

Демонстрационный вариант заданий второго этапа по Профилю «Физико-технические науки»

Блок 1. Тестовые вопросы с одним верным вариантом ответа (по 1 баллу за верный ответ)

Механика

1.1 Муха проползла одну четверть окружности с постоянной скоростью v за время t . Чему равен путь, пройденный мухой?

- А) vt
- Б) $2vt/\pi$
- В) $2\sqrt{2}vt/\pi$
- Г) 0

1.2 В каких точках земного шара модуль ускорения свободного падения самый большой?

- А) на широте 45°
- Б) на широте Каира
- В) на экваторе
- Г) на полюсах

1.3 Чему равен момент инерции тонкого сплошного диска массы m и радиуса R относительно оси, расположенной в плоскости диска на расстоянии в четверть радиуса от его центра?

- А) $3mR^2/16$
- Б) $mR^2/2$
- В) $mR^2/4$
- Г) $5mR^2/16$

1.4 Частица массы m начинает двигаться по окружности радиуса R с постоянным тангенциальным ускорением a_τ . Найти момент импульса частицы относительно центра окружности в зависимости от времени t .

- А) $ma_\tau t 2\pi R$
- Б) $ma_\tau t R$
- В) mR^2/t
- Г) $m\sqrt{a_\tau R^3}$

1.5 Стержень движется в продольном направлении с постоянной скоростью v относительно инерциальной системы отсчета К. При каком значении v длина стержня в этой системе будет в два раза меньше его собственной длины?

- А) $\frac{1}{2}c$, где c - скорость света в вакууме
- Б) $\frac{3}{4}c$

- В) $\frac{\sqrt{3}}{2}c$
Г) $\frac{2}{3}c$

Термодинамика и молекулярная физика

1.6 Как изменится среднеквадратичная скорость частиц идеального газа при увеличении его температуры в четыре раза?

- А) увеличится в 4 раза
Б) уменьшится в 4 раза
В) не изменится
Г) увеличится в 2 раза

1.7 Как изменится плотность идеального газа при одновременном увеличении в 2 раза его температуры и давления?

- А) увеличится в 4 раза
Б) уменьшится в 4 раза
В) не изменится
Г) уменьшится в 2 раза

1.8 В ходе процесса система совершает работу 25 кДж и получает 55 кДж тепла. Чему равно приращение внутренней энергии газа в этом процессе?

- А) -30 кДж
Б) +30 кДж
В) +80 кДж
Г) -80 кДж

1.9 Чему равно приращение энтропии системы в обратимом изотермическом процессе при температуре 300 К, если во время этого процесса к системе подводится 30 кДж тепла?

- А) -100 Дж/К
Б) 0,01 Дж/К
В) 100 Дж/К
Г) 10 Дж/К

Электромагнетизм

1.10 Центр равномерно заряженного шара находится на некотором расстоянии от бесконечной равномерно заряженной непроводящей плоскости. Это расстояние больше радиуса шара. Как изменится сила взаимодействия шара и плоскости, если это расстояние увеличить в 2 раза?

- А) увеличится в 2 раза
Б) уменьшится в 2 раза
В) уменьшится в 4 раза
Г) не изменится

1.11 Как изменится коэффициент самоиндукции катушки соленоида, если её длину увеличить в 2 раза?

- А) увеличится в 2 раза
Б) уменьшится в 2 раза
В) увеличится в 4 раза

Г) уменьшится в 4 раза

1.12 Площадь обкладок плоского конденсатора уменьшили в 3 раза, а расстояние между обкладками увеличили в 3 раза. Напряжение между обкладками поддерживается постоянным. Как изменился модуль сил электростатического взаимодействия между ними?

- А) уменьшился в 3 раза
- Б) уменьшился в 27 раз**
- В) уменьшился в 81 раз
- Г) Увеличился в 3 раза

1.13 Два небольших контура с током находятся на большом, по сравнению с их размером, расстоянии друг от друга. Это расстояние увеличили в 2 раза. Во сколько раз уменьшилась сила их взаимодействия?

- А) 2
- Б) 4
- В) 8
- Г) 16**

Оптика и волны

1.14 Луч естественно-поляризованного света падает на плоскую границу двух сред под углом 55° . При этом отражённый луч линейно поляризован. Чему равен угол преломления?

- А) 15°
- Б) 25°
- В) 35°**
- Г) 45°

1.15 Предмет находится на расстоянии 7 см от тонкой собирающей линзы на её оптической оси. Фокусное расстояние линзы равно 5 см. Чему равно линейное увеличение?

- А) 1,5
- Б) 2
- В) 2,5**
- Г) 3

1.16 Плоская электромагнитная волна с амплитудой E_0 падает по нормали на плоскопараллельную прозрачную пластинку. Амплитуда прошедшей волны равна $E_0/2$. Чему равен коэффициент отражения по интенсивности?

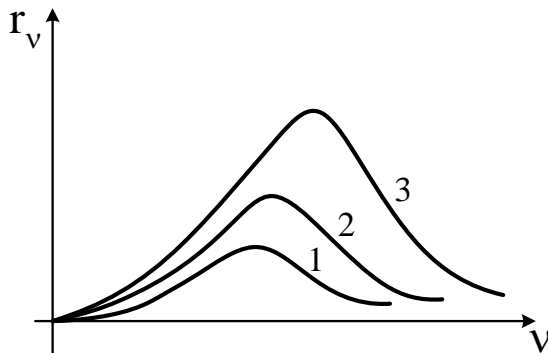
- А) 1/4
- Б) 1/2
- В) 3/4**
- Г) 1

1.17 Какое выражение описывает монохроматическую волну?

- А) $E_0 \cos^2(\omega t)$
- Б) $E_0 \cos\left[\omega t + (t/\tau)^2\right]$
- В) $E_0 \cos(\omega t) \sin(\omega t)$**
- Г) $E_0 \exp(-t/\tau) \cos(\omega t)$

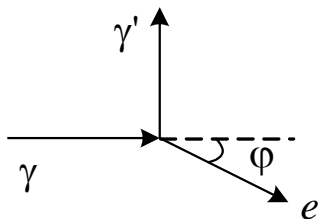
Атомная и ядерная физика

1.18 На рисунке представлены графики зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела r_{ν} от частоты. Укажите, какая из приведенных на графике кривых соответствует наибольшей температуре.



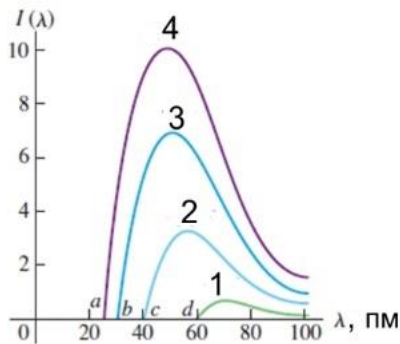
- А) 1
- Б) 2
- В) 3**
- Г) Все кривые соответствуют одной и той же температуре

1.19 При эффекте Комптона наблюдается рассеяние фотона на электроне. На рисунке показаны направления падающего фотона (γ), рассеянного фотона (γ') и электрона отдачи (e). Угол рассеяния 90° , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол $\varphi = 30^\circ$. Укажите правильный ответ для импульса рассеянного фотона, если импульс падающего фотона P_{γ} .



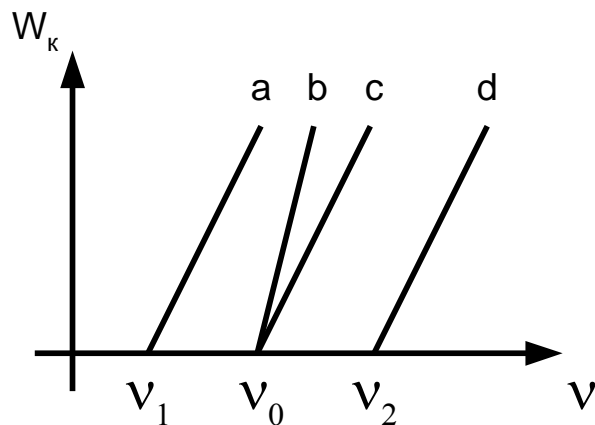
- А) $P_{\gamma} / \sqrt{3}$
- Б) $0.5 \cdot P_{\gamma}$
- В) $\sqrt{3} \cdot P_{\gamma}$
- Г) $1.5\sqrt{3} \cdot P_{\gamma}$

1.20 На рисунке представлена зависимость интенсивности излучения рентгеновской трубки от длины волны при различных значениях ускоряющего напряжения. Укажите, какая из приведенных на графике кривых соответствует наибольшему напряжению на рентгеновской трубке.



- А) 1
- Б) 2
- В) 3
- Г) 4

1.21 В опытах по внешнему фотоэффекту изучалась зависимость энергии фотоэлектронов от частоты падающего света. Для некоторого материала фотокатода исследованная зависимость представлена линией с на рисунке. Какой линией будет изображаться данная зависимость при замене материала фотокатода на материал с большей работой выхода?



- А) линия d
- Б) линия a
- В) линия b
- Г) линия c

Блок 2. Задания с числовым ответом, сопоставляемым с эталонным (по 4 балла за правильный ответ)**Механика**

2.1 Частица движется вдоль оси x . Проекция ее скорости на эту ось зависит от времени t как $v_x = a - bt$, где $a = 1$ м/с и $b = 2$ м/с². Найти путь, пройденный частицей за первую секунду движения. Ответ дать в метрах с точностью до десятых долей.

Ответ: 0,5

2.2 Найти силу давления воды водохранилища глубиной $h = 50$ м на плотину длиной $L = 400$ м. Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м³, ускорение свободного падения $g = 10$ Н/кг. Ответ дать в ГН.

Ответ: 5

Термодинамика и молекулярная физика

2.3 Обозначим η_0 и η отношение концентраций молекул водорода и азота на поверхности Земли и на высоте $h = 1500$ м соответственно. Пренебрегая зависимостью температуры и ускорения свободного падения от высоты, найти значение отношения η/η_0 при температуре $T = 300$ К. Ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с². Молярные массы водорода и азота $M_1 = 2$ г/моль и $M_2 = 28$ г/моль соответственно. Универсальная газовая постоянная $R = 8,314$ Дж/(К·моль). Ответ округлить до второго знака после запятой.

Ответ: 1,17

2.4 В сосуде, из которого быстро выкачивают воздух, находится небольшое количество воды при температуре 0°C . За счет интенсивного испарения происходит постепенное замораживание воды. Какая часть первоначального количества воды может быть обращена таким образом в лед? Удельная скрытая теплота плавления льда и парообразования воды равны 336 и 2500 Дж/г соответственно. Дайте ответ в процентах и округлите его до целого значения.

Ответ: 88

Электродинамика

2.5 Точечный электрический диполь находится на некотором расстоянии от точечного заряда и ориентирован вдоль прямой, соединяющей диполь и заряд. Найдите во сколько раз по абсолютной величине уменьшится сила, действующая на диполь, если его повернуть на 90 градусов.

Ответ: 2

2.6 Внутри длинного соленоида кругового сечения с равномерной намоткой, по которой течет постоянный ток, находится соосный с ним сердечник кругового сечения той же длины. Радиус соленоида в 3 раза больше радиуса сердечника. Магнитная проницаемость сердечника в 1000 раз больше, чем магнитная проницаемость вакуума. Во сколько раз магнитная энергия, сосредоточенная в сердечнике, больше, чем магнитная энергия вне его? Краевыми эффектами пренебречь.

Ответ: 125

Оптика и волны

2.7 Расстояние между штрихами дифракционной решетки $d = 4$ мкм. На решетку падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 0,55$ мкм. Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка?

Ответ: 7

2.8 Узкий пучок рентгеновского излучения с длиной волны 62 пм проникает через алюминиевый экран толщиной 2,6 см. Какой толщины должен быть свинцовый экран, чтобы ослабить пучок во столько же раз? Массовые коэффициенты поглощения этого излучения алюминием и свинцом равны 3,48 и 72,0 см²/г соответственно. Ответ дайте в миллиметрах и округлите до первого десятичного знака.

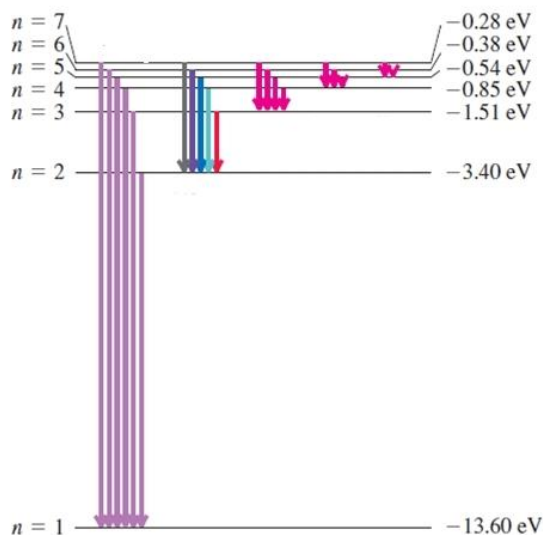
Ответ: 0.3

Атомная и ядерная физика

2.9 Электрон в атоме водорода находится в состоянии с главным квантовым числом $n=2$. Найдите число различных состояний электрона, соответствующих данному n , с учетом его спина.

Ответ: 8

2.10 На рисунке показана диаграмма энергетических уровней атома водорода и переходов, сопровождающихся излучением света различных серий.



Вычислите длину волны головной линии серии Лаймана. Дайте ответ в нм, округлив его до целого числа. Постоянная Планка $h=4,136 \cdot 10^{-15}$ эВ·с, скорость света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

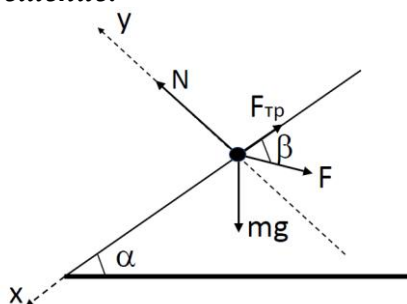
Ответ: 122

Блок 3. Задания с развернутым ответом (Максимум за правильное и аргументированное решение каждой задачи - 13 баллов. Баллы также начисляются при частичном решении задачи в зависимости от его вклада в полное решение)

Механика

3.1 На ледяной горке с углом при основании $\alpha = 30^\circ$ находятся санки массой $m = 10$ кг. Коэффициент трения между санками и горкой $\mu = 0,1$. Какую минимальную силу нужно приложить к санкам, чтобы они находились в равновесии? Считать, что ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Результат представить в кН и округлить до второго знака после запятой.

Решение:



Поскольку $\mu < \operatorname{tg} \alpha$, то санки не могут находиться в равновесии. Чтобы удержать санки в равновесии, к ним нужно приложить силу \mathbf{F} под некоторым углом β к наклонной плоскости так, чтобы сила препятствовала скольжению санок и прижимала их к поверхности, увеличивая силу трения.

Уравнение равновесия имеет вид

$$\mathbf{F} + m\mathbf{g} + \mathbf{N} + \mathbf{F}_{mp} = 0, \quad (3.1.1)$$

где \mathbf{F}_{mp} есть максимальная сила трения покоя, \mathbf{N} есть нормальная реакция опоры.

(4 балла)

Уравнение (1.1) в проекциях на оси x и y принимает вид

$$mg \sin \alpha - F \cos \beta - \mu N = 0, \quad (3.1.2)$$

и

$$N - mg \cos \alpha - F \sin \beta = 0 \quad (3.1.3)$$

соответственно

В уравнении (3.1.3) учтено, что $F_{mp} = \mu N$.

Из уравнений (3.1.1) и (3.1.3) находим

$$F = \frac{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}{\cos \beta + \mu \sin \beta} mg. \quad (3.1.4)$$

(4 балла)

Как видно из (3.1.4), сила F будет минимальной, когда знаменатель $\varphi(\beta) = \cos \beta + \mu \sin \beta$ имеет наибольшее значение. Функция $\varphi(\beta)$ имеет максимум при

$$\operatorname{tg} \beta = \mu. \quad (3.1.5)$$

(2 балла)

Следовательно, минимальное значение силы

$$F = \frac{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}{\sqrt{1 + \mu^2}} mg \quad (3.1.6)$$

(1 балл)Отсюда, $F \approx 0,04$ кН**(2 балла)****Термодинамика и молекулярная физика**

3.2 Идеальный газ расширяется изотермически от объема $0,1$ м³ до объема $0,3$ м³. Конечное давление газа $2 \cdot 10^5$ Па. Чему равно количество теплоты, полученной газом в этом процессе? Дайте ответ в кДж и округлите его до целого значения.

Решение: В соответствии с первым началом термодинамики количество тепла, получаемое в процессе,

$$Q = \Delta U + W. \quad (3.2.1)$$

Поскольку процесс является изотермическим, то приращение внутренней энергии $\Delta U = 0$, и получаемое количество тепла совпадает с работой газа W

$$Q = W. \quad (3.2.2)$$

(2 балла)

Работа газа при его расширении от объема V_1 до объема V_2

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV, \quad (3.2.3)$$

где p есть давление газа.

(2 балла)

В соответствии с уравнением состояния идеального газа его давление выражается через объем как

$$p = \frac{\nu RT}{V}. \quad (3.2.4)$$

(2 балла)

Подставляя (3.2.3) в (3.2.2) и учитывая, что количество вещества ν и температура T газа не изменяются в ходе процесса, получаем

$$W = \nu RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \nu RT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right). \quad (3.2.5)$$

(3 балла)

Выражая из уравнения состояния газа неизвестную комбинацию νRT через его конечное давление p_2 и конечный объем V_2 , окончательно получаем

$$W = p_2 V_2 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right). \quad (3.2.6)$$

(2 балла).

Отсюда, находим $W \approx 66$ кДж

(2 балла)**Электromагнетизм**

3.3 Два одинаковых пустых плоских конденсатора наполовину заполнили одним и тем же диэлектриком. Однако первый заполнили так, что граница раздела перпендикулярна пластинам конденсатора, а второй так, что граница раздела параллельна пластинам. Ёмкость первого конденсатора оказалась в $25/16$ раз больше, чем ёмкость второго. Найдите диэлектрическую проницаемость ϵ диэлектрика. Краевыми эффектами пренебречь.

Решение: Обозначим за C ёмкость пустого конденсатора. Первый конденсатор можно рассматривать как 2 параллельно соединённых конденсатора, ёмкость которых $C/2$ и $\varepsilon C/2$ **(3 балла)**. Тогда ёмкость первого конденсатора

$$C_1 = \frac{(\varepsilon + 1)}{2} \cdot C. \quad (3.3.1)$$

(2 балла).

Второй конденсатор можно представить как 2 последовательно соединённых конденсатора, ёмкость которых равна $2C$ и $2\varepsilon C$ **(3 балла)**. Тогда ёмкость второго конденсатора можно найти из соотношения

$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{2C} + \frac{1}{2\varepsilon C} = \frac{(\varepsilon + 1)}{2\varepsilon} \cdot \frac{1}{C}. \quad (3.3.2)$$

(2 балла).

Перемножая эти 2 уравнения получим, что

$$\frac{25}{16} = \frac{(\varepsilon + 1)^2}{4\varepsilon}. \quad (3.3.3)$$

Откуда найдём, что $\varepsilon = 4$ **(3 балла)**.