0,2\%$.

17. По определению, нормальное напряжение равно отношению силы к площади поверхности, перпендикулярной приложенной силе: $\sigma = F_{\text{п}}/S = 20/5 \cdot 10^{-4} = 4 \cdot 10^4$ Н/м.

18. Согласно закону Гука, для сдвиговой деформации $\text{tg } \varphi = \tau/G$, где $\text{tg } \varphi$ — тангенс угла сдвига; τ — напряжение сдвига; G — модуль сдвига. Подставив значения в формулу, получим: $\text{tg } \varphi = 5 \cdot 10^4/2,5 \times 10^6 = 2 \cdot 10^{-2}$. Смещение поверхностей прокладки получим по формуле $\Delta x = h \text{tg } \varphi$, где h — толщина прокладки. Окончательно найдем: $\Delta x = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 4 \cdot 10^{-2}$ см = 0,4 мм.

2.6. Динамика вращательного движения

1. Уравнение динамики вращательного движения относительно неподвижной оси описывается формулой $M = J\beta$, где M — компонента момента силы, направленная вдоль оси вращения; J — момент инерции относительно данной оси; β — угловое ускорение.

2. Момент силы относительно оси вращения — это скалярная величина, аналог силы в уравнении динамики вращательного движения относительно неподвижной оси. Более точное определение момента силы не слишком простое, однако оно является ключевым для важнейшего

раздела механики — динамики вращательного движения. Итак, проекция момента силы на ось вращения — это скалярная величина. Чтобы ее найти, надо взять проекцию вектора силы на направление, перпендикулярное плоскости, проходящей через ось вращения и точку приложения силы, и умножить ее на расстояние от точки приложения силы до оси вращения. Из трех таких проекций на различные оси можно составить векторную величину, которая, собственно, и называется моментом силы.

3. Момент силы относительно точки определяется выражением $\mathbf{M} = \mathbf{R} \times \mathbf{F}$. Различают понятия момента силы относительно неподвижной точки, оси вращения и собственно момента силы, действующей на свободное тело.

4. Свободные оси — это такие оси, в точках крепления которых при вращении силы не действуют. Для симметричных тел свободные оси совпадают с осями симметрии. Они должны проходить через центр масс тела. Если ось не проходит через центр масс, то при вращении со стороны тела на нее будет действовать сила, равная центростремительной силе, действующей на центр масс. Если в дополнение к этому распределение масс не сбалансировано вдоль оси вращения, то на ось будет действовать момент сил, т. е. вращающееся тело будет стремиться повернуться вокруг оси, перпендикулярной оси вращения. Из приведенных пояснений следует, что положение свободных осей определяется свойствами тела, а не направлением координатных осей и приложенной силы, а также наличием и положением точек крепления. Стоит еще добавить, что свободные оси не обязательно должны быть перпендикулярны друг другу.

5. Аналогом массы в уравнении динамики вращательного движения является момент инерции.

6. Тензор — это математический оператор, задающий некоторое правило преобразования векторов. Это самое общее определение тензора. Не вдаваясь в детали, отметим еще раз общие признаки тензора. Итак, это линейное преобразование одного вектора в другой. Далее, это не любое линейное преобразование, а преобразование определенного вида. В случае векторов в трехмерном пространстве тензор (точнее, тензор второго ранга) можно представить матрицей размерности 3×3 , но не любой, а удовлетворяющей некоторым требованиям. Существенно то, что вращательное движение твердого тела можно описать с помощью

соотношения, связывающего вектор углового ускорения с вектором момента силы посредством тензора инерции. Из сказанного следует, что понятие тензора более широкое, чем понятия момента инерции и матрицы, и более узкое, чем понятие преобразования.

7. Моменту инерции свободно движущегося тела соответствует математический объект, называемый тензором. Есть различия в описании движения свободно движущегося тела и тела с неподвижной осью. В последнем случае момент инерции описывается скалярной величиной. Для свободно движущегося тела тензор инерции, в соответствии с уравнением движения, определяет линейную зависимость между векторами углового ускорения и момента силы. В общем случае такая зависимость не может быть задана с помощью скаляра или вектора, так как произведение на скаляр преобразует один вектор в другой, коллинеарный исходному, а векторное произведение, наоборот, преобразует один вектор в другой, перпендикулярный первому. Линейное преобразование векторов в общем случае можно осуществить с помощью матриц. Однако физическая природа описываемого явления требует использования не любых линейных преобразований, а только преобразований определенного вида — тензорных, задаваемых определенным типом матриц.

8. Момент инерции абсолютно твердого тела зависит от распределения масс по объему тела. Момент инерции материальной точки относительно неподвижной оси равен произведению ее массы на квадрат расстояния до оси вращения. Чтобы рассчитать момент инерции тела сложной формы, надо разбить его на малые части, рассчитать их моменты инерции как для материальных точек и сложить их (это делается с помощью интегрирования). Из такого определения видно, что момент инерции не зависит ни от ориентации осей координат, ни от углового ускорения, ни от момента приложенной силы. Сложнее показать это для случая вращения свободного тела, когда момент инерции представляется матрицей (точнее, тензором), вид которой зависит от выбора системы координат. В этом случае надо понимать, что момент инерции, как и вектор, представляет физическую величину, не зависящую от выбора системы координат, хотя их координатные представления от этого выбора зависят. У деформируемого тела момент инерции зависит также и от углового ускорения, а следовательно, и от момента приложенной силы, что сильно осложняет описание его движения.

9. Главные оси вращения — это оси координат, при приведении к которым тензор момента инерции принимает диагональный вид. Вращение свободно движущегося тела под действием момента силы происходит, в общем случае, не вокруг определенной оси. Однако существуют три выделенных в пространстве направления (в общем случае не перпендикулярных друг другу), которые могут служить свободными осями и вокруг которых может вращаться свободно движущееся тело. Эти оси и называются главными осями вращения. Вращение вокруг них происходит так же, как вокруг закрепленных осей, и может быть описано соответственно тремя скалярными значениями момента инерции. При преобразовании системы координат изменяются координатные представления векторов и компоненты тензора инерции. После приведения системы координат к главным осям вращения моменты сил относительно этих осей оказываются связанными только с угловыми ускорениями относительно них, а это означает, что тензор момента инерции имеет диагональный вид, т. е. все его недиагональные элементы становятся равными нулю.

10. Главные моменты инерции — это числа, стоящие на главной диагонали тензора момента инерции, приведенного к диагональному виду. Эти величины характеризуют динамические свойства тела самого по себе и поэтому не могут определяться положением осей координат, выбор которых произволен. По этой же причине они не могут определяться числами в матрице, представляющей тензор инерции вообще, так как вид этой матрицы зависит от выбора системы координат. Моменты инерции тела зависят от осей, относительно которых они определяются. Ось можно выбрать лежащей на любом расстоянии от тела, в результате невозможно будет указать максимально возможное значение момента инерции. Поэтому определение главных моментов инерции как максимально и минимально возможных не корректно и не может быть правильным ответом.

11. Момент инерции материальной точки относительно фиксированной оси вращения определяется формулой mR^2 , где m — ее масса; R — радиус движения.

12. Чтобы найти момент инерции твердого тела конечных размеров, необходимо разбить его на малые части, посчитать их моменты инерции и сложить их.

13. Момент инерции однородного диска радиусом R и массой m относительно его оси вращения определяется выражением: $mR^2/2$, где

m — масса; R — радиус диска. Получить этот результат можно следующим образом. Разобьем диск на концентрические кольца малой толщины dr (рис. 3). Соотношение между массой кольца dm и его толщиной дается соотношением $dm = 2\pi rh\rho dr$, где h — высота кольца; ρ — плотность материала. Масса всего диска: $m = \rho V = \pi rhR^2$. Тогда: $dm = \frac{2mrd}{R^2}$ и момент инерции: $J = \int_0^R r^2 dr = \frac{2m}{R^2} \int_0^R r^3 dr = \frac{2m}{R^2} \frac{1}{4} R^4 = \frac{1}{2} mR^2$.

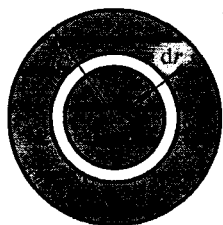


Рис. 3. Разбиение цилиндрической фигуры на дифференциально малые части

14. Момент инерции стержня длиной l и массой m относительно оси, проходящей через его конец перпендикулярно стержню, определяется выражением $ml^2/3$, где m — масса; l — длина стержня. К этому результату можно прийти следующим образом. Разобьем стержень на малые участки длиной dr (рис. 4). Масса таких участков $dm = \rho dr$, где ρ — плотность материала стержня в расчете на единицу длины. Она связана с полной массой m и длиной l стержня соотношением $\rho = m/l$, откуда: $dm = \frac{m}{l} dr$. Получаем момент инерции $J = \int r^2 dm = \frac{m}{l} \int_0^l r^2 dr = \frac{1}{3} \frac{m}{l} l^3 = \frac{1}{3} ml^2$.

15. Момент инерции тонкостенного цилиндра радиусом R и массой m относительно оси, проходящей вдоль его оси симметрии, определяется выражением mR^2 . Вся масса такого цилиндра сосредоточена на расстоянии R от оси вращения, поэтому для момента инерции справедлива та же формула, что и для материальной точки. Это максимально возможное значение момента инерции для тела массой m , расстояние от любой точки которого до оси вращения не превосходит R .

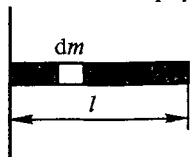


Рис. 4. Разбиение стержня на дифференциально малые части

16. Теорему Штейнера можно сформулировать следующим образом. Момент инерции относительно произвольной оси равен сумме момента инерции относительно оси, параллельной данной и проходящей через центр масс тела, и произведения массы тела на

квадрат расстояния между осями. Эта теорема позволяет рассчитать момент инерции тела относительно произвольной оси, параллельной оси, проходящей через центр масс тела, момент инерции относительно которой известен.

17. Теорема Штейнера описывается формулой $J = J_c + mR^2$, где J — момент инерции тела относительно произвольной оси, параллельной оси, проходящей через центр масс тела; J_c — момент инерции тела относительно оси, проходящей через его центр масс; m — масса тела; R — расстояние между осями.

18. Гироскоп — это массивное тело, вращающееся с большой скоростью вокруг своей оси симметрии. Важным свойством гироскопа является его способность сохранять направление оси вращения при ее нежестком закреплении.

19. Гироскопы используют для создания гирокомпасов. Действие гирокомпаса основано на способности гироскопа сохранять направление оси вращения при ее нежестком закреплении. При повороте объекта, содержащего гирокомпас, происходит изменение взаимного расположения осей объекта и гироскопа, что позволяет обнаружить и измерить величину этого поворота. Приборы для измерения сил называются динамометрами. Для их создания не используют гироскопы, так же как для создания приборов, измеряющих ускорение, — акселерометров.

20. Прецессия гироскопа — это относительно медленное вращение оси гироскопа вокруг другой оси. Это явление наблюдается при воздействии момента сил, старающихся изменить направление оси гироскопа. Гироскоп не имеет шкалы отсчета, поэтому прецессия не может означать точность отсчета по ней. Такая шкала есть у гирокомпаса — прибора, основанного на свойстве гироскопа сохранять направление оси вращения. Стремление гироскопа сохранить ориентацию своей оси вращения проявляется при его свободном закреплении, исключаящем воздействие моментов сил непосредственно на вращающееся тело. Прецессия же, наоборот, обусловлена приложением момента сил к вращающемуся телу. Характеристикой инерционных свойств гироскопа является его момент инерции, а не прецессия, как сказано в одном из неправильных вариантов ответов.

21. В данном случае момент силы определяется как произведение радиуса колеса на силу трения: $M = RF_{\text{тр}} = 0,3 \cdot 600 = 180 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Масса велосипедиста значения не имеет.

22. Силы, действующие на колеса покоящейся тележки, приложены к ее осям, поэтому момент этих сил равен нулю.

23. В этой задаче модель самолета можно представить как материальную точку, тогда момент инерции будет равен произведению массы модели на квадрат длины корда: $J = ml^2 = 1 \cdot 25 = 25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

24. При прямолинейном движении понятие момента инерции становится неприменимым. Формально в этом случае можно положить радиус вращения равным бесконечности и получить бесконечно большой момент инерции. Однако такой ответ смысла не имеет.

25. Согласно уравнению динамики вращательного движения: $M = J\beta$, где M — момент силы; J — момент инерции; β — угловое ускорение. Выразив из этого уравнения β и подставив числовые значения, получим: $\beta = 100/20 = 5 \text{ рад/с}^2$. Другие варианты ответов можно исключить на основании несовпадения размерности. Масса маховика значения не имеет.

26. Подставив числовые значения в уравнение динамики вращательного движения $M = J\beta$, где M — момент силы; J — момент инерции; β — угловое ускорение, получим: $M = 2 \cdot 12 = 24 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Масса маховика значения не имеет.

27. Согласно уравнению динамики вращательного движения $M = J\beta$, где M — момент силы; J — момент инерции; β — угловое ускорение. Выразив из этого уравнения J и подставив числовые значения, получим: $J = 4/2 = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

28. Приложенная к ободу маховика сила равна силе тяжести груза: $F = mg \approx 10 \cdot 10 = 100 \text{ Н}$. Эта сила приложена перпендикулярно радиусу, проведенному от центра маховика к точке приложения силы, поэтому момент силы будет равен произведению радиуса на силу: $M = 0,5 \times 100 = 50 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

29. Чтобы найти момент инерции, в данной задаче надо использовать теорему Штейнера: $J = J_c + mR^2$, где J — момент инерции тела относительно произвольной оси, параллельной оси, проходящей через центр масс тела; J_c — момент инерции тела относительно оси, проходящей через его центр масс; m — масса тела; R — расстояние между осями. Момент инерции тонкостенного цилиндра относительно его оси определяется по формуле $J_c = mR^2$. Таким образом, искомый момент

инерции равен удвоенному моменту инерции относительно оси цилиндра: $J = 2J_c = 2 \cdot 2 = 4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Задачу можно решить без использования радиуса цилиндра.

30. Момент инерции относительно центральной оси стержня складывается из двух моментов инерции стержней вдвое меньшей длины и массы, моменты инерции которых, следовательно, в 8 раз меньше, чем момент инерции всего стержня относительно его конца. В итоге получаем, что момент инерции относительно конца стержня в 4 раза больше, чем относительно его середины: $J = 4 \cdot 5 = 20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

2.7. Неинерциальные системы отсчета

1. Законы Ньютона не выполняются в неинерциальных системах отсчета. Само определение неинерциальной системы отсчета — это определение системы, в которой не выполняется первый закон Ньютона, поэтому оговорки о прямолинейности движения системы отсчета или о движении с нерелятивистскими скоростями дела не меняют. Что касается второго закона Ньютона, то здесь дело обстоит сложнее. При его безоговорочной неприменимости не было бы и возможности описания движения механических систем в неинерциальных системах отсчета в принципе. Тем не менее такая возможность существует и основана она на использовании некоторых фиктивных сил инерции, которые реально не существуют, но их применение позволяет исключить влияние неинерциальности системы отсчета на движение тел. Третий закон Ньютона выполняется в неинерциальных системах отсчета так же как и в инерциальных.

2. Движение тела в неинерциальных системах отсчета описывают, используя фиктивную силу инерции, которая реально не существует, но ее применение позволяет исключить влияние неинерциальности системы отсчета на движение тел. С учетом этой фиктивной силы можно использовать второй закон Ньютона и уравнения движения для описания движения тела в неинерциальной системе отсчета. Другой способ описания движения в неинерциальной системе отсчета заключается в переходе к инерциальной системе отсчета, описании движения в этой новой системе и затем выполнении обратного перехода.

3. Сила инерции — это фиктивная сила, которую вводят для того, чтобы исследовать движение тела в неинерциальной системе отсчета.

4. Центробежная сила — это сила инерции во вращающейся системе отсчета. Она не является реальной силой. Ее использование позволяет исключить влияние неинерциальности системы отсчета на движение тел. Если во вращающейся системе отсчета тело находится в покое, то это значит, что наряду с фиктивной центробежной силой на него действует реальная центростремительная сила, уравнивающая ее. Тогда во вращающейся системе отсчета можно записать уравнение движения в виде: $F_{цб} + F_{цс} = 0 = ma$. Одно из решений этого уравнения действительно соответствует состоянию покоя тела. При переходе к инерциальной системе отсчета центробежная сила исчезнет, а центростремительная останется и будет являться причиной вращательного движения тела.

5. Центростремительная сила — это сила, действующая на тело, неподвижное во вращающейся системе отсчета.

6. Центробежная сила описывается формулой: $F_{цб} = mv^2/R$, где m — масса тела; v — его линейная скорость; R — радиус вращения. Это выражение дает значение модуля центробежной и соответствующей центростремительной сил.

7. Сила Кориолиса — это часть силы инерции, действующей на тело во вращающейся системе отсчета, обусловленная движением тела в ней. На материальную точку, неподвижную во вращающейся системе координат, действует реальная центростремительная сила, уравнивающая фиктивную центробежную. Если теперь точка будет двигаться вдоль окружности, то в неинерциальной системе возникнет еще одна центростремительная сила, действующая на нее, но обусловленная уже ее движением. Эта сила является реально существующей, она будет действовать и в инерциальной системе. При радиальном движении материальной точки в неинерциальной системе координат тоже необходимо будет признать появление новой реальной силы, добавка которой нарушает баланс центробежной и центростремительной сил. Таким образом, приходим к представлению о возникновении силы, обусловленной движением тела во вращающейся системе отсчета. Эта сила называется силой Кориолиса — по имени французского ученого Густава Кориолиса (1792—1843). Отметим, что она равна нулю при движении тела вдоль оси вращения.

8. Модуль силы Кориолиса определяется соотношением: $F_K = 2mv\omega \sin \alpha$, где m — масса тела; v — его линейная скорость; ω —

угловая скорость вращающейся системы координат; α — угол между направлением линейной и угловой скоростей. Из этого выражения следует, что сила Кориолиса, обусловленная движением точки во вращающейся системе координат, равна нулю при движении вдоль оси вращения.

9. Сила Кориолиса направлена перпендикулярно векторам угловой скорости вращения неинерциальной системы координат и линейной скорости движения тела в этой системе. Так как вектор угловой скорости направлен вдоль оси вращения, то сила Кориолиса всегда расположена в плоскости вращения. Она равна нулю при движении вдоль оси вращения.

10. Величина центробежной силы определяется выражением mv^2/R , где m — масса тела; v — его скорость; R — радиус вращения. Подставив численные значения, получим: $F_{\text{цс}} = 2 \cdot 16/0,5 = 64 \text{ Н}$.

11. Сила Кориолиса определяется соотношением $F_K = 2mv\omega \sin \alpha$, где m — масса тела; v — его линейная скорость; ω — угловая скорость вращающейся системы координат; α — угол между направлением линейной и угловой скоростей. В данной задаче угол составляет 90° . Подставив в формулу числовые значения величин, получим: $F_K = 2 \cdot 80 \times 2 \cdot 10^{-4} = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$.

12. Сила Кориолиса определяется соотношением $F_K = 2mv\omega \sin \alpha$, где m — масса тела; v — его линейная скорость; ω — угловая скорость вращающейся системы координат; α — угол между направлением линейной и угловой скоростей. В данном случае скорость движения направлена вдоль оси вращения, поэтому угол α равен нулю и сила равна нулю.

2.8. Законы сохранения

1. Механическая система называется замкнутой, если в ней действуют только внутренние силы. Разделение сил на внутренние и внешние важно для формулирования законов сохранения, которые справедливы только для замкнутых систем. Они также выполняются приблизительно для систем, которые можно условно считать замкнутыми. Например, если взаимодействие осуществляется в течение достаточно короткого промежутка времени или внешние силы действуют только в одном направлении в пространстве. Механические системы, на элементы которых не действуют никакие силы, практического интереса не представляют. В них законы сохранения выполняются для каждого элемента.

Система, в которой действуют только внутренние консервативные силы, является замкнутой и в ней сохраняется механическая энергия.

2. Интегралы движения — это функции координат и скоростей, которые сохраняются со временем. Термин «интегралы» здесь не подразумевает применения операции интегрирования.

3. Наибольший интерес в классической механике представляют интегралы движения: энергия, импульс и момент импульса. Остальные перечисленные величины не сохраняются со временем. В качестве еще одной величины, сохраняющейся при преобразованиях координат и используемой в релятивистской механике, можно назвать комбинацию координат и времени между событиями, называемую интервалом.

4. В основе закона сохранения энергии лежит свойство однородности времени. Это означает равнозначность всех моментов времени, или, иными словами, если какой-либо физический процесс осуществить с задержкой по времени при тех же начальных условиях, то он будет протекать так же, как и без задержки.

5. В основе закона сохранения импульса лежит свойство однородности пространства. Это означает равнозначность всех точек пространства, или, иными словами, если какой-либо физический процесс осуществить в физической системе со сдвигом в пространстве при тех же начальных условиях, то он будет протекать так же, как и без сдвига.

6. В основе закона сохранения момента импульса лежит свойство изотропности пространства. Это означает равнозначность всех направлений пространства, или, иными словами, если какой-либо физический процесс осуществить с поворотом физической системы в пространстве при тех же начальных условиях, то он будет протекать так же, как и без поворота.

7. В замкнутой системе законы сохранения выполняются всегда. Это обусловлено универсальными свойствами пространства и времени, которые лежат в их основе.

8. Использование законов сохранения позволяет облегчить решение некоторых задач. Законы сохранения накладывают дополнительные условия на значения динамических переменных, благодаря чему становится возможным уменьшить объем вычислений. Они не задают уравнений, подобных уравнениям движения, решая которые можно описать движение тела или, что то же самое, не позволяют найти, как

изменяются координаты и скорости тел не решая уравнений движения. Не правильно было бы утверждать, что законы сохранения ограничивают область допустимых значений динамических переменных, сами по себе они не делают этого. Однако их применение часто облегчает задачу нахождения этой области. В общем необходимо отметить, что их использование не заменяет, а дополняет возможности, даваемые уравнениями движения.

9. Консервативные силы создают поле, каждой точке которого можно сопоставить потенциальную энергию тела. По определению, консервативными называют такие силы, работа которых по перемещению материальной точки по замкнутому контуру равна нулю. Оказывается, что для полей таких сил можно ввести понятие потенциала – скалярной функции, из которой с помощью оператора дифференцирования можно получить вектор силы в каждой точке пространства. Величина потенциала пропорциональна потенциальной энергии частицы в данной точке пространства. Силы, не зависящие от координат и скоростей движения тел, не обязательно являются консервативными. В качестве примера можно привести силы трения скольжения, которые не зависят от координат и с определенной точностью их можно считать не зависящими от скорости движения. Однако при движении по любому замкнутому пути эти силы будут совершать ненулевую работу. Закон сохранения энергии выполняется только в консервативных замкнутых системах, тогда как законы сохранения импульса и момента импульса выполняются и в системах с неконсервативными силами. Понятия замкнутой и консервативной систем различаются. Замкнутая система может быть неконсервативной, и консервативная система может быть незамкнутой.

10. Кинетическая энергия материальной точки — это квадрат ее импульса, деленный на удвоенную массу. Функция динамических переменных, сохраняющая свою величину при взаимодействиях, является интегралом движения. Это понятие шире, чем понятие кинетической энергии. Интегралом движения может быть механическая энергия, включающая в себя кинетическую и потенциальную энергии. Кинетическая энергия системы в общем случае интегралом движения не является, она может зависеть от времени, поэтому и параметром движения, сохраняющим свое значение при взаимодействиях, ее тоже назвать нельзя.

11. Кинетическая энергия вращающегося тела в классической механике определяется соотношением $E_k = J\omega^2/2$, где J — момент инер-

ции; ω — угловая скорость вращения тела. Эта формула верна для абсолютно твердого тела.

12. Относительно потенциальной энергии тела можно утверждать, что ее изменение равно работе консервативных сил при перемещении тела. Это соотношение фактически служит определением потенциальной энергии. Ее изменение при перемещении из одной точки пространства в другую не равно работе, совершаемой над телом, так как эта работа может затрачиваться на изменение не только потенциальной, но и других видов энергии (кинетической, деформации и др.). Энергия, которой тело может обладать, находясь в данной точке пространства, не тождественна потенциальной, она складывается из всех видов энергии.

13. Механическая энергия тела — это сумма его кинетической и потенциальной энергий (включая энергию деформации и колебаний). Эта величина является интегралом движения в замкнутой консервативной механической системе. В случае неконсервативной системы часть работы, совершаемой силами взаимодействия, превращается в другие виды энергии, например в теплоту, поэтому между работой, которую совершают механические силы при перемещении тела, и механической энергией нет прямого соответствия.

14. Энергия деформации сжатой пружины определяется формулой: $E = k\Delta x^2/2$, где k — жесткость пружины; Δx — изменение ее длины.

15. Механическая работа, совершаемая при перемещении тела, определяется как интеграл вдоль пути движения от скалярного произведения силы на элементарное перемещение тела. На малом участке пути силу, действующую на тело, можно считать постоянной. При этом элементарная работа, совершаемая силой по перемещению тела по этому участку, равна скалярному произведению силы на перемещение. Чтобы найти полную работу, совершаемую по перемещению тела вдоль всего пути, надо сложить все элементарные величины работы. В пределе бесконечно малых элементарных перемещений сумма перейдет в интеграл. Определение работы как скалярного произведения силы, действующей на тело, на его перемещение будет верно только в частном случае, когда тело движется по прямой под действием постоянной силы. Произведение силы на путь, пройденный телом, также даст работу только в частном случае, когда постоянная сила всегда направлена вдоль траектории движения. Разность энергий тела в начальной и конечной точках

движения может быть не равна совершенной над ним работе из-за изменения энергии других тел, взаимодействующих с данным, например их нагревом в результате трения.

16. В СИ работа измеряется в джоулях. Эта единица названа по имени английского физика Джеймса Прескотта Джоуля (1818—1889), исследовавшего превращение механической энергии в тепловую.

17. Закон сохранения механической энергии можно сформулировать следующим образом. Механическая энергия замкнутой консервативной системы остается постоянной. При наличии неконсервативных сил она может переходить в другие формы. Например, при наличии сил трения механическая энергия переходит в тепловую. Одно физическое тело можно рассматривать как механическую систему. Если оно взаимодействует с другими телами, то такую систему нельзя назвать замкнутой. Ее энергия в общем случае не сохраняется.

18. Состояние равновесия тела это состояние, когда тело находится в покое.

19. Необходимым условием равновесия является равенство нулю первой производной потенциальной энергии по координате. Это условие является условием экстремума (минимума или максимума) потенциальной энергии тела как функции координат. Равновесие, наблюдаемое при минимуме потенциальной энергии, называют устойчивым, а при максимуме — неустойчивым, так как в первом случае при малом воздействии система будет стремиться вернуться в начальное состояние, а во втором — выйдет из состояния равновесия. Тело, находящееся в состоянии равновесия, не обязательно обладает нулевой потенциальной энергией, так как эта величина вообще является условной, т.е. определяется с точностью до постоянного слагаемого. Поэтому равенство нулю потенциальной энергии нельзя считать необходимым условием равновесия. Равенство же нулю кинетической энергии является необходимым условием, так как в равновесии тело покоится и, следовательно, имеет нулевую кинетическую энергию.

20. Механическое равновесие может быть устойчивым или неустойчивым.

21. Необходимым и достаточным условием устойчивого равновесия тела является минимум потенциальной и равенство нулю кинетической

энергии. Необходимыми условиями равновесия являются равенство нулю первой производной потенциальной энергии по координате и кинетической энергии тела. Оба эти условия, однако, не являются достаточными для устойчивости равновесия. Так, если покоящееся тело находится в положении максимума потенциальной энергии, то малейшее воздействие выведет его из этого состояния. С другой стороны, тело, находящееся в положении минимума потенциальной энергии, может двигаться и, таким образом, не находится в состоянии равновесия. Поэтому необходимое и достаточное условие устойчивости равновесия получим, если дополнить требование минимальности потенциальной энергии требованием равенства нулю скорости движения (или кинетической энергии) тела.

22. Закон сохранения импульса можно сформулировать следующим образом. Импульс замкнутой системы материальных тел остается постоянным. В отличие от закона сохранения энергии здесь не требуется консервативности системы. Стоит обратить внимание, что импульс является векторной величиной, поэтому, закон сохранения импульса означает сохранение каждой из его компонент по отдельности. Еще одной особенностью является то, что в задачах столкновения тел незамкнутые системы обычно можно приближенно считать замкнутыми, так как взаимодействие при соударении осуществляется за короткий промежуток времени и его сила намного превосходит внешние силы.

23. По определению, в случае абсолютно упругого взаимодействия механическая энергия взаимодействующих тел не переходит в другие виды энергии. Полная механическая и кинетическая энергии каждого тела при абсолютно упругих соударениях в общем случае не сохраняются, так как каждое отдельное тело системы нельзя рассматривать как замкнутую систему. При абсолютно упругих соударениях в определенных условиях может сохраняться потенциальная энергия каждого тела, так как она зависит от координат, изменением которых при столкновении обычно можно пренебречь.

24. В случае неупругого взаимодействия механическая энергия взаимодействующих тел частично переходит в другие виды энергии. Полная механическая и кинетическая энергии каждого тела при неупругих соударениях в общем случае не сохраняются, так как каждое отдельное тело системы нельзя рассматривать как замкнутую систему. Механическая энергия взаимодействующих тел в общем случае не может полностью переходить в другие виды энергии, так как общий импульс замкну-

той системы должен сохраняться, и после взаимодействия не обязательно должен быть равен нулю.

25. По определению, тела после абсолютно неупругого взаимодействия движутся как единое целое.

26. После абсолютно упругого удара скорости тел равны: $v_1 = \frac{2m_2v_{20} + (m_1 - m_2)v_{10}}{m_1 + m_2}$; $v_2 = \frac{2m_1v_{10} + (m_2 - m_1)v_{20}}{m_1 + m_2}$, где m_1 и m_2 — массы тел; v_1 и v_2 — их скорости после столкновения; v_{10} и v_{20} — скорости до столкновения. Выражения, описывающие скорости тел после удара, должны быть симметричными относительно замены тел местами, т. е. они должны переходить друг в друга при замене массы и скоростей одного тела на массу и скорости другого. Этому условию наряду с указанными удовлетворяют уравнения $v_1 = \frac{m_1v_{10} + m_2v_{20}}{m_1 + m_2}$; $v_2 = \frac{m_1v_{10} + m_2v_{20}}{m_1 + m_2}$. Далее надо провести анализ оставшихся уравнений. Предположим, что сталкиваются тела с одинаковыми массами $m_1 = m_2$ и противоположными скоростями $v_{10} = -v_{20}$. Можно ожидать, что после абсолютно упругого удара тела будут иметь такие же скорости, как до удара, но противоположного знака. Подставив указанные соотношения масс и скоростей в обе пары уравнений, найдем ту из них, которая дает ожидаемый результат, и таким образом найдем правильный ответ.

27. После абсолютно неупругого удара скорости тел равны: $v_1 = \frac{m_1v_{10} + m_2v_{20}}{m_1 + m_2}$; $v_2 = \frac{m_1v_{10} + m_2v_{20}}{m_1 + m_2}$, где m_1 и m_2 — массы тел; v_1 и v_2 — их скорости после столкновения; v_{10} и v_{20} — скорости до столкновения.

28. Радиус-вектор центра масс можно найти по формуле $\mathbf{r}_{ц.м} = \frac{\sum_i^N m_i \mathbf{r}_i}{\sum_i^N m_i}$.

29. Закон сохранения центра масс можно сформулировать следующим образом. У замкнутой системы центр масс покоится или движется равномерно и прямолинейно. Это свойство обусловлено выполнением закона сохранения импульса. Действительно, по определению центра

масс: $\mathbf{r}_{ц.м} = \frac{\sum_i^N m_i \mathbf{r}_i}{\sum_i^N m_i}$. Взяв производные по времени из обеих частей это-

го уравнения, получим: $\dot{\mathbf{r}}_{ц.м} = \frac{\sum_i^N m_i \dot{\mathbf{r}}_i}{\sum_i^N m_i} = \frac{\sum_i^N \dot{\mathbf{p}}_i}{\sum_i^N m_i} = \text{const.}$ Таким образом, придем к закону сохранения импульса.

30. Момент импульса материальной точки — это векторное произведение ее радиуса-вектора и импульса. Важность этого понятия обусловлена выполнением закона сохранения момента импульса.

31. Закон сохранения момента импульса можно сформулировать следующим образом. Момент импульса замкнутой системы остается постоянным.

32. Закон сохранения проекции момента импульса можно сформулировать следующим образом. Проекция момента импульса на неподвижную ось вращения сохраняется, если сумма моментов внешних сил относительно этой оси равна нулю.

33. Момент импульса можно найти по формуле $M = mrv \sin \alpha$, где m — масса; r — радиус; v — скорость движения; α — угол между ними. Подставив числовые значения, получим: $M = 1 \cdot 5 \cdot 10 = 50 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$.

34. Для решения данной задачи можно воспользоваться законом сохранения импульса: $mr_1v_1 = mr_2v_2$, где m — масса; r_1 и v_1 — начальные длина корда и скорость модели; r_2 и v_2 — конечные длина и скорость. Выразив отсюда конечную скорость, найдем: $v_2 = r_1v_1/r_2 = 20 \text{ м/с}$. Тогда кинетическая энергия $E = mv_2^2/2 = 200 \text{ Дж}$.

35. В этой задаче можно считать, что сила F является постоянной и направлена вдоль траектории длиной l , тогда работа: $A = Fl = 20 \times 10 = 200 \text{ Дж}$.

36. Для того чтобы удерживать груз в неподвижном состоянии, совершать работу не надо. $A = F \cdot 0 = 0 \text{ Дж}$.

37. В данном случае, постоянная сила, действующая на груз, перпендикулярна перемещению, поэтому, применив формулу $A = Fl \cos \alpha$, где A — работа; F — сила; l — длина пути; α — угол между траекторией движения и силой, получим: $A = Fl \cdot 0 = 0$.

38. Используем законы сохранения для проекции импульса на ось x : $v_{x1н} = v_{x1к} + v_{x2к} + v_{x3к}$, где индекс «н» обозначает начальное состояние, индекс «к» — конечное, а числами нумеруют шары. Отсюда найдем:

$v_{x3к} = v_{x1н} - v_{x1к} - v_{x2к} = 2 - 1 - 1 = 0$ м/с. Аналогично для проекции на ось y : $v_{y3к} = 5 - 1 - 2 = 2$ м/с. В итоге: $v_{3к} = (0, 2)$ м/с.

39. Начальная энергия движения цилиндра складывается из энергии поступательного движения $E_{\text{п}} = mv^2/2$ и энергии вращения $E_{\text{вр}} = J\omega^2/2$, где m — масса; v — скорость движения; J — момент инерции; ω — угловая скорость вращения. Момент инерции тонкостенного цилиндра $J = mR^2$, где R — радиус цилиндра. Соотношение между радиусом, угловой и линейной скоростями: $\omega = v/R$. Подставив эти соотношения в формулу для энергии вращения, найдем: $E_{\text{вр}} = mR^2v^2/2R^2 = mv^2/2$, т. е. энергия вращения такая же, как энергия поступательного движения. Полная энергия: $E = E_{\text{п}} + E_{\text{вр}} = mv^2$. Приравняв эту энергию потенциальной энергии в поле силы тяжести mgh , найдем высоту подъема: $h = v^2/g = 2^2/9,8 \approx 0,4$ м. Как видно, от массы цилиндра высота подъема не зависит.

40. Потенциальная энергия сжатия пружины $E_{\text{п}} = k\Delta x^2/2$, где k — жесткость пружины; Δx — изменение ее длины, переходит в кинетическую энергию движения двух одинаковых тел: $E_{\text{к}} = 2mv^2/2 = mv^2$, где m — масса каждого тела; v — его скорость. Приравняв $E_{\text{п}}$ и $E_{\text{к}}$ и выразив v , получим: $v = \sqrt{\frac{k}{2m}}\Delta x = \sqrt{\frac{10^4}{1}}10^{-2} = 1$ м/с.

41. Импульс шайбы $p_1 = m_1v_1 = 0,1 \cdot 40 = 4$ кг·м/с, где m_1 — масса шайбы; v_1 — ее скорость. По закону сохранения он должен быть равен импульсу хоккеиста: $p_2 = m_2v_2$, где m_2 — масса; v_2 — скорость хоккеиста. Выразив скорость, получим: $v_2 = p_2/m_2 = m_1v_1/m_2 = 4/80 = 0,05$ м/с.

42. Выберем начало отсчета в точке, совпадающей с положением первого груза, тогда, записав выражение для нахождения положения центра масс и подставив в него числовые значения, получим: $x_{\text{ц.м}} = \frac{m_1 \cdot 0 + m_2 l}{m_1 + m_2} = \frac{3 \cdot 3}{3 + 6} = 1$ м, где m_1 и m_2 — массы грузов; l — расстояние между ними.

43. В данной задаче рассматривается абсолютно неупругое столкновение. Оба тела после столкновения движутся вместе с одной скоростью v_2 . Закон сохранения импульса запишется в виде: $v_1 m_1 = v_2(m_1 + m_2)$, где m_1 и m_2 — массы мухи и листа бумаги; v_1 — скорость мухи. Выразив из этого соотношения скорость после столкновения, получим: $v_2 = \frac{v_1 m_1}{m_1 + m_2} = \frac{2 \cdot 0,5}{0,5 + 1,5} = \frac{1}{2} = 0,5$ м/с.

44. Потенциальная энергия груза $mgh = 2 \cdot 9,8 \cdot 1 \approx 20$ Дж, где m — масса груза; g — ускорение свободного падения; h — высота падения. После падения она перейдет в энергию деформации пружины: $E_d = k\Delta x^2/2$, где k — жесткость пружины; Δx — изменение ее длины. Выразив из этих соотношений величину сжатия, получим:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{2mgh}{k}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 9,8 \cdot 1}{10^5}} \approx \sqrt{\frac{40}{10^5}} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 2 \text{ см.}$$

45. При абсолютно упругом ударе можно воспользоваться законом сохранения энергии. Кинетическую энергию движения первого шара до столкновения приравняем кинетическим энергиям движения первого и второго шаров после столкновения: $E_{k1н} = mv_{1н}^2/2 = E_{k1к} + E_{k2к} = mv_{1к}^2/2 + mv_{2к}^2/2$, где m — масса шара; $v_{1н}$ — скорость первого шара до столкновения; $v_{1к}$ — скорость первого шара после столкновения; $v_{2к}$ — скорость второго шара после столкновения. Выразив из этого уравнения скорость первого шара после столкновения, получим:

$$v_{1к} = \sqrt{v_{1н}^2 - v_{2к}^2} = \sqrt{100 - 36} = 8 \text{ м/с.}$$

46. Радиус-вектор тела направлен под углом 45° к вектору скорости. Воспользовавшись выражением $M = Rvm \sin \alpha$, где M — проекция момента импульса; R — радиус вращения; v — модуль вектора скорости тела; m — его масса; α — угол между радиусом и скоростью, получим:

$$M = \sqrt{2} \cdot 4 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 1 = 4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с.}$$

2.9. Механика сплошных сред

1. Разделами механики сплошных сред являются: гидростатика, гидродинамика, газовая динамика и теория упругости. В гидростатике изучаются условия равновесия жидкости (или газа) и находящихся в ней тел. Гидродинамика рассматривает потоки жидкости и движение тел в жидкости. При этом отдельно выделяется раздел газовой динамики, посвященный исследованию аналогичных процессов в газах с учетом их особенностей. В теории упругости исследуются деформации тел, возникающие под действием сил. Кинематика, динамика и статика — это разделы механики, отличающиеся от механики сплошных сред объектом исследования, которым являются жесткие объекты ограниченных размеров, а не непрерывная подвижная среда. Граница эта является условной, так что, например, теория упругости занимает промежуточное положение между механикой твердого тела и механикой

сплошных сред. Механика материальной точки отличается тем, что в ней используется приближение материальной точки.

2. Закон Паскаля можно сформулировать следующим образом. Давление в любом месте покоящейся жидкости одинаково по всем направлениям и передается по всему ее объему. На действии этого закона основана работа различных гидравлических устройств: прессов, подъемников, амортизаторов, тормозных систем и т.д. Общий принцип их работы состоит в том, что возникающее при приложении относительно малой силы к поверхности малой площади давление передается к поверхности большей площади, действующей на внешние объекты с большей силой.

3. Давление в неподвижной несжимаемой жидкости определяется по формуле $P = \rho gh$, где ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения; h — глубина погружения или высота столба жидкости. Как видно из формулы, давление зависит от рода жидкости (ее плотности) и расстояния до поверхности.

4. Закон Архимеда можно сформулировать следующим образом. На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости. Этот закон назван по имени древнегреческого ученого и философа Архимеда (ок. 287—212 до н.э.), которому приписывают его открытие. Соответствующая сила называется силой Архимеда. Ее возникновение можно объяснить разностью давлений со стороны жидкости, действующих на нижнюю и верхнюю поверхности погруженного в нее тела.

5. Закон Архимеда описывается формулой $F_A = \rho gV$, где F_A — сила, действующая на погруженное в жидкость тело; ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения; V — объем вытесненной жидкости.

6. Течение — это движение жидкости. Это одно из самых общих понятий гидродинамики.

7. Поток — это совокупность частиц движущейся жидкости.

8. Линия тока — это линия, касательные к которой в каждой точке направлены вдоль скорости движения частиц жидкости.

9. Трубка тока — это часть жидкости, ограниченная линиями тока.

10. Идеальная жидкость — это жидкость, в которой отсутствует внутреннее трение. В гидродинамике используются два основных приближения: идеальная жидкость и несжимаемая жидкость.

11. Стационарным называют течение, которое не изменяется со временем. Течение, параметры которого не зависят от координаты, можно назвать однородным потоком. Течение, для которого число Рейнольдса не превышает 1 000, называется ламинарным. Законы Паскаля и Архимеда выполняются, строго говоря, в неподвижной жидкости.

12. Условие неразрывности жидкости описывается формулой: $S_1 v_1 = S_2 v_2$, где S_1 и S_2 — площади поперечных сечений трубок тока; v_1 и v_2 — скорости движения жидкости в этих сечениях. Это уравнение обусловлено выполнением закона сохранения количества вещества. В стационарном состоянии объем несжимаемой жидкости, поступающей в систему, должен быть равен объему жидкости, удаляемой из системы: $V_{\text{пост}} = V_{\text{уд}}$. Объем жидкости, проходящей через поперечное сечение трубки тока, равен произведению площади этого сечения на скорость течения жидкости и время $V = Svt$. Приравнявая объемы и сокращая время, получим отсюда исходную формулу.

13. Уравнение Бернулли описывается формулой $\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = \text{const}$, где ρ — плотность жидкости; v — скорость течения; g — ускорение свободного падения; h — расстояние до поверхности; P — внешнее давление. Это уравнение описывает течение жидкости вдоль трубки тока (рис. 5). Оно названо по имени установившего его швейцарского физика Даниила Бернулли (1700—1782). Все слагаемые в этом уравнении имеют размерность давления.

14. Различают динамическое и гидростатическое давления. Динамическое возникает из-за движения жидкости. На этом эффекте основано действие водоструйного насоса, в котором разрежение создается под действием струи жидкости. Гидростатическое давление действует в неподвижной жидкости.

15. Динамическое давление определяется выражением $P_d = \rho v^2/2$, где ρ — плотность жидкости; v — скорость ее течения.

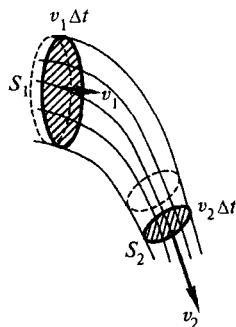


Рис. 5. Движение жидкости вдоль трубки тока

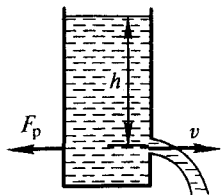


Рис. 6. Истечение жидкости из сосуда

16. Полное давление в потоке — это сумма гидростатического и динамического давлений. Динамическое давление определяется выражением $P_d = \rho v^2/2$, где ρ — плотность жидкости; v — скорость ее течения, а гидростатическое давление $\rho gh + P$, где ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения; h — расстояние до поверхности; P — внешнее давление.

17. Формула Торричелли показывает, что скорость истечения жидкости такая же, как скорость, приобретаемая телом при падении с соответствующей высоты. Эта формула связывает скорость истечения жидкости из сосуда v с высотой h столба жидкости в нем: $v = \sqrt{2gh}$ (рис. 6). Она названа по имени установившего ее итальянского ученого Эванджелиста Торричелли (1608—1647).

18. Формула Торричелли: $v = \sqrt{2gh}$, где v — скорость течения жидкости; g — ускорение свободного падения; h — расстояние до поверхности. Согласно этой формуле, скорость истечения жидкости такая же, как скорость падения тела с соответствующей высоты.

19. Давление струи жидкости, вытекающей из сосуда, определяется выражением $P = 2gh\rho$, где g — ускорение свободного падения; h — расстояние до поверхности; ρ — плотность жидкости.

20. Работа реактивного двигателя основана на действии силы реакции вытекающих газов. Согласно третьему закону Ньютона, все силы взаимодействия существуют попарно. Поэтому, в случае реактивного движения должна быть некоторая сила, действующая в паре с силой тяги двигателя. Иногда вызывает затруднение указание тела, к которому приложена эта сила. Таким телом является струя газов, выбрасываемых из реактивного двигателя, а не окружающие тела, как в случае других двигателей. Эта особенность делает реактивный двигатель незаменимым в тех ситуациях, когда внешние тела отсутствуют, например в космическом пространстве. Действие реактивного двигателя основано, по существу, на выполнении закона сохранения импульса. Импульс, полученный двигателем (и аппаратом, в котором он установлен), равен по величине и противоположен по направлению импульсу струи вытекающих газов. Динамическое давление для создания силы тяги на практике не используется.

21. Особенность реактивного двигателя состоит в том, что он может приводить в движение аппараты, находящиеся в вакууме или разреженном газе. О наличии других преимуществ утверждать затруднительно.

22. Вязкость — это свойство реальной жидкости оказывать сопротивление перемещению ее слоев друг относительно друга. Возникновение вязкого трения обусловлено переносом импульса направленного движения от движущегося тела посредством частиц среды, в которой происходит движение. В результате действия сил вязкого трения возникает сила сопротивления, которая в некотором диапазоне скоростей пропорциональна скорости движущегося тела в отличие от силы трения скольжения, которая слабо зависит от скорости движения. Процесс уменьшения скорости движения жидкости как целого в гидродинамике не рассматривается.

23. Различают турбулентный и ламинарный режимы течений. Существует параметр, зависящий от характеристик жидкости и скорости ее движения, который позволяет различить режимы течения — число Рейнольдса.

24. При ламинарном течении слои жидкости не перемешиваются между собой. Противоположностью ламинарного является турбулентное течение.

25. Число Рейнольдса определяет характер течения жидкости. При значениях меньше 1 000 в трубах круглого сечения реализуется ламинарный режим течения, при больших — турбулентный. Эта величина названа по имени английского физика и инженера Осборна Рейнольдса (1842—1912), установившего критерий подобия потоков вязкой жидкости в трубах различного диаметра.

26. Число Рейнольдса зависит от свойств жидкости, скорости ее течения и геометрических свойств системы. Эта величина определяется формулой $Re = \rho v l / \eta$, где ρ — плотность жидкости; v — скорость движения тела; l — его характерный размер; η — коэффициент вязкости жидкости.

27. Число Рейнольдса пропорционально скорости движения жидкости. Необходимо представлять, что число Рейнольдса возрастает с увеличением скорости движения и при некотором ее значении ламинарный режим течения меняется на турбулентный.

28. Число Рейнольдса определяется формулой $Re = \frac{\rho v l}{\eta}$, где ρ — плотность жидкости; v — скорость движения тела; l — его характерный размер; η — коэффициент вязкости жидкости.

29. Ламинарный режим течения наблюдается в трубах круглого сечения при числах Рейнольдса $Re < 1\,000$. При $Re > 2\,000$ реализуется турбулентный режим.

30. Формула Стокса определяет силу сопротивления движению твердого тела в жидкости. Она названа по имени английского физика Джорджа Габриеля Стокса (1819—1903). Согласно этой формуле, сила сопротивления движению твердого тела в жидкости пропорциональна произведению вязкости жидкости η на скорость движения тела v и его характерный размер l : $F \sim \eta v l$.

31. При движении тела в вязкой жидкости сила сопротивления не зависит от массы тела и определяется формулой Стокса $F \sim \eta v l$, где η — вязкость жидкости; v — скорость движения тела; l — его характерный размер. Коэффициент пропорциональности в этой формуле зависит от формы тела.

32. При небольшой скорости движения тела в вязкой жидкости сила сопротивления прямо пропорциональна произведению вязкости жидкости η на скорость движения тела v и его характерный размер l : $F \sim \eta v l$. Из повседневного опыта известно, что сила сопротивления увеличивается с возрастанием вязкости жидкости, скорости движения тела и его характерного размера.

33. На крыло, движущееся в струе жидкости или газа, действуют сила лобового сопротивления и подъемная сила (рис. 7).

34. Значение качества крыла показывает отношение подъемной силы к силе сопротивления. Чем оно больше, тем ближе форма крыла к оптимальной.

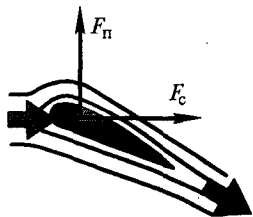


Рис. 7. Силы, действующие на крыло

35. Формула Пуазейля описывает зависимость потока жидкости от разности давлений и размеров трубы. Она названа по имени получившего это соотношение французского ученого Жана Луи Мари Пуазейля (1799—1869).

36. Формула Пуазейля: $Q = \frac{\Delta P \pi R^4}{8 \eta l}$, где Q — поток жидкости; ΔP — разность давлений на

концах трубы; R — радиус трубы; η — вязкость жидкости; l — длина трубы.

37. Поток жидкости через трубу прямо пропорционален разности давлений на ее концах. Из повседневного опыта известно, что поток жидкости через трубу возрастает с увеличением разности давлений на ее концах, поэтому можно сразу исключить два варианта ответов, не соответствующих этим представлениям. После этого остается выбор между линейной и квадратичной зависимостями. Представим трубу с потоком жидкости. Если мысленно разделить ее на две равные части, то получим две одинаковые трубы с одинаковыми потоками. Тогда и разности давлений в обеих частях должны быть равны. Это возможно только в случае линейной зависимости потока от разности давлений. Таким образом, приходим к правильному ответу.

38. При ламинарном течении поток жидкости через трубу круглого сечения при постоянном перепаде давлений на ее концах пропорционален четвертой степени радиуса трубы. Этот результат надо помнить. Обратную зависимость можно сразу исключить на основе повседневного опыта, показывающего, что поток возрастает с увеличением радиуса трубы.

39. Для решения этой задачи надо воспользоваться формулой Торричелли $v = \sqrt{2gh}$, где v — скорость течения жидкости; g — ускорение свободного падения; h — расстояние до поверхности. Высоту ведра можно принять равной 20 см. Подставляя числовые значения, получим: $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,2} \approx \sqrt{4} = 2$ м/с.

40. Сила Архимеда, действующая на батискаф: $F_A = \rho g V$, где ρ — плотность воды ($1\,000$ кг/м³); g — ускорение свободного падения; V — вместимость батискафа. Эта сила должна быть, по крайней мере, равна силе тяжести: $F_T = mg$, где m — масса батискафа. Отсюда можно найти: $m = \rho V = 5 \cdot 10^3$ кг = 5 т.

41. Гидростатическое давление можно найти по формуле $P = \rho gh$, где ρ — плотность жидкости (для воды: $1\,000$ кг/м³); g — ускорение свободного падения; h — глубина погружения. Подставив числовые значения, получим: $P = 10^3 \cdot 9,8 \cdot 1 \approx 10^4$ Па.

42. Давление столба ртути в манометре уравнивается давлением атмосферы, следовательно: $P = \rho gh$, где ρ — плотность ртути; g — ускорение свободного падения; h — высота столба ртути. Подставив числовые значения, получим: $P = 13,6 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,76 \approx 10^5$ Па.

43. У труб, включенных параллельно друг другу, одинаковый перепад давлений на их концах. Поток жидкости через трубу круглого диаметра можно рассчитать по формуле Пуазейля. Единственный параметр, которым будут отличаться эти формулы, записанные для обоих участков, — это диаметры труб. В формулу они входят в четвертой степени, следовательно, отношение потоков будет равно четвертой степени отношения диаметров: $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{d_1^4}{d_2^4}$. Выразив отсюда величину потока, найдем:

$$Q_1 = Q_2 \frac{d_1^4}{d_2^4} = 1 \left(\frac{10}{5} \right)^4 = 2^4 = 16 \text{ л/с.}$$

44. Если мысленно разделить трубу на две равные части, то получим две одинаковые трубы, с одинаковыми потоками. Тогда и разности давлений в обоих частях должны быть равны. Это возможно только в том случае, когда давление в средней части равно среднему давлению на входе и выходе трубы: $P = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{4 + 16}{2} = 10 \text{ Па.}$

45. Для решения этой задачи надо воспользоваться условием неразрывности жидкости: $S_1 v_1 = S_2 v_2$, где S_1 и S_2 — площади поперечных сечений трубок тока; v_1 и v_2 — скорости движения жидкости в этих сечениях. Выразив скорость из этого уравнения, получим: $v_1 = v_2 S_2 / S_1 = v_2 (d_2 / d_1)^2 = 2(5/10)^2 = 2/4 = 0,5 \text{ см/с.}$

46. Динамическое давление определяется по формуле $P_d = \rho v^2 / 2$, где ρ — плотность жидкости (для воды 1000 кг/м^3); v — скорость ее течения. Подставив числовые значения, получим: $P_d = 10^3 \cdot 2 \times \times 10^{-4} = 0,2 \text{ Па.}$

47. Согласно закону Паскаля, давление в обоих цилиндрах должно быть одинаковым. Так как внешнее давление определяется как отношение силы к площади сечения цилиндра $P = F/S$, приходим к соотношению $F_1/S_1 = F_2/S_2$. Выражая из него силу и подставляя числовые значения, получим: $F_1 = F_2 S_1/S_2 = mg(d_2/d_1)^2 = 10^3 \cdot 9,8/4 \approx 2500 \text{ Н,}$ где m — масса груза; g — ускорение свободного падения; d_2 и d_1 — диаметры цилиндров. При этом надо учесть, что большая сила действует на поршень цилиндра большего диаметра.

48. Чтобы определить динамическое давление по формуле $P_d = \rho v^2 / 2$, где ρ — плотность жидкости (для воды: 1000 кг/м^3); v — скорость ее течения, необходимо сначала определить скорость течения. Сделать это можно с помощью формулы Торричелли: $v = \sqrt{2gh} =$

$= \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 5} \approx \sqrt{100} = 10 \text{ м/с}$, где g — ускорение свободного падения; h — расстояние до поверхности. Подставив это значение в формулу для нахождения динамического давления, получим: $P_d = 10^3 \cdot 10^2 / 2 = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

49. Максимальное давление, которое может оказывать вытекающая из отверстия в боковой стенке ведра струя воды, определяется выражением $P = 2gh\rho$, где g — ускорение свободного падения; h — расстояние до поверхности; ρ — плотность жидкости (для воды $1\,000 \text{ кг/м}^3$). Подставив численные значения, получим: $P = 2 \cdot 9,8 \cdot 0,3 \cdot 10^3 \approx 6\,000 \text{ Па}$.

50. При равномерном движении тела сила сопротивления равна силе тяжести mg , откуда получаем: $F = 2 \cdot 9,8 \approx 20 \text{ Н}$. Здесь пренебрегли силой Архимеда, которую для камня можно считать значительно меньшей силы тяжести.

51. Значение качества крыла показывает отношение подъемной силы к силе сопротивления, поэтому подъемная сила $F = 2 \cdot 100 = 200 \text{ Н}$.

2.10. Колебания

1. Механическое колебание — это повторяющийся процесс движения механической системы. Иными словами, существенным признаком механических колебаний является повторяемость положений механической системы в пространстве. В общем случае положение системы может воспроизводиться не в точности и не через строго постоянные промежутки времени, как это происходит, например, в случае затухающих колебаний.

2. По отношению к внешнему воздействию выделяют свободные (или собственные) и вынужденные колебания. Свободные возникают в выведенной из равновесия механической системе, на которую не действует периодическая внешняя сила. Вынужденные колебания, наоборот, возникают в системе под действием периодической внешней силы.

3. При совпадении частоты внешней силы и собственной частоты системы колебания называются резонансными.

4. В том случае если система сама задает периодичность воздействия на нее внешней силы, ее колебания называются автоколебаниями.

5. При периодическом изменении какого-либо параметра колебательной системы ее колебания называются параметрическими.

6. Гармоническими называют колебания, которые описываются гармоническими функциями, т. е. при колебательном движении координаты зависят от времени по закону синуса (или косинуса). Фаза — аргумент гармонической функции, линейно зависит от времени. При сложении гармонических колебаний в общем случае получается негармоническая функция. Колебания любого вида можно представить как комбинацию гармонических колебаний. Колебания с резонансной частотой называются резонансными.

7. Гармоническим колебаниям уделяют особое внимание потому, что процессы в природе часто близки к гармоническим, а также потому, что любые колебания можно рассматривать как суперпозицию гармонических. Близость периодических колебаний в природных явлениях к гармоническим обусловлена тем, что вблизи точки равновесия потенциальную энергию системы можно приближенно представить квадратичной зависимостью от координаты.

8. Уравнение движения, описывающее малые собственные колебания без учета затухания: $x'' + \omega^2 x = 0$, где x — координата; ω — циклическая частота. Производная берется по времени. Это однородное линейное дифференциальное уравнение второго порядка. Его общим решением является гармоническая функция. Частное решение находится из общего после задания двух значений начальных параметров.

9. Кинематическое уравнение, описывающее собственные колебания без учета затухания: $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$, где A — амплитуда; ω — циклическая частота; φ_0 — начальная фаза колебаний. Это уравнение представляет общее решение уравнения движения $x'' + \omega^2 x = 0$. Частные решения получаются из него подстановкой конкретных значений параметров A и φ_0 , определяемых начальными условиями.

10. Круговая частота колебаний пружинного маятника связана с параметрами колебательной системы соотношением $\omega^2 = k/m$, где k — коэффициент жесткости; m — масса. Из повседневного опыта может быть известно, что частота колебаний возрастает с увеличением коэффициента жесткости и уменьшением массы.

11. Фаза колебаний — это аргумент периодической функции, описывающей колебания. Фаза является линейной функцией времени.

12. Фаза колебания не имеет размерности. Если бы это было не так, то от выбора единиц измерения зависело бы значение гармонической функции, аргументом которой является фаза, чего не должно быть. Единицей измерения фазы, как и угла, является радиан. Один радиан — это центральный угол, опирающийся на дугу, длина которой равна радиусу окружности.

13. Колебательный процесс характеризуется амплитудой, фазой и частотой. Вместо частоты можно использовать обратную ей величину — период колебаний.

14. Уравнение движения, описывающее собственные колебания с учетом затухания: $x'' + 2\beta x' + \omega^2 x = 0$, где x — координата; β — коэффициент затухания; ω — циклическая частота. Производные берутся по времени. Это линейное дифференциальное уравнение второго порядка. Его общим решением является произведение гармонической и экспоненциальной функций: $x = Ae^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$. Частное решение находится из общего после задания двух значений начальных параметров.

15. Кинематическое уравнение, описывающее собственные колебания с учетом затухания: $x = Ae^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$, где A — амплитуда; β — коэффициент затухания; ω — циклическая частота; φ_0 — начальная фаза колебаний. Это однородное уравнение представляет общее решение уравнения движения $x'' + 2\beta x' + \omega^2 x = 0$. Частные решения получаются из него подстановкой конкретных значений параметров A и φ_0 , определяемых начальными условиями.

16. Круговая частота затухающих собственных колебаний связана с параметрами колебательной системы соотношением $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$, где ω_0 — круговая частота колебаний системы без учета трения; β — коэффициент затухания. При $\beta = 0$ эта частота, как и следует ожидать, переходит в ω_0 .

17. Уравнение движения, описывающее вынужденные колебания: $x'' + 2\beta x' + \omega^2 x = f(t)$, где x — координата; β — коэффициент затухания; ω — циклическая частота; $f(t)$ — функция, описывающая действие внешней силы на систему. Производные берутся по времени. Это неоднородное линейное дифференциальное уравнение второго порядка. Его общее решение находится как сумма общего решения однородного уравнения ($f(t) = 0$) и частного решения неоднородного.

18. Амплитуда вынужденных гармонических колебаний связана с параметрами механической системы соотношением:

$$A = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}, \text{ где } F_0 \text{ — амплитуда действующей на си-}$$

стему гармонической силы; m — масса; β — коэффициент затухания; ω — циклическая частота приложенной силы; ω_0 — круговая частота собственных колебаний системы без учета трения. При $\beta = 0$ и $\omega_0 = \omega$ получается бесконечное значение амплитуды. Это известное условие возрастания амплитуды колебаний в условиях резонанса. При анализе вариантов ответов ему удовлетворяет лишь один из них. Он и является правильным.

19. Начальная фаза вынужденных гармонических колебаний связана с параметрами механической системы соотношением $\varphi_0 = \arctg \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$, где β — коэффициент затухания; ω — циклическая частота приложенной силы; ω_0 — круговая частота собственных колебаний системы без учета трения. При $\omega_0 = \omega$ начальная фаза должна составлять $\pi/2$. Этому условию удовлетворяет единственное соотношение. Оно же является единственным, удовлетворяющим требованию согласования размерностей с учетом того, что β и ω имеют одинаковую размерность, а угол — величина безразмерная.

20. При резонансе амплитуда вынужденных колебаний достигает максимума (рис. 8).

21. Резонансная частота вынужденных колебаний меньше частоты собственных колебаний. Ее значение определяется формулой $\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$, где β — коэффициент затухания; ω_0 — круговая частота собственных колебаний системы без учета трения. Для сравнения,

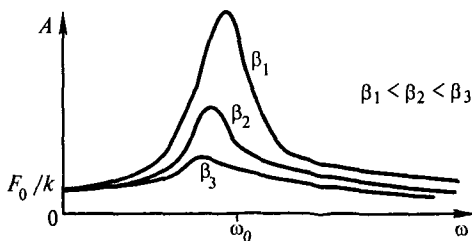


Рис. 8. Зависимость амплитуды колебаний от частоты

частота затухающих колебаний: $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$. Само явление резонанса наблюдается при воздействии на систему внешней силы с частотой, равной резонансной частоте. Однако резонансная частота является характеристикой колебательной системы, вне зависимости от частоты действия внешней силы. Поэтому сравнивать резонансную частоту с частотой внешнего воздействия некорректно.

22. Численное значение коэффициента затухания не зависит от частоты действия внешней силы. Это характеристика колебательной системы, поэтому ее можно считать не зависящей и от частоты собственных колебаний системы, хотя их значения связаны соотношением $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$.

23. Период колебаний пружинного маятника связан с параметрами колебательной системы соотношением: $T = 2\pi\sqrt{m/k}$, где m — масса; k — коэффициент жесткости. Параметрами пружинного маятника являются масса и коэффициент жесткости.

24. Период колебаний математического маятника определяется выражением: $T = 2\pi\sqrt{l/g}$, где l — длина подвеса; g — ускорение свободного падения. Параметром математического маятника является его длина.

25. Математический маятник состоит из материальной точки, подвешенной на невесомой нерастяжимой нити. Этот маятник совершает колебания под действием силы тяжести.

26. Физический маятник — это физическое тело, совершающее колебания под действием силы тяжести. Груз, закрепленный на пружине, называется пружинным маятником.

27. Циклическую частоту колебаний пружинного маятника можно определить по формуле: $\omega = \sqrt{k/m} = \sqrt{0,32/2 \cdot 10^{-2}} = \sqrt{16} = 4 \text{ с}^{-1}$.

28. Циклическую частоту колебаний математического маятника можно определить по формуле: $\omega = \sqrt{l/g} = \sqrt{0,16/9,8} \approx \sqrt{0,016} = 0,4 \text{ с}^{-1}$. Частота колебаний математического маятника не зависит от его массы.

29. Период колебаний связан с циклической частотой соотношением: $T = 2\pi/\omega$; подставив числовые значения, получим: $T = 6,3/5 \approx 1,25 \text{ с}$.

30. Начальная фаза колебаний равна свободному члену в линейной зависимости фазы от времени, в данном случае — 2 рад.

31. Подставив значение времени 2 с в зависимость фазы от времени $5t + 2$, получим 12 рад.

32. Прямой подстановкой в дифференциальное уравнение можно убедиться, что функция $x = 4 \sin(2t + 1)$ является его решением. Это выражение представляет собой частное решение, так как числовые значения всех констант в нем определены.

33. Вынужденные стационарные колебания системы всегда совершаются с частотой действия внешней силы, которая является коэффициентом пропорциональности в зависимости фазы от времени, в данном случае — 1 с^{-1} .

34. Циклическая частота собственных колебаний системы в отсутствие трения равна квадратному корню из коэффициента при функции в уравнении колебательного движения. В данном случае $\omega = \sqrt{4} = 2 \text{ с}^{-1}$.

35. Коэффициент затухания равен половине коэффициента при первой производной функции в уравнении колебательного движения. В данном случае $\beta = 2/2 = 1 \text{ с}^{-1}$.

36. Так как в уравнении колебательного движения отсутствует первая производная функции, то трения в системе нет, и резонансная частота будет совпадать с собственной частотой колебаний. Эта частота равна квадратному корню из коэффициента при функции в уравнении колебательного движения. В данном случае $\omega = \sqrt{1} = 1 \text{ с}^{-1}$.

37. Частота затухающих колебаний определяется по формуле $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$, где ω_0 — круговая частота колебаний системы без учета трения; β — коэффициент затухания. Коэффициент затухания равен половине коэффициента при первой производной функции в уравнении колебательного движения. В данном случае $\beta = 12/2 = 6 \text{ с}^{-1}$. Циклическая частота собственных колебаний системы в отсутствие трения равна квадратному корню из коэффициента при функции в уравнении колебательного движения. В данном случае $\omega_0 = \sqrt{100} = 10 \text{ с}^{-1}$. Подставив полученные значения в исходную формулу, найдем: $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{100 - 36} = \sqrt{64} = 8 \text{ с}^{-1}$.

2.11. Волны

1. Звуковая волна — это повторяющееся согласованное движение частиц среды. В этом определении важным является указание на периодичность процесса и наличие корреляции в движении частиц среды.

2. Аргументами функции, описывающей распространение волны, являются время и координата.

3. Функция, описывающая распространение волны, — $A \cos(\omega t \pm kx + \varphi_0)$, где A — амплитуда; ω — циклическая частота; t — время; k — волновое число; x — координата; φ_0 — начальная фаза колебаний. Выбор знака «+» или «-» в этом выражении определяет направление распространения волны. Эта формула описывает частный случай плоской волны.

4. Волновое число — это коэффициент в выражении, описывающем фазу волны. Число колебаний, происходящих в единицу времени, называется частотой, число узлов волны, приходящихся на единицу длины, имеет смысл лишь для стоячих волн и равно удвоенному значению волнового числа. Число максимумов колебаний в волне смысла не имеет без указания области пространства, занимаемого волной.

5. Волновое число связано с длиной волны соотношением $k = 2\pi/\lambda$. Оно является пространственным аналогом частоты колебаний, а длина волны соответственно аналогом периода.

6. Волновая поверхность (или поверхность постоянной фазы) — это геометрическое место точек волны, имеющих одинаковую фазу. Понятие волновой поверхности используется при анализе дифракционных явлений.

7. Фронт волны — это передняя волновая поверхность, наиболее удаленная от источника волны. Она движется со скоростью распространения волны. В однородной изотропной среде распространение волны происходит вдоль прямой, перпендикулярной волновым поверхностям.

8. Луч — это геометрическое место точек, вдоль которых происходит распространение фронта волны.

9. Фаза волны определяется выражением $\omega t \pm kx + \varphi_0$, где ω — циклическая частота; t — время; k — волновое число; x — координата; φ_0 — начальная фаза колебаний. Выбор знака «+» или «-» в этом выражении определяет направление распространения волны.

10. Фазовая скорость распространения волны описывается формулой ω/k , где ω — циклическая частота; k — волновое число. Эта скорость равна скорости перемещения поверхности постоянной фазы.

11. Групповая скорость распространения волн описывается формулой $d\omega/dk$, где ω — циклическая частота; k — волновое число. Групповая скорость — это скорость распространения энергии волны. Именно она подразумевается под скоростью распространения волны, в частности под скоростью звука.

12. Интенсивность звуковой волны — это мощность, переносимая волной через единичную поверхность, перпендикулярную направлению ее распространения.

13. Интенсивность звуковой волны при прочих равных условиях пропорциональна плотности среды. Эту зависимость можно объяснить тем, что кинетическая энергия колебания малых участков среды пропорциональна их массе. Полная энергия колебаний складывается из энергий колебаний всех малых участков и оказывается также пропорциональна массе вещества, вовлеченного в колебания, которая, в свою очередь, пропорциональна его плотности. Из всех вариантов ответов лишь один соответствует этим представлениям.

14. Интенсивность звуковой волны пропорциональна квадрату амплитуды колебаний. Эту зависимость можно объяснить следующим образом. При волновом движении среды ее энергия складывается из кинетической энергии движения участков среды и энергии ее упругой деформации, периодически переходящих друг в друга. Энергия деформации, как известно, пропорциональна квадрату смещения из положения равновесия. Этим можно объяснить и пропорциональность интенсивности звуковой волны квадрату ее амплитуды.

15. Интенсивность звуковой волны пропорциональна квадрату частоты ее колебаний. Эту зависимость можно объяснить следующим образом. При волновом движении среды ее энергия складывается из кинетической энергии движения участков среды и энергии ее упругой деформации, периодически переходящих друг в друга. Кинетическая энергия, как известно, пропорциональна квадрату скорости движения, которая в случае колебаний пропорциональна их частоте. Этим можно объяснить и пропорциональность интенсивности звуковой волны квадрату частоты ее колебаний.

16. По характеру движения волновой поверхности различают бегущие и стоячие волны. В бегущей энергия волны передается в некотором направлении, в стоячей — передачи энергии не происходит. Плоские и сферические волны различаются по форме их волновой поверхности. Сферические волны распространяются от точечного источника. На значительных расстояниях от него их можно представить в виде плоских волн. Звуковые волны распространяются в материальных средах. Существуют также электромагнитные волны, которые могут распространяться в отсутствие материальной среды.

17. По направлению колебаний различают продольные и поперечные волны. Такое деление обусловлено движением частиц соответственно вдоль или поперек направления распространения волны.

18. Только в материальной среде могут распространяться звуковые, температурные и волны намагниченности. Волны температуры и намагниченности являются специфическими видами волн, при распространении которых происходит периодическое изменение температуры и намагниченности среды, т. е. характеристик, непосредственно не связанных с ее движением. Электромагнитные волны могут распространяться в отсутствие материальной среды.

19. В бегущей волне, в отличие от стоячей, положение поверхности постоянной фазы меняется со временем.

20. В стоячей волне, в отличие от бегущей, положение поверхности постоянной фазы не меняется со временем. В ней не происходит распространения энергии. В связи с этим становятся неопределенными понятия луча и фронта волны, а понятие волнового числа становится условным.

21. Продольные колебания частиц происходят в направлении, параллельном направлению распространения волны.

22. Поперечные колебания частиц происходят в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны. Если не учитывать особенности распространения волн в неоднородных и неизотропных средах, то для поперечных колебаний характерны перемещения частиц вдоль волновой поверхности или, что то же самое, вдоль поверхности постоянной фазы.

23. При распространении волн наблюдаются: отражение, преломление, дифракция и интерференция. Направленность и наличие конечной

скорости являются свойствами волнового движения. В изменении величин, характеризующих эти свойства, как раз и состоит сущность указанных явлений.

24. Звуковые волны не используют для передачи энергии, так как для этого существуют другие, более эффективные способы. Хотя, к примеру, камни в почках дробят с помощью ультразвука. Передача информации осуществляется путем модуляции амплитуды или фазы волны. Эхолокация основана на измерении времени между моментами отправки сигнала и получения его после отражения от препятствия. Такой же принцип лежит в основе дефектоскопии при обнаружении дефектов, скрытых под поверхностью исследуемых объектов. Кроме указанных, существуют и другие технические применения звуковых волн.

25. Волновое число — это коэффициент, стоящий перед координатой в выражении, определяющем фазу волны. В данном случае этот коэффициент равен 5 м^{-1} .

26. Фазовая скорость равна отношению циклической частоты к волновому числу. Циклическая частота — это коэффициент, стоящий перед временем, а волновое число — это коэффициент, стоящий перед координатой, в выражении, определяющем фазу волны. Взяв нужные числа, получим: $v_{\text{ф}} = 2000/5 = 400 \text{ м/с}$.

27. Скорость распространения звуковой волны или групповая скорость равна производной от циклической частоты по волновому вектору: $v_{\text{гр}} = d\omega/dk = 400/2\sqrt{k} = 80\,000/400\sqrt{k} = 80\,000/\omega = 80\,000/800 = 100 \text{ м/с}$.

28. Волновое число k связано с длиной волны λ соотношением $k = 2\pi/\lambda \approx 6,3/1 = 6,3 \text{ м}^{-1}$. Круговая частота здесь роли не играет.

29. Фазой волны называется аргумент периодической функции. Подставив числовые значения времени и координаты в выражение, определяющее фазу, получим: $2000t + 5x + 1000 = 2000 \cdot 1 + 5 \cdot 200 + 1000 = 4000 \text{ рад}$.

30. Интенсивность звуковой волны пропорциональна квадрату ее амплитуды. При увеличении амплитуды в два раза, интенсивность увеличивается в четыре раза, поэтому имеем: $4 \cdot 2 = 8 \text{ Вт/м}^2$. Уравнение волны при расчете ее интенсивности не используется.

31. Циклическая частота — это коэффициент, стоящий перед временем, в выражении, определяющем фазу волны. В данном случае этот коэффициент равен $2\,000 \text{ с}^{-1}$.

32. Длина волны λ связана с волновым числом k соотношением $\lambda = 2\pi/k$. Волновое число — это коэффициент, стоящий перед координатой в выражении, определяющем фазу волны. В данном случае этот коэффициент равен 5 м^{-1} . Подставив его в соотношение для длины волны, получим: $\lambda = 2\pi/5 \approx 1,25\text{ м}$.

33. Скорость распространения звуковой волны или групповая скорость равна производной от циклической частоты по волновому числу: $v_{\text{гр}} = d\omega/dk$. Фазовая скорость равна отношению циклической частоты к волновому числу: $v_{\text{ф}} = \omega/k$. Чтобы найти зависимость циклической частоты от волнового числа, надо взять интеграл из выражения для групповой скорости: $\omega = \int v_{\text{гр}} dk = \int \frac{400dk}{\sqrt{k}} = 400 \cdot 2 \cdot \sqrt{k} = 800\sqrt{k}$.
 $v_{\text{ф}} = \omega/k = 800/\sqrt{k} = 800/2 = 400\text{ м/с}$.

34. Скорость распространения звуковой волны или групповая скорость равна производной от циклической частоты по волновому числу: $v_{\text{гр}} = d\omega/dk$. Чтобы найти зависимость циклической частоты от волнового числа, надо взять интеграл из выражения для групповой скорости: $\omega = \int v_{\text{гр}} dk = \int \frac{200dk}{\sqrt{k}} = 200 \cdot 2 \cdot \sqrt{k} = 400\sqrt{k}$.

2.12. Специальная теория относительности

1. Специальная теория относительности — это теория пространства и времени для случая пренебрежимо малых гравитационных полей. В этой теории на основании принципов относительности и постоянства скорости света устанавливается относительность понятий пространства и времени.

2. Общая теория относительности — это релятивистская теория гравитации, основанная на эквивалентности сил инерции и тяготения. Механику микрочастиц описывает квантовая теория, а теории, устанавливающей относительность материи и поля, не существует.

3. В основе специальной теории относительности лежат принцип относительности Эйнштейна и принцип постоянства скорости света. Принцип относительности Эйнштейна является распространением принципа относительности Галилея на все физические явления, а принцип постоянства скорости света утверждает, что скорость распространения света в вакууме не зависит от скорости движения системы

отсчета. Корпускулярно-волновой дуализм означает, что в определенных условиях частицы проявляют волновые свойства, а волны — корпускулярные. Принцип неопределенности Гейзенберга утверждает, что координаты и импульсы частиц не могут быть измерены одновременно абсолютно точно. Учитывать волновые свойства частиц и принцип Гейзенберга необходимо в квантовой механике при рассмотрении движения частиц малого размера.

4. Принцип относительности Эйнштейна утверждает, что все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета. Этот принцип является распространением классического принципа относительности на все физические явления, а не только на механические.

5. Принцип постоянства скорости света утверждает, что скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света. Скорость распространения света в различных средах различна и всегда меньше его скорости в вакууме. Скорость света в среде зависит от его частоты и длины волны, а в вакууме — не зависит.

6. Следствием постулатов специальной теории относительности является относительность пространства и времени. Это значит, что расстояние между точками пространства и интервалы времени между событиями, измеренные в разных системах отсчета, отличаются друг от друга.

7. Интервал в специальной теории относительности — это квадрат расстояния между событиями в четырехмерном пространстве-времени, причем способ определения этого расстояния иной, чем в обычном трехмерном пространстве.

8. Интервал в специальной теории относительности определяется выражением $c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2$, где c — скорость света; Δt — промежуток времени между событиями, произошедшими в точках, разности координат которых — Δx , Δy и Δz .

9. Особенность интервала в специальной теории относительности заключается в том, что он инвариантен по отношению к преобразованиям координат и времени при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. Независимость интервала от скорости движения тела нельзя назвать его особенностью, так как он не характеризует движение тела и, следовательно, не должен иметь отношения к скорости его движения.

10. Преобразования Лоренца связывают координаты и время в двух различных инерциальных системах координат, движущихся друг относительно друга. Эти преобразования названы по имени установившего их голландского физика Хендрика Антона Лоренца (1853—1928). Связь интервалов времени между событиями и размеров тела в двух различных инерциальных системах координат определяется не самими преобразованиями Лоренца, а полученными на их основе соотношениями.

11. При переходе к инерциальной системе отсчета, движущейся вдоль оси x со скоростью v_0 , преобразования Лоренца выглядят следующим образом: $x = (x' + v_0 t') \left(\sqrt{1 - v_0^2/c^2} \right)^{-1}$; $t = (t' + v_0 x'/c^2) \times \left(\sqrt{1 - v_0^2/c^2} \right)^{-1}$, где x — координата точки в момент времени t в неподвижной системе координат, а x' — координата точки в момент времени t' в системе координат, движущейся со скоростью v_0 ; c — скорость света. Для нахождения правильного варианта ответа здесь можно использовать анализ предельных переходов формул. Можно ожидать наличия особенностей в формулах преобразования при приближении v_0 к c , таких, как бесконечные или нулевые значения координат и времени. Такому условию удовлетворяет только один из вариантов ответов. Еще одним указанием может служить определенная симметричность преобразований, например наличие релятивистского фактора: $\sqrt{1 - v_0^2/c^2}$ в одинаковой степени в формулах преобразования координат и времени.

12. Размеры тел, измеренные вдоль направления движения, в различных инерциальных системах отсчета связаны соотношением: $l = l_0 \sqrt{1 - v_0^2/c^2}$, где l — длина тела, измеренная в движущейся со скоростью v_0 системе координат; l_0 — длина тела в неподвижной системе координат; c — скорость света. Можно ожидать наличия особенностей в формулах преобразования при приближении v_0 к c , таких, как бесконечное или нулевое значение длины. Такому условию удовлетворяет только один из вариантов ответов. Эта особенность учитывается релятивистским фактором $\sqrt{1 - v_0^2/c^2}$.

13. Временные интервалы в различных инерциальных системах отсчета связаны соотношением $\Delta\tau = \Delta t \sqrt{1 - v_0^2/c^2}$, где $\Delta\tau$ — промежуток времени между событиями, измеренный в движущейся со скоростью v_0 системе координат; Δt — промежуток времени между событиями в неподвижной системе координат; c — скорость света. Можно

ожидать наличия особенностей в формулах преобразования при приближении v_0 к c , таких, как бесконечное, или нулевое, значение интервала времени. Эта особенность учитывается релятивистским фактором: $\sqrt{1 - v_0^2/c^2}$.

14. В движущейся системе наблюдается сокращение размеров вдоль направления движения. Для исключения неправильных вариантов ответов здесь можно использовать следующие соображения. Необходимость преобразования координат и времени в специальной теории относительности диктуется принципом постоянства скорости света. Известно, что в классической механике, т. е. в пределе малых скоростей движения, в движущейся системе отсчета изменяется компонента скорости, направленная вдоль направления движения, а поперечная остается неизменной. Из этого можно заключить, что и размеры тела, измеренные вдоль направлений, перпендикулярных направлению движения, должны сохраняться.

15. Собственное время в движущейся системе течет медленнее, чем в неподвижной. Утверждение о том, что собственное время в движущейся с постоянной скоростью системе течет так же, как в неподвижной, не согласуется с принципом постоянства скорости света. Рассмотрение неинерциальных систем отсчета выходит за рамки специальной теории относительности.

16. Релятивистское выражение для кинетической энергии: $E_k = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}} - 1 \right)$, где m — масса тела; v_0 — скорость его движения; c — скорость света. При малых скоростях движения, т. е. в пределе классической механики, для кинетической энергии получаем формулу $E_k = mv_0^2/2$. В частности, при $v = 0$ кинетическая энергия должна быть равна нулю. Этому условию удовлетворяют два варианта ответов. Разложив релятивистскую формулу в ряд по малому параметру v_0^2/c^2 и сохранив только нулевой и первый члены ряда, для правильного варианта получим: $E_k = mc^2 \left(1 + \frac{v_0^2}{c^2} - 1 \right) = mv_0^2/2$, как и должно быть.

17. Энергия покоя частицы в специальной теории относительности определяется выражением mc^2 , где m — масса частицы; c — скорость света.

18. Релятивистская масса частицы определяется выражением $\frac{m}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}$, где m — масса (покоя) тела; v_0 — скорость его движения; c — скорость света. Эта масса должна стремиться к бесконечности при приближении скорости движения тела к скорости света. Этому условию удовлетворяет лишь один из вариантов ответов.

19. Интервал определяется соотношением: $c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2$, где c — скорость света; Δt — промежуток времени между событиями, произошедшими в точках, разность координат которых — Δx , Δy и Δz . Подставляя значения, найдем: $9 \cdot 10^{16} \cdot 10^{-16} - 0 - 1 - 4 = 9 - 5 = 4 \text{ м}^2$.

20. В движущейся относительно тела системе отсчета длина, измеренная поперек направления движения, не изменяется, поэтому: $l = l_0 = 1 \text{ м}$.

21. В движущейся относительно тела системе отсчета длина, измеренная вдоль направления движения, уменьшается. Это сокращение длины описывается множителем $\sqrt{1 - v_0^2/c^2}$, называемым релятивистским фактором. Подставляя значения, получим: $l = l_0 \sqrt{1 - v_0^2/c^2} = 1 \sqrt{1 - \left(\frac{1,5 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8}\right)^2} = \sqrt{1 - \frac{1}{4}} = \sqrt{3}/2 \text{ м}$.

22. В движущейся системе отсчета промежуток времени между двумя событиями уменьшается. Это сокращение времени описывается множителем $\sqrt{1 - v_0^2/c^2}$, называемым релятивистским фактором. Подставляя значения, получим: $\tau = \tau_0 \sqrt{1 - v_0^2/c^2} = 2 \sqrt{1 - \left(\frac{1,5 \cdot 10^{10}}{3 \cdot 10^{10}}\right)^2} = 2 \sqrt{1 - \frac{1}{4}} = \sqrt{3} \text{ с}$.

23. Энергия тела в релятивистской механике определяется соотношением $E = mc^2$, где m — масса частицы; c — скорость света. Подставляя в нее численные значения величин, получим: $E = 10^{-3} \cdot 9 \cdot 10^{16} \approx 9 \cdot 10^{14} \text{ Дж}$.

24. Масса движущегося тела больше, чем неподвижного. Это увеличение массы учитывается множителем $\frac{1}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}$, где $\sqrt{1 - v_0^2/c^2}$ —

релятивистский фактор. Подставляя численные значения величин, получим: $m = m_0 \left(\sqrt{1 - v_0^2/c^2} \right)^{-1} = 1 \cdot \left(\sqrt{1 - \left(\frac{1,5 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8} \right)^2} \right)^{-1} = 2/\sqrt{3} \text{ г.}$

3. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

3.1. Основные положения и понятия молекулярно-кинетической теории

1. В качестве основных обычно указывают три положения молекулярно-кинетической теории: все тела состоят из молекул; молекулы постоянно хаотически движутся и молекулы взаимодействуют между собой посредством электромагнитных сил. Представление молекул не взаимодействующими между собой материальными точками является ограничением в модели идеального газа. Другими ограничениями, используемыми для упрощения моделей реальных систем, являются малость объема молекул по сравнению с объемом сосуда и предположение об упругости столкновений, принимаемое при выводе основного уравнения молекулярно-кинетической теории. Утверждение о том, что молекулы оказывают давление на стенки сосуда, не является содержательным, а утверждение о том, что температура является мерой средней кинетической энергии движения молекул, является одним из выводов молекулярно-кинетической теории.

2. Формирование атомистических представлений происходило постепенно. Считается, что решающий вклад был сделан древнегреческим философом Демокритом (ок. 460—370 до н.э.) и его учителем Левкиппом. Русский ученый Михаил Васильевич Ломоносов (1711—1765) был сторонником атомистической теории, внесшим вклад в развитие молекулярно-кинетических представлений о теплоте. Древнегреческий ученый и философ Пифагор (6 в. до н.э.) является основателем научной школы, основанной на представлении об особой роли чисел и математики в описании явлений природы. Древнегреческий ученый Архимед (ок. 287—212 до н.э.) известен прикладной направленностью своих научных открытий.

3. К методам исследования, непосредственно подтверждающим молекулярное строение вещества, относятся полевая ионная и туннельная электронная микроскопии. С их помощью можно зарегистрировать пространственное распределение вещества в виде дискретных частиц —

атомов и молекул. В методе полевой ионной микроскопии между тонким металлическим острием и поверхностью колбы, покрытой люминесцентным составом, в которую помещено острие, прикладывается высокая разность потенциалов. Под ее действием происходит ионизация молекул газа, находящихся внутри колбы вблизи острия. Разогнавшись в электрическом поле, ионизованные молекулы ударяются о поверхность экрана, вызывая его свечение. При этом на экране можно увидеть атомную структуру острия. В методе туннельной электронной микроскопии тонкое острие перемещается вдоль поверхности вещества. Между ним и образцом приложена разность потенциалов, в результате чего в электрической цепи протекает ток электронов, проходящих сквозь потенциальный барьер, ширина которого зависит от расстояния между острием и поверхностью. Чем меньше расстояние, тем больше туннельный ток. При перемещении острия вдоль поверхности можно зарегистрировать колебания тока, обусловленные атомной структурой вещества. Электронная спектроскопия позволяет исследовать энергетическую, а не пространственную структуру вещества. Оптическая микроскопия не позволяет наблюдать атомную структуру из-за недостаточной разрешающей способности. Так как длина волны видимого света больше размеров атомов, возникает явление дифракции при взаимодействии света с веществом. При дифракции на периодической структуре распределение интенсивности света также обнаруживает периодичность, а при взаимодействии излучения с неупорядоченной структурой жидкости или газа дифракционная картина усредняется, и освещенность экрана становится равномерной. Таким образом, при дифракции света можно обнаружить дискретность распределения вещества в пространстве, но этот метод уже отличается от создания оптического изображения в микроскопе. Обычно, структуру вещества исследуют с помощью дифракции рентгеновских лучей. Диффузия, внутреннее трение и броуновское движение — это явления, которые могут получить наиболее убедительное объяснение на основе представлений о молекулярном строении вещества, но не являются его прямыми свидетельствами. Их относят к косвенным доказательствам.

4. Косвенными свидетельствами молекулярного строения вещества являются диффузия, внутреннее трение и броуновское движение — явления, которые могут получить наиболее убедительное объяснение на основе представлений о молекулярном строении вещества, но не являются его прямыми доказательствами. Диффузию можно объяснить

проникновением частиц одного вещества в объем, занятый частицами другого, из-за чего наблюдается размытие со временем первоначально резкой границы между ними. При внутреннем трении перемешиваются движущиеся в некотором направлении частицы жидкости или газа с частицами покоящихся слоев. В результате происходит торможение движущихся в жидкости или газе предметов, причем характер этого явления иной, чем при трении скольжения. Броуновское движение объясняется хаотическими столкновениями молекул с более крупной частицей, которую можно непосредственно наблюдать с помощью микроскопа.

5. Полное механическое описание системы многих частиц невозможно из-за большого влияния на ее состояние случайных факторов и слишком большого объема расчетов. То, что задача расчета движения системы многих частиц не имеет аналитического решения (т. е. это решение нельзя представить в виде аналитических функций), само по себе не является препятствием, так как существуют численные методы расчета. Однако их невозможно реализовать по указанным причинам. Измерять координаты и импульсы частиц нет необходимости, их можно было бы смоделировать, т. е. задать по своему усмотрению. Релятивистские ограничения становятся существенными лишь при высоких скоростях движения частиц, и поэтому не являются принципиальным ограничением.

6. Статистический метод описания систем многих частиц заключается в использовании малого числа параметров, описывающих систему, и средних значений механических величин. Из-за невозможности точного решения большинства реальных задач приходится применять различные приближенные методы, одним из которых является статистический. Его основная идея состоит в том, чтобы вместо огромного числа однотипных параметров, таких, как координаты и скорости частиц, использовать их средние значения и величины, характеризующие отклонение каждого параметра от среднего значения. Таким образом, статистический метод в принципе не подразумевает полного описания микроскопических величин.

7. Термодинамический метод представляет собой аксиоматическую теорию, основанную на постулатах термодинамики. Наряду со статистикой он является средством исследования сложных систем. На основе обобщения опытных данных были сформулированы несколько аксиом,

называемых началами термодинамики. С помощью логических выводов и математических преобразований из этих аксиом выводятся многочисленные следствия. Кроме исходных аксиом и системы логических и математических выводов компонентами термодинамики являются система понятий и так называемые параметры теории, заимствованные из опыта. Термодинамический и статистический подходы взаимно дополняют друг друга. Первый из них позволяет установить общие соотношения между термодинамическими параметрами, а второй — рассчитать их числовые значения.

8. Особенность термодинамического подхода состоит в том, что он не связан с представлениями о конкретной структуре вещества. В этом заключается его преимущество и одновременно слабая сторона. Преимущество состоит в том, что он применим для исследования очень широкого круга систем, включающих вещество и поле. В отличие от молекулярной теории (основанной на статистическом методе) для термодинамического метода не существенны представления о молекулярной структуре вещества.

9. Согласно принятым в настоящее время международным соглашениям, атомная единица массы определяется как одна двенадцатая часть массы изотопа углерода ^{12}C . Ранее эта величина определялась как одна шестнадцатая часть массы изотопа ^{16}O . Эти величины близки между собой и с массой атома водорода, если иметь в виду изотоп ^1H . Небольшая разница обусловлена так называемым дефектом масс. Когда нуклоны объединяются в ядро, их суммарная масса уменьшается по сравнению с массой свободных нуклонов в соответствии с формулой $E = \Delta mc^2$, где E — энергия связи ядра; Δm — разница в массе; c — скорость света.

10. Относительная атомная масса — это отношение массы атома к атомной единице массы. Обычно ее считают целым числом, равным числу нуклонов в ядре атома (массовым числом). Небольшая погрешность, возникающая при таком определении, обусловлена существованием дефекта массы. Порядковый номер атома в периодической системе Менделеева равен зарядовому числу атома, т. е. числу электронов в его оболочке или протонов в его ядре. Кроме протонов в ядро атома входят нейтроны. Полная сумма нуклонов (протонов и нейтронов) в ядре, как уже было указано, приблизительно равна его относительной атомной массе.

11. Относительная молекулярная масса — это масса молекулы, выраженная в атомных единицах массы. Относительная молекулярная масса является безразмерной величиной.

12. Единицей количества вещества является моль. В СИ количество вещества относится к основным физическим величинам наряду с массой, временем и длиной.

13. Единица количества вещества содержит столько же молекул, как 12 г изотопа ^{12}C . Понятие количества вещества подразумевает число наименьших возможных частиц вещества, т. е. его молекул. Определение единицы этой величины было закреплено международными соглашениями. Один грамм молекул водорода содержит примерно половину моля этого вещества.

14. Молярная масса — это масса одного моля вещества.

15. Молярная масса вещества, выраженная в граммах на моль, численно равна его относительной молекулярной массе. Это полезное соотношение можно получить следующим образом. Молярная масса M равна произведению молекулярной массы на число Авогадро $6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ (т. е. число молекул в одном моле вещества). Молекулярная масса в свою очередь находится как произведение относительной молекулярной массы μ на значение атомной единицы массы $1,66 \times 10^{-27} \text{ кг}$. В итоге получаем: $M = \mu \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \approx \mu \cdot 10^{-3} = \mu [\text{г/моль}]$. Удобство этого соотношения состоит в том, что относительная атомная масса определяется с помощью таблицы Менделеева. Для атома она приблизительно равна его массовому числу, а для молекул может быть посчитана как сумма массовых чисел атомов, входящих в состав молекулы.

16. Число Авогадро равно числу частиц в одном моле вещества.

17. Термодинамическая система — это любой макроскопический объект, свойства которого исследуют. Объектами исследования в термодинамике могут быть как равновесные, так и неравновесные системы. Соответственно различают равновесную и неравновесную термодинамику. Условием применимости термодинамического подхода к неравновесным системам является их квазиравновесность, что означает нахождение каждой малой части системы в состоянии локального термодинамического равновесия. Сами же эти части могут не находиться между собой в состоянии термодинамического равновесия.

18. Изолированной называется система, не взаимодействующая с внешними телами. Элементы изолированной системы могут взаимодействовать друг с другом. Термодинамическая система может быть ограничена некоторым объемом, но не быть при этом замкнутой, обмениваясь теплотой с внешними телами.

19. Термодинамические переменные — это экспериментально измеримые физические величины, задающие состояние системы. Характеристики системы, которые могут меняться в результате внешних воздействий и внутренних процессов, представляют собой более широкое понятие. Так, например, энтропия не является параметром термодинамической системы, так как непосредственно измерить ее невозможно. Это термодинамическая функция, которая зависит от значений параметров системы и может изменяться в результате внешних воздействий и внутренних процессов. Координаты и импульсы частиц системы не могут быть термодинамическими параметрами, так как термодинамический метод не основан на конкретных представлениях о структуре вещества, в частности на представлениях о существовании частиц, имеющих координаты и импульсы.

20. Уравнение состояния устанавливает взаимосвязь между термодинамическими переменными. Оно называется термическим в отличие от калорического уравнения состояния, которое устанавливает взаимосвязь между термодинамическими переменными и термодинамическими функциями. В качестве примера калорического уравнения состояния можно указать зависимость внутренней энергии газа от его объема и температуры: $U = U(V, T)$. Уравнение состояния применимо, строго говоря, к стационарным равновесным состояниям, поэтому оно не может описывать изменение термодинамических параметров системы со временем. Это делают кинетические уравнения. Уравнение состояния не может устанавливать взаимосвязь между микро- и макроскопическими параметрами термодинамической системы, так как в рамках термодинамики эти понятия отсутствуют. В общем случае нельзя также сказать, что уравнение состояния показывает, как зависит состояние системы от внешних воздействий. Если в результате внешнего воздействия совершается неравновесный процесс, например затухание звуковых колебаний в веществе, то это понятие становится неприменимым. Если же внешнее воздействие приводит к протеканию квазиравновесного процесса, то с помощью термического и калорического уравнений состояния становится возможным описание зависимости состояния системы

от внешних воздействий. Характерным примером такого рода является вывод уравнения адиабаты. Иными словами, знание термического и калорического уравнений состояния позволяет установить поведение системы в квазиравновесном процессе.

21. Различают внешние и внутренние, интенсивные и экстенсивные термодинамические параметры. Представленные способы классификации основаны на противопоставлении их свойств. Внешние параметры являются функциями координат внешних тел. Например, можно ограничить объем и задать температуру некоторого количества газа. При этом объем и температура будут внешними параметрами. Дополнительно задать при этом давление газа невозможно. Оно будет определяться свойствами самой системы и значениями других параметров (объема и температуры). В другом случае можно задать давление и температуру в качестве внешних параметров, а объем газа будет внутренним параметром. Интенсивными называют такие параметры, которые имеют одно значение для всей системы и ее частей (например, давление и температура). Экстенсивные параметры, наоборот, для всей системы находятся как суммы соответствующих величин ее частей (например, объем и количество вещества).

22. Состояние системы называется равновесным, если оно не изменяется во времени и в системе нет разного рода потоков. При этом система может взаимодействовать с внешним окружением. С точки зрения статистической теории состояние равновесия является динамическим, т. е. не изменяется в среднем. Однако возможны так называемые флуктуации — кратковременные отклонения термодинамических параметров от их средних значений. Если состояние системы не изменяется со временем, то оно называется стационарным. В стационарном состоянии в системе могут существовать различные потоки, например циркуляция молекул или поток теплоты от более горячей стенки сосуда к холодной.

23. Закон теплового равновесия утверждает, что любая термодинамическая изолированная система со временем приходит в состояние равновесия, характеризуемое некоторой температурой. Это один из постулатов (нулевой) термодинамики, который может быть обоснован методами статистической физики. Указание на температуру в этом утверждении обусловлено ее особым положением среди других термодинамических параметров. Физический смысл температуры как меры средней кинетической энергии движения частиц устанавливается молекулярно-кинетической теорией. Достижение равновесного

состояния системы происходит в результате взаимодействия молекул таким образом, что функция распределения энергии движения молекул принимает вполне определенный вид, что равносильно установлению определенной температуры. Существование же, например, определенного давления в системе еще не свидетельствует о том, что функция распределения молекул по скоростям является равновесной.

24. Время релаксации — это время перехода системы из неравновесного состояния в равновесное. Оно определяется свойствами самой системы и не зависит от внешних факторов. Время перехода из одного равновесного состояния в другое определяется как внешними факторами, так и свойствами самой системы, поэтому оно не может служить ее характеристикой. То же самое можно сказать и о других вариантах неправильных ответов.

25. Квазиравновесный процесс — это процесс изменения состояния системы за время, большее времени релаксации. Особенность такого процесса в том, что в каждый момент времени систему можно приближенно рассматривать как равновесную и использовать понятия параметров и уравнений состояния. При этом удастся связать характеристики начального и конечного состояний. Если же изменения состояния системы происходят за время, меньшее времени релаксации, то это сделать невозможно. Процесс, допускающий возможность возвращения системы в первоначальное состояние без того, чтобы в окружающей среде остались какие-либо изменения, называется обратимым.

26. Транзитивность теплового равновесия заключается в следующем. Если одно тело находится в состоянии теплового равновесия со вторым телом, находящимся в равновесии с третьим, то первое и третье также находятся в состоянии теплового равновесия. Это свойство позволяет сравнивать температуры тел, ибо они характеризуют равновесные состояния, и на нем основано их измерение.

27. Круговой процесс — это такой равновесный процесс, в котором начальное и конечное состояния системы совпадают. Это понятие относится только к равновесным процессам. Оно является важным для понимания метода циклов, позволяющего устанавливать свойства термодинамических систем. На координатной плоскости круговой процесс не обязательно имеет вид окружности. Процесс, допускающий возможность возвращения системы в первоначальное состояние без того, чтобы в окружающей среде остались какие-либо изменения, называется обратимым.

28. Температура — это особый термодинамический параметр состояния системы. С ним тесно связано понятие теплового равновесия. Измерение температуры возможно благодаря свойству транзитивности теплового равновесия. Количество теплоты — это сложное понятие, отличающееся от понятия температуры. В простейшем случае количество теплоты (переданное телу или полученное от него) оказывается пропорциональным температуре, поэтому эти два понятия долгое время не различали. Количество теплоты, так же как и работа, характеризует процесс обмена энергией, а не объект сам по себе. Внутренняя энергия и энергия взаимодействия молекул тоже не связаны с температурой непосредственно. В то время как температура есть мера средней кинетической энергии движения частиц, внутренняя энергия складывается из энергии взаимодействия частиц, их энергии движения как целого (поступательной и вращательной) и энергии движения и взаимодействия атомов внутри молекул.

29. Существуют температурные шкалы: международная практическая, Фаренгейта, абсолютная шкала температур и абсолютная термодинамическая шкала температур. Международная практическая температурная шкала (МПТШ-1968) может быть проградуирована в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) или в Кельвинах (K) в честь соответственно шведского астронома Андерса Цельсия (1701—1744) и английского физика Уильяма Томсона (1824—1907), получившего за научные заслуги дворянское звание и титул барона Кельвина. В Америке используется шкала Фаренгейта, названная по имени голландского стеклодува Габриеля Даниеля Фаренгейта (1686—1736), изготовившего первые практически пригодные термометры. В шкале Фаренгейта за нулевую точку была выбрана температура смеси воды, льда и поваренной соли, а за вторую точку, равную 32 градусам, температура смеси льда и воды. Третьей точкой шкалы Фаренгейта, равной 96 градусам, является температура человеческого тела. Существует также менее распространенная шкала Реомюра.

30. Абсолютная шкала температур отличается тем, что в ней законы идеальных газов имеют наиболее простой вид.

31. Абсолютная термодинамическая шкала температур замечательна тем, что строится независимо от свойств рабочего тела.

32. Термодинамические функции — это физические величины, имеющие определенное значение для каждого равновесного состояния системы и не зависящие от ее предыстории. Они отличаются от параметров состояния тем, что не могут быть измерены непосредственно.

33. Функции состояния — это то же, что и термодинамические функции. Они отличаются от параметров состояния тем, что не могут быть измерены непосредственно.

34. Относительная молекулярная масса молекулы водорода H_2 складывается из относительных молекулярных масс двух атомов водорода, входящих в ее состав. Относительная молекулярная масса атома водорода приблизительно равна числу нуклонов в его ядре, т. е. единице, так как ядро атома водорода состоит из одного протона. Таким образом, получаем, что относительная молекулярная масса молекулы водорода H_2 равна 2.

35. Атомная масса изотопа углерода ^{12}C равна $20,4 \cdot 10^{-27}$ кг. Для ее нахождения надо число нуклонов в ядре атома углерода (которое равно 12) умножить на атомную единицу массы $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг.

36. В одном моле водорода, как и в одном моле любого другого вещества, содержится $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул. Это число называется числом Авогадро.

37. Один моль изотопа углерода ^{12}C весит 12 г. Чтобы получить этот результат, можно воспользоваться правилом: молярная масса вещества, выраженная в граммах, численно равна его относительной молекулярной массе. Можно так же получить этот результат и с помощью следующих вычислений. Молярная масса M равна произведению молекулярной массы на число Авогадро $6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ (т. е. число молекул в одном моле вещества). Молекулярная масса в свою очередь находится как произведение относительной молекулярной массы μ на значение атомной единицы массы $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг. У изотопа углерода ^{12}C $\mu = 12$. В итоге получаем: $M = 12 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \approx 12 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 12 \text{ г}$.

38. В молекуле кислорода содержится 2 атома. Это видно, например, из его химической формулы O_2 .

39. Больше всего в составе атмосферного воздуха азота N_2 (75 %), затем идет кислород O_2 (23 %). Количество водяного пара H_2O в воздухе зависит от температуры и влажности и не превышает 0,3 %. Содержание углекислого газа CO_2 — 0,05 %.

40. В состоянии термодинамического равновесия температура всех трех тел, находящихся в контакте, одинакова. Благодаря свойству транзитивности теплового равновесия первые два тела будут находиться в тепловом равновесии друг с другом как вначале, так и после их изоляции от третьего, поэтому их температуры останутся прежними — $20^\circ C$.

3.2. Законы идеальных газов

1. Пять основных законов идеального газа — это законы Дальтона, Бойля — Мариотта, Шарля, Гей-Люссака и Авогадро. Комбинируя четыре последних и выбирая определенным образом температурную шкалу, можно получить уравнение состояния идеального газа в виде: $PV/\nu T = \text{const}$, где P — давление; V — объем; ν — количество вещества; T — температура. Первое и второе начала термодинамики, а также закон теплового равновесия (нулевое начало термодинамики) относятся не только к идеальным газам, но и, вообще, к любым термодинамическим системам. Законы Клапейрона — Клаузиуса и Ван-дер-Ваальса принято называть уравнениями, они не относятся к идеальным газам. Уравнение Клапейрона — Клаузиуса описывает фазовое равновесие, а Ван-дер-Ваальса — это уравнение состояния реального газа. Закон Максвелла — Больцмана обычно называют распределением Максвелла — Больцмана. Оно описывает плотность вероятности значений скоростей и координат молекул в потенциальном поле.

2. Закон Дальтона можно сформулировать следующим образом. Суммарное давление смеси газов равно сумме парциальных давлений компонентов: $P = \sum_i P_i$. Таким образом, два газа «не замечают» друг друга, находясь в одном объеме. То же относится и к частям одного и того же газа. Такое поведение является прямым следствием отсутствия взаимодействия между молекулами (точнее, их малости). В случае неидеальных газов таким взаимодействием пренебречь нельзя, и закон Дальтона перестает выполняться. Этот закон назван по имени открывшего его английского химика Джона Дальтона (1766—1844).

3. Закон Бойля — Мариотта (уравнение изотермы) описывается выражением $PV = \text{const}$, где P — давление; V — объем газа. Это соотношение выполняется только в том случае, если температура газа остается постоянной, т. е. в изотермическом процессе. Закон назван именами установивших его английского ученого Роберта Бойля (1627—1691) и французского физика Эдма Мариотта (1620—1684).

4. Закон Шарля в произвольной шкале температур (уравнение изохоры) описывается выражением $P = P_0[1 + \alpha(t - t_0)]$, где P_0 — давление при температуре $t = t_0$; α — коэффициент пропорциональности. Это соотношение выполняется только в том случае, если объем газа остается постоянным, т. е. в изохорическом процессе. Закон назван по име-

ни сформулировавшего его французского физика Жака Шарля (1746—1823).

5. Закон Гей-Люссака в произвольной шкале температур (уравнение изобары) описывается выражением $V = V_0[1 + \alpha(t - t_0)]$, где V_0 — объем газа при температуре $t = t_0$; α — коэффициент пропорциональности. Это соотношение выполняется только в том случае, если давление газа остается постоянным, т. е. в изобарическом процессе. Закон назван по имени установившего его (независимо от Д. Дальтона, также открывшего этот закон) французского физика Жозефа Луи Гей-Люссака (1778—1850).

6. Закон Авогадро можно сформулировать следующим образом. Одинаковые количества газов при одинаковых температуре и давлении занимают одинаковый объем. Это означает, что коэффициенты пропорциональности в уравнениях изобары и изохоры оказываются равными, и выбором определенной шкалы температур можно получить единое уравнение, связывающее параметры состояния идеального газа $PV/\nu T = \text{const}$, где P — давление; V — объем; ν — количество вещества; T — температура. Закон назван по имени итальянского физика и химика Амедео Авогадро (1776—1856).

7. В изотермическом процессе не изменяется температура. Это следует из самого названия процесса. Внутренняя энергия остается постоянной в адиабатическом процессе. Количество теплоты не может изменяться, так как оно характеризует сам процесс, а не состояние системы. Отношение давления к объему в изотермическом процессе изменяется, сохраняется их произведение, если речь идет об идеальном газе.

8. В изобарическом процессе остается постоянным давление. Это следует из самого названия процесса. Произведение объема или давления на температуру в изобарическом процессе изменяются. Сохраняется отношение объема к температуре, если речь идет об идеальном газе.

9. В изохорическом процессе остается постоянным объем. Это следует из самого названия процесса. Произведение объема или давления на температуру в изохорическом процессе изменяются. Сохраняется отношение давления к температуре в идеальном газе.

10. Изотермы идеального газа в координатах P — V представляют собой гиперболы. Это следует из уравнения состояния идеального газа или из уравнения Бойля — Мариотта, записанного в виде $P = \text{const}/V$, где P — давление; V — объем газа.

11. Изохоры идеального газа в координатах P — T представляют собой прямые линии. Это следует из уравнения состояния идеального газа или из уравнения, выражающего закон Шарля: $P = \alpha T$, где α — коэффициент пропорциональности; T — температура, измеренная в абсолютной шкале.

12. Изобары идеального газа в координатах V — T представляют собой прямые линии. Это следует из уравнения состояния идеального газа или из уравнения, выражающего закон Гей-Люссака: $V = \alpha T$, где α — коэффициент пропорциональности; T — температура, измеренная в абсолютной шкале.

13. Закон Гей-Люссака в абсолютной шкале температур определяется выражением $V/T = \text{const}$, где V — объем; T — температура. Остальные соотношения можно исключить исходя из уравнения состояния идеального газа: $PV/T = \text{const}$.

14. Уравнение Клапейрона — Менделеева: $PV = \nu RT$, где P — давление; V — объем; ν — количество вещества; R — универсальная газовая постоянная; T — температура. Оно названо именами французского физика и инженера Бенуа Поля Эмиля Клапейрона (1799—1864), впервые применившего запись объединенного закона Бойля — Мариотта, и русского ученого Дмитрия Ивановича Менделеева (1834—1907), придавшего этому закону современный вид.

15. Идеальным называют газ, подчиняющийся уравнению Клапейрона — Менделеева. Моделью идеального газа является совокупность материальных точек, между которыми отсутствует взаимодействие на дальних расстояниях. В этой модели содержится определенное противоречие, которое заключается в требовании отсутствия взаимодействия между частицами и необходимости такого взаимодействия для установления теплового равновесия. Модель газа, состоящего из жестких не взаимодействующих друг с другом сфер, является хорошим приближением лишь в случае, когда размер сфер мал по сравнению с расстоянием между ними. Уравнение Ван-дер-Ваальса описывает поведение не идеального, а реального газа, закон Больцмана — распределение молекул газа, не обязательно идеального, в поле внешних сил.

16. Поведение реального газа приближается к поведению идеального в пределе низких давлений и высоких температур. В этом случае энергией взаимодействия частиц можно пренебречь по сравнению с их

кинетической энергией. В пределе высоких давлений роль межмолекулярных взаимодействий возрастает и ими нельзя пренебрегать. В пределе низких температур снижается вклад кинетической энергии молекул в энергию системы, что также приводит к необходимости учета межмолекулярных взаимодействий. Критическая изотерма отделяет однофазную область от области температур, при которых в системе могут сосуществовать различные фазы. Поэтому при температуре ниже критической свойства реального газа могут сильно отличаться от свойств идеального, но могут быть и близкими к ним. Таким образом, температура сама по себе не является показателем того, что свойства газа близки к идеальным.

17. Универсальная газовая постоянная равна $8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$. Эта величина является коэффициентом пропорциональности в уравнении состояния идеального газа.

18. Модель идеального газа заключается в том, что размеры молекул принимаются малыми по сравнению с межмолекулярным расстоянием, а энергией взаимодействия молекул можно пренебречь. В виде твердых шариков можно представить лишь молекулы одноатомного газа. Для нахождения калорического уравнения состояния идеального газа, его внутренней энергии, теплоемкости и некоторых других характеристик важна структура молекул. Утверждение «*d*» является определением идеального газа, а не его моделью. Из определения невозможно вывести свойства системы, а на основании модели это можно сделать.

19. Приблизительный размер молекул 10^{-10} м . Среднее расстояние между молекулами в газах при нормальных условиях 10^{-9} м , 10^{-7} м — это примерная длина свободного пробега молекул в газах (также при нормальных условиях), а 10^{-12} м — характерный размер ядра атома.

20. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории: $P = (2/3)n\langle E_k \rangle$, где P — давление; n — концентрация молекул; $\langle E_k \rangle$ — средняя кинетическая энергия движения молекулы.

21. Скорость молекул в газах при комнатной температуре по порядку величины равна 1000 м/с . Этот удивительный результат можно получить, используя основное уравнение молекулярно-кинетической теории $P = (2/3)n\langle E_k \rangle$ и закон Авогадро, согласно которому 1 моль любого газа (который можно считать идеальным) при нормальных условиях занимает объем $22,4 \text{ л}$. Действительно, примем давление, равное атмосферному 10^5 Па , концентрация частиц $n = N/V = N_A/22,4 \cdot 10^{-6} \approx$

$\approx 6 \cdot 10^{23} / 22,4 \cdot 10^{-3} \approx 3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-1}$. Тогда средняя кинетическая энергия движения молекулы $\langle E_k \rangle = (3/2) \cdot 10^5 / 3 \cdot 10^{25} = 5 \cdot 10^{-21} = mv^2/2$, где m — масса; v — средняя скорость молекулы. Выражая скорость из этого выражения, найдем: $v = \sqrt{2\langle E_k \rangle / m} \approx \sqrt{5 \cdot 10^{-21} / 3 \cdot 10^{-27}} \approx \sqrt{1,7 \cdot 10^6} \approx 1300 \text{ м/с}$. Здесь расчет проведен для молекулы воды.

22. Постоянная Больцмана равна: $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$. Эта величина является коэффициентом пропорциональности в соотношении, связывающем среднюю кинетическую энергию движения молекул и температуру идеального газа. Она названа по имени австрийского физика Людвиг Больцмана (1844—1906), установившего закон распределения частиц в потенциальном поле внешних сил, соотношение между энтропией и статистическим весом состояния термодинамической системы, а также другие важные результаты в молекулярной физике.

23. С точки зрения молекулярно-кинетической теории смысл температуры состоит в том, что она пропорциональна средней кинетической энергии молекулы. Температура является параметром состояния системы и характеризует термодинамическое равновесие тела, но в этом заключается ее значение с точки зрения термодинамики. Чем обусловлена температура на микроскопическом уровне, термодинамика объяснить не может.

24. Температура идеального газа и средняя кинетическая энергия его молекул связаны соотношением $\langle E_k \rangle = 3kT/2$, где $\langle E_k \rangle$ — средняя кинетическая энергия движения молекулы; k — постоянная Больцмана; T — температура.

25. Температура, давление и концентрация частиц идеального газа связаны соотношением $P = nkT$, где P — давление; n — концентрация частиц; k — постоянная Больцмана; T — температура.

26. В соответствии с законом Дальтона поведение газа, находящегося в каждом баллоне, можно рассматривать независимо, тогда при изотермическом увеличении объема в два раза, давление первого газа станет $3/2 = 1,5 \text{ Па}$, а второго — $5/2 = 2,5 \text{ Па}$. Складывая эти давления, получим окончательный ответ 4 Па .

27. Чтобы шар поднялся в воздух, необходимо компенсировать действующую на него силу тяжести архимедовой силой. Очевидно, что для этого необходимо в изобарических условиях нагреть воздух внутри

шара так, чтобы он стал занимать объем $1,2 \text{ м}^3$. Тогда масса воздуха внутри шара уменьшится на 200 г и условие равновесия сил будет выполнено. Воспользовавшись соотношением $V_1/T_1 = V_2/T_2$ и приняв $T_1 = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$, получим $T_2 = T_1 V_2/V_1 = 293 \cdot 1,2 = 352 \text{ K} \approx 80^\circ\text{C}$.

28. Согласно закону Авогадро, один моль любого газа при нормальных условиях, т. е. температуре 0°C и давлении $1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па}$, занимает объем 22,4 л.

29. Выразив из уравнения Клапейрона — Менделеева $PV = \nu RT$ количество вещества и подставив числовые значения, получим: $\nu = PV/RT = 10^5/8,31 \cdot 300 \approx 40$ моль, где ν — количество вещества; P — давление; V — объем; R — универсальная газовая постоянная; T — температура.

30. Выразив из уравнения Клапейрона — Менделеева $PV = \nu RT$ количество вещества и подставив числовые значения, получим: $\nu = PV/RT = 5 \cdot 10^5/8,31 \cdot 300 \approx 20$ моль, где ν — количество вещества; P — давление; V — объем; R — универсальная газовая постоянная; T — температура.

31. Молярная масса водорода равна 2 г/моль , так как молекула водорода состоит из двух атомов. Этот элемент находится в первой ячейке таблицы Менделеева. Его атом состоит из одного нуклона (самый распространенный изотоп) и, значит, имеет относительную атомную массу — 1. Разделив общую массу на молярную, получим количество вещества — 6 моль.

32. Молярная масса водорода равна 2 г/моль , так как молекула водорода состоит из двух атомов, относительная атомная масса которых равна единице. Умножив количество вещества на его молярную массу, получим общую массу 10 г.

33. Выразив из уравнения Клапейрона — Менделеева $PV = \nu RT$ количество вещества и подставив числовые значения, получим: $\nu = PV/RT = 10^5/8,31 \cdot 300 \approx 40$ моль, где ν — количество вещества; P — давление; V — объем; R — универсальная газовая постоянная; T — температура. Молярная масса водорода равна 2 г/моль , так как молекула водорода состоит из двух атомов, относительная атомная масса которых равна единице. Умножив количество вещества на его молярную массу, получим общую массу 80 г.

34. Для решения этой задачи удобно сначала найти число молей водорода, а затем, по закону Авогадро, его объем. Молярная масса водорода равна 2 г/моль, так как молекула водорода состоит из двух атомов, относительная атомная масса которых равна единице. Разделив общую массу на молярную, получим количество вещества — 0,5 моль. Зная из закона Авогадро, что один моль любого газа при нормальных условиях занимает объем 22,4 л, найдем, что 0,5 моль водорода при нормальных условиях занимает объем 11,2 л.

35. В данном случае объем газа остается неизменным, поэтому для расчета можно воспользоваться соотношением $P_1/T_1 = P_2/T_2$, выразив из него давление и подставив числовые значения, получим: $P_2 = P_1 T_2 / T_1 = 6 \cdot 253 / 303 = 5$ Па. Таким образом, давление в баллоне уменьшится на 1 Па.

36. Для нахождения средней энергии движения молекулы в этой задаче надо использовать основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов: $P = (2/3)n\langle E_k \rangle$, где P — давление; n — концентрация молекул; $\langle E_k \rangle$ — средняя кинетическая энергия движения молекулы. Выразив из этого уравнения среднюю энергию и подставив числовые значения, найдем: $\langle E_k \rangle = 3P/2n = 3 \cdot 10^5 / 2 \cdot 10^{23} \approx 1,5 \times 10^{-18}$ Дж.

37. Для нахождения средней энергии движения молекулы в этой задаче надо использовать соотношение между температурой идеального газа и средней энергией движения его молекул: $\langle E_k \rangle = 3kT/2$, где $\langle E_k \rangle$ — средняя кинетическая энергия движения молекулы; k — постоянная Больцмана; T — температура. Подставив числовые значения в эту формулу, получим: $\langle E_k \rangle = 3kT/2 = 3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273 / 2 \approx 0,6 \cdot 10^{-20}$ Дж.

38. При данных условиях легко определить массу водорода в баллоне — 40 г. Молярная масса водорода равна 2 г/моль, так как молекула водорода состоит из двух атомов водорода, относительная атомная масса которых равна единице. Разделив общую массу на молярную, получим количество вещества — 20 моль.

39. Для решения этой задачи можно воспользоваться уравнением Клапейрона — Менделеева $PV = \nu RT$, в котором объем и количество вещества выражены через концентрацию частиц: $P = nkT$, где P — давление; n — концентрация частиц; k — постоянная Больцмана; T — температура. Подставив числовые значения в эту формулу, получим: $P = 10^{23} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273 \approx 400$ Па.

3.3. Давление и его измерение

1. Давление — это средняя сила, с которой молекулы газа действуют на поверхность единичной площади. Это определение является конкретизацией общего определения давления как отношения силы к площади для случая силы, обусловленной изменением импульса молекул при их столкновении со стенками сосуда. Мерой средней кинетической энергии движения молекул является температура, а не давление, так как давление определяется не только средней кинетической энергией движения молекул, но и их концентрацией. Давление не может быть средней силой, с которой молекулы газа взаимодействуют между собой, так как у этих величин разные размерности. Оно может являться внешним параметром термодинамической системы, а может и не являться им, в зависимости от того, какие параметры определяются внешними телами в каждом конкретном случае.

2. Атмосферное давление равно приблизительно 10^5 Па, или 760 миллиметров ртутного столба (мм рт. ст.).

3. Вакуум — это состояние газа, при котором длина свободного пробега его молекул больше, чем размеры сосуда. При таком состоянии уже становится не применимым в обычном смысле понятие давления. Отсутствие молекул и вообще частиц и полей называется физическим вакуумом.

4. По принципу действия различают жидкостные, деформационные, ионизационные и термоэлектрические манометры. Принцип действия жидкостных манометров основан на уравнивании давления газа давлением столба жидкости, высоту которого можно измерить, и, зная ее плотность, по этим данным рассчитать давление газа. В деформационных манометрах имеется замкнутый объем, отделенный от внешней среды гибкой мембраной. При возникновении разности давлений внутри и снаружи этого объема происходит деформация мембраны и изменение положения связанного с ней указателя давления. Жидкостные и деформационные манометры используются для измерения давлений, близких к атмосферному. Их нижняя граница измерений лежит около 10^{-1} Па. Работа ионного манометра основана на ионизации газа и измерении силы протекающего в нем тока. При определенных условиях эта сила тока оказывается пропорциональной давлению газа. Рабочий диапазон ионизационных манометров — $10^{-1} \dots 10^{-5}$ Па. В термоэлектрических манометрах (манометрах Пирани) используется пара нагрет-

ватель — термоэлемент. Сигнал от такого прибора зависит от потока теплоты от нагревателя к термоэлементу, который, в свою очередь, зависит от давления газа. Рабочий диапазон термоэлектрических манометров — $10 \dots 10^{-1}$ Па.

5. В СИ давление измеряется в паскалях. Эта единица измерения названа по имени французского ученого Блеза Паскаля (1623—1662). Миллиметры ртутного столба и атмосфера являются внесистемными единицами измерения давления. Одна атмосфера соответствует среднему давлению земной атмосферы на уровне моря. $1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

6. В основе работы гидравлического пресса лежат равенство давления произведению приложенной силы на площадь ее приложения и передача давления в жидкости (закон Паскаля). Благодаря этим свойствам оказывается возможным, воздействуя относительно слабой силой на поверхность поршня малой площади, развивать большую силу на поверхности поршня с большей площадью, связанного с первым поршнем посредством гидравлической системы.

7. Наибольшие динамические давления, полученные искусственным путем, достигаются с помощью взрывов. Прессы позволяют получать большие статические давления, значение которых ограничивается прочностью конструкционных материалов.

8. Давление в эпицентре ядерного взрыва составляет порядка 10^{14} Па. При таких давлениях становится возможным протекание реакции термоядерного синтеза — слияния ядер атомов водорода с образованием ядер атомов гелия. Давление в центре Земли составляет, согласно оценкам, 10^{13} Па, атмосферы вблизи поверхности Земли — 10^5 Па, оказываемое человеком на поверхность Земли — 10^4 Па, в баллоне лампы накаливания создается вакуум (давление порядка 1 Па).

9. Высокое давление используют в работе двигателей внутреннего сгорания, где оно, возникая при сгорании горючей смеси, приводит цилиндры в движение, которое в конечном счете с помощью механизмов передается на рабочий элемент устройства. Высокое давление применяют при формовании для придания изделиям нужной формы. Если давление прикладывается с помощью твердых элементов, то такой способ называется штамповкой. Повышенные давления используют для получения низких температур. Один из способов — процесс Джоуля — Томпсона, в котором происходит охлаждение газа, вытекающего через

малое отверстие из области повышенного давления. В другом способе, применяемом в бытовых холодильниках, газ сжимается до конденсации в жидкость, которая охлаждается до температуры окружающей среды, а затем испаряется в рабочей ячейке, от которой забирается необходимое для испарения тепло.

10. Низкие давления и вакуум используют для сушки материалов и изделий. Этот способ основан на том, что при уменьшении давления нарушается равновесие между жидкой и газообразной фазами. Поток молекул, переходящих из жидкой фазы в газообразную, не компенсируется обратным процессом и в результате процесс испарения ускоряется. На этом же эффекте основано применение низкого давления для охлаждения, так как при испарении происходит поглощение теплоты из окружающей среды. Низкие давления используют для теплоизоляции, так как в отсутствие молекул становится невозможной и теплопередача. В приспособлениях для теплоизоляции — термосах — обычно применяют колбы, между стенками которых создается вакуум. В таких электротехнических изделиях, как кинескопы телевизионных экранов или вакуумные лампы, вакуум необходим для обеспечения возможности движения и управления потоками заряженных частиц. В колбах осветительных ламп накаливания вакуум служит для предотвращения потери энергии при передаче теплоты от раскаленной светящейся нити в окружающую среду. В некоторых типах газоразрядных осветительных ламп низкое давление необходимо для поддержания параметров устойчивого электрического разряда в газе. Для формования изделий пониженное давление также используется в ряде случаев, например при обработке пластмасс.

11. Давление атмосферы внутри батискафа уравнивается давлением столба воды снаружи. Поэтому для его расчета можно использовать формулу $P = \rho gh$, где P — давление; ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения; h — глубина погружения батискафа. Подставив в эту формулу числовые значения, получим: $P = 1000 \times 9,8 \cdot 5 \approx 5 \cdot 10^4$ Па. К этой величине необходимо добавить еще атмосферное давление. Окончательный ответ: 0,15 МПа.

12. Для расчета можно использовать формулу $P = \rho gh$, где P — давление; ρ — средняя плотность воздуха; g — ускорение свободного падения; h — толщина слоя атмосферы. Выражая из этой формулы h и подставляя числовые значения, получим: $h = P/\rho g = 10^5/9,8 \approx 10^4$ м = 10 км.

3.4. Внутренняя энергия газа

1. Внутренняя энергия газа является суммой энергий всех его молекул.

2. Внутренняя энергия газа складывается из кинетической и внутренней энергий движения молекул и энергии их взаимодействия. Под внутренней энергией движения здесь понимается энергия вращательного движения молекулы как целого и колебательного движения составляющих ее атомов. Сюда не включается энергия движения электронов и нуклонов в ядрах атомов, энергия взаимодействия электронов и ядер атомов между собой (включающая энергию химической связи атомов в молекуле) и энергия взаимодействия нуклонов внутри ядер атомов. Внутренняя энергия газа характеризует термодинамическую систему саму по себе, независимо от внешнего окружения. Иными словами, она не зависит от движения газа как целого относительно некоторой системы отсчета и от потенциала внешнего поля.

3. У идеального газа энергия взаимодействия молекул равна нулю, что обусловлено используемой моделью.

4. Теорему о равнораспределении энергии по степеням свободы можно сформулировать следующим образом. В состоянии теплового равновесия на каждую поступательную и вращательную степень свободы любой молекулы в среднем приходится энергия $kT/2$, а на каждую колебательную степень свободы — kT , где k — постоянная Больцмана; T — температура. Особое положение колебательных степеней свободы можно объяснить тем, что при колебаниях происходит циклическое превращение энергии движения в потенциальную энергию. Таким образом, есть основание учитывать колебательные степени свободы дважды, в соответствии с числом различных видов энергии, задействованных в колебательном процессе.

5. Число степеней свободы молекулы — это сложное понятие. Проблема заключается в необходимости учета квантовых эффектов при подсчете числа степеней свободы. Более корректным является ответ «а». Он не такой конкретный, как другие варианты, но в нем обходится проблема «замораживания» степеней свободы. Утверждение: «b» справедливо только для одноатомных молекул. Указанное число равно трем, так как положение молекулы в пространстве, без учета ее структуры (т. е. как материальной точки), задается тремя координатами. При комнатной температуре у молекул «заморожены» колебательные степени свободы,

а у двухатомных молекул еще одна вращательная степень свободы (связанная с вращением вокруг оси симметрии молекулы). Поэтому число степеней свободы одноатомных молекул складывается только из трех степеней свободы поступательного движения. У двухатомных молекул к ним добавляется еще две вращательные степени свободы (всего становится 5 степеней свободы). У нелинейных молекул, содержащих больше двух атомов, «размораживается» третья, вращательная, степень свободы, и общее число степеней свободы становится равным шести. У линейных молекул общее число степеней свободы так же, как и у двухатомных, остается равным пяти. Колебательные степени свободы при комнатной температуре всегда остаются «замороженными».

6. Число степеней свободы N -атомной молекулы ($N > 2$) равно $3N$. Проблема заключается в необходимости учета квантовых эффектов при подсчете числа степеней свободы. Из-за них при низких температурах часть степеней свободы оказывается «замороженной», т. е. их не надо учитывать в расчетах, поэтому практические формулы являются более сложными.

7. Число поступательных степеней свободы молекулы равно 3. Они не «замораживаются» ни при каких условиях и их всегда надо учитывать при подсчете.

8. Число вращательных степеней свободы молекулы равно для атомов — 0, для линейных молекул — 2, для нелинейных молекул — 3. В идеале атом можно считать материальной точкой, которая не может вращаться. Реальные атомы имеют конечные размеры и могут вращаться вокруг трех различных независимых осей. Однако из-за малости размеров (точнее, моментов инерции) эти степени свободы оказываются «замороженными» при не слишком высоких температурах. Многоатомные молекулы в общем случае имеют 3 вращательные степени свободы, так как могут вращаться вокруг трех различных независимых осей. Однако у линейных молекул, по причине малости момента инерции относительно оси симметрии, одна вращательная степень свободы оказывается «замороженной» при не слишком высоких температурах.

9. Число колебательных степеней свободы молекулы равно $3N - 3 - i_r$, где N — число атомов в молекуле; i_r — число вращательных степеней свободы. К этой формуле можно прийти следующим образом. Полное число степеней свободы молекулы складывается из числа поступательных, вращательных и колебательных степеней свободы. Число

колебательных степеней свободы определить труднее, чем остальные, поэтому на практике указанное соотношение и используют с этой целью. Полное число степеней свободы N -атомной молекулы равно $3N$, число поступательных степеней свободы молекулы всегда равно 3, а вращательных степеней свободы определяется в зависимости от температуры и геометрии молекулы. При комнатной температуре число вращательных степеней свободы для атомов — 0, для линейных молекул — 2, для нелинейных молекул — 3.

10. На каждую колебательную степень свободы в среднем приходится энергия kT в отличие от других степеней свободы, на каждую из которых приходится средняя энергия $kT/2$, где k — постоянная Больцмана; T — температура.

11. Полная энергия молекулы находится по формуле $E = (3 + i_r + 2j)kT/2$, где i_r — число вращательных степеней свободы; j — число колебательных степеней свободы. Смысл этой формулы заключается в том, что полная энергия находится как сумма энергий поступательного, вращательного и колебательного движений. Закон распределения энергии по различным видам движения молекулы определяется теоремой о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Сложность определения полной энергии заключается в необходимости учета квантовых эффектов, влияние которых состоит в «замораживании» некоторых степеней свободы (т. е. равенстве их нулю) в определенном диапазоне температур.

12. «Замораживание» степеней свободы молекул заключается в том, что при низких температурах колебательные и вращательные степени свободы не дают вклада в полную энергию молекулы из-за квантовых ограничений. Наименьшая энергия колебаний определяется формулой $E_0 = h\nu/2$, а разность энергий между соседними колебательными состояниями: $\Delta E = h\nu$, где h — постоянная Планка; ν — частота колебаний. Энергия вращательного движения определяется формулой $E_l = l(l+1)h^2/(4\pi^2 I)$, где $l = 0, 1, \dots$; I — момент инерции молекулы. При низких температурах характерной тепловой энергии $kT/2$ не хватает для возбуждения высоких колебательных и вращательных состояний молекулы. Нулевые же колебания осуществляются всегда. Интересно, что три возможные вращательные степени свободы могут иметь резко отличающиеся температуры «замораживания». Это связано с тем, что главные моменты инерции молекулы могут сильно отличаться друг от

друга. Этот эффект особенно выражен у линейных молекул, у которых «замораживается» одна из трех вращательных степеней свободы. Энергия поступательного движения не квантуется и поэтому поступательные степени свободы не «замораживаются».

13. «Замораживание» колебательных степеней свободы происходит при температурах порядка 1000 К. Этот результат можно получить следующим образом. Приравняв характерное значение тепловой энергии величине кванта колебательного движения, получим уравнение для нахождения характерной температуры: $kT_{\text{кол}} = h\nu$, где k — постоянная Больцмана; h — постоянная Планка; ν — частота колебаний. Выразив отсюда температуру, найдем: $T_{\text{кол}} = h\nu/k$. Характерное значение частоты молекулярных колебаний — 10^{14} с^{-1} . Подставив числовые значения, получим: $T_{\text{кол}} = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 10^{14} / 1,38 \cdot 10^{-23} \approx 1000 \text{ К}$.

14. «Замораживание» вращательных степеней свободы происходит при температурах порядка 100 К. Этот результат можно получить следующим образом. Приравняв характерное значение тепловой энергии разности энергий между двумя первыми состояниями вращения, получим уравнение для нахождения характерной температуры: $kT_{\text{вр}} = 4h^2/4\pi^2 I$, где k — постоянная Больцмана; I — момент инерции молекулы. Момент инерции можно оценить с помощью формулы $I = mR^2$, где m — масса атома; R — размер молекулы. Подставляя числовые значения, найдем: $I = 10^{-27} \cdot 10^{-20} = 10^{-47} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, и $T_{\text{вр}} = 40 \cdot 10^{-68} / (10^{-46} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}) \approx 100 \text{ К}$.

15. Внутренняя энергия идеального газа равна произведению средней энергии одной молекулы на число молекул. Энергией взаимодействия молекул можно пренебречь. При таких условиях средняя энергия одной молекулы складывается не только из кинетической энергии ее прямолинейного движения, но также из энергии вращения и колебаний.

16. Теплоемкость газа увеличивается с увеличением числа степеней свободы. Согласно теореме о равномерном распределении энергии по степеням свободы, на каждую поступательную и вращательную степень свободы любой молекулы в среднем приходится энергия $kT/2$, а на каждую колебательную степень свободы — kT , где k — постоянная Больцмана; T — температура, т. е. чем больше степеней свободы молекулы, тем большей энергией она обладает. Энергия идеального газа равна произведению средней энергии одной молекулы на число молекул, а теплоемкость можно определить как отношение приращения энергии газа к

приращению его температуры. Таким образом, можно прийти к выводу о том, что теплоемкость газа увеличивается с увеличением числа степеней свободы.

17. Теплоемкость показывает, какое количество теплоты надо подвести к системе, чтобы изменить ее температуру на один градус. Утверждение о том, что теплоемкость — это отношение изменения температуры системы к количеству теплоты, вызвавшему это изменение, неверно. Оно определяет величину, обратную теплоемкости. Понятие количества теплоты, содержащейся в системе, не имеет смысла, так как количество теплоты характеризует процесс обмена энергией, а не состояние системы. Теплоемкость является характеристикой термодинамической системы (и типа процесса обмена энергией), с другой стороны, количество теплоты, сообщенное системе, может быть произвольным.

18. Удельная теплоемкость — это теплоемкость единицы массы вещества.

19. Молярная теплоемкость — это теплоемкость одного моля вещества.

20. Наиболее часто используются молярные теплоемкости при постоянном объеме и давлении газов. Теплоемкость газа зависит от типа процесса. Основные типы процессов: изохорный, изобарный, изотермический и адиабатический. В изотермическом процессе теплоемкость является неопределенной величиной, а в адиабатическом процессе она равна нулю. Остается два типа процессов, которым соответствуют нетривиальные значения теплоемкостей при постоянных давлении и объеме. Если соотнести теплоемкость с массой или количеством вещества, то эта величина становится характеристикой материала, которую можно использовать как справочное значение при расчете теплоемкостей произвольных систем. В связи с этим возникает классификация теплоемкостей на удельные и молярные. Для газов удобнее использовать молярные, для жидкостей и твердых тел — удельные. Теплоемкость в расчете на одну молекулу, т. е. молекулярную теплоемкость, применять не удобно, так как это число имеет много порядков. Умножив его на постоянную Авогадро, можно получить молярную теплоемкость, имеющую более компактную запись для систем, представляющих наибольший практический интерес.

21. Формула Майера: $c_{\mu P} = c_{\mu V} + R$, где $c_{\mu P}$ — молярная теплоемкость при постоянном давлении; $c_{\mu V}$ — молярная теплоемкость при постоянном объеме; R — универсальная газовая постоянная. Эта формула

устанавливает взаимосвязь между молярными теплоемкостями при постоянных объеме и давлении.

22. Показатель адиабаты — это отношение теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме: $c_P/c_V = \gamma$. Эта величина используется для описания адиабатического процесса в идеальном газе, т. е. процесса, протекающего без подвода теплоты к системе $PV^\gamma = \text{const}$. Так как, согласно формуле Майера, теплоемкость при постоянном давлении всегда больше теплоемкости при постоянном объеме, показатель адиабаты всегда больше единицы.

23. Молярная теплоемкость одноатомного идеального газа при постоянном давлении равна $5R/2$. Прийти к этому результату можно следующим образом. Сначала определим число степеней свободы. У одноатомной молекулы есть только три поступательные степени свободы. Согласно теореме о равнораспределении энергии по степеням свободы, на одну молекулу приходится средняя энергия $3kT/2$. Умножив эту величину на число Авогадро, получим внутреннюю энергию одного моля газа: $U_\mu = 3kTN_A/2 = 3RT/2$. Взяв производную по температуре от этой величины, получим молярную теплоемкость при постоянном объеме: $c_{\mu V} = dU/dT = 3R/2$, далее, воспользовавшись формулой Майера, получим окончательный результат: $c_{\mu P} = c_{\mu V} + R = 3R/2 + R = 5R/2$.

24. Молярная теплоемкость двухатомного идеального газа при постоянном объеме равна $5R/2$. Прийти к этому результату можно следующим образом: сначала определим число степеней свободы. У двухатомной молекулы есть три поступательные и две вращательные степени свободы, не вырожденные при комнатной температуре. Согласно теореме о равнораспределении энергии по степеням свободы, на одну молекулу приходится средняя энергия $5kT/2$. Умножив эту величину на число Авогадро, получим внутреннюю энергию одного моля газа: $U_\mu = 5kTN_A/2 = 5RT/2$. Взяв производную по температуре от этой величины, получим искомую величину — молярную теплоемкость при постоянном объеме: $c_{\mu V} = dU/dT = 5R/2$.

25. Показатель адиабаты двухатомного газа равен 1,4. По определению, показатель адиабаты равен отношению теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме $\gamma = c_P/c_V$. Молярная теплоемкость двухатомного идеального газа при постоянном объеме равна $(5/2)R$. Его теплоемкость при постоянном давлении можно определить по формуле Майера. Она равна $(5/2)R + R = (7/2)R$.

Взяв отношение теплоемкостей, получим искомый результат: $\gamma = 7/5 = 1,4$.

26. Внутренняя энергия одного моля гелия при температуре 20°C равна 3 кДж . Чтобы получить этот результат, надо умножить среднюю энергию одной молекулы на число Авогадро. Так как атом гелия имеет только три поступательные степени свободы, его средняя энергия равна $(3/2)kT$. В итоге получаем: $U_\mu = (3/2)kTN_A = (3/2)RT = 3/2 \cdot 8,3 \times \times 293 \approx 3\text{ кДж}$.

27. Чтобы решить эту задачу, надо умножить среднюю энергию одной молекулы на число Авогадро. Так как молекула водорода при комнатной температуре имеет три поступательные и две вращательные степени свободы, ее средняя энергия равна $(5/2)kT$. В итоге получаем: $U_\mu = (5/2)kTN_A = (5/2)RT = 5/2 \cdot 8,3 \cdot 293 \approx 5\text{ кДж}$.

28. Так как молекула воды при комнатной температуре имеет три поступательные и три вращательные степени свободы, ее средняя энергия равна $3kT = 3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \approx 1,2 \cdot 10^{-20}\text{ Дж}$.

29. Возбуждение колебаний молекулы кислорода начинает происходить при температуре около 500 К , поэтому в условиях задачи нужно учитывать колебательную степень свободы. В целом у молекулы кислорода будет три поступательные, две вращательные и одна колебательная степени свободы и ее средняя энергия равна $(7/2)kT = 7 \cdot 1,38 \times \times 10^{-23} \times 10^3 \approx 10^{-19}\text{ Дж}$. Здесь необходимо учесть, что, согласно теореме о равнораспределении энергии по степеням свободы, на каждую колебательную и вращательную степени свободы приходится энергия $(1/2)kT$, а на каждую колебательную степень свободы — kT .

30. При нормальных условиях показатель адиабаты у кислорода, как и у других двухатомных газов, равен $1,4$.

31. Аргон — это одноатомный газ, поэтому его молярная теплоемкость при постоянном объеме, как и у любого одноатомного газа, равна $(3/2)R = 1,5 \cdot 8,3 \approx 12\text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$. Разделив теплоемкость всего газа на его молярную теплоемкость, получим количество газа в баллоне — 100 моль .

32. Молярная теплоемкость газа находится как произведение числа степеней свободы на $(1/2)R$: $1/2 \cdot 8,3 \approx 4\text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$. При этом каждая колебательная степень свободы должна учитываться дважды. Разделив молярную теплоемкость данного газа на это число, получим 3 . У любой

молекулы всегда присутствуют три поступательные степени свободы. Отсутствие при комнатной температуре вращательных степеней свободы означает, что молекула одноатомная.

33. Молярные теплоемкости связаны между собой формулой Майера $c_{\mu P} = c_{\mu V} + R$, где $c_{\mu P}$ — молярная теплоемкость при постоянном давлении; $c_{\mu V}$ — молярная теплоемкость при постоянном объеме; R — универсальная газовая постоянная. Подставив числовые значения, получим: $c_{\mu P} = 12 + 8 = 20$ Дж/(моль·К).

34. Так как нагрев происходит при постоянном объеме, количество теплоты можно найти, умножив теплоемкость при постоянном объеме (в данном случае молярную теплоемкость) на разность температур. Молярная теплоемкость водорода, как и у любого двухатомного газа, при постоянном объеме равна $(5/2)R$. Тогда количество теплоты: $Q = (5/2)R\Delta T = 2,5 \cdot 8,3 \cdot 20 \approx 400$ Дж.

3.5. Первое начало термодинамики

1. Первое начало термодинамики можно сформулировать следующим образом. Количество теплоты, сообщенное системе, идет на приращение внутренней энергии системы и совершение ею работы над внешними телами. Это положение является формулировкой закона сохранения энергии применительно к тепловым процессам.

2. Уравнение, выражающее первое начало термодинамики: $Q = \Delta U + A$, где Q — количество теплоты, сообщенной системе; ΔU — изменение внутренней энергии системы; A — работа, совершенная системой. Это соотношение выражает закон сохранения энергии применительно к тепловым процессам.

3. В уравнении, выражающем первое начало термодинамики $Q = \Delta U + A$, где Q — количество теплоты, сообщенной системе; ΔU — изменение внутренней энергии системы; A — работа, совершенная системой, приращение энергии ΔU находится как разность энергий конечного и начального состояний $U_2 - U_1$. $A > 0$, если система совершает работу над внешними телами.

4. Первое начало термодинамики выражает закон сохранения энергии применительно к тепловым процессам. Нельзя сказать, что оно выражает закон сохранения энергии в изолированной системе, так как относится не только к ним. Первое начало термодинамики выражает за-

кон взаимного превращения теплоты, внутренней энергии и работы, а не только теплоты и работы.

5. Первенство в формулировке закона сохранения энергии применительно к тепловым процессам отдается немецкому врачу Юлиусу Роберту Майеру (1814—1878). Идея этого закона высказывалась одновременно несколькими учеными, в числе которых немецкий врач и физиолог, ставший впоследствии физиком, — Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц (1821—1894), и английский физик Джеймс Прескотт Джоуль (1818—1889). Немецкий физик Рудольф Юлиус Клаузиус (1822—1888) сформулировал второе начало термодинамики и на его основе дал правильное доказательство теоремы Карно.

6. Различие между работой и теплотой состоит в том, что работа описывает макроскопический процесс обмена механической энергией между системой и внешней средой, а теплота — микроскопический процесс обмена энергией, протекающий при непосредственном соударении молекул. Следствием этого является неравноценность указанных способов обмена энергией. Если работа может быть использована непосредственно и, в частности, полностью превращена в тепловую энергию системы, то теплота не может быть полностью направлена на совершение работы. Они не могут характеризовать энергию системы, так как являются характеристиками процесса обмена энергией с внешним окружением, а не состоянием системы. Работа, в частности, не может совершаться изолированной системой. Она совершается либо системой над внешними телами, либо, наоборот, внешними телами над выделенной термодинамической системой.

7. Калориметрия — это совокупность методов получения и анализа зависимостей тепловых эффектов от температуры. Ее можно определять разными способами, но среди приведенных вариантов указанный является единственно верным. В ее основе лежат экспериментальные методы исследования зависимости температуры системы от времени ее нагрева, а не теоретические методы анализа калорического уравнения состояния или использование законов термодинамики. Разделом физики, в котором изучаются тепловые процессы, протекающие в термодинамических системах, можно назвать термодинамику, а не калориметрию, которая охватывает более узкую область.

8. Калориметрию используют для определения температуры и теплоты фазовых переходов, теплоемкости веществ и некоторых других

характеристик. Например, на основе калориметрических данных можно рассчитать частоты колебаний и моменты инерции молекул.

9. Работа, совершаемая системой в изотермическом процессе, определяется выражением $A_{1,2} = \nu RT \ln(P_1/P_2)$, где ν — количество вещества; R — универсальная газовая постоянная; T — температура; P_2 и P_1 — конечное и начальное давления соответственно. На постоянство температуры здесь указывает отсутствие индексов, обозначающих начальное и конечное состояния. Это соотношение можно получить следующим образом. Запишем выражение для элементарной работы: $\delta A = PdV$, где P — давление; dV — дифференциально малое изменение объема. Чтобы получить полную работу, необходимо сложить ее элементарные приращения: $A_{1,2} = \int_1^2 P(V)dV$. В изотермическом процессе: $P = \nu RT/V$. Подставляя это выражение в интеграл, получим: $A_{1,2} = \int_1^2 \frac{\nu RT}{V} dV = \nu RT \ln(V_2/V_1) = \nu RT \ln(P_1/P_2)$. Известное выражение $A_{1,2} = P(V_1 - V_2)$ позволяет найти работу, совершаемую в изобарном процессе. На постоянство давления здесь указывает отсутствие у его обозначения индексов начального и конечного состояния. Нулю равна работа, совершаемая системой в изохорном процессе. Выражение $A_{1,2} = \nu(V_2 - V_1) \ln(P_1/P_2)$ смысла не имеет. Оно также не отвечает требованию согласования размерностей.

10. Теплоемкость в изотермическом процессе равна $\pm\infty$, точнее, является неопределенной. По определению, теплоемкость — это коэффициент пропорциональности между элементарным количеством теплоты и приращением температуры системы: $\delta Q = CdT$. Из этого соотношения следует, что при нулевом приращении температуры теплоемкость должна принимать бесконечное значение для того, чтобы обеспечить конечность переданного количества теплоты.

11. Уравнение адиабаты: $PV^\gamma = \text{const}$, где P — давление; V — объем; γ — показатель адиабаты. Используя уравнение состояния, его можно записать и в ином виде.

12. Адиабатический процесс — это равновесный процесс, протекающий в теплоизолированной системе, т. е. в системе, которая может обмениваться с окружающими телами механической, но не тепловой энергией. При любом равновесном процессе остается справедливым уравнение состояния, связывающее параметры термодинамической системы.

Воспользовавшись этим уравнением и первым началом термодинамики, можно установить соотношение, связывающее два из трех независимых параметров, описывающих состояние идеального газа, подобно тому, как это может быть сделано для изобарного, изохорного и изотермического процессов. Иными словами, можно получить уравнение адиабаты для идеального газа.

13. При распространении звука в газах приблизительно реализуется адиабатический процесс. Это обусловлено тем, что при быстром чередовании сжатия и разрежения в звуковой волне не успевает происходить теплообмен между соседними областями.

14. Искомое количество энергии находим как количество теплоты, сообщенной телу. Оно равно произведению теплоемкости на разность температур: $Q = C\Delta T = 4200 \cdot 10 = 42 \text{ кДж}$. Теплоемкость системы в данном случае равна удельной теплоемкости, так как масса 1 л воды составляет 1 кг.

15. В этой задаче рассматривается изобарный процесс, так как давление по обе стороны оболочки шара должно быть одинаковым. Снаружи давление равно атмосферному и, значит, внутри оболочки должно быть таким же. Водород является двухатомным газом, поэтому его молярная теплоемкость при постоянном давлении равна $(7/2)R$. Тогда количество теплоты, сообщенной газу, можно найти как произведение его молярной теплоемкости при постоянном давлении на разность температур: $Q = c_{\mu P}\Delta T = (7/2)R\Delta T = 7/2 \cdot 8,3 \cdot 5 \approx 150 \text{ Дж}$.

16. Согласно первому началу термодинамики, работу, совершенную системой, можно найти как разность количества теплоты, сообщенной этой системе и приращения ее внутренней энергии: $A = Q - \Delta U$. В данной задаче количество теплоты можно найти как произведение молярной теплоемкости газа при постоянном давлении на количество вещества и на разность температур: $Q = c_{\mu P} \nu \Delta T$. Изменение внутренней энергии идеального газа равно произведению его молярной теплоемкости при постоянном объеме на количество вещества и на разность температур: $\Delta U = c_{\mu V} \nu \Delta T$. Подставляя эти выражения в исходное соотношение и сделав преобразования, получим: $A = c_{\mu P} \nu \Delta T - c_{\mu V} \nu \Delta T = \nu \Delta T (c_{\mu P} - c_{\mu V}) = \nu \Delta T R = 5 \cdot 20 \cdot 8,3 \approx 0,8 \text{ кДж}$. Здесь использована формула Майера: $c_{\mu P} = c_{\mu V} + R$.

17. Согласно первому началу термодинамики, количество теплоты, сообщенной системе, идет на приращение ее внутренней энергии и

совершение ею работы над внешними телами в соответствии с выражением $Q = \Delta U + A$. Изменение внутренней энергии идеального газа равно произведению его молярной теплоемкости при постоянном объеме на количество вещества и на разность температур: $\Delta U = c_{\mu V} \nu \Delta T$. С другой стороны, количество теплоты можно найти как произведение молярной теплоемкости газа при постоянном давлении на количество вещества и на разность температур: $Q = c_{\mu P} \nu \Delta T$. Из этих соотношений следует, что $\Delta U = Q c_{\mu V} / c_{\mu P} = (5/7)Q$, где использовано соотношение между молярными теплоемкостями двухатомного газа: $c_{\mu V} / c_{\mu P} = 5/7$. Подставив это выражение в формулу, выражающую первое начало термодинамики, и сделав преобразования, окончательно найдем: $Q = (7/2)A = 3,5 \cdot 100 = 350$ Дж.

18. Работу, совершаемую при изотермическом сжатии газа, можно найти по формуле $A_{1,2} = \nu RT \ln(P_2/P_1)$, где ν — количество вещества; R — универсальная газовая постоянная; T — температура; P_2 и P_1 — конечное и начальное давления соответственно. Записав выражения для двух процессов и взяв их отношение, получим: $A_1/A_2 = \ln(P_1/P_0)/\ln(P_2/P_0)$. Сделав преобразования и подставив численные значения, найдем: $A_2 = A_1 \ln(P_2/P_0)/\ln(P_1/P_0) = 100 \cdot 2 \times \times \ln 2 / \ln 2 = 200$ Дж.

19. Работу, совершаемую при изотермическом сжатии газа, можно найти по формуле $A_{1,2} = \nu RT \ln(P_2/P_1)$, где ν — количество вещества; R — универсальная газовая постоянная; T — температура; P_2 и P_1 — конечное и начальное давления соответственно. Записав выражения для двух процессов и взяв их отношение, получим: $A_1/A_2 = \nu_1/\nu_2$. Сделав преобразования и подставив численные значения, найдем: $A_2 = A_1/2 = 100/2 = 50$ Дж.

20. При адиабатическом процессе выполняется соотношение $TV^{\gamma-1} = \text{const}$, где T — температура; V — объем; γ — показатель адиабаты. Этого соотношения в принципе достаточно. Кроме того, чтобы не находить показатель адиабаты и не заниматься возведением в степень, можно использовать уравнение состояния идеального газа, которое остается справедливым в случае адиабатического процесса. Записав это уравнение для начального и конечного состояний и разделив одно на другое, получим: $\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{2}{3} = \frac{T_1}{T_2}$, т. е температура увеличилась в 1,5 раза.

21. Показатель адиабаты равен отношению теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме: $\gamma = c_p/c_v$. Для газов, молекулы которых содержат различное число атомов, есть правила, позволяющие найти значения теплоемкостей и показателя адиабаты. Показатель адиабаты одноатомных газов равен 1,67, двухатомных — 1,4 и многоатомных (с нелинейными молекулами) — 1,33. Таким образом, речь идет о двухатомном газе.

3.6. Реальные газы

1. Отступление от законов идеального газа обусловлено наличием межмолекулярного взаимодействия. Наличие внутренней структуры или, другими словами, многоатомность молекул приводит к появлению вращательных и колебательных степеней свободы. Как показывает опыт, многоатомные газы с достаточной точностью можно считать идеальными в пределе высоких температур и малых давлений, т. е. при обычных ограничениях. При выводе основного уравнения молекулярно-кинетической теории идеальных газов также оказывается не существенной внутренняя структура молекул.

2. Различают поляризационные и дисперсионные межмолекулярные силы притяжения. Гравитационные силы между молекулами тоже действуют, но они пренебрежимо малы по сравнению с указанными. Между молекулами действуют также силы отталкивания, имеющие квантовую природу. Все силы взаимодействия между молекулами имеют электромагнитную природу, но электрическими их не называют, так же как и силы отталкивания не называют квантовыми.

3. Поляризационные силы обусловлены несимметричностью распределения зарядов в нейтральной в целом молекуле. Это силы притяжения между молекулами, так же как и дисперсионные силы.

4. Дисперсионные силы обусловлены появлением наведенной поляризации при сближении молекул.

5. Межмолекулярные силы отталкивания имеют квантовую природу.

6. Потенциал Леннарда-Джонса описывает взаимодействие молекул.

7. Выражение, описывающее потенциал Леннарда-Джонса: $U(r) = a/r^{12} - b/r^6$. Эта функция имеет минимум, соответствующий равновесному расстоянию между молекулами. На больших расстояниях меж-

ду молекулами действуют силы притяжения, а на меньших — силы отталкивания, которые быстро возрастают с уменьшением расстояния.

8. Свойства молекул в уравнении Ван-дер-Ваальса учитываются введением собственного объема молекул и внутреннего давления. Наличие собственного объема молекул приводит к тому, что реально доступный для их движения объем пространства оказывается меньше объема, занимаемого веществом на соответствующую величину. Чтобы учесть этот эффект в уравнении Клапейрона — Менделеева, достаточно подставить скорректированное значение объема. Собственный объем молекул и внутреннее давление можно в принципе определить на основании потенциала Леннарда-Джонса, который, в свою очередь, можно было бы получить в результате расчета сил отталкивания и притяжения между молекулами. В реальности внутреннее давление и собственный объем обычно не вычисляют «из первых принципов», а определяют с помощью экспериментально подобранных параметров, связанных с параметрами потенциала Леннарда-Джонса. Такой подход называют полуэмпирическим.

9. «Внутреннее» давление газа — это давление, действующее на молекулы поверхностного слоя со стороны остальных его молекул. Оно обусловлено наличием сил притяжения между молекулами, действие которых эквивалентно действию некоторого «дополнительного» к действующему со стороны внешних тел давлению.

10. Уравнение Ван-дер-Ваальса: $(P + av^2/V^2)(V/v - b) = RT$, где P — давление; v — количество вещества; V — объем; R — универсальная газовая постоянная; T — температура; a и b — параметры, обусловленные природой газа (потенциалом его межмолекулярного взаимодействия). Выбрать это уравнение из предложенных вариантов можно на основании следующих соображений. Оно должно содержать два параметра a и b в дополнение к параметрам состояния, используемым в уравнении Клапейрона — Менделеева. Количество вещества должно входить в уравнение всегда в комбинации с объемом вида V/v . Это уравнение названо по имени голландского физика Яна Дидерика Ван-дер-Ваальса (1837—1923), разработавшего первую теорию реальных газов.

11. Кроме уравнения Ван-дер-Ваальса существуют уравнения: Дитеричи $P(V - b) = RT \exp\left(-\frac{a}{RTV}\right)$, Бергто $(P + a/TV^2)(V - b) = RT$, Клаузиуса $\left(P + \frac{a}{T(V + c)^2}\right)(V - b) = RT$, Камерлинг-

Оннеса $PV = RT \left(1 + \frac{B_2(T)}{V} + \frac{B_3(T)}{V^2} + \dots \right)$ и другие уравнения, описывающие состояния реальных газов. Здесь все уравнения приведены в расчете на единицу количества вещества. Чтобы перейти к уравнениям для произвольного количества вещества, необходимо везде заменить V на V/v .

12. Критические параметры вещества определяют точку на координатной плоскости, в которой исчезают различия между фазами. При движении по изотерме с температурой выше критической невозможно указать точку, в которой меняется фазовый состав системы. При движении по изотерме с температурой ниже критической система проходит через область термодинамических параметров, в которой наблюдается совместное существование различных фаз. Диапазон значений давления и объема, в котором наблюдается совместное существование различных фаз, сужается при приближении к критической температуре и сходится в точку на координатной плоскости, координаты которой соответствуют критическим значениям параметров термодинамической системы.

13. Критический объем выражается через параметры уравнения Ван-дер-Ваальса соотношением: $V_k = 3b$. Значение каждого критического параметра можно выразить через параметры уравнения Ван-дер-Ваальса. Выражение для критического объема является самым простым. Выражение для критической температуры: $T_k = \frac{8a}{27Rb}$, а для критического давления: $P_k = \frac{a}{27b^2}$.

14. В точке с критическими параметрами состояния равны нулю первая и вторая производные давления по объему, взятые вдоль изотермы. Используя это условие, можно найти выражения, связывающие значения критических параметров и параметры a и b уравнения Ван-дер-Ваальса. Это точка, в которой исчезают различия между фазами. Она характеризуется рядом необычных физических свойств: бесконечными (а не нулевыми), сжимаемостью и теплоемкостью при постоянном объеме, критической опалесценцией и др.

15. На изотермах реальных газов нет участка с положительным значением $\partial P / \partial V$, т. е. первой производной давления по объему, взятой вдоль изотермы. Все остальные участки на изотермах реальных газов существуют.

16. Правило Максвелла устанавливает, как проходит реальная изотерма в двухфазной области. Согласно этому правилу, площади на координатной плоскости, ограниченные реальной изотермой и изотермой Ван-дер-Ваальса и лежащие по обе стороны от реальной изотермы, должны быть равны между собой (рис. 9).

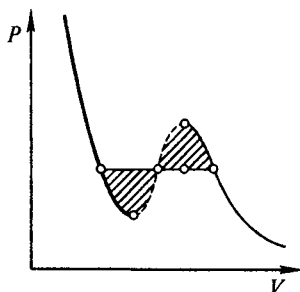


Рис. 9. Ход изотермы реального газа

17. Перегретая жидкость — это жидкость, находящаяся при температуре, превышающей температуру кипения. Жидкость, находящаяся при температуре, превышающей температуру замерзания, или, что то же самое, температуру плавления — это просто жидкая фаза вещества. Вещество, находящееся в области выше критической изотермы, нельзя классифицировать как жидкость или газ, так как в нем исчезают различия между фазами.

18. Переохлажденный пар — это газообразное состояние, сохраняющееся при температуре ниже температуры конденсации.

19. Внутренняя энергия одного моля газа Ван-дер-Ваальса определяется выражением: $U = c_V T - a/V$, где c_V — молярная теплоемкость при постоянном объеме; a — параметр уравнения Ван-дер-Ваальса; V — объем. Это выражение справедливо только для однофазных состояний. Отрицательный знак второго слагаемого в этом выражении обусловлен тем, что при расширении газа работа совершается против сил внутреннего давления. В пределе бесконечно большого объема эта формула переходит в выражение для внутренней энергии идеального газа, как это и должно быть.

20. Эффект Джоуля — Томсона заключается в изменении температуры газа при его прохождении через малое отверстие. Он наблюдается только для реальных газов при определенных значениях параметров состояния и находит широкое техническое применение.

21. Эффект Джоуля — Томсона в идеальном газе отсутствует. Для реальных газов выше точки инверсии он отрицательный и положительный ниже ее. Положительный эффект заключается в охлаждении газа после прохождения через малое отверстие.

22. Температура инверсии эффекта Джоуля — Томсона — это температура, при которой эффект меняет знак.

23. Известны следующие методы охлаждения: испарение жидкости, эффект Джоуля — Томсона, адиабатическое расширение, растворение одного вещества в другом и другие. Здесь перечислены лишь наиболее эффективные, применяющиеся на практике методы.

24. Параметр b уравнения Ван-дер-Ваальса примерно равен объему молекул одного моля вещества. Разделив эту величину на число Авогадро, найдем объем одной молекулы: $38 \cdot 10^{-6} / 6 \cdot 10^{23} \approx 63 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3$. Взяв кубический корень из этой величины, получим характерный размер молекулы азота: $4 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

25. Подставив числовые значения в уравнение Ван-дер-Ваальса и выразив давление, получим: $(P + 1,4 \cdot 10^7)(1 - 0,32) = 10^4 \cdot 8,3 \times \times 273 = 2,3 \cdot 10^7$ и $P = (2,3/0,68 - 1,4) \cdot 10^7 = 2 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

26. Подставив числовые значения в уравнение Ван-дер-Ваальса, получим: $(1 + 0,025) \cdot 10^8 \cdot (1 - 0,27) = 10^4 \cdot 8,3T$ и $T \approx 0,73 \times \times 10^4 / 8,3 \approx 900 \text{ К}$.

27. Чтобы решить задачу, надо воспользоваться формулой для нахождения внутренней энергии реального газа $U = c_V T - a/V$. Теплоемкость ксенона при постоянном объеме: $c_V = (3/2)R = 1,5 \times \times 8,31 \approx 12 \text{ Дж/моль}$. Подставляя числовые значения в исходную формулу, получим: $U = 12 \cdot 300 - 0,41/2 \cdot 10^{-4} \approx 3600 - 2000 \approx 2 \text{ кДж}$.

3.7. Статистическое описание систем многих частиц. Распределения Максвелла и Больцмана

1. Для статистического описания систем многих частиц используются средние значения физических величин, их отклонения от средних значений и функции распределения. Последние являются наиболее универсальным средством статистического описания систем многих частиц. Зная функцию распределения, можно найти среднее значение, отклонение от него и другие характеристики. Далее, по средним значениям можно найти параметры состояния термодинамической системы. Статистический метод является дополнением к термодинамическому. В отличие от последнего, в нем не используются уравнения состояния и термодинамики.

2. Флуктуации — это отклонения физических величин от их средних значений. Величина флуктуации случайным образом изменяется со временем, поэтому для ее характеристики надо выполнить усреднение.

Однако среднее значение флуктуации равно нулю и не может служить ее характеристикой. Флуктуации характеризуются средним значением квадрата отклонения физических величин от их средних значений.

3. Флуктуации возникают из-за дискретной структуры вещества. Так, например, если в некотором объеме содержится три частицы, то на половину этого объема должно приходиться полторы частицы. Физически этого не может быть, так как частиц в некоторой области пространства может быть только целое число. Полторы частицы может приходиться на некоторый объем лишь в среднем. В каждый же конкретный момент времени в этом объеме может быть либо ноль, либо одна, либо две, либо три частицы. Это расхождение между средним и фактическим значением и есть флуктуация. Понятие квантовой неопределенности отличается от понятия флуктуаций. Квантовая неопределенность физических величин обусловлена наличием волновых свойств частиц. Эти свойства проявляются тем сильнее, чем меньше размеры и масса частиц. Флуктуации же возрастают с уменьшением числа частиц в системе.

4. Чем больше частиц в системе, тем меньше флуктуации. Это происходит из-за того, что они обусловлены дискретностью структуры вещества. Чем меньше частиц в системе, тем сильнее проявляется дискретность ее структуры и тем больше флуктуации. Величина флуктуаций монотонно уменьшается с возрастанием числа частиц в системе, поэтому никакого оптимального (по отношению к величине флуктуаций) числа частиц в системе быть не может.

5. Функция распределения случайной величины описывает вероятность, с которой случайная величина принимает то или иное значение. Она является наиболее универсальным средством статистического описания систем многих частиц.

6. Различают дискретные и непрерывные функции распределения. Такая классификация возникает из-за различия в способах статистического описания дискретных и непрерывных величин.

7. Дискретная функция распределения, как можно понять из ее названия, описывает вероятность, с которой случайная величина принимает одно из возможных дискретных значений.

8. Непрерывная функция распределения описывает вероятность, с которой случайная величина может попадать в некоторый интервал воз-

возможных непрерывных значений. Вероятность, с которой случайная величина может иметь одно из возможных непрерывных значений, равна нулю из-за бесконечности числа этих значений.

9. Среднее значение случайной величины с дискретной функцией распределения находится как сумма произведений каждого возможного значения дискретной величины на ее вероятность: $\langle x \rangle = \sum_{i=1}^N x_i W_i$.

10. Среднее значение случайной величины с непрерывной функцией распределения находится как интеграл от произведения случайной величины на ее функцию распределения по области допустимых значений: $\langle x \rangle = \int x \rho(x) dx$.

11. Согласно условию нормировки, вероятность того, что случайная величина имеет хоть какое-то значение из всех допустимых, должна быть равна единице. Оно обычно используется для нахождения числовых параметров функции распределения.

12. У равномерной функции распределения вероятность (или плотность вероятности) постоянна в некотором диапазоне значений переменной и равна нулю вне его. В общем случае вероятность (или плотность вероятности) не может быть равна единице или равномерно возрастать от нуля до единицы во всем допустимом диапазоне значений переменной, так как это условие лишь в исключительных случаях можно согласовать с условием нормировки. Вероятность (или плотность вероятности) равномерно возрастает во всем допустимом диапазоне значений переменной у треугольной функции распределения с максимумом, лежащим на верхней границе допустимого диапазона значений случайной величины.

13. Макросостояние термодинамической системы — это состояние макроскопического тела, заданное с помощью макроскопических параметров. При этом система не обязательно должна быть изолированной.

14. Микросостояние термодинамической системы — это состояние макроскопического тела, охарактеризованное наиболее подробным образом. Наряду с понятием микросостояния, для статистической интерпретации состояния теплового равновесия важную роль играет понятие макросостояния.

15. С точки зрения статистического подхода равновесное состояние термодинамической системы — это макросостояние, которое является

наиболее вероятным. Каждая термодинамическая система может находиться в различных макросостояниях, а каждое макросостояние может быть реализовано различными микросостояниями. Согласно эргодической гипотезе все микросостояния с одинаковой энергией имеют равную вероятность быть реализованными. В итоге система большую часть времени проводит в том макросостоянии, которому соответствует наибольшее число микросостояний. Оно и является равновесным состоянием системы.

16. Наиболее вероятное состояние термодинамической системы — это макросостояние с наибольшим статистическим весом. Статистическим весом называется число микросостояний, которыми может быть реализовано данное макросостояние. Наиболее вероятное состояние термодинамической системы является ее равновесным состоянием.

17. Характеристикой флуктуации термодинамической величины является среднеквадратичное отклонение этой величины от ее среднего значения: $\langle \Delta x^2 \rangle^{1/2}$. Здесь угловые скобки означают операцию усреднения.

18. Относительная флуктуация аддитивной величины обратно пропорциональна квадратному корню из числа молекул, входящих в систему. Относительная флуктуация определяется как отношение среднеквадратичного отклонения к среднему значению физической величины: $\frac{\sqrt{\langle \Delta x^2 \rangle}}{\langle x \rangle}$. Аддитивная величина прямо пропорциональна числу частиц в системе. Примером такой величины является давление. Неаддитивной величиной является температура.

19. Нормальная функция распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right).$$

Эта функция имеет симметричный относительно точки $x = a$ колоколообразный вид. Параметр σ определяет ширину функции распределения (по отношению к ее высоте в максимуме). Величина σ^2 называется дисперсией. Эта функция часто встречается при описании случайных физических величин. Связано это с тем, что она описывает распределение величин, которые сами являются суммой большого числа независимых случайных величин.

20. Среднее значение физической величины с функцией распределения $f(x) = A \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right)$ равно a . Для того чтобы показать это, можно взять интеграл от произведения этой функции на переменную x . Однако проще это можно понять, заметив, что функция распределения является симметричной относительно точки $x = a$. В точке симметрии и будет находиться среднее значение.

21. Равномерная функция распределения в интервале $1 \dots 5$ симметрична относительно точки $x = 3,0$. Эта точка и будет соответствовать среднему значению. Можно легко получить этот результат и непосредственно воспользовавшись формулой для нахождения среднего значения: $\langle x \rangle = \int_1^5 x \cdot 0,25 dx = 0,25 \frac{1}{2} x^2 \Big|_1^5 = 0,25 \frac{25-1}{2} = 0,25 \times 12 = 3,0$. При этом надо знать, что значение функции распределения в интервале $1 \dots 5$ равно $0,25$. Это следует из условия нормировки: $1 = \int_1^5 a dx = ax \Big|_1^5 = 4a \Rightarrow a = 0,25$.

22. Равномерная функция распределения имеет постоянное значение, равное $0,25$ в интервале $1 \dots 5$. Это значение можно легко найти, воспользовавшись условием нормировки: $1 = \int_1^5 a dx = ax \Big|_1^5 = 4a \Rightarrow a = 0,25$.

23. Равномерная функция распределения имеет постоянное значение в интервале $1 \dots 5$, и нулевое — за его пределами. Так как заданная точка лежит за пределами интервала $(1, 5]$, значение функции распределения в этой точке — 0 .

24. Для расчета среднего значения дискретной величины воспользуемся формулой: $\langle x \rangle = \sum_{i=1}^N x_i W_i = 1 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 = 0,1 + 0,2 + 0,6 + 1,6 + 1,0 = 3,5$.

25. Для расчета среднего значения непрерывной величины воспользуемся формулой $\langle x \rangle = \int_1^\infty 2 \frac{dx}{x^2} = -2 \frac{1}{x} \Big|_1^\infty = 2$.

26. Распределение Максвелла описывает распределение частиц по скоростям движения. Это распределение названо по имени установившего его английского физика Джеймса Клерка Максвелла (1831—1879).

27. Распределение Максвелла описывается выражением

$$f(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) 4\pi v^2,$$

где m — масса молекулы; k — постоянная Больцмана; T — температура; v — скорость движения молекулы.

28. Среднеквадратичная скорость частицы определяется соотношением $\langle v^2 \rangle^{1/2} = (3kT/m)^{1/2}$. Выбрать этот ответ можно на основе следующих соображений. Одним из следствий молекулярно-кинетической теории является соотношение между средней кинетической энергией движения молекул и температурой: $E = \frac{3}{2} kT = \frac{mv_{\text{ср.кв}}^2}{2}$. Сделав преобразования, приходим к искомому результату. Кроме среднеквадратичной используют среднюю $\langle v \rangle = (8kT/\pi m)^{1/2}$ и наиболее вероятную скорость частицы $v_{\text{вер}} = (2kT/m)^{1/2}$.

29. Барометрическая формула имеет вид: $n = n_0 \exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right)$, где n — концентрация молекул на высоте h ; n_0 — концентрация молекул на высоте $h = 0$; m — масса молекулы; g — ускорение свободного падения; k — постоянная Больцмана; T — температура.

30. Барометрическая формула описывает зависимость концентрации молекул от высоты над поверхностью земли.

31. Распределение Больцмана описывает распределение частиц в потенциальном поле внешних сил. Эта функция названа по имени австрийского физика Людвиг Больцмана (1844—1906), получившего этот закон, а также другие важные результаты в молекулярной физике.

32. Распределение Больцмана: $n = n_0 \exp\left(-\frac{E_{\text{п}}}{kT}\right)$, где n — концентрация молекул в области, где их потенциальная энергия равна $E_{\text{п}}$, n_0 — нормировочный множитель; k — постоянная Больцмана; T — температура. Эта формула описывает распределение частиц по энергиям в потенциальном поле внешних сил.

33. Распределение Максвелла — Больцмана описывает распределение частиц по энергиям.

34. Распределение Максвелла — Больцмана: $A \exp\left(-\frac{E_{\text{п}} + E_{\text{к}}}{kT}\right)$, где A — нормировочный множитель; $E_{\text{п}}$ и $E_{\text{к}}$ — потенциальная и кинетическая энергии молекулы соответственно; k — постоянная Больцмана; T — температура.

35. Чтобы найти среднеквадратичную скорость движения молекул, надо воспользоваться соотношением $v_{\text{ср.кв}} = (3kT/m)^{1/2}$, где k — постоянная Больцмана; T — температура; m — масса молекулы. В молекуле водорода содержится два атома, масса каждого из которых приблизительно равна атомной единице массы. Подставив числовые значения, получим: $v_{\text{ср.кв}} = \sqrt{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273 / 3 \cdot 10^{-27}} \approx \sqrt{4 \cdot 10^6} \approx 2000 \text{ м/с}$.

36. Согласно соотношению $v_{\text{ср.кв}} = (3kT/m)^{1/2}$, где k — постоянная Больцмана; T — температура; m — масса молекулы, среднеквадратичная скорость движения молекул пропорциональна квадратному корню из температуры, поэтому при увеличении температуры в четыре раза скорость увеличится в корень из четырех, т. е. в два раза, и станет равна $2 \cdot 300 = 600 \text{ м/с}$.

3.8. Второе начало термодинамики

1. Обратимым называют процесс, допускающий возможность возвращения системы в первоначальное состояние, без того, чтобы в окружающей среде остались какие-либо изменения. Понятие обратимости процессов является важным для понимания второго начала термодинамики, которое устанавливает направленность протекания термодинамических процессов или, иными словами, наличие необратимости, когда система не может вернуться в исходное состояние, по крайней мере, без привлечения дополнительных ресурсов извне.

2. Обратимым может быть лишь равновесный процесс, но не всякий равновесный процесс обратим. В качестве необратимого процесса можно указать выравнивание температур двух тел. Если оно протекает достаточно медленно, то процесс является равновесным. Для того же, чтобы вернуть систему в исходное состояние, необходимо затратить работу со стороны внешних сил. Понятие обратимости относится не только к самой системе, но и к ее окружению.

3. Смысл второго начала термодинамики заключается в том, что оно постулирует направление протекания тепловых процессов.

4. Формулировка Клаузиуса второго начала термодинамики: «Теплота не может самопроизвольно переходить от тела менее нагретого к более нагретому».

5. Формулировка Томсона второго начала термодинамики: «Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого было бы

совершение работы за счет охлаждения теплового резервуара». Эта формулировка акцентирует внимание на невозможности осуществления так называемого вечного двигателя второго рода.

6. Вечный двигатель второго рода — это устройство, которое позволяло бы совершать работу только за счет охлаждения теплового резервуара. В этом утверждении слово «только» играет ключевую роль, без него утверждение становится ложным. Идея вечного двигателя второго рода заключается в том, чтобы охлаждать тепловой резервуар и полученную при этом энергию превращать в работу. В таком процессе нет противоречия с законом сохранения энергии. Но он противоречит закону, определяющему направленность процесса передачи энергии (второму закону термодинамики), согласно которому, работа может быть полностью превращена в тепловую энергию (точнее, внутреннюю энергию), а вот тепловая энергия не может быть полностью превращена в работу. Получение работы возможно только в ходе такого процесса, в котором одно тело охлаждается, а другое нагревается и, таким образом, часть внутренней энергии остывающего тела идет на совершение работы, а часть обязательно должна быть передана нагреваемому телу. Другими словами, в тепловом двигателе обязательно должен происходить нагрев некоторого тела (называемого холодильником). Устройство, позволяющее осуществлять процесс, в котором работа совершалась бы за счет охлаждения теплового резервуара, возможно, если не принимать во внимание изменения, которые при этом происходят во внешней среде. Эти изменения в конечном счете являются «компенсацией» за охлаждение теплового резервуара. Устройство, способное совершать работу без потребления энергии из внешних источников, называется вечным двигателем первого рода.

7. Тепловой двигатель можно определить как устройство, в котором совершается циклический термодинамический процесс. Такое определение является кратким, но не вполне исчерпывающим. Под это определение подходит и устройство, называемое холодильником и предназначенное для охлаждения объектов, а не для совершения работы. Важным в этом определении считается упоминание цикличности процесса. Благодаря ему, например, взрыв артиллерийского снаряда нельзя классифицировать как работу теплового двигателя. Процессы, протекающие в двигателях, могут быть и необратимыми, связанными с теплообменом.

8. Не обязательным элементом теплового двигателя является топливо. В тепловом двигателе теплота передается от нагревателя к холодиль-

нику посредством рабочего тела, которое совершает работу в ходе этого процесса. Типичное заблуждение — считать, что работа в тепловом двигателе может совершаться за счет превращения тепловой энергии нагревателя непосредственно в работу. Второе начало термодинамики запрещает такой процесс. В принципе в тепловом двигателе можно использовать энергию какого-либо нагретого тела, хотя на практике такой способ не используется.

9. В тепловом двигателе второго рода упускается из вида необходимость использования холодильника, не в смысле бытового прибора, а в смысле теплового резервуара, которому передается теплота.

10. Цикл Карно состоит из двух изотерм и двух адиабат (рис. 10). Этот цикл имеет особое значение для понимания смысла второго начала термодинамики. Вообще в термодинамике часто используют специальный метод — метод циклов, позволяющий получать термодинамические соотношения. Свое название цикл получил по имени французского инженера Никола Леонара Сади Карно (1796—1832), впервые исследовавшего процессы превращения теплоты в работу.

11. КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, всегда больше, чем КПД любого другого цикла. Он зависит только от температур нагревателя и холодильника. Независимость КПД цикла Карно от свойств рабочего тела обуславливает его особое значение при анализе термодинамических систем. Для системы, совершающей цикл Карно, внешним термодинамическим параметром является только температура, поэтому независимость КПД цикла Карно от свойств рабочего тела

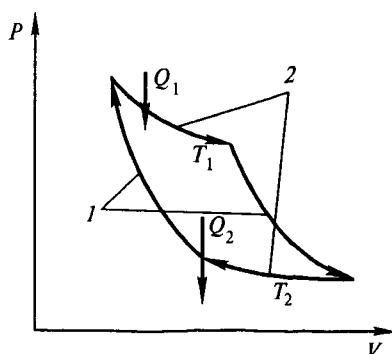


Рис. 10. Цикл Карно:
1 — адиабаты; 2 — изотермы

означает его независимость от всех термодинамических параметров кроме температуры.

12. Вторую теорему Карно можно сформулировать следующим образом: КПД любого цикла не может быть больше, чем КПД цикла Карно. При этом имеется в виду то, что максимальная и минимальная температуры у циклов должны быть одинаковыми. Доказать эту теорему можно на основе рассмотрения любого циклического процесса как совокупности циклов Карно.

13. Любой циклический процесс можно представить как комбинацию циклов Карно, и любой циклический процесс имеет КПД не больше, чем $\eta = 1 - T_{\min}/T_{\max}$, где η — коэффициент полезного действия; $T_{\min}$, $T_{\max}$ — минимальная и максимальная температуры, достигаемые в ходе процесса соответственно. Второе утверждение является следствием первого и первой теоремы Карно. Циклы Карно в комбинации, представляющей произвольный цикл, должны быть бесконечно малыми по площади. Представленный вывод является примером широко используемого при выводе термодинамических соотношений метода циклов.

14. Выражение для КПД цикла Карно: $\eta = 1 - T_{\min}/T_{\max}$, где η — коэффициент полезного действия; $T_{\min}$, $T_{\max}$ — минимальная и максимальная температуры, достигаемые в ходе процесса соответственно. Это утверждение называется первой теоремой Карно.

15. Энтропия — это функция состояния, дифференциал которой связан с элементарным тепловым эффектом в обратимом процессе соотношением $\delta Q = TdS$, где Q — количество теплоты; T — температура; S — энтропия. Это соотношение можно считать определением энтропии как функции состояния термодинамической системы.

16. Энтропия измеряется в джоулях на кельвин, Дж/К, так же как и теплоемкость.

17. Молярная энтропия идеального газа определяется выражением $S(T, V) = C_{\mu V} \ln T + R \ln V$, где S — энтропия; $C_{\mu V}$ — молярная теплоемкость при постоянном объеме; T — температура; R — универсальная газовая постоянная; V — объем. Этот результат можно получить следующим образом. В определении энтропии заменим количество теплоты в соответствии с первым началом термодинамики: $dS = (dU + \delta A)/T$.

Приращение внутренней энергии идеального газа: $dU = C_V dT$, а элементарная работа: $\delta A = PdV = RTdV/V$. Подставив эти соотношения в исходное уравнение, получим: $dS = C_{\mu V} dT/T + R dV/V$, после интегрирования этого выражения получим исходное соотношение.

18. При приближении к абсолютному нулю температуры энтропия системы стремится к конечному пределу. Это утверждение содержится в постулате Нернста, или третьем начале термодинамики. Еще одно утверждение, содержащееся в постулате Нернста, заключается в том, что все процессы, переводящие систему из одного равновесного состояния в другое, при абсолютном нуле температуры протекают без изменения энтропии. Проблема с величиной энтропии при приближении к абсолютному нулю температуры возникла из-за расходимости интеграла, от выражения, определяющего энтропию. Так, для процесса, протекающего при постоянном объеме $S = \int \frac{C_V dT}{T}$, и энтропия должна стремиться к бесконечности при $T \rightarrow 0$, так как, согласно классической теории, теплоемкость вблизи абсолютного нуля температуры является конечной величиной. Этот результат не представляется имеющим физического основания. Постулат Нернста призван устранить это противоречие. В конечном счете его выполнение обусловлено квантовыми эффектами.

19. Энтропия связана со статистическим весом термодинамического состояния системы соотношением $S = k \ln \Omega$, где S — энтропия; k — постоянная Больцмана; Ω — статистический вес состояния термодинамической системы. Статистический вес равен числу микросостояний, которыми можно реализовать данное макроскопическое состояние термодинамической системы.

20. При протекании необратимых процессов энтропия термодинамической системы возрастает. Она никогда не убывает за исключением случая флуктуаций.

21. Энтропия системы, находящейся в равновесном состоянии, достигает максимума. Равновесному состоянию соответствует наибольший статистический вес и максимальное значение энтропии. В соответствии с законом, определяющим направление протекания процессов в термодинамических системах, и законом теплового равновесия при достижении теплового равновесия одновременно достигается максимум энтропии системы. О равенстве энтропии определенному численному значению говорить не корректно без указания уровня отсчета.

22. При протекании обратимых процессов энтропия изолированной термодинамической системы остается постоянной.

23. Для нахождения КПД в этой задаче надо воспользоваться формулой $\eta = 1 - T_{\min}/T_{\max}$. Подставив в нее численные значения, получим: $\eta = 1 - 273/373 \approx 27\%$.

24. В циклическом процессе теплота, полученная от нагревателя, идет на совершение работы и нагрев холодильника: $Q_{\text{н}} = A + Q_{\text{х}}$. Выразив нужную величину и подставив численные значения, получим: $Q_{\text{х}} = Q_{\text{н}} - A = 450 - 100 = 350$ Дж.

25. По определению, КПД равен отношению полезной работы к затраченной энергии. Полезная работа, в данном случае, определяется как разность количеств теплоты, полученной от нагревателя и переданной холодильнику: $A = Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}}$. Тогда КПД: $\eta = (Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}})/Q_{\text{н}} = 200/500 = 0,4 = 40\%$.

26. По определению, КПД равен отношению полезной работы к затраченной энергии. Тогда КПД: $\eta = A/Q_{\text{н}} = 100/500 = 0,2 = 20\%$.

27. Для нахождения температуры в этой задаче надо воспользоваться формулой $\eta = 1 - T_{\text{х}}/T_{\text{н}}$. Сделав преобразования и подставив численные значения, получим: $T_{\text{н}} = T_{\text{х}}/(1 - \eta) = 300/0,5 = 600$ К.

28. По определению, $dS = \delta Q/T$, где S — энтропия; Q — количество теплоты; T — температура. В случае изотермического процесса дифференциал и элементарное приращение можно заменить на приращения соответствующих величин: $\Delta S = \Delta Q/T$. Подставив сюда числовые значения, получим: $\Delta S = 150/300 = 0,5$ Дж/К.

29. В адиабатическом процессе система не обменивается теплотой с внешней средой, следовательно, дифференциал энтропии, определяемый по формуле $dS = \delta Q/T$, где S — энтропия; Q — количество теплоты; T — температура, равен нулю. Полное приращение энтропии складывается из дифференциально малых приращений, и если они равны нулю, то и полное приращение энтропии равно нулю.

30. Таяние льда происходит при постоянной температуре, поэтому для расчета изменения энтропии в данном случае можно использовать формулу $\Delta S = \Delta Q/T = \lambda m/T$, где S — энтропия; Q — количество теплоты; λ — удельная теплота плавления; m — масса; T — температура. Подставив числовые значения, получим: $\Delta S = 334 \cdot 10^3 \times \times 10^{-3}/273 \approx 1,2$ Дж/К.

3.9. Агрегатные состояния. Поверхностное натяжение

1. Особенность газообразного состояния вещества заключается в том, что газ занимает весь предоставленный ему объем.

2. Особенность твердого состояния заключается в том, что тело не изменяет своей формы под действием сил. Границы справедливости этого утверждения являются весьма условными. Необходимо уточнение, что силы не должны быть слишком большими и действовать слишком долго. Тем не менее этот признак является наиболее употребительным на практике. Межмолекулярные расстояния превышают размеры молекул во всех агрегатных состояниях и не могут служить критерием классификации. Не все твердые тела имеют кристаллическую структуру. Кроме кристаллических известны аморфные тела, которые довольно сложно отделить от жидкостей. Кристаллические тела имеют определенную температуру плавления, а аморфные — нет. Таким образом, наличие температуры плавления и кристаллической структуры не является особенностью твердых тел.

3. В расположении молекул газа нет порядка. Другими словами, если рассмотреть функцию вероятности взаимного расположения молекул в зависимости от расстояния между ними, то она будет иметь вид равномерного распределения.

4. У жидкости функция вероятности взаимного расположения молекул в зависимости от расстояния между ними будет обнаруживать максимумы на малых расстояниях и иметь вид равномерного распределения на больших. В этом случае говорят о наличии ближнего порядка.

5. У кристаллических тел функция вероятности взаимного расположения молекул будет иметь ряд максимумов на малых и больших расстояниях. При этом говорят о наличии ближнего и дальнего порядка в расположении молекул.

6. Явление поверхностного натяжения вызвано тем, что на молекулы, находящиеся вблизи поверхности, со стороны других молекул действуют нескомпенсированные силы (рис. 11), которые стремятся заставить их уйти в глубь жидкости и тем самым сократить площадь поверхности. В состоянии равновесия они должны каким-то способом компенсироваться.

7. Коэффициент поверхностного натяжения — это работа, которую нужно затратить, чтобы увеличить поверхность жидкости на единицу площади.

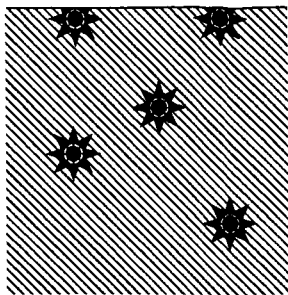
8. Коэффициент поверхностного натяжения зависит от природы жидкости и газовой фазы, температуры и наличия примесей. Эта величина характеризует свойства самого вещества. Ее значения можно найти в справочниках и использовать для решения конкретных задач.

9. Коэффициент поверхностного натяжения измеряется в ньютонах на метр, Н/м, используются также паскаль-метры, Па·м. Численные значения при этом остаются те же самые.

10. Коэффициент поверхностного натяжения пропорционален параметру a в уравнении Ван-дер-Ваальса. Этот параметр характеризует внутреннее давление газа, обусловленное действием сил притяжения между молекулами поверхностного слоя и внутренней области вещества, т. е. теми же причинами, которые вызывают явление поверхностного натяжения. Параметр b уравнения Ван-дер-Ваальса характеризует собственный объем молекул и к возникновению поверхностного натяжения отношения не имеет.

11. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) уменьшают поверхностное натяжение. Поверхностно-активными называют вещества, которые концентрируются в поверхностном слое жидкости. Происходит это потому, что такое состояние оказывается энергетически более выгодным. Силы, действующие на молекулы ПАВ со стороны молекул внутренней области жидкости, меньше, чем силы, действующие на другие молекулы. Существуют некоторые вещества, увеличивающие поверхностное натяжение (сахар, соль). Они не концентрируются вблизи поверхности и к ПАВ не относятся.

12. Силу поверхностного натяжения, действующую на подвижный элемент контура, ограничивающего поверхность жидкости, можно определить по формуле $f = 2\sigma l$, где σ — коэффициент поверхностного натяжения; l — длина контура. Эта формула справедлива лишь для прямолинейного элемента.



Р и с. 11. Возникновение силы поверхностного натяжения

13. Формула Лапласа позволяет определить величину избыточного давления под искривленной поверхностью жидкости.

14. Формула Лапласа: $\Delta P = \sigma(1/R_1 + 1/R_2)$, где ΔP — избыточное давление; σ — коэффициент поверхностного натяжения; R_1 и R_2 — радиусы кривизны поверхности, измеренные в двух перпендикулярных друг другу плоскостях.

15. Условие равновесия для границы трех фаз: $\sigma_{13} = \sigma_{23} + \sigma_{12} \cos \varphi$, где σ_{13} — коэффициент поверхностного натяжения на границе твердое тело—газ; σ_{23} — коэффициент поверхностного натяжения на границе твердое тело—жидкость; σ_{12} — коэффициент поверхностного натяжения на границе жидкость—газ; φ — краевой угол (рис. 12).

16. Краевой угол — это угол, образованный поверхностями жидкости и твердого тела при их соприкосновении. Он отсчитывается через область, занятую жидкостью, между касательными к поверхностям твердого тела и жидкости в точке касания их границ. Краевой угол используется для нахождения высоты подъема жидкости в капилляре и определяется коэффициентами поверхностного натяжения на границах раздела твердой, жидкой и газообразной фаз.

17. Если $\varphi < \pi/2$, то говорят, что жидкость смачивает твердое тело, если $\varphi > \pi/2$, то — нет. При $\varphi = 0$ имеем полное смачивание, если $\varphi = \pi$ — полное несмачивание.

18. Высота подъема жидкости в капилляре описывается формулой $h = \frac{2\sigma \cos \varphi}{\rho g R}$, где h — высота подъема жидкости в капилляре; σ — коэффициент поверхностного натяжения; φ — краевой угол; ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения; R — радиус капилляра (рис. 13).

19. Чтобы оторвать кольцо от поверхности воды, необходимо преодолеть действие силы поверхностного натяжения $f = 2\sigma l$, где f — сила поверхностного натяжения; σ — коэффициент поверхностного натяжения; l — длина окружности кольца. Коэффициент 2 в этой формуле возникает из-за того, что необходимо учитывать действие двух поверхностей по обе стороны кольца. Подставляя в эту формулу числовые значения, найдем: $f = 2 \cdot 76 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot 10^{-2} \approx 10^{-2}$ Н.

20. Работу можно найти как произведение силы на путь. В данной задаче роль силы играет сила поверхностного натяжения, определяемая по формуле $f = \sigma l$, где f — сила поверхностного натяжения; σ —

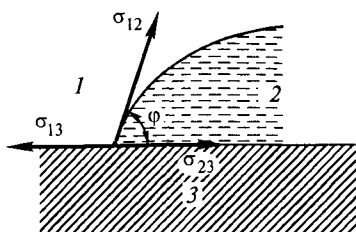


Рис. 12. Условие равновесия для границы трех фаз:

1 — газ; 2 — жидкость; 3 — твердое тело

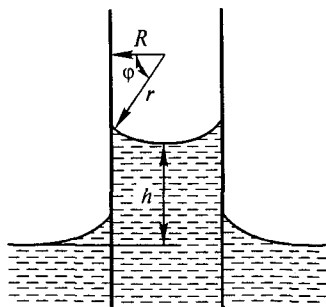


Рис. 13. Уровень жидкости в капилляре

коэффициент поверхностного натяжения; l — длина элемента контура, ограничивающего поверхность. Для простоты представим поверхность ограниченной контуром, имеющим форму прямоугольника с одной подвижной стороной длиной l . Тогда работа: $A = \sigma l \Delta x = \sigma \Delta S = \sigma \Delta S$, где ΔS — искомое изменение площади поверхности. Выразив ее через работу и подставив численные значения, получим: $\Delta S = A/\sigma = 1/76 \times 10^{-3} \approx 13 \text{ м}^2$.

21. Избыточное давление под искривленной поверхностью жидкости можно найти по формуле Лапласа: $\Delta P = \sigma(1/R_1 + 1/R_2)$, где ΔP — избыточное давление; σ — коэффициент поверхностного натяжения; R_1 и R_2 — радиусы кривизны поверхности, измеренные в двух перпендикулярных друг другу плоскостях. В данной задаче: $R_1 = R_2$. Подставив числовые значения, получим: $\Delta P = 2\sigma/R = 2 \cdot 76 \cdot 10^{-3}/10^{-6} \approx 1,5 \cdot 10^5 \text{ Па} \approx 0,15 \text{ МПа}$.

22. Для решения этой задачи надо использовать формулу $h = \frac{2\sigma \cos \varphi}{\rho g R}$, где h — высота подъема жидкости в капилляре; σ — коэффициент поверхностного натяжения; φ — краевой угол; ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения; R — радиус капилляра. Подставляя в эту формулу числовые значения, получим: $h = 2 \cdot 76 \cdot 10^{-3}/2 \cdot 10^3 \times 9,8 \approx 7,5 \text{ мм}$.

23. Формула, описывающая равновесие на границе трех фаз: $\sigma_{13} = \sigma_{23} + \sigma_{12} \cos \varphi$, где σ_{13} — коэффициент поверхностного натяжения на границе твердое тело—газ; σ_{23} — коэффициент поверхностного натяжения на границе твердое тело—жидкость; σ_{12} — коэффициент поверхностного натяжения на границе жидкость—газ; φ — краевой угол.

Выражая из этой формулы косинус краевого угла и подставляя числовые значения, получим: $\cos \varphi = (\sigma_{13} - \sigma_{23})/\sigma_{12} = (0,2 - 0,1)/0,06 \approx 0,17$.

3.10. Фазовые переходы

1. Фазовый переход первого рода сопровождается скачкообразным изменением какого-либо свойства вещества, например агрегатного состояния или кристаллической структуры. В фазовом переходе второго рода свойства вещества изменяются непрерывным образом, но на первых производных физических величин по термодинамическим параметрам возникает разрыв. Примером могут служить переход металлов в сверхпроводящее состояние и жидкого гелия в сверхтекучую фазу. Превращение вещества из твердого состояния в жидкое не всегда можно назвать фазовым переходом первого рода, например плавление аморфного тела таким переходом не является. В связи с этим твердое состояние аморфного тела не относят к твердому агрегатному состоянию, а рассматривают как вязкую жидкость.

2. Кристаллизация — это переход вещества из жидкого или газообразного состояния в твердое, точнее сказать, в кристаллическое, а переход аморфного вещества из жидкого состояния в твердое — затвердевание. Переход одного кристаллического состояния в другое называется фазовым переходом, а из твердого состояния в жидкое — плавлением. Непосредственный переход твердого состояния в газообразное, минуя жидкую фазу, тоже возможен. Он называется возгонкой, или сублимацией.

3. Особенность плавления кристаллического твердого тела заключается в том, что подвод теплоты в этом процессе происходит при постоянной температуре. Кристаллическое тело непосредственно переходит в жидкую фазу, без промежуточного аморфного состояния, которое обычно возникает при быстром охлаждении, когда кристаллическая структура не успевает сформироваться. Оно является нестабильным и со временем переходит в кристаллическое.

4. При значениях термодинамических параметров, соответствующих точкам кривой фазового равновесия, в системе сосуществуют две фазы. Единственным исключением является тройная точка, в которой сосуществуют три фазы. В этой точке сходятся кривые плавления, испарения и сублимации, разделяющие области существования твердой, жидкой и газообразной фаз (рис. 14). Участок изотермы Ван-дер-Ваальса в двухфазной области соответствует сосуществованию только

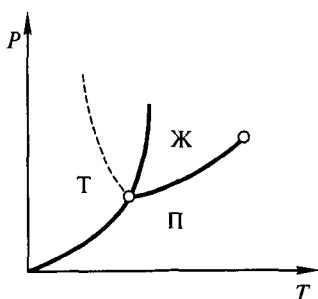


Рис. 14. Кривые фазового равновесия

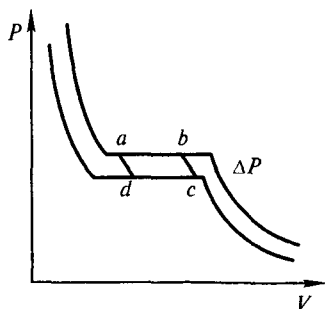


Рис. 15. К выводу уравнения Клапейрона — Клаузиуса

жидкой и газообразной фаз, тогда как понятие кривой фазового равновесия применимо также и к областям сосуществования твердой и жидкой (кривая плавления) и твердой, и газообразной (кривая сублимации) фаз.

5. Уравнение Клапейрона — Клаузиуса описывает кривую фазового равновесия. Кривая плавления является лишь одной из нескольких видов кривых фазового равновесия, поэтому утверждение о том, что уравнение Клапейрона — Клаузиуса описывает кривую плавления, является недостаточно полным.

6. Уравнение Клапейрона — Клаузиуса: $dP/dT = \lambda/T(V_2 - V_1)$, где P — давление; T — температура; λ — теплота фазового перехода; $V_2 - V_1$ — изменение объема вещества при переходе из первой фазы во вторую. Получить это соотношение можно с помощью метода циклов. Для этого нужно рассмотреть цикл Карно, построенный на близких изотермах в двухфазной области (рис. 15). Уравнение Клапейрона — Клаузиуса определяет ход кривой фазового равновесия. Оно названо именами французского физика и инженера Бенуа Поля Эмиля Клапейрона (1799—1864), впервые установившего это соотношение, и немецкого физика Рудольфа Юлиуса Клаузиуса (1822—1888), получившего такой же результат на основе второго начала термодинамики.

7. Центр кристаллизации — это точка, в которой начинается рост кристалла. Центрами кристаллизации могут быть инородные примеси или самопроизвольно образовавшиеся зародыши твердой фазы. Отсутствие центров кристаллизации затрудняет процесс, и вещество может охладиться до температуры ниже температуры плавления. Такое состояние называют переохлажденной жидкостью. Если центров

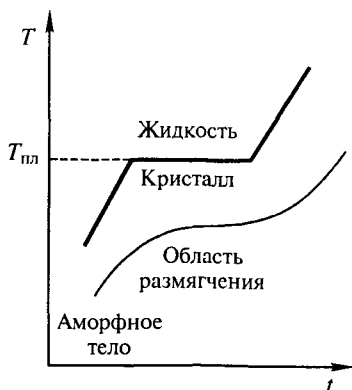


Рис. 16. Кривые плавления кристаллического и аморфного твердых тел

кристаллизации много, твердая фаза оказывается состоящей из большого числа мелких кристаллов. Такая структура называется поликристаллической. Чтобы получить монокристалл, кристаллизацию проводят на специально внесенном небольшом затравочном кристалле.

8. Различие между кристаллическими и аморфными телами проявляется в способе их перехода в жидкое состояние. У аморфных тел в отличие от кристаллических нет четко выраженной температуры плавления. У них есть область размягчения, в которой температура при подводе теплоты изменяется от-

носительно слабо (рис. 16). В отношении других физических свойств между кристаллическими и аморфными веществами нет резких различий.

9. Температура размягчения — это температура, характеризующая область перехода аморфного тела из твердого состояния в жидкое. Понятие температуры размягчения отличается от понятия температуры плавления кристаллических тел. Это связано с отличием в способе перехода кристаллических и аморфных тел в жидкое состояние.

10. Температура плавления вещества зависит от внешних условий (давления и др.) и содержания примесей. Это характеристика вещества, которая указывается в справочных таблицах.

11. Диаграмма плавкости — это диаграмма зависимости температуры плавления смеси от ее состава.

12. В эвтектической точке находятся в равновесии твердые и жидкие компоненты смеси. Она располагается на диаграмме плавкости.

13. Тройная точка — это точка сосуществования твердой, жидкой и газообразной фаз. В этой точке сходятся кривые фазового равновесия на диаграмме состояния.

14. Возгонка — это переход из твердой в газообразную фазу, минуя жидкую. Этот процесс также называется сублимацией.

15. Диаграмма состояния — это кривая в координатах P — T , точки которой соответствуют двухфазным состояниям вещества. Она состоит из нескольких кривых фазового равновесия.

3.11. Явления переноса

1. К явлениям переноса в молекулярной физике относятся теплопроводность, диффузия и внутреннее трение (вязкость). В этих процессах происходит перенос энергии теплового движения, частиц вещества и импульса движения молекул соответственно. Они обусловлены одной причиной — наличием хаотического теплового движения молекул и имеют общие черты, например, пропорциональность потоков теплоты и вещества, а также силы сопротивления движению макроскопических тел, градиентам некоторых величин. Понятие температуропроводности существует, но отдельного физического явления не представляет. Эта величина характеризует скорость выравнивания температуры при нестационарной теплопроводности. Передача давления не связана с тепловым движением молекул, это скорее механический, чем молекулярный эффект.

2. Теплопроводность — это процесс переноса тепловой энергии, обусловленный хаотическим движением молекул. При взаимодействиях молекулы передают друг другу кинетическую энергию, что приводит к установлению термодинамического равновесия. Если имеется источник теплоты, то от него к ближайшим молекулам постоянно будет передаваться кинетическая энергия. Эти молекулы, в свою очередь, будут передавать ее молекулам более отдаленных от источника слоев. В итоге может установиться стационарное состояние системы, при котором будет существовать градиент температуры и поток тепловой энергии.

3. Диффузия — это обусловленное тепловым движением молекул проникновение одних веществ в объем, занятый другими веществами. Одно из положений молекулярно-кинетической теории утверждает, что молекулы находятся в постоянном хаотическом движении. Об этом свидетельствует, например, броуновское движение малых частиц в жидкости, хотя это движение является хаотическим и среднее положение молекулы не изменяется. При наличии избытка молекул определенного вида в некоторой области пространства оказывается, что через некоторое время они проникают и в соседние области, таким образом происходит постепенное выравнивание концентраций молекул в объеме.

4. Внутреннее трение можно определить, как свойство реальной жидкости оказывать сопротивление перемещению ее слоев друг относительно друга. Этот эффект обязан своим происхождением процессу обмена импульсами между молекулами жидкости или газа. Молекулы, находящиеся вблизи движущегося предмета, получают от него дополнительный импульс. В свою очередь они передают его молекулам более отдаленных слоев. Согласно третьему закону Ньютона, ускоряемые молекулы оказывают тормозящее действие на движущийся предмет.

5. Потоки теплоты возникают в веществе из-за наличия градиентов температуры. Сама высокая температура не является причиной их появления. При наличии пространственной неоднородности параметров состояния потоки теплоты в системе могут возникать, но не всегда. Например, в поле внешних сил концентрация молекул может быть неоднородной, и поток теплоты при этом отсутствует. Также и наличие градиентов концентрации приводит к возникновению потоков вещества, не связанных с потоками тепловой энергии.

6. Плотность потока теплоты — это количество тепловой энергии, проходящей через площадь единичного сечения в единицу времени. Это стандартное определение плотности потока физической величины. В нем должно содержаться указание на отнесение потока к площади поверхности, через которую он протекает и промежутку времени.

7. Плотность потока теплоты измеряется в ваттах на метр квадратный.

8. Плотность потока теплоты связана с градиентом температуры соотношением: $\mathbf{j} = -\lambda \nabla T$, где $\mathbf{j}$ — плотность потока теплоты; λ — коэффициент теплопроводности; T — температура.

9. Общий вид уравнения теплопроводности: $\rho c_V \partial T / \partial t = -(\nabla \cdot \mathbf{j}) + q(x, y, z)$, где ρ — плотность; c_V — удельная теплоемкость при постоянном объеме; T — температура; $\mathbf{j}$ — плотность потока теплоты; q — мощность выделения (или поглощения) теплоты. Это выражение содержит наибольшее число слагаемых: $\rho c_V \partial T / \partial t$ — изменение температуры элемента во времени; $-(\nabla \cdot \mathbf{j})$ — пространственные изменения теплового потока; q — мощность выделения/поглощения теплоты.

10. Стационарные задачи на расчет теплопроводности отличаются от нестационарных тем, что в уравнениях, описывающих стационарный

процесс, нет явной зависимости от времени. На это указывает само название класса задач.

11. Температура в плоской бесконечной однородной пластине толщиной l и температурами T_1 и T_2 на границах линейно зависит от координаты. Действительно, в силу закона сохранения энергии, при стационарном процессе поток теплоты должен быть постоянен по толщине пластины. Уравнение, связывающее плотность потока теплоты с градиентом температуры, в одномерном случае имеет вид $j = -\lambda dT/dx$, где j — плотность потока теплоты; λ — коэффициент теплопроводности; dT/dx — градиент температуры. Согласно этому уравнению, постоянство потока возможно лишь при линейной зависимости температуры от координаты.

12. Наибольшая теплопроводность наблюдается у металлов. Во всех других указанных типах веществ теплопроводность осуществляется благодаря передаче энергии теплового движения между молекулами. В металлах, в дополнение к этому, существует электронный механизм теплопроводности, при котором тепловая энергия передается в результате взаимодействия электронов. Он эффективнее первого, так как масса электронов меньше, чем молекул, поэтому движутся они быстрее, а коэффициент теплопроводности пропорционален средней скорости движения частиц.

13. Коэффициент теплопроводности — это коэффициент пропорциональности между плотностью потока теплоты и градиентом температуры.

14. Коэффициент теплопроводности измеряется в ваттах на метр-кельвин. Прийти к этому результату можно в результате анализа размерности выражения, связывающего плотность потока теплоты с градиентом температуры: $j = -\lambda \nabla T$. Плотность потока теплоты измеряется в ваттах на метр квадратный ($\text{Вт}/\text{м}^2$), а градиент температуры в кельвинах на метр ($\text{К}/\text{м}$). Сделав преобразования, можно найти единицу измерения коэффициента теплопроводности: $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

15. Причиной диффузии является наличие градиента концентрации вещества. Тепловое движение молекул и их взаимодействие сами по себе не приводят к возникновению диффузии, без наличия градиента концентрации. Они являются существующими, всегда необходимыми условиями возникновения этого эффекта.

16. Термодиффузия — это возникновение градиентов концентрации при наличии градиентов температуры. Суть явления заключается в том, что в смеси двух газов с разной молекулярной массой происходит разделение веществ, при наличии в системе потока теплоты. Этот эффект используется в технике разделения веществ. Первоначально при нагревании перенос молекул происходит из области с большей в область с меньшей температурой в соответствии с газовыми законами. В дальнейшем этот поток компенсируется диффузионным потоком и система приходит в стационарное состояние.

17. Различают концентрационную, термо- и самодиффузию. Концентрационная диффузия — это диффузия примеси, самодиффузия — это диффузия молекул вещества в самом этом веществе, а термодиффузия — это возникновение градиентов концентрации при наличии градиентов температуры.

18. Закон Фика описывается формулой: $\Delta M = -D \frac{dc}{dx} S \Delta t$, где ΔM — масса перенесенного вещества; D — коэффициент диффузии; dc/dx — производная от массовой концентрации по координате; S — площадь поверхности перпендикулярной потоку вещества; Δt — промежуток времени. Этот закон описывает случай диффузии в одном направлении. Его также можно записать в виде: $j_M = -D \frac{dc}{dx}$, где j_M — плотность диффузионного потока. Закон назван по имени установившего его немецкого физиолога Адольфа Фика (1829—1901).

19. Коэффициент диффузии — это коэффициент пропорциональности между диффузионным потоком и градиентом концентрации.

20. Коэффициент диффузии измеряется в метрах квадратных на секунду. Прийти к этому результату можно в результате анализа размерности величин, фигурирующих в законе Фика: $j_M = -D \frac{dc}{dx}$. Плотность диффузионного потока измеряется в килограммах на метр квадратный-секунду ($\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$), а градиент концентрации — в килограммах на метр в четвертой степени ($\text{кг}/\text{м}^4$). Сделав преобразования, можно найти единицу измерения коэффициента диффузии: $\text{м}^2/\text{с}$.

21. Вязкость — это то же самое, что и внутреннее трение.

22. Формула Ньютона $f = \eta \frac{dv}{dx}$, где f — сила, действующая на единицу площади; η — коэффициент вязкости; dv/dx — градиент

скорости. Эта формула описывает явление вязкого трения. Здесь надо отметить, что сила действует в направлении, перпендикулярном направлению изменения скорости (рис. 17), в этом состоит отличие от остальных явлений переноса.

23. Коэффициент вязкости — это коэффициент пропорциональности между силой внутреннего трения и градиентом скорости.

24. Коэффициент вязкости измеряется в паскаль-секундах. Прийти к этому результату можно в результате анализа размерности величин, фигурирующих в формуле Ньютона $f = \eta \frac{dv}{dx}$. Сила, приходящаяся на единичную площадь, измеряется в паскалях (Па), а градиент скорости в обратных секундах (с^{-1}). Сделав преобразования, можно найти единицу измерения коэффициента вязкости: Па·с.

25. С увеличением температуры вязкость жидкостей, как правило, уменьшается.

26. С увеличением температуры вязкость газов, как правило, увеличивается. Связать это можно с увеличением скорости движения молекул, пропорционально которой увеличивается коэффициент вязкости.

27. Длина свободного пробега обратно пропорциональна произведению концентрации на площадь сечения молекул. Действительно, с увеличением концентрации и площади сечения молекул должна увеличиваться частота столкновений между ними, а значит, уменьшаться длина свободного пробега.

28. Коэффициент диффузии связан со средними значениями микроскопических параметров газа соотношением: $D = (1/3)lv_{\text{ср}}$, где l — длина свободного пробега; $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость теплового движения молекул.

29. Коэффициент теплопроводности связан со средними значениями микроскопических параметров газа соотношением $\lambda = (1/3)lv_{\text{ср}}\rho c_V$, где l — длина свободного пробега; ρ — плотность; c_V — удельная теплоемкость при постоянном объеме; $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость теплового движения молекул.

30. Коэффициент вязкости связан со средними значениями микроскопических параметров газа соотношением $(1/3)lv_{\text{ср}}\rho$, где l — длина

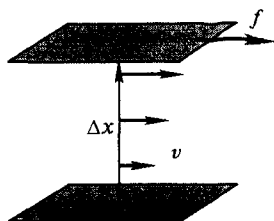


Рис. 17. Возникновение силы вязкого трения

свободного пробега; ρ — плотность; $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость теплового движения молекул.

31. Для решения этой задачи необходимо воспользоваться одномерным уравнением теплопроводности: $j = -\lambda dT/dx$, где j — плотность потока теплоты; λ — коэффициент теплопроводности; dT/dx — градиент температуры. Подставив численные значения, получим: $j = 0,02 \times 20/0,1 = 4 \text{ Вт/м}^2$.

32. Чтобы решить эту задачу, воспользуемся законом Фика: $j = -Ddc/dx$, где j — поток количества вещества; D — коэффициент диффузии; dc/dx — градиент молярной концентрации. Подставив численные значения, получим: $j = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1 = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2 \cdot \text{с} = 1,5 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$.

33. Для решения этой задачи необходимо воспользоваться уравнением Ньютона: $f = -\eta dv/dx$, где f — сила, приходящаяся на единицу площади; η — коэффициент вязкости; dv/dx — градиент скорости. Подставив численные значения, получим: $f = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 4 = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 8 \text{ мН}$.

34. Коэффициент диффузии газа связан со средними значениями микроскопических параметров, длиной свободного пробега l и средней скоростью движения молекул $v_{\text{ср}}$ соотношением $D = (1/3)lv_{\text{ср}}$. Подставив численные значения, получим: $D = (1/3) \cdot 0,9 \cdot 10^{-7} \cdot 400 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с} = 0,12 \text{ см}^2/\text{с}$.

35. Длина свободного пробега обратно пропорциональна концентрации молекул, которая, в свою очередь, прямо пропорциональна давлению. Поэтому длину свободного пробега в данной задаче можно найти из соотношения: $l = l_0 P_0/P$, где l — длина свободного пробега при давлении P ; l_0 — длина свободного пробега при давлении P_0 . Подставив численные значения, получим: $l = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 1/0,5 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

ОТВЕТЫ

1. Обработка результатов измерений

№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы
1	<i>d</i>	12	<i>d</i>	23	<i>d</i>	34	<i>d</i>
2	<i>c</i>	13	<i>d</i>	24	<i>a</i>	35	<i>b</i>
3	<i>c</i>	14	<i>a, d</i>	25	<i>b</i>	36	<i>a</i>
4	<i>b</i>	15	<i>b</i>	26	<i>d</i>	37	<i>c</i>
5	<i>a</i>	16	<i>a, b, d</i>	27	<i>a</i>	38	<i>b</i>
6	<i>b</i>	17	<i>a</i>	28	<i>a</i>	39	<i>a</i>
7	<i>d</i>	18	<i>d</i>	29	<i>c</i>	40	<i>d</i>
8	1 – <i>i</i> , 2 – <i>j</i> , 3 – <i>d</i> , 4 – <i>e</i> , 5 – <i>h</i> , 6 – <i>f</i> , 7 – <i>c</i> , 8 – <i>a</i> , 9 – <i>b</i> , 10 – <i>g</i>	19	<i>c</i>	30	<i>a</i>	41	<i>c</i>
9	<i>a</i>	20	<i>a</i>	31	<i>c</i>	42	<i>c</i>
10	<i>b</i>	21	<i>a, d</i>	32	<i>a</i>		
11	<i>c</i>	22	<i>b</i>	33	<i>b</i>		

2. Механика

2.1. Основные понятия механики

№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы
1	<i>c</i>	12	<i>d</i>	23	<i>a</i>	34	<i>c</i>
2	<i>b, d</i>	13	<i>d</i>	24	<i>a</i>	35	<i>a</i>
3	<i>a, c, d</i>	14	<i>a</i>	25	<i>c</i>	36	<i>d</i>
4	<i>b</i>	15	<i>b</i>	26	<i>d</i>	37	<i>d</i>
5	<i>a</i>	16	<i>c</i>	27	<i>a</i>	38	<i>a</i>
6	<i>a</i>	17	<i>b</i>	28	<i>c</i>	39	<i>a</i>
7	<i>a, c</i>	18	<i>a</i>	29	<i>b</i>	40	<i>d</i>
8	<i>d, e</i>	19	<i>a</i>	30	<i>b</i>	41	<i>c</i>
9	<i>a, b, f</i>	20	<i>c</i>	31	<i>b, d</i>		
10	<i>b</i>	21	<i>a</i>	32	<i>a</i>		
11	<i>b</i>	22	<i>d</i>	33	<i>b</i>		

2.2. Кинематика

№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы
1	<i>b</i>	10	<i>a</i>	19	<i>b</i>	28	<i>c</i>
2	<i>d, e</i>	11	<i>b</i>	20	<i>c</i>	29	<i>a</i>
3	<i>a, d</i>	12	<i>d</i>	21	<i>a</i>	30	<i>b</i>
4	<i>a</i>	13	<i>a</i>	22	<i>d</i>	31	<i>d</i>
5	<i>a, e</i>	14	<i>b</i>	23	<i>c</i>	32	<i>b</i>
6	<i>a</i>	15	<i>a</i>	24	<i>d</i>	33	<i>d</i>
7	<i>a</i>	16	<i>d</i>	25	<i>b</i>	34	<i>c</i>
8	<i>c</i>	17	<i>a, f</i>	26	<i>a</i>	35	<i>b</i>
9	<i>d</i>	18	<i>a</i>	27	<i>a</i>		

2.3. Динамика

№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы
1	<i>c</i>	7	<i>b</i>	13	<i>a</i>	19	<i>d</i>
2	<i>d</i>	8	<i>a</i>	14	<i>a</i>	20	<i>a</i>
3	<i>d</i>	9	<i>d</i>	15	<i>c</i>	21	<i>d</i>
4	<i>a</i>	10	<i>a</i>	16	<i>b</i>	22	<i>a</i>
5	<i>c</i>	11	<i>a</i>	17	<i>d</i>		
6	<i>a</i>	12	<i>d</i>	18	<i>a</i>		

2.4. Силы

№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы
1	<i>a, d, i, j</i>	7	<i>a</i>	13	<i>a</i>	19	<i>c</i>
2	<i>b</i>	8	<i>a</i>	14	<i>a, e</i>	20	<i>a</i>
3	<i>b</i>	9	<i>a</i>	15	<i>f, g</i>	21	<i>d</i>
4	<i>d</i>	10	<i>a</i>	16	<i>a</i>		
5	<i>a, e, f</i>	11	<i>b</i>	17	<i>a</i>		
6	<i>a</i>	12	<i>b</i>	18	<i>d</i>		

2.5. Деформация тела

№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы
1	<i>b</i>	6	<i>d</i>	11	<i>d, e</i>	16	<i>b</i>
2	<i>a</i>	7	<i>a</i>	12	<i>d</i>	17	<i>c</i>
3	<i>a</i>	8	<i>a</i>	13	<i>b</i>	18	<i>b</i>
4	<i>d</i>	9	<i>d</i>	14	<i>d, e</i>		
5	<i>d</i>	10	<i>d</i>	15	<i>c</i>		

2.6. Динамика вращательного движения

№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы
1	<i>d</i>	9	<i>d</i>	17	<i>a</i>	25	<i>d</i>
2	<i>b</i>	10	<i>b</i>	18	<i>d</i>	26	<i>a</i>
3	<i>a</i>	11	<i>d</i>	19	<i>a</i>	27	<i>b</i>
4	<i>c</i>	12	<i>d</i>	20	<i>a</i>	28	<i>d</i>
5	<i>a</i>	13	<i>a</i>	21	<i>c</i>	29	<i>b</i>
6	<i>a</i>	14	<i>a</i>	22	<i>d</i>	30	<i>c</i>
7	<i>d</i>	15	<i>c</i>	23	<i>b</i>		
8	<i>c</i>	16	<i>b</i>	24	<i>a</i>		

2.7. Неинерциальные системы отсчета

№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы
1	<i>a</i>	4	<i>a</i>	7	<i>c</i>	10	<i>b</i>
2	<i>d</i>	5	<i>a</i>	8	<i>c</i>	11	<i>d</i>
3	<i>a</i>	6	<i>c</i>	9	<i>d</i>	12	<i>a</i>

2.8. Законы сохранения

№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы
1	<i>a</i>	13	<i>a</i>	25	<i>d</i>	37	<i>c</i>
2	<i>d</i>	14	<i>a</i>	26	<i>a</i>	38	<i>d</i>
3	<i>a, f, g</i>	15	<i>a</i>	27	<i>c</i>	39	<i>a</i>
4	<i>c</i>	16	<i>c</i>	28	<i>d</i>	40	<i>b</i>
5	<i>d</i>	17	<i>b</i>	29	<i>c</i>	41	<i>c</i>
6	<i>a</i>	18	<i>b</i>	30	<i>a</i>	42	<i>c</i>
7	<i>a</i>	19	<i>a</i>	31	<i>b</i>	43	<i>d</i>
8	<i>c</i>	20	<i>a, b</i>	32	<i>a</i>	44	<i>b</i>
9	<i>c</i>	21	<i>d</i>	33	<i>c</i>	45	<i>c</i>
10	<i>c</i>	22	<i>a</i>	34	<i>d</i>	46	<i>d</i>
11	<i>a</i>	23	<i>c</i>	35	<i>a</i>		
12	<i>c</i>	24	<i>d</i>	36	<i>c</i>		

2.9. Механика сплошных сред

№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы
1	<i>a, b, f, g</i>	14	<i>a, c</i>	27	<i>a</i>	40	<i>a</i>
2	<i>d</i>	15	<i>a</i>	28	<i>d</i>	41	<i>c</i>
3	<i>d</i>	16	<i>d</i>	29	<i>a</i>	42	<i>d</i>
4	<i>a</i>	17	<i>a</i>	30	<i>b</i>	43	<i>d</i>
5	<i>c</i>	18	<i>a</i>	31	<i>b</i>	44	<i>b</i>
6	<i>a</i>	19	<i>a</i>	32	<i>a, e</i>	45	<i>d</i>
7	<i>c</i>	20	<i>d</i>	33	<i>b, d</i>	46	<i>a</i>
8	<i>d</i>	21	<i>d</i>	34	<i>a</i>	47	<i>c</i>
9	<i>a</i>	22	<i>a</i>	35	<i>c</i>	48	<i>a</i>
10	<i>c</i>	23	<i>a, c</i>	36	<i>d</i>	49	<i>d</i>
11	<i>c</i>	24	<i>c</i>	37	<i>c</i>	50	<i>b</i>
12	<i>a</i>	25	<i>a</i>	38	<i>a</i>	51	<i>d</i>
13	<i>a</i>	26	<i>a, d, e</i>	39	<i>b</i>		

2.10. Колебания

№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы
1	<i>a</i>	11	<i>a</i>	21	<i>a</i>	31	<i>d</i>
2	<i>a, d</i>	12	<i>c</i>	22	<i>d</i>	32	<i>c</i>
3	<i>b</i>	13	<i>d, e, f</i>	23	<i>b</i>	33	<i>d</i>
4	<i>d</i>	14	<i>c</i>	24	<i>a</i>	34	<i>a</i>
5	<i>d</i>	15	<i>a</i>	25	<i>d</i>	35	<i>b</i>
6	<i>c</i>	16	<i>d</i>	26	<i>d</i>	36	<i>d</i>
7	<i>a, e</i>	17	<i>d</i>	27	<i>d</i>	37	<i>c</i>
8	<i>a</i>	18	<i>a</i>	28	<i>c</i>		
9	<i>b</i>	19	<i>d</i>	29	<i>b</i>		
10	<i>d</i>	20	<i>a</i>	30	<i>a</i>		

2.11. Волны

№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы
1	<i>c</i>	10	<i>a</i>	19	<i>d</i>	28	<i>c</i>
2	<i>a, e</i>	11	<i>d</i>	20	<i>b</i>	29	<i>a</i>
3	<i>a</i>	12	<i>a</i>	21	<i>a</i>	30	<i>d</i>
4	<i>d</i>	13	<i>c</i>	22	<i>d</i>	31	<i>a</i>
5	<i>c</i>	14	<i>a</i>	23	<i>a, d, e, f</i>	32	<i>d</i>
6	<i>c</i>	15	<i>b</i>	24	<i>b</i>	33	<i>c</i>
7	<i>b</i>	16	<i>a, d</i>	25	<i>c</i>	34	<i>d</i>
8	<i>b</i>	17	<i>e, f</i>	26	<i>b</i>		
9	<i>d</i>	18	<i>b, d, e</i>	27	<i>d</i>		

2.12. Специальная теория относительности

№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы
1	<i>a</i>	7	<i>b</i>	13	<i>b</i>	19	<i>d</i>
2	<i>b</i>	8	<i>b</i>	14	<i>a</i>	20	<i>c</i>
3	<i>d, e</i>	9	<i>d</i>	15	<i>d</i>	21	<i>d</i>
4	<i>a</i>	10	<i>a</i>	16	<i>a</i>	22	<i>c</i>
5	<i>d</i>	11	<i>d</i>	17	<i>a</i>	23	<i>a</i>
6	<i>a</i>	12	<i>a</i>	18	<i>c</i>	24	<i>b</i>

3. Молекулярная физика и термодинамика

3.1. Основные положения и понятия молекулярно-кинетической теории

№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы
1	<i>a, e, f</i>	11	<i>a</i>	21	<i>a, b</i>	31	<i>c</i>
2	<i>c</i>	12	<i>d</i>	22	<i>b</i>	32	<i>c</i>
3	<i>d, e</i>	13	<i>a</i>	23	<i>a</i>	33	<i>a</i>
4	<i>a, c, d</i>	14	<i>d</i>	24	<i>b</i>	34	<i>c</i>
5	<i>a, d</i>	15	<i>a</i>	25	<i>d</i>	35	<i>d</i>
6	<i>a</i>	16	<i>a</i>	26	<i>d</i>	36	<i>a</i>
7	<i>b</i>	17	<i>a</i>	27	<i>c</i>	37	<i>a</i>
8	<i>d</i>	18	<i>d</i>	28	<i>a</i>	38	<i>d</i>
9	<i>d</i>	19	<i>a</i>	29	<i>a, b, d, e</i>	39	<i>c</i>
10	<i>a</i>	20	<i>d</i>	30	<i>a</i>	40	<i>d</i>

3.2. Законы идеальных газов

№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы
1	<i>a, c, d, e, f</i>	11	<i>a</i>	21	<i>c</i>	31	<i>c</i>
2	<i>a</i>	12	<i>b</i>	22	<i>a</i>	32	<i>c</i>
3	<i>c</i>	13	<i>b</i>	23	<i>c</i>	33	<i>a</i>
4	<i>b</i>	14	<i>b</i>	24	<i>c</i>	34	<i>c</i>
5	<i>a</i>	15	<i>c</i>	25	<i>a</i>	35	<i>d</i>
6	<i>d</i>	16	<i>d</i>	26	<i>d</i>	36	<i>a</i>
7	<i>c</i>	17	<i>a</i>	27	<i>c</i>	37	<i>b</i>
8	<i>d</i>	18	<i>b</i>	28	<i>d</i>	38	<i>a</i>
9	<i>a</i>	19	<i>a</i>	29	<i>c</i>	39	<i>d</i>
10	<i>c</i>	20	<i>b</i>	30	<i>b</i>		

3.3. Давление и его измерение

№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы
1	<i>a</i>	4	<i>a, b, e, f</i>	7	<i>b</i>	10	<i>a, b, e, f, g</i>
2	<i>d</i>	5	<i>a</i>	8	<i>e, a, b, c, d</i>	11	<i>a</i>
3	<i>a</i>	6	<i>b, d</i>	9	<i>c, d, f</i>	12	<i>d</i>

3.4. Внутренняя энергия газа

№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы
1	<i>a</i>	10	<i>d</i>	19	<i>d</i>	28	<i>c</i>
2	<i>a, c, d</i>	11	<i>a</i>	20	<i>d</i>	29	<i>b</i>
3	<i>a</i>	12	<i>a</i>	21	<i>a</i>	30	<i>c</i>
4	<i>d</i>	13	<i>c</i>	22	<i>a</i>	31	<i>d</i>
5	<i>a</i>	14	<i>b</i>	23	<i>c</i>	32	<i>d</i>
6	<i>d</i>	15	<i>c</i>	24	<i>a</i>	33	<i>c</i>
7	<i>d</i>	16	<i>a</i>	25	<i>c</i>	34	<i>a</i>
8	<i>b</i>	17	<i>c</i>	26	<i>d</i>		
9	<i>b</i>	18	<i>d</i>	27	<i>a</i>		

3.5. Первое начало термодинамики

№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы	№ вопроса	Ответы
1	<i>b</i>	7	<i>c</i>	13	<i>d</i>	19	<i>d</i>
2	<i>a</i>	8	<i>a, b, e</i>	14	<i>a</i>	20	<i>c</i>
3	<i>d</i>	9	<i>d</i>	15	<i>b</i>	21	<i>b</i>
4	<i>d</i>	10	<i>a</i>	16	<i>c</i>		
5	<i>d</i>	11	<i>b</i>	17	<i>c</i>		
6	<i>b</i>	12	<i>c</i>	18	<i>d</i>		

3.6. Реальные газы

№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы
1	b	8	c	15	d	22	b
2	a, e	9	b	16	a	23	a, b, e, f
3	c	10	c	17	a	24	c
4	b	11	a, c, f, g	18	d	25	d
5	a	12	a	19	c	26	c
6	b	13	d	20	b	27	a
7	a	14	a	21	c		

3.7. Статистическое описание систем многих частиц. Распределения Максвелла и Больцмана

№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы
1	a, b, d	10	c	19	b	28	a
2	a	11	a	20	b	29	d
3	d	12	d	21	b	30	b
4	a	13	d	22	c	31	c
5	d	14	c	23	a	32	a
6	b, c	15	c	24	d	33	a
7	b	16	a	25	d	34	c
8	c	17	d	26	d	35	c
9	c	18	d	27	a	36	b

3.8. Второе начало термодинамики

№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы
1	d	9	c	17	a	25	a
2	c	10	c	18	c	26	a
3	b	11	a	19	d	27	d
4	d	12	a	20	d	28	b
5	d	13	a, b	21	c	29	a
6	a	14	d	22	a	30	b
7	d	15	d	23	d		
8	b	16	a	24	c		

3.9. Агрегатные состояния. Поверхностное натяжение

№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы
1	b	7	b	13	a	19	c
2	a	8	b, c, d	14	d	20	c
3	d	9	a	15	a	21	c
4	c	10	a	16	c	22	d
5	c	11	d	17	d	23	d
6	a	12	b	18	a		

3.10. Фазовые переходы

№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы	№ во-проса	Ответы
1	d	5	a	9	d	13	c
2	d	6	a	10	a, b	14	b
3	c	7	d	11	a	15	a
4	a	8	c	12	d		

3.11. Явления переноса

№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы	№ во- проса	Ответы
1	<i>a, d, e</i>	10	<i>b</i>	19	<i>d</i>	28	<i>d</i>
2	<i>c</i>	11	<i>d</i>	20	<i>d</i>	29	<i>a</i>
3	<i>a</i>	12	<i>d</i>	21	<i>a</i>	30	<i>a</i>
4	<i>c</i>	13	<i>a</i>	22	<i>c</i>	31	<i>d</i>
5	<i>d</i>	14	<i>c</i>	23	<i>b</i>	32	<i>c</i>
6	<i>d</i>	15	<i>b</i>	24	<i>b</i>	33	<i>a</i>
7	<i>a</i>	16	<i>d</i>	25	<i>c</i>	34	<i>b</i>
8	<i>a</i>	17	<i>a, c, d</i>	26	<i>a</i>	35	<i>b</i>
9	<i>d</i>	18	<i>b</i>	27	<i>d</i>		

ЛИТЕРАТУРА

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики: В 5 кн. Кн. 1–3: Учеб. пособие для вузов / И.В. Савельев. – М.: Астрель; АСТ, 2002.
2. *Савельев И.В.* Сборник вопросов и задач по общей физике: Учеб. для вузов / И.В. Савельев. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2005.
3. *Трофимова Т.И.* Курс общей физики: Учеб. пособие / Т.И. Трофимова. – 6-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2000.

Содержание

<i>Введение</i>	3
1. Обработка результатов измерений	5
2. Механика	14
2.1. Основные понятия механики	14
2.2. Кинематика	21
2.3. Динамика	26
2.4. Силы	29
2.5. Деформация тела	33
2.6. Динамика вращательного движения	36
2.7. Неинерциальные системы отсчета	40
2.8. Законы сохранения	42
2.9. Механика сплошных сред	50
2.10. Колебания	58
2.11. Волны	63
2.12. Специальная теория относительности	68
3. Молекулярная физика и термодинамика	73
3.1. Основные положения и понятия молекулярно-кинетической теории	73
3.2. Законы идеальных газов	80
3.3. Давление и его измерение	86
3.4. Внутренняя энергия газа	88
3.5. Первое начало термодинамики	94
3.6. Реальные газы	97
3.7. Статистическое описание систем многих частиц. Распределения Максвелла и Больцмана	102
3.8. Второе начало термодинамики	109
3.9. Агрегатные состояния. Поверхностное натяжение	114
3.10. Фазовые переходы	118
3.11. Явления переноса	121
Пояснения к тестовым заданиям	127
1. Обработка результатов измерений	127
2. Механика	135
2.1. Основные понятия механики	135

2.2. Кинематика	143
2.3. Динамика	149
2.4. Силы	152
2.5. Деформация тела	155
2.6. Динамика вращательного движения	157
2.7. Неинерциальные системы отсчета	164
2.8. Законы сохранения	166
2.9. Механика сплошных сред	175
2.10. Колебания	183
2.11. Волны	189
2.12. Специальная теория относительности	193
3. Молекулярная физика и термодинамика	198
3.1. Основные положения и понятия молекулярно-кинетической теории	198
3.2. Законы идеальных газов	208
3.3. Давление и его измерение	215
3.4. Внутренняя энергия газа	218
3.5. Первое начало термодинамики	225
3.6. Реальные газы	230
3.7. Статистическое описание систем многих частиц. Распределения Максвелла и Больцмана	234
3.8. Второе начало термодинамики	240
3.9. Агрегатные состояния. Поверхностное натяжение	246
3.10. Фазовые переходы	250
3.11. Явления переноса	253
Ответы	259
1. <i>Обработка результатов измерений</i>	259
2. <i>Механика</i>	260
2.1. Основные понятия механики	260
2.2. Кинематика	260
2.3. Динамика	261
2.4. Силы	261
2.5. Деформация тела	261
2.6. Динамика вращательного движения	262
2.7. Неинерциальные системы отсчета	262
2.8. Законы сохранения	262
2.9. Механика сплошных сред	263
2.10. Колебания	263
2.11. Волны	264
2.12. Специальная теория относительности	264
3. <i>Молекулярная физика и термодинамика</i>	265
3.1. Основные положения и понятия молекулярно-кинетической теор- рии	265

3.2. Законы идеальных газов	265
3.3. Давление и его измерение.....	266
3.4. Внутренняя энергия газа	266
3.5. Первое начало термодинамики	266
3.6. Реальные газы.....	267
3.7. Статистическое описание систем многих частиц. Распределения Максвелла и Больцмана	267
3.8. Второе начало термодинамики	268
3.9. Агрегатные состояния. Поверхностное натяжение	268
3.10. Фазовые переходы	268
3.11. Явления переноса.....	269
<i>Литература.....</i>	269

Учебное издание

Просанов Игорь Юрьевич

**СБОРНИК ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ФИЗИКЕ
В 3 кн. Кн. 1. Механика. Молекулярная физика
и основы термодинамики**

Редактор *М.А. Рожкова*

Внешнее оформление *К.И. Мандель*

Технический редактор *Л.А. Маркова*

Корректоры *О.Н. Шебашова, Г.Н. Петрова*

Компьютерная верстка *В.А. Товстоног*

Изд. № РЕНТ-579. Подп. в печать 21.09.09. Формат 60×88¹/₁₆.

Бум. офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.

Объем 16,66 усл. печ. л. 17,15 усл. кр.-отт.

Тираж 3000 экз. Зак. № 1697.

ОАО «Издательство «Высшая школа»,
127994, Москва, Неглинная ул., 29/14, стр. 1.

Тел.: (495) 694-04-56

<http://www.vshkola.ru> E-mail: info_vshkola@mail.ru

Отдел реализации: (495) 694-07-69, 694-31-47, факс: (495) 694-34-86.

E-mail: sales_vshkola@mail.ru

Отпечатано в ООО «Великолукская городская типография».
182100, Псковская область, г. Великие Луки, ул. Полиграфистов, 78/12
Тел./факс: (811-53) 3-62-95. E-mail: zakaz@veltip.ru