

I. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ОЛИМПИАДАМ ПО ФИЗИКЕ

1. Содержание варианта задания олимпиады по физике в МГТУ им. Н.Э. Баумана

Специфика системы подготовки специалистов в МГТУ им. Н.Э.Баумана, большой объем контрольных заданий по каждому предмету, включенному в образовательный курс, интенсивность проверок выполнения этих заданий, налагают определенные требования к формированию контингента будущих первокурсников. Существует необходимость отбора из числа абитуриентов школьников, не только обладающих знаниями по школьному курсу физики, но глубоко понимающих сущность физических процессов (из числа рассматриваемых в школьном курсе), логически мыслящих, творчески ищущих пути решения сложных задач, умеющих самостоятельно работать с литературой.

Структура и содержание задания по физике при проведении олимпиады направлены на проверку глубины усвоения абитуриентом школьного курса физики, прочности выработанных им навыков применения знаний основных законов физики к решению задач и практически являются инструментальным средством оценки подготовленности абитуриентов к последующему обучению в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

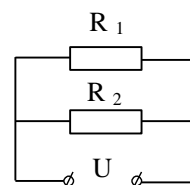
Каждый индивидуальный вариант контрольного задания олимпиады содержит системный набор задач различного направления, упорядоченных по возрастанию сложности, и состоит из 10 заданий: двух задач первого уровня сложности, либо одного вопроса качественного характера и одной задачи первого уровня сложности; шести задач второго уровня сложности и двух задач третьего уровня сложности. Задачи одного варианта задания охватывают все основные разделы школьного курса физики. При этом в нём могут быть, например, задачи первого уровня сложности из раздела «Механика», второго уровня сложности из разделов «Термодинамика», «Электростатика», «Оптика», тогда задачи третьего уровня сложности будут представлять собой сочетание разделов «Электричество», «Колебания» и «Механика». Уровень сложности задач соответствует Программе вступительных экзаменов для поступающих в высшие учебные заведения России. Специальные экспериментально-теоретические исследования и накопленный опыт предлагаемых вариантов заданий олимпиад позволяют утверждать, что, несмотря на множество вариантов сочетаний задач различной трудоёмкости из разных разделов физики, варианты заданий в целом по трудоёмкости и уровню сложности являются одинаковыми.

ВОПРОС КАЧЕСТВЕННОГО ХАРАКТЕРА. Термин «качественного» подчеркивает главную особенность всех вопросов такого типа – внимание в них акцентируется на качественной стороне рассматриваемого физического явления. Этот вопрос призван выявить глубину понимания абитуриентом сущности физических явлений и законов, умение объяснить смысл физических величин и понятий. Он служит средством проверки практических навыков абитуриента, умения применить теоретические знания для объяснения явлений природы, быта, техники. Ответ на этот вопрос позволяет также оценить технический кругозор абитуриента, проверить его способность к логическим умозаключениям, базирующимся на знании основных законов физики.

2. Примеры вопросов качественного характера:

1. Что называют инертностью тела?
2. Напишите формулу для вычисления ускорения свободного падения на поверхности Земли. Поясните смысл входящих в неё физических величин и укажите единицы их измерения.

3. Напишите формулу закона Ома для участка цепи, изображенной на рисунке. Укажите единицы измерения входящих в неё физических величин.

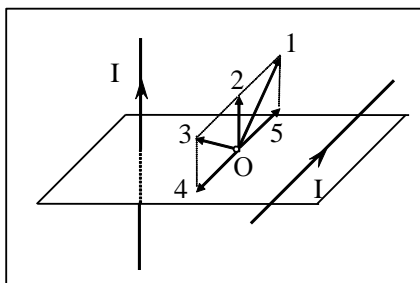
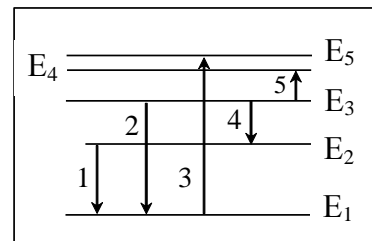


4. Приведите примеры, когда сила трения является «движущей» силой.
5. В чем состоит особенность теплового расширения воды?
6. Какова физическая сущность удельной теплоты плавления у кристаллических твердых тел?
7. Какова физическая причина наличия удельной теплоты парообразования у жидкостей?

8. Действует ли сила Архимеда на тела, находящиеся в жидкости в космическом корабле, движущемся по круговой орбите вокруг Земли?

9. Объясните, почему теплоёмкость двухатомных газов больше теплоёмкости одноатомных газов.

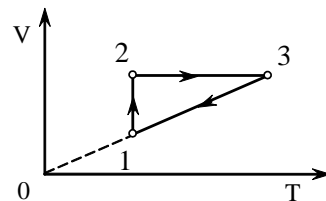
10. На рисунке представлена схема энергетических уровней атома. Какой цифрой обозначен переход с поглощением фотона наибольшей частоты? Ответ обосновать.



11. По двум прямолинейным длинным проводникам, расположенным во взаимно перпендикулярных плоскостях, текут равные токи. Какое из показанных на

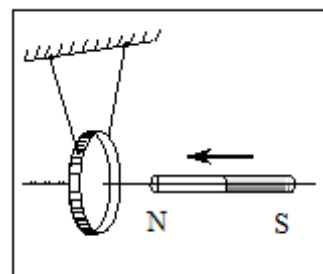
рисунке направлений имеет вектор \vec{B} индукции магнитного поля, созданного этими токами, в точке O ? Ответ обосновать.

12. Изменения состояния газа при некотором круговом процессе 1–2–3–1 показаны на графике зависимости объема газа от абсолютной температуры. Изобразите этот цикл на графике зависимости давления газа от объема. Укажите, на каких участках графика газ получает теплоту извне.



13. На каком явлении основан принцип действия трансформатора?

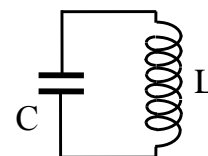
14. Алюминиевое кольцо подвешено на двух нитях. Северный полюс магнита приближается с некоторой скоростью к кольцу, двигаясь вдоль его оси перпендикулярно плоскости кольца. Будет ли при этом кольцо притягиваться к магниту или отклоняться от него? Ответ поясните



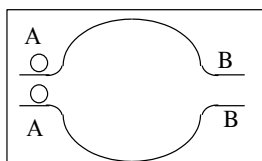
15. Почему белый свет, проходя сквозь призму, разлагается в цветной спектр?

16. Чем вызвана необходимость замедления нейтронов, испускаемых при делении ядер в ядерных реакторах?

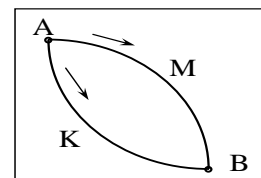
17. Как изменится период колебаний в колебательном контуре, состоящем из воздушного конденсатора и катушки индуктивности, если пространство между обкладками конденсатора заполнить диэлектриком? Ответ поясните.



18. Два одинаковых шарика начали одновременно и с одинаковой скоростью двигаться по абсолютно гладким сферическим поверхностям. Будет ли отличаться время движения каждого шарика к моменту их прибытия в точку В? Ответ поясните.

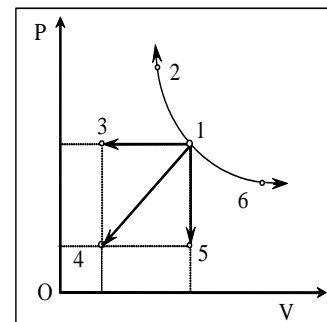


19. Тело соскальзывает из точки А в точку В один раз по дуге АМВ, другой раз по дуге АКВ. Коэффициент трения остается постоянным. В каком случае скорость тела в точке В больше? Почему?



20. Какие силы создают центростремительное ускорение самолёту при повороте в горизонтальной плоскости?

21. В каком из изображенных на рисунке процессов (1–2; 1–3; 1–4; 1–5; 1–6), проведенных с постоянной массой идеального газа, температура газа достигает наименьшей величины? Кривая 2–1–6 описывается уравнением $PV = \text{const}$. Ответ обосновать.



22. Какие силы создают центростремительное ускорение велосипедисту при повороте на горизонтальной дороге?

Ответ: Силы трения и силы реакции со стороны дороги.

ЗАДАЧИ ПЕРВОГО УРОВНЯ СЛОЖНОСТИ — задачи, в которых рассматриваются явления, относящиеся к одному разделу физики. Алгоритм решения этих задач обычно виден из условия задачи и для их решения необходимо, используя основные законы физики и их аналитические выражения, провести несложные математические преобразования и вычисления. Задачи этого уровня, как правило, позволяют выявить не только сам факт знания абитуриентом основных законов физики, но и умения применить аналитические выражения этих законов к решению задач. Кроме того, выявляется умение абитуриента пользоваться системой измерения физических величин СИ и переводить внесистемные единицы измерения в СИ.

Несмотря на кажущуюся простоту задач первого уровня сложности, у абитуриентов встречаются затруднения при их решении, не позволяющие абитуриенту получить максимальные баллы, например:

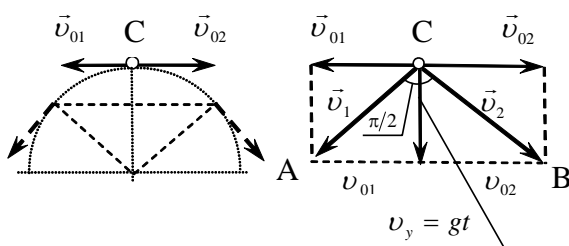
- При знании формулировок законов Ньютона не учитывается векторный характер этих законов.
- Путают формулы для нахождения емкости батареи конденсаторов при их параллельном и последовательном соединении с формулами для определения сопротивления участка цепи постоянного тока при последовательном и параллельном соединении проводников.

- Часто путают основное уравнение молекулярно–кинетической теории идеального газа с уравнением состояния идеального газа.
- Встречаются затруднения в записи аналитических выражений изопроцессов, адиабатного процесса и применении первого закона термодинамики для этих процессов.
- При использовании законов сохранения импульса и механической энергии, забывают про векторный характер закона сохранения импульса.
- К сожалению, многие абитуриенты не знают правильного определения таких понятий, как напряженность и потенциал электростатического поля, забывают о векторном характере напряженности, не могут использовать принцип суперпозиции полей, не имеют четкого представления о физическом смысле этих характеристик поля. Не пользуются графическим представлением электрического и магнитного полей.
- При описании колебательного движения не учитывается зависимость амплитуды и фазы колебаний тела от внешних условий, вызвавших эти колебания.

3. Примеры задач первого уровня сложности:

1. Две частицы движутся с ускорением g в однородном поле тяжести. В начальный момент частицы находились в одной точке и имели скорости $v_1 = 3,0$ м/с и $v_2 = 5,0$ м/с, направленные горизонтально и в противоположные стороны. Найдите расстояние между частицами в момент, когда векторы их скоростей окажутся взаимно перпендикулярными.

Решение.



Падая, обе частицы, находятся в одной горизонтальной плоскости, на одной высоте, определяемой составляющей $v_y = gt$. Расстояние между частицами L определяется горизонтальными составляющими скоростей,

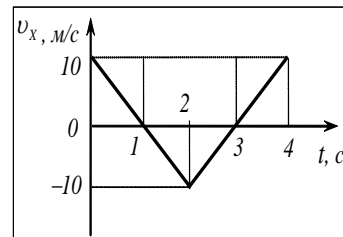
т.е. начальными скоростями v_{01} и v_{02} , и временем падения частиц t до момента, когда скорость \vec{v}_1 станет перпендикулярной скорости \vec{v}_2 . Время падения частиц находим из треугольников скоростей. Треугольник ABC – прямоугольный $v_{01} \cdot v_{02} = (gt)^2$, отсюда

$$t = \frac{\sqrt{v_{01} \cdot v_{02}}}{g} \quad (1), \quad L = (v_{01} + v_{02})t \quad (2).$$

$$\text{Подставив (1) в (2), получим } L = \frac{(v_{01} + v_{02})\sqrt{v_{01} \cdot v_{02}}}{g} = \frac{(3+5)\sqrt{3 \cdot 5}}{9,8} \approx 3,2 \text{ м.}$$

Ответ: $L = \frac{(v_{01} + v_{02})\sqrt{v_{01} \cdot v_{02}}}{g} \approx 3,2 \text{ м}$

2. На рисунке представлен график зависимости скорости v_x тела массы $m = 1 \text{ кг}$ от времени для прямолинейного движения вдоль оси x . Определите модуль силы, действующей на тело в момент времени $t = 3\text{с}$.



Ответ: $F = 10 \text{ Н}$.

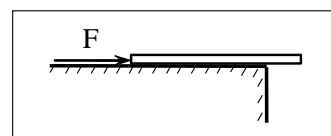
3. С вершины башни, высотой 125 м, бросили мяч в горизонтальном направлении со скоростью $v_0 = 20 \text{ м/с}$. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найдите модуль вектора перемещения мяча за четвертую секунду полёта.

Ответ: $\Delta r = \sqrt{\Delta r_x^2 + \Delta r_y^2} = 40,3 \text{ м}$

4. Два тела, находящиеся на одной и той же высоте, брошены одновременно с одинаковыми скоростями $v_0 = 10 \text{ м/с}$, одно вертикально вверх, а другое вертикально вниз. Определите τ – разницу во времени движения тел до момента падения их на землю.

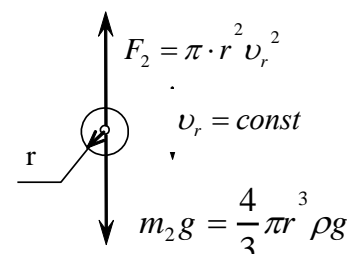
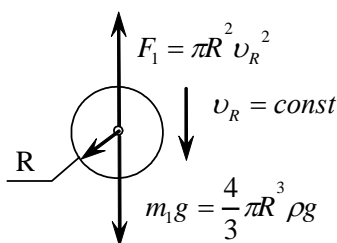
Ответ: $\tau = 2 \frac{v_0}{g} \approx 2\text{с}$

5. Четвёртая часть однородной линейки, имеющей массу m и длину L , выступает за край стола. Найдите минимальную величину силы F , которую необходимо приложить, чтобы сдвинуть линейку с места. Коэффициент трения между линейкой и столом равен μ .



Ответ: $F = \mu mg$.

6. При падении тела с большой высоты в воздухе через некоторый промежуток времени его скорость становится постоянной.



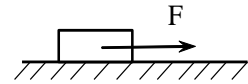
Учитывая, что сила лобового сопротивления прямо пропорциональна площади поперечного сечения тела и квадрату его скорости, определите отношение установившихся скоростей v_R/v_r , двух шаров радиусами R и r . Шары изготовлены из одного и того же материала.

Ответ: $\frac{v_R}{v_r} = \sqrt{\frac{R}{r}}$.

7. Тело движется по прямой. Под действием постоянной силы $F = 4 \text{ Н}$ за время $\Delta t = 2 \text{ с}$, импульс тела увеличился с p_1 до $p_2 = 20 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. Определите величину импульса

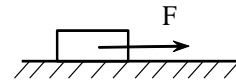
p_1 .

Ответ: $p_1 = p_2 - F\Delta t = 20 - 4 \cdot 2 = 12 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.



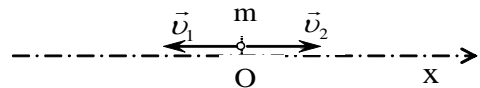
8. Тело движется по прямой. Начальный импульс тела $p_1 = 50 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. Определите импульс тела p_2 через $\Delta t = 2 \text{ с}$, если в течение этого времени на его действует постоянная сила трения $F = 10 \text{ Н}$.

Ответ: $p_2 = p_1 - F\Delta t = 50 - 10 \cdot 2 = 30 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.



9. Движение материальной точки вдоль оси x описывается уравнением $x = 0,06 \cos 0,5\pi t \text{ м}$. Масса точки $m = 10 \text{ г}$. Найдите изменение импульса Δp_x материальной точки за интервал времени от $t_1 = 1 \text{ с}$ до $t_2 = 3 \text{ с}$.

Ответ: $\Delta p_x = m(v_{2x} - v_{1x}) = 1,88 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

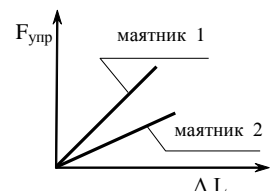


10. В вершинах квадрата расположены равные точечные положительные заряды. Определите напряженность электрического поля в центре квадрата.

Ответ: $E = 0$.

11. Диэлектрическая проницаемость воды $\epsilon = 81$. Как нужно изменить расстояние между двумя точечными зарядами, чтобы при погружении их в воду, сила взаимодействия между ними была такой же, как первоначально в вакууме?

Ответ: $\frac{q^2}{r_1^2} = \frac{q^2}{\epsilon \cdot r_2^2}$ Уменьшить в 9 раз.



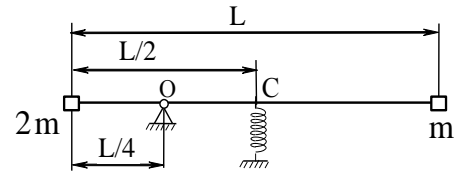
12. Два пружинных маятника имеют одинаковые массы грузов. На графике показана зависимость сил упругости пружин $F_{\text{упр}}$ этих маятников от растяжения ΔL . Период колебаний какого маятника будет больше? Объясните, почему.

Решение.

Из закона Гука следует, что $F_{\text{упр}} = k\Delta L$, из графика следует, что $k_1 > k_2$, а так как период колебаний $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, то $T_2 > T_1$.

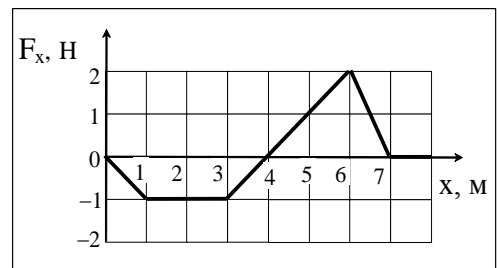
Ответ: $T_2 > T_1$.

13. Однородный стержень длины L и массы m шарнирно закреплён в точке O , отстоящей на $L/4$ от конца стержня. Середина стержня точка C прикреплена к пружине. На концах стержня закреплены два маленьких груза массами $2m$ и m , как показано на рисунке. Найдите силу упругости, возникающую в пружине в положении равновесия стержня, когда он неподвижен и расположен горизонтально. Массой пружины и силами трения пренебречь.



Ответ: $T = 2mg$.

14. В процессе поступательного движения тела вдоль оси x на него действует сила F , зависимость проекции которой от координаты x представлена на графике. Определите работу, совершаемую силой при перемещении тела от координаты $x = 0$ до $x = 5$ м.

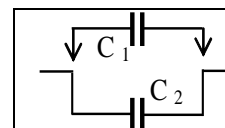


Решение.

Работа численно равна площади фигуры, образованной графиком и осью x . При этом площадь фигуры над осью x берётся со знаком плюс (она соответствует положительной работе), а площадь фигуры под осью x – со знаком минус (она соответствует отрицательной работе).

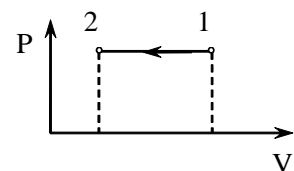
Ответ: $A = -2,5$ Дж.

15. Конденсатор емкости C_1 зарядили до напряжения $U_1 = 500$ В. При параллельном подключении этого конденсатора к незаряженному конденсатору емкости $C_2 = 4$ мкФ вольтметр, подключенный к батарее конденсаторов, показал напряжение $U_2 = 100$ В. Найдите ёмкость C_1 .



Ответ: $C_1 = \frac{C_2 \cdot U_2}{U_1 - U_2} = 1$ мкФ.

16. Найдите работу A , которую необходимо совершить над одним молем идеального газа для его изобарного сжатия, при котором концентрация молекул в конечном состоянии в $\alpha = 2$ раза больше, чем в начальном? Первоначальная



температура газа $T_1 = 300 \text{ К}$.

Ответ: $A = \nu RT_1 \frac{\alpha - 1}{\alpha} = 1246 \text{ Дж}$.

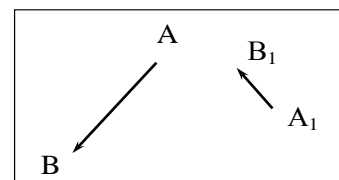
17. Внутренняя энергия U некоторой массы одноатомного газа при температуре $t = 27^\circ \text{С}$ равна $1,0 \text{ Дж}$. Сколько молекул N содержит эта масса газа?

Ответ: $N = \frac{m}{\mu} \cdot N_A = \frac{2UN_A}{3RT} = 1,6 \cdot 10^{20}$.

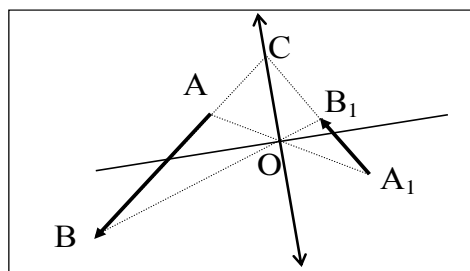
18. Сосуд объема $V = 40 \text{ дм}^3$ разделен тонкой подвижной перегородкой на две части. В левую часть помещены 36 граммов воды, а в правую – 28 граммов азота (N_2). Температура поддерживается равной $t = 100^\circ \text{С}$. Определите объём правой части сосуда.

Ответ: $V_A = \frac{m_A}{\mu_A} \cdot \frac{RT}{P_0} = 31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

19. На рисунке показаны предмет AB и его изображение A_1B_1 , полученное с помощью линзы. Определите построением положение линзы и её главной оптической оси.



Ответ: Луч, выходящий из любой точки предмета, после преломления в линзе, проходит через соответствующую точку действительного изображения этого предмета. Но, так как лучи, проходящие через оптический центр линзы, не меняют своего направления, то для нахождения положения оптического центра линзы, соединим прямыми линиями точки A , A_1 и B , B_1 . Полученная на их пересечении точка O является оптическим центром линзы. Для определения положения линзы кроме положения оптического центра, необходима ещё одна точка, принадлежащая линзе. Для её нахождения воспользуемся тем, что луч, идущий вдоль прямой AB , преломляясь в линзе, проходит вдоль прямой A_1B_1 . Таким образом, точка C , в которой происходит преломление луча, является второй точкой, принадлежащей линзе.



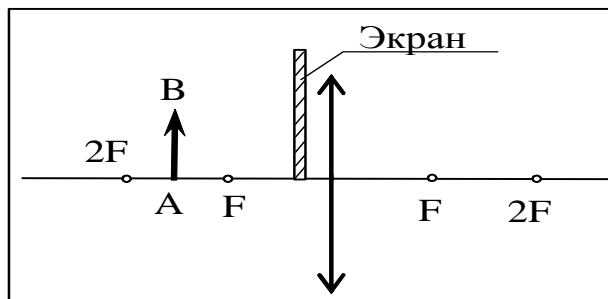
20. Максимальная кинетическая энергия материальной точки массы $m = 10 \text{ г}$, совершающей гармонические колебания с периодом $T = 2 \text{ с}$, равна $W = 1 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$. Определите амплитуду A колебаний этой точки.

Ответ: $A = \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{2W_{\max}}{m}} = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

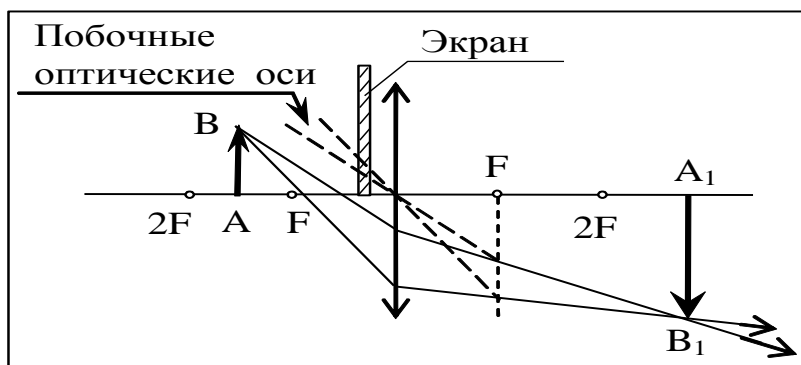
21. Предмет расположен на расстоянии 0,15 м от рассеивающей линзы с фокусным расстоянием 0,3 м. На каком расстоянии от линзы получается изображение данного предмета?

Ответ: $f = \frac{Fd}{F+d} = 0,1 \text{ м.}$

22. Постройте изображение предмета АВ в собирающей линзе, верхняя половина которой закрыта непрозрачным экраном. Для построения используйте только те лучи, которые непосредственно попадают на линзу.



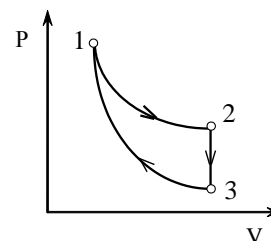
Ответ:



23. Определите изменение внутренней энергии 2 г водорода при нагревании его при постоянном давлении на $\Delta T = 10 \text{ К}$, если газу сообщено количество теплоты $Q = 291 \text{ Дж}$. Молярная масса водорода $\mu = 0,002 \text{ кг/моль}$.

Ответ: $\Delta U = Q - \frac{m}{\mu} R \Delta T = 207,9 \text{ Дж.}$

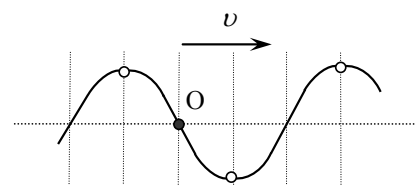
24. На рисунке показан цикл тепловой машины, состоящий из изотермического расширения 1–2, изохорического процесса 2–3 и адиабатного сжатия 3–1. Напишите уравнение



первого начала термодинамики для процесса 1–2.

Ответ: $Q = A.$

25. По струне слева направо бежит поперечная гармоническая волна со скоростью $v = 40 \text{ м/с}$. Длина волны $\lambda = 60 \text{ см}$, амплитуда $A = 2 \text{ мм}$. Найдите скорость



v_o точки О струны в момент времени, соответствующий рисунку.

Ответ:
$$v_o = A\omega = \frac{2\pi Av}{\lambda} = 0,94 \text{ м/с}.$$

26. В идеальном электрическом колебательном контуре емкость конденсатора равна 1 мкФ, а индуктивность катушки 1 Гн. Чему равна амплитуда напряжения на конденсаторе для незатухающих свободных колебаний, если амплитуда тока в контуре составляет 100 мА

Ответ:
$$\frac{CU^2}{2} = \frac{LI^2}{2}, \text{ откуда } U = I\sqrt{\frac{L}{C}} = 100\text{В}.$$

27. Два маленьких одинаковых металлических шарика, заряженных разноименными зарядами $+5q$ и $-q$, расположены на расстоянии L друг от друга. Шарики привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Найдите отношение модулей сил взаимодействия между шариками до соприкосновения и после того, как их раздвинули.

Ответ:
$$F_1 \approx 5q^2; F_2 \approx 4q^2; \text{ откуда } \frac{F_1}{F_2} = \frac{5}{4}.$$

28. При фотоэффекте максимальный импульс, передаваемый поверхности вольфрамовой пластинки при вылете каждого электрона $p = 3,45 \cdot 10^{-25}$ кг·м/с. Найдите энергию ϵ квантов применяемого облучения. Работа выхода вольфрама $A = 4,5$ эВ.

Ответ:
$$\epsilon = h\nu = A + \frac{p^2}{2m} = 7,85 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

29. Допишите ядерную реакцию ${}^9_4\text{Be} + ? \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$.

Ответ:
$${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}.$$

30. Число радиоактивных ядер некоторого элемента уменьшилось в 8 раз за 6 дней. Чему равен период полураспада этого элемента (в днях)?

Ответ:
$$T = 2 \text{ дня}$$

31. Определите энергию γ - кванта, если соответствующая ему длина волны $\lambda = 1,6 \cdot 10^{-12}$ м.

Ответ:
$$\epsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = 12,4 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}.$$

ЗАДАЧИ ВТОРОГО УРОВНЯ СЛОЖНОСТИ — задачи, в которых рассматриваются явления, обычно также относящиеся к одному разделу физики. Но для их решения кроме знаний основных законов физики требуется отыскать алгоритм решения задачи: выявить физическое явление, присутствующее в задаче, адекватное определенному закону физики, математически описать рассматриваемое в задаче явление, т.е. составить уравнение или систему уравнений и решить их. При этом особое внимание обращается на понимание абитуриентом векторного характера ряда величин, входящих в формулы, когда для полного определения этих величин необходимо учитывать не только их числовое значение, но и направление.

При этом при решении задач на кинематику оцениваются:

- умение абитуриента графически представить зависимость кинематических параметров движения от времени;
- способность найти все силы, вызывающие движение тел в конкретных условиях, умение заменить действие нескольких сил их равнодействующей;
- рациональность выбора системы координат, обеспечивающей наиболее простой вид системы уравнений, приводящей к решению задачи.

При решении задач на динамику обращается внимание

- на влияние начальных условий на характер движения тел,
- на различное воздействие на характер движения тел сил трения покоя и сил трения скольжения,
- на определение направления полного ускорения и равнодействующей силы при неравномерном движении тела по окружности и т. д.

При решении задач второго уровня сложности встречаются случаи, когда абитуриенты допускают непонимание и неточности, приводящие к снижению балла, получаемого за эту задачу, например:

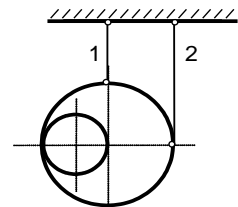
- При решении задач из раздела «статика» многие абитуриенты забывают второе условие равновесия твердого тела – условие равенства нулю суммарного момента внешних сил.
- Незнание выражения теплоемкости одноатомного идеального газа при постоянном объеме и постоянном давлении вызывает трудности при решении термодинамических задач.
- Недостаточно глубокое понимание физического содержания закона электромагнитной индукции Фарадея вызывает большие трудности при решении задач на его практическое применение.

- При расчете цепей, содержащих электродвигатель, не учитывается ЭДС индукции, возникающей при вращении якоря электромотора.
- Много ошибок встречается при решении задач на применение формулы рассеивающей линзы и при построении изображений в таких линзах.
- Особую сложность вызывают задачи на построение изображений в оптических системах, состоящих из нескольких линз и зеркал.

Задачи второго уровня сложности позволяют выявить способность абитуриента осознанно применять физические законы к описываемому в задаче явлению, а также умение использовать для решения физических задач математический аппарат: составлять алгебраические уравнения, связывающие физические величины, которые характеризуют рассматриваемое явление с количественной стороны.

4. Примеры задач второго уровня сложности:

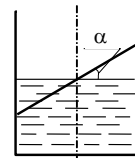
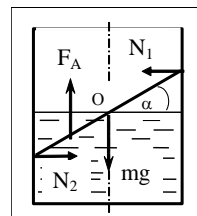
1. В сплошной однородной тонкой пластине, имеющей форму круга радиуса R и первоначальную массу M , вырезали отверстие вдвое меньшего радиуса, касающееся края пластины. Пластину подвесили на двух невесомых нитях 1 и 2, как показано на рисунке. Определите силу натяжения нити 2 .



на

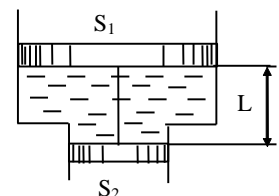
Ответ: $T_2 = \frac{1}{8} Mg$.

2. Однородная палочка массы m наполовину погружена в воду, как показано на рисунке. Угол наклона палочки к горизонту α . С какой силой давит на стенку цилиндрического сосуда верхний конец палочки? Трением пренебречь.



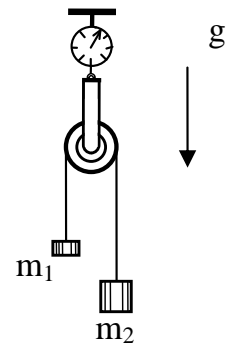
Ответ: $N = \frac{1}{4} mg \operatorname{ctg} \alpha$.

3. В вертикально расположенном сосуде с сечениями S_1 и S_2 находятся два невесомых поршня. Поршни соединены тонкой проволокой длины L . Найдите силу натяжения проволоки T , если пространство между поршнями заполнено водой. Трением пренебречь. Концы сосуда открыты в атмосферу. Плотность воды равна ρ .



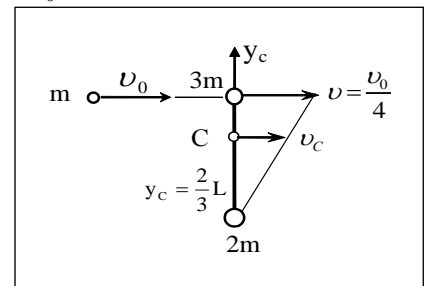
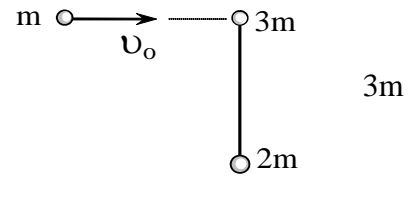
Ответ: $T = \rho g L \frac{S_1 S_2}{S_1 - S_2}$.

4. Через блок, подвешенный к динамометру, перекинут невесомый нерастяжимый шнур, на концах которого укреплены грузы массы $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 8$ кг. Чему равно показание динамометра при движении грузов? Массой блока и силами трения пренебречь.



Ответ: $F = \frac{4m_1m_2}{m_1 + m_2} g = 62,7 \text{ Н}$.

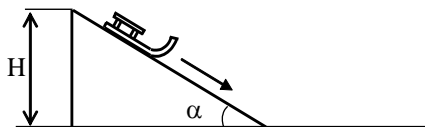
5. На гладком горизонтальном столе покоятся два маленьких шарика массами $3m$ и $2m$, скрепленных невесомым жестким стержнем длины L . На шарик массой налетает и прилипает к нему кусочек пластилина массы m , двигавшийся вдоль стола со скоростью v_0 перпендикулярно стержню. Определите силу упругости, возникающую в стержне, при дальнейшем движении шариков.



Ответ: $T = \frac{mv_0^2}{12L}$.

6. Бетонная однородная свая массы m лежит на дне водоема глубиной h , большей, чем длина сваи L . Привязав трос к одному концу сваи, её медленно вытаскивают из воды так, что центр тяжести сваи поднимается на высоту H над поверхностью воды ($H > L$). Какую работу нужно совершить при подъеме сваи? Плотность бетона в n раз больше плотности воды. Силами сопротивления пренебречь.

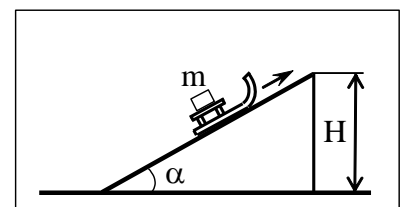
Ответ: $A = mg \left[H + h \left(1 - \frac{1}{n} \right) \right]$.



7. Санки съезжают с горы, имеющей высоту H и угол наклона α , и движутся далее по горизонтальному участку. Коэффициент трения на всем пути одинаков и равен k . Определите расстояние S , которое пройдут санки, двигаясь по горизонтальному участку, до полной остановки.

Ответ: $S = \frac{H(1 - \mu \text{ctg} \alpha)}{\mu}$.

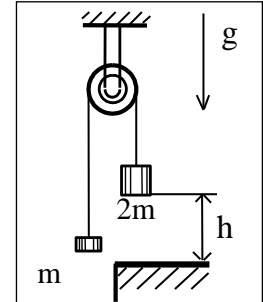
8. Какую работу надо совершить, чтобы втащить сани с грузом (общей массы $m = 30$ кг) на гору высоты $H = 10$ м? Угол наклона горы $\alpha = 30^\circ$. Коэффициент трения



между санями и горой линейно убывает вдоль пути от $k_1 = 0,5$ у подножия до $k_2 = 0,1$ у вершины. Скорость тела в конце подъема равна нулю.

Ответ: $A = mgH \left(1 + \frac{k_1 + k_2}{2} \operatorname{ctg} \alpha \right) = 4,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}.$

9. Два груза, массы которых $2m$ и m , связаны невесомой нерастяжимой нитью, переброшенной через неподвижный блок. В начальный момент груз массы $2m$ удерживают на высоте h над столом. Затем его без толчка отпускают. Какое количество теплоты выделится при ударе этого груза о стол? Удар абсолютно неупругий. Массой блока и силами трения в блоке пренебречь.

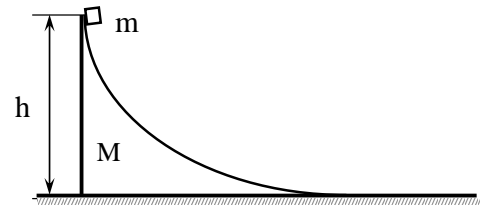


Ответ: $Q = \frac{2}{3} mgh.$

10. В сосуде имеются две несмешивающиеся жидкости с плотностями ρ_1 и ρ_2 ; толщины слоев этих жидкостей равны d_1 и d_2 соответственно. С поверхности жидкости в сосуд опускают маленькое обтекаемое тело, которое достигает дна как раз в тот момент, когда его скорость становится равной нулю. Найдите плотность материала, из которого сделано тело. Силами вязкого трения пренебречь.

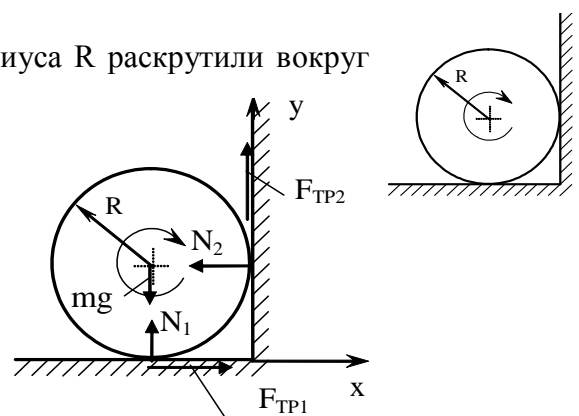
Ответ: $\rho = \frac{\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2}{d_1 + d_2}.$

11. На гладком горизонтальном столе покоится «горка», угол наклона которой плавно изменяется от некоторого значения до нуля. С вершины «горки» соскальзывает без трения небольшое тело массы m . Найдите скорость тела относительно горки после соскальзывания, если высота «горки» h , масса M ? Трением между горкой и столом пренебречь.



Ответ: $v_{\text{отн}} = \left(1 + \frac{m}{M} \right) \sqrt{\frac{2gh}{1 + \frac{m}{M}}}.$

12. Тонкостенный цилиндр массы m и радиуса R раскрутили вокруг его оси до угловой скорости ω и поместили затем в угол. Коэффициент трения между стенками угла



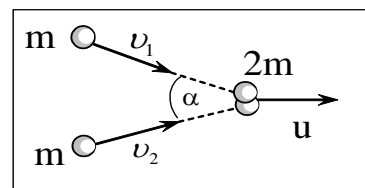
и цилиндром равен μ . Сколько оборотов сделает цилиндр до остановки.

Ответ:
$$n = \frac{\omega^2 R}{4\pi g} \cdot \frac{(1 + \mu^2)}{\mu(1 + \mu)}.$$

13. Горизонтальная платформа совершает гармонические колебания в вертикальном направлении вместе с лежащим на ней грузом. Силы, с которыми груз давит на платформу в крайних нижнем и верхнем положениях, отличаются в $n = 2$ раза. Найдите частоту колебаний, если их амплитуда составляет $A = 6,8$ см. Принять $g = 10$ м/с².

Ответ:
$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{A} \cdot \frac{n-1}{n+1}} = 1,1 \text{ Гц}.$$

14. Два одинаковых пластилиновых шара, движущихся с равными по величине скоростями, совершают неупругий удар, после которого слипаются в одно целое. Какой угол α составляли друг с другом векторы скоростей шаров до удара, если при ударе половина начальной кинетической энергии шаров перешла в тепло?

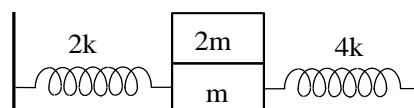


Ответ:
$$\alpha = \frac{\pi}{2}.$$

15. Человек, находящийся в лодке, переходит с носа на корму. На какое расстояние S переместится лодка длиной $L = 3$ м, если масса человека $m = 60$ кг, а масса лодки $M = 120$ кг? Сопротивление воды не учитывать.

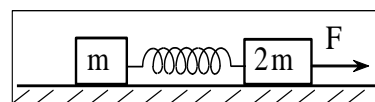
Ответ:
$$S = -\frac{l \cdot m}{M + m} = -1 \text{ м}.$$

16. Определите максимальную амплитуду гармонических колебаний системы, состоящей из двух брусков и двух невесомых пружин, при которой бруски будут совершать колебания по горизонтальной плоскости без проскальзывания относительно друг друга. Жесткость пружин $2k$ и $4k$. Масса нижнего бруска m , верхнего – $2m$, коэффициент трения между брусками равен μ . В положении равновесия пружины не деформированы. Трение между нижним бруском и плоскостью отсутствует.



Ответ:
$$A = \frac{\mu mg}{2k}.$$

17. На горизонтальной плоскости лежат два бруска массы m и $2m$, соединенные ненапряженной пружиной.



Какую наименьшую постоянную силу F , направленную горизонтально, нужно приложить к бруску массы $2m$, чтобы сдвинулся и второй брусок? Коэффициент трения брусков о плоскость равен μ .

Решение.

Если брусок массы m остается неподвижным при смещении на x бруска массы $2m$, то сила F совершает работу по растяжению пружины и против сил трения (при условии, что в конечный момент скорость бруска массы $2m$ обращается в нуль):

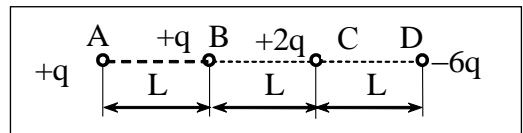
$$Fx = \frac{kx^2}{2} + \mu \cdot 2mgx, \quad (1) \text{ т.е. } F = \frac{kx}{2} + \mu \cdot 2mg. \quad (2)$$

$$\text{Условие начала скольжения бруска массы } m : kx = \mu mg. \quad (3)$$

$$\text{Таким образом, подставив (3) в (2), найдем } F_{\min} = \frac{\mu m g}{2} + \mu 2mg = \frac{5}{2} \mu mg.$$

Ответ: $F_{\min} = \frac{5}{2} \mu mg$.

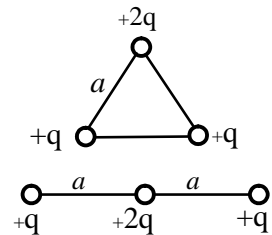
18. В точках A, B, C, D расположены неподвижные точечные заряды $+q$, $+q$, $+2q$, $-6q$, как показано на рисунке. Определите



работу, которую необходимо совершить для перемещения заряда $+q$ из точки B в бесконечность, где потенциал электрического поля принимается равным нулю.

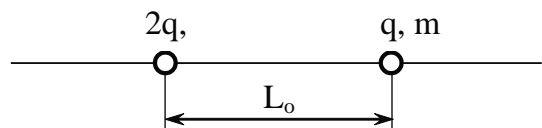
Ответ: $A = 0$.

19. Три положительных точечных заряда $+q$, $+2q$ и $+q$, связанных между собой нитями, расположены в вершинах правильного треугольника со стороной a . После разрыва одной из нитей заряды расположились вдоль одной прямой, как показано на рисунке. Найдите работу сил электрического поля, необходимую для перестройки системы расположения зарядов.



Ответ: $A = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 a}$.

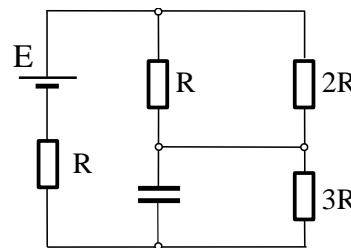
20. Две бусинки, имеющие заряды $+2q$ и $+q$, удерживаются на длинном горизонтальном изолирующем стержне на расстоянии L_0 друг



от друга. Бусинку, имеющую заряд $+q$ и массу m отпускают, и она начинает скользить по стержню. Коэффициент трения скольжения равен μ . Найдите максимальное расстояние L между бусинками.

Ответ: $L = \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 mgL_0}$.

21. В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, ЭДС источника тока $E = 42$ В. Считая параметры элементов схемы известными, найдите установившееся напряжение U между обкладками конденсатора. Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

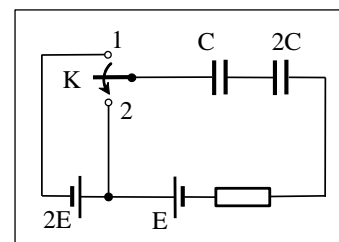


Ответ: $U = \frac{E \cdot 3R}{R_{\Sigma}} = \frac{42 \cdot 3R \cdot 3}{14R} = 27$ В.

22. Определите массу меди, выделившейся из раствора Cu SO_4 за время $t = 100$ с, если ток, протекавший через электролит, менялся по закону $I = (5 - 0,02 t)$ А, где t – время в секундах. Валентность меди $n = 2$.

Ответ: $m = \frac{\mu}{F \cdot n} q = \frac{0,064}{9,65 \cdot 10^4 \cdot 2} q = 0,13 \cdot 10^{-3}$ кг.

23. Электромотор питается от батареи с ЭДС $E = 12$ В. Какую мощность P развивает мотор при протекании по его обмотке тока $I = 2$ А, если при полном затормаживании якоря по цепи течет ток $I_0 = 3$ А?



Ответ: $P = IE \left(1 - \frac{I}{I_0} \right) = 8$ Вт.

24. Найдите количество теплоты, которое выделится в цепи при переключении ключа K из положения 1 в положение 2. Параметры элементов цепи, изображённых на рисунке, считать известными.

Решение.

При переключении ключа через источник тока E протечет некоторый заряд q . Работа батареи равна $E \cdot q$. Эта работа может частично пойти на увеличение энергии, запасенной в батарее конденсаторов, частично на выделение тепла в цепи. Как видно из рисунка, заряд и, следовательно, энергия, запасенная в батарее конденсаторов, не изменяются при переключении ключа. Меняются лишь знаки зарядов на обкладках. Следовательно, при переключении ключа K через источник тока протекает заряд

$$q = 2C_{\text{БАТ}}E, \text{ где } C_{\text{БАТ}} = \frac{2}{3}C, \text{ т.е. } q = \frac{4}{3}CE,$$

$$\text{и в цепи выделилось количество теплоты } Q = qE = \frac{4}{3}CE^2.$$

$$\text{Ответ: } \boxed{Q = qE = \frac{4}{3}CE^2}.$$

25. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 1000 \text{ В}$, влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное направлению его движения. Индукция магнитного поля $B = 1,19 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$. Найдите: 1) радиус окружности, по которой движется электрон, 2) период обращения его по окружности.

Решение.

В соответствии с законом сохранения энергии $\frac{mv^2}{2} = eU$, откуда скорость электрона $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$. В соответствии со вторым законом Ньютона $\frac{mv^2}{R} = eUB$, откуда радиус окружности, по которой движется электрон

$$R = \frac{mv}{eB} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{e}} = \frac{1}{1,19 \cdot 10^{-3}} \sqrt{\frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^3}{1,6 \cdot 10^{-19}}} \approx 9,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

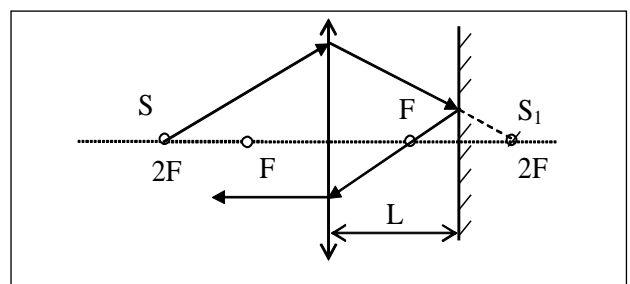
Период обращения электрона по окружности $T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi \frac{m}{eB} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, т.е. период не зависит от скорости электрона.

$$\text{Ответ: } \boxed{R = \frac{mv}{eB} \approx 9,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}}, \quad \boxed{T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi \frac{m}{eB} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ с}}.$$

26. Источник света расположен на двойном фокусном расстоянии от собирающей линзы на её главной оптической оси. За линзой перпендикулярно оптической оси расположено плоское зеркало. На каком расстоянии от линзы нужно поместить зеркало, чтобы лучи, отраженные от зеркала, пройдя вторично через линзу, стали параллельными? Фокусное расстояние линзы $F = 10 \text{ см}$.

Решение

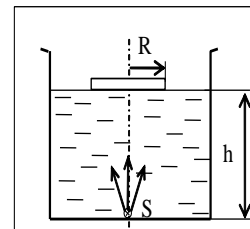
В отсутствие плоского зеркала изображение S_1 источника располагается на двойном фокусном расстоянии от



линзы. Для того чтобы лучи, отраженные от зеркала, пройдя вторично через линзу, стали параллельными, необходимо, чтобы они пересекались в заднем фокусе линзы. Это произойдет в том случае, когда расстояние L между линзой и зеркалом будет равно $3F/2$ т. е. $L = 3F/2 = 15$ см

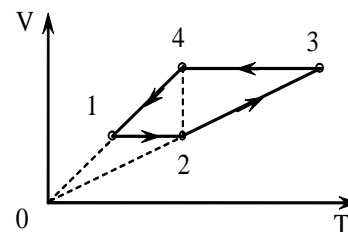
Ответ: $L = 3F/2 = 0,15$ м.

27. На дне сосуда, наполненного жидкостью до высоты h , находится точечный источник света S . На поверхности жидкости плавает круглый диск радиуса R так, что центр диска находится над источником света. Определите показатель преломления жидкости n , при котором ни один луч не выйдет через поверхность жидкости.



Ответ: $n \geq \frac{\sqrt{h^2 + R^2}}{R}$.

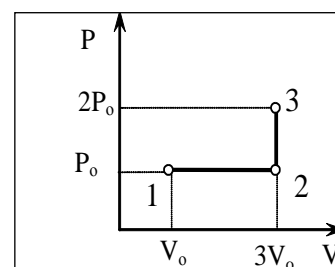
28. На V - T диаграмме изображен цикл 1-2-3-4, совершаемый двумя молями азота, и состоящий из двух изохор и двух изобар. Известно, что точки 2 и 4 лежат на одной изотерме, а средние квадратичные скорости молекул азота в точке 1 $v_1 = 300$ м/с, а в



точке 3 – $v_3 = 700$ м/с. Определите работу, совершаемую газом за цикл. Молярная масса азота $\mu = 0,028$ кг/моль.

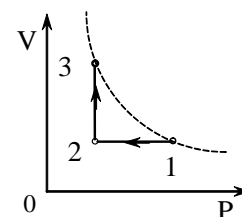
Ответ: $A = \frac{\nu\mu}{3}(v_1 - v_3)^2 = 2985$ Дж.

29. Два моля кислорода, имеющих температуру $T_1 = 100$ К в состоянии 1, последовательно переводят в состояние 3. Считая кислород идеальным газом, определите среднюю квадратичную скорость его молекул в состоянии 3.



Ответ: $v_{ср.кв.} = \sqrt{\frac{3RT_3}{\mu}} = 684 \frac{м}{с}$.

30. Идеальный одноатомный газ в количестве 10 моль сначала охладили, уменьшив при этом давление в 3 раза, а затем нагрели до первоначальной температуры 300 К. Найдите количество теплоты, сообщённое газу на участке 2–3.



Ответ: $Q_{23} = \nu RT_1 \approx 41,6$ кДж.

31. Какой максимальный заряд q может накопиться на удаленном от других тел медном шарике радиуса $r = 3$ см при облучении его электромагнитным излучением с длиной волны $\lambda = 0,14$ мкм? Работа выхода для меди $A = 4,47$ эВ.

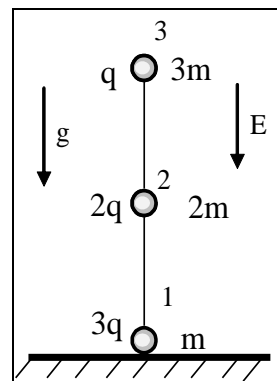
Ответ: $q = 4\pi\epsilon_0 r \frac{h \frac{c}{\lambda} - A}{e} = 1,45 \cdot 10^{-11} \text{ Кл}$.

ЗАДАЧИ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ СЛОЖНОСТИ — это комбинированные задачи, требующие углубленного понимания физических явлений, творческого мышления, комплексного использования знаний по различным разделам физики, позволяющего путем логических рассуждений связать происходящие физические явления или процессы, оценить их с качественной и количественной сторон.

В комбинированных задачах оценивается способность абитуриента осмыслить физическое содержание задачи, понять, какие физические процессы и явления включены в её условие, его умение отыскать в динамике процессов момент, который можно описать, используя математический аппарат в рамках школьной программы. Комбинированные задачи являются лучшим критерием оценки глубины усвоения программного материала. Метод подхода к решению этих задач позволяет оценить способность абитуриента творчески мыслить и логически рассуждать, т.е. качества, которые в конечном счете являются необходимыми для формирования исследовательского стиля умственной деятельности студентов Университета.

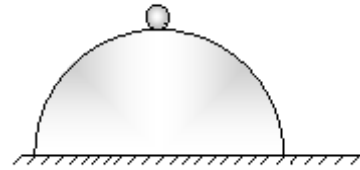
5. Примеры задач третьего уровня сложности:

1. На концах и в середине невесомого жесткого вертикального стержня длины L укреплены маленькие шарики 1, 2, 3 равного объема, массы которых равны m , $2m$ и $3m$, а заряды $+3q$, $+2q$, $+q$ соответственно. В пространстве, где находятся шарики, создано однородное электрическое поле напряженности E , силовые линии которого направлены вертикально вниз. Какую скорость будут иметь шарики в момент падения их на горизонтальную поверхность? Силами трения и влиянием индуцированных на горизонтальной поверхности зарядов пренебречь.



Ответ: $v_2 = \sqrt{\frac{2L(2mg + qE)}{7m}}$; $v_3 = 2\sqrt{\frac{2L(2mg + qE)}{7m}}$.

2. Небольшое тело начинает соскальзывать без начальной скорости из верхней точки неподвижной полусферы радиуса R . На какую высоту h оно подскочит после удара о горизонтальную поверхность, на которой находится полусфера? Удар считать абсолютно упругим, полусфера жестко закреплена на плоскости.

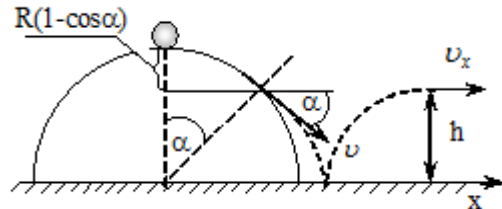


Решение.

1) Используя закон сохранения энергии, запишем выражения для полной энергии в начальной точке траектории и в точке максимального подъема:

$$mgR = \frac{mv_x^2}{2} + mgh, \text{ откуда найдем } h = R - \frac{v_x^2}{2g} \text{ (1), где } v_x = v \cdot \cos \alpha.$$

2) Скорость v и $\cos \alpha$ найдем, используя закон сохранения энергии и исходя из условия отрыва тела от сферы (Сила реакции N обратится в ноль при значении α , при котором $\cos \alpha = 2/3$. Далее тело будет свободно двигаться в поле тяжести):



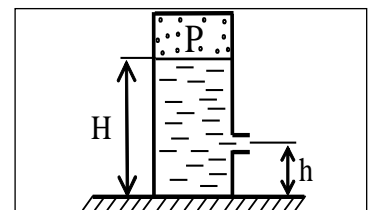
$$\left. \begin{aligned} \frac{mv^2}{2} &= mgR(1 - \cos \alpha) \\ \frac{mv}{R} &= mg \cos \alpha \end{aligned} \right\} \text{ . Отсюда}$$

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{2}{3} \\ v^2 &= \frac{2}{3} gR \end{aligned} \right\}$$

Подставим эти выражения в (1), найдем $h = R - \frac{1}{2g}(v \cos \alpha)^2 = R - \frac{1}{2g} \cdot \frac{2}{3} gR \left(\frac{2}{3}\right)^2 = \frac{23}{27} R$.

Ответ: $\boxed{h = \frac{23}{27} R}$.

3. На горизонтальном столе стоит замкнутый цилиндрический сосуд, заполненный до высоты H жидкостью плотности ρ . Пространство над жидкостью заполнено газом, давление которого равно P ($P > P_0$, где P_0 – атмосферное давление). В боковой стенке сосуда на расстоянии $h < H$ от его дна открывают отверстие площади $S_{\text{отв}}$. Определите максимальное значение коэффициента трения μ между



сосудом и поверхностью стола, при котором сосуд начнет двигаться после открытия отверстия. Площадь основания сосуда $S \gg S_{\text{отв}}$. Массами бака и газа, а также силами вязкого трения пренебречь.

Решение.

1) Уравнение Бернулли: $P + \rho gH = P_o + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2}$,

откуда $v^2 = \frac{2}{\rho} [(P - P_o) + \rho g(H - h)]$.

2) Сила, действующая на сосуд при вытекании жидкости

$F_p = v \frac{dm}{dt} = v(\rho S_{\text{отв}} \cdot v) = \rho S_{\text{отв}} \cdot v^2$, где $\frac{dm}{dt}$ – секундный расход массы жидкости

$F_p = 2S_{\text{отв}} [(P - P_o) + \rho g(H - h)]$

3) Сила трения между сосудом и столом $F_{\text{тр}} = \mu \rho SHg$

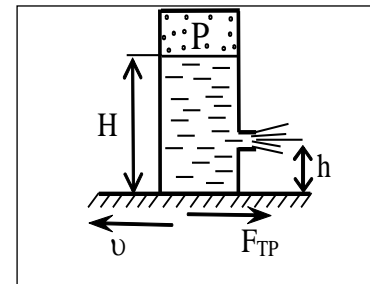
4) Условие начала скольжения $F_{\text{тр}} = F_p$, т.е.

$\mu \rho SHg = 2S_{\text{отв}} [(P - P_o) + \rho g(H - h)]$,

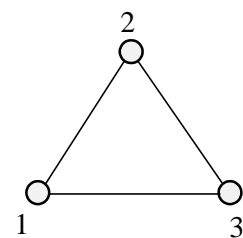
откуда коэффициент трения

$\mu = \frac{2S_{\text{отв}}}{\rho HgS} [(P - P_o) + \rho g(H - h)]$

Ответ: $\mu = \frac{2S_{\text{отв}}}{\rho HgS} [(P - P_o) + \rho g(H - h)]$.

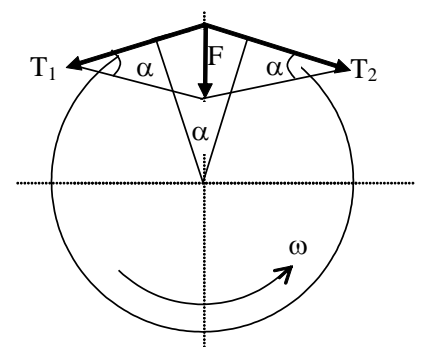


4. Три одинаковых одноименно заряженных шарика, заряд каждого из которых равен q , а масса m , соединены невесомыми, нерастяжимыми и непроводящими нитями длины L каждая так, что нити образуют равносторонний треугольник. Нить между шариками 1 и 3 пережигают. Найдите максимальную скорость шарика 2.



Ответ: $v_2 = \frac{2q}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 6mL}}$.

5. Коэффициент жёсткости резинового жгута, длина которого L и масса m , равен k . Кольцо, изготовленное из этого жгута, вращается с угловой скоростью ω в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси,



проходящей через центр кольца. Определите радиус вращающегося кольца.

Решение.

Обозначим через L_{BP} длину вращающегося кольца ($L_{BP} = 2\pi R$). Рассмотрим небольшой

участок кольца длиной ΔL и массой $\Delta m = \frac{m}{L_{BP}} \cdot \Delta L$. На выделенный участок с двух сторон

действуют силы \vec{T}_1 и \vec{T}_2 , направленные по касательным к кольцу и одинаковые по

модулю ($T_1 = T_2$). Их равнодействующая \vec{F} направлена по радиусу к центру кольца и

сообщает рассматриваемому участку центростремительное ускорение $a = \omega^2 R$. Из

рисунка видно, что $F = 2T \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$. Запишем уравнение движения выделенного участка:

$$F = \omega^2 R \cdot \Delta m \text{ или } 2T \sin \frac{\alpha}{2} = \omega^2 R \frac{m \cdot \Delta L}{L_{BP}}. \quad (1)$$

Поскольку $T = k(L_{BP} - L)$, $L_{BP} = 2\pi R$, а при малых углах $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2} = \frac{\Delta L}{2R}$, то из

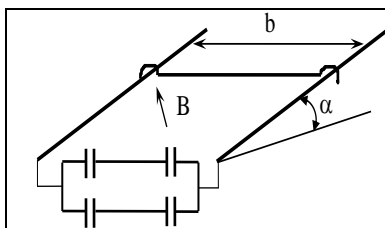
равенства (1) получаем $k(2\pi R - L) \frac{\Delta L}{2R} = \frac{\omega^2 m}{2\pi} \Delta L$. Отсюда $R = \frac{2\pi k L}{4\pi^2 k - \omega^2 m}$.

Ответ: $R = \frac{2\pi k L}{4\pi^2 k - \omega^2 m}$.

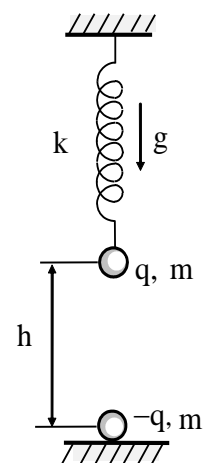
6. Маленький шарик массы m подвешен на пружине жесткости k и несет заряд q . В начальный момент шарик удерживают так, что пружина не деформирована. Под шариком на расстоянии h лежит такой же шарик с зарядом $-q$. Верхний шарик отпускают. При каком минимальном значении q нижний шарик подпрыгнет?

Ответ: $q_{\min} = \sqrt{4\pi\epsilon_0 mg \cdot h} \cdot \frac{kh - 2mg}{kh + 2mg}$.

7. По двум параллельным металлическим направляющим,



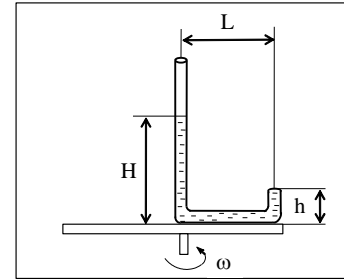
наклоненным под углом α к горизонту и расположенным на расстоянии b друг от друга, скользит без трения металлическая перемычка массы m . Направляющие замкнуты снизу на батарею конденсаторов, емкость каждого из которых равна C . Вся конструкция



находится в магнитном поле, индукция которого B направлена перпендикулярно плоскости, в которой перемещается перемычка. Определите ускорение перемычки. Сопротивлением направляющих, перемычки и индуктивностью контура пренебречь.

Ответ:
$$a = \frac{mg \sin \alpha}{m + C B^2 b^2}.$$

8. Тонкая, запаянная с одного конца трубка заполнена водой и закреплена на горизонтальной платформе, вращающейся с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси. Открытое и запаянное колена трубки вертикальны. Геометрические размеры установки указаны на рисунке.



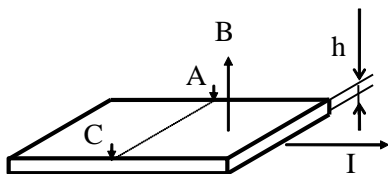
Атмосферное давление P_0 , плотность воды ρ . Найдите давление воды у запаянного конца трубки. Силами поверхностного натяжения пренебречь.

Ответ:
$$p_3 = p_0 + \rho g(H - h) + \frac{\rho \omega^2 L^2}{2}.$$

9. Массы двух звезд равны m_1 и m_2 , расстояние между ними равно ℓ . Найдите период T обращения этих звезд по круговым орбитам вокруг их общего центра масс.

Ответ:
$$T = 2\pi\ell \sqrt{\frac{\ell}{G(m_1 + m_2)}}.$$

10. По металлической ленте, толщина которой равна h , течет ток I . Лента помещена



в однородное магнитное поле, индукция которого равна B и направлена перпендикулярно поверхности ленты. Определите разность потенциалов между точками A и C ленты, если концентрация свободных электронов в металле равна n .

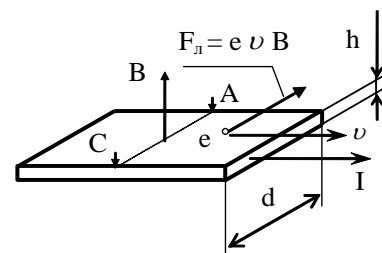
Решение.

Поле E , возникающее из-за разделения зарядов под действием силы Лоренца, равно $E = vB$.

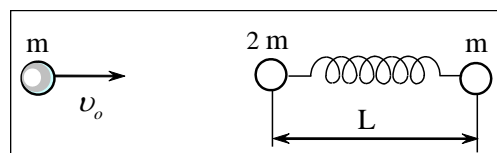
Скорость электронов в ленте $v = \frac{j}{en} = \frac{I}{dnen}$, тогда

$$E = \frac{BI}{dnhne}.$$
 Разность потенциалов между точками A и C $\varphi_A - \varphi_C = Ed = \frac{BI}{neh}.$

Ответ:
$$\varphi_A - \varphi_C = \frac{BI}{neh}.$$



11. Два шарика массы $2m$ и m соединены невесомой пружиной жесткости k и

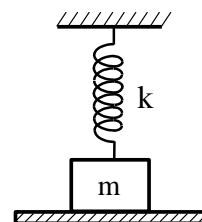


v_0

длины L и лежат неподвижно на гладком горизонтальном столе. Третий шарик массы m движется со скоростью по линии, соединяющей центры первых двух, и упруго соударяется с шариком массы $2m$. Пренебрегая временем соударения шариков по сравнению со временем деформации пружины, определите максимальное расстояние между шариками, связанными пружиной, при их дальнейшем движении.

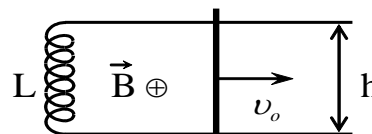
Ответ: $L_{\max} = L + A = L + \frac{2}{3}v_0\sqrt{\frac{2m}{3k}}$

12. На подставке лежит тело массы m , подвешенное на пружине жесткости k . В начальный момент пружина не растянута. Подставку начинают опускать вниз с ускорением a . Найдите время, через которое подставка оторвется от тела. Каким будет максимальное растяжение пружины?



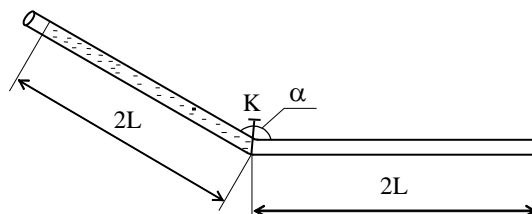
Ответ: $t = \sqrt{\frac{2m(g-a)}{Ka}}$; $\Delta L = \frac{mg}{K} + \frac{m\sqrt{a(2g-a)}}{K}$.

13. Горизонтальный контур образован двумя замкнутыми на катушку индуктивности L параллельными проводниками, находящимися на расстоянии h друг от друга. По проводникам без трения может скользить перемычка массы m . Контур помещен в вертикальное однородное магнитное поле. В начальный момент времени неподвижной перемычке сообщают скорость v_0 . Определите индукцию магнитного поля B , если известно расстояние S , которое пройдет перемычка до первой остановки, а также найдите время t_1 , за которое перемычка пройдет половину этого расстояния. Сопротивлением всех элементов контура пренебречь.



Ответ: $B = \frac{v_0\sqrt{Lm}}{Sh}$; $t_1 = \frac{\pi S}{6v_0}$.

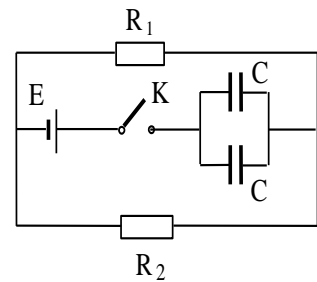
14. Тонкая, открытая с обоих концов трубка, согнутая под углом $\alpha = 150^\circ$ расположена в вертикальной плоскости. Верхнее колено трубки заполнено на длину $2L$ жидкостью, которая удерживается с помощью



клапана K . Найдите, через какое время t после открытия клапана, вся жидкость вытечет из горизонтальной части трубки, длина которой равна $2L$. Силами трения и поверхностного натяжения пренебречь. При течении жидкость заполняет всё сечение трубки.

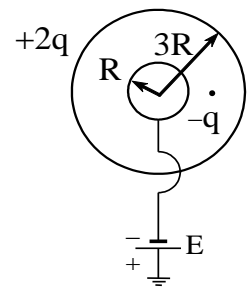
Ответ: $t = \sqrt{\frac{L}{g \sin \alpha}} \left(\frac{\pi}{2} + 1 \right) = 2 \sqrt{\frac{L}{g}} \left(\frac{\pi}{2} + 1 \right)$.

15. В схеме, показанной на рисунке, перед замыканием ключа К батарея, состоящая из двух одинаковых конденсаторов емкости С каждый, не была заряжена. Ключ замыкают на некоторое время, в течение которого конденсаторы зарядились до напряжения U. Определите, какое количество теплоты Q₂ выделится за это время на резисторе сопротивления R₂. ЭДС источника тока равна E, его внутренним сопротивлением пренебречь.



Ответ: $Q_2 = CU(2E - U) \frac{R_1}{R_1 + R_2}$.

16. В системе, состоящей из двух concentric проводящих сфер радиусами R и 3R, внутренняя сфера соединена с землей через источник ЭДС, равной E. Заряд внешней сферы равен +2q. На расстоянии 2R от центра системы находится точечный заряд -q. Зная величины q, E, R, определите заряд внутренней сферы. Потенциал земли принять равным нулю.



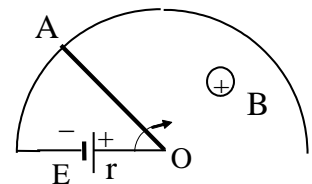
Решение.

Согласно принципу суперпозиции, потенциал внутренней сферы равен $\varphi = -E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \cdot 2R} + \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 3R}$, откуда

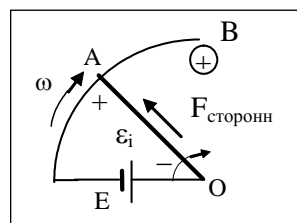
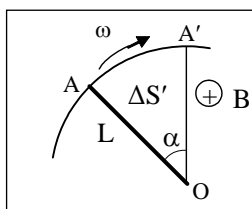
находим искомый заряд внутренней сферы $Q = -\left(4\pi\epsilon_0 RE + \frac{1}{6}q \right)$.

Ответ: $Q = -\left(4\pi\epsilon_0 RE + \frac{1}{6}q \right)$.

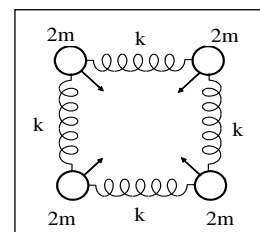
17. Стержень OA сопротивлением R и длиной L скользит по полукольцу, сопротивление которого ничтожно мало. Контур находится в однородном магнитном поле с индукцией B, линии которой перпендикулярны плоскости контура. В контур включен источник тока с ЭДС E и внутренним сопротивлением r. Угловая скорость вращения стержня ω. Найдите разность потенциалов между точками O и A стержня.



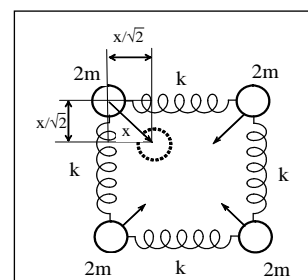
Ответ: $\varphi_o - \varphi_A = \frac{2\varepsilon R - BL^2 \omega r}{2(R+r)}$.



18. Четыре одинаковых шарика массы $2m$ каждый, соединенные одинаковыми пружинами жесткости k , образуют квадрат. Одновременно все четыре шарика толкнули, сообщив им одинаковые по модулю скорости, направленные к центру квадрата.

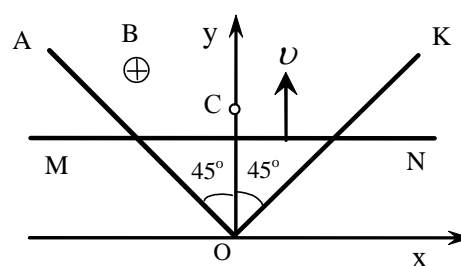


Через какое минимальное время после этого пружины будут сильнее всего сжаты? Массами пружин пренебречь.



Ответ: $t_1 = \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$.

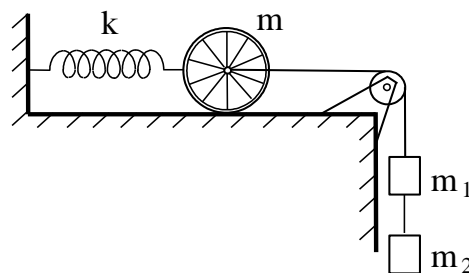
19. Проводник АОК, согнутый под углом $\alpha = 90^\circ$, расположен в плоскости xy , как показано на рисунке, в постоянном однородном магнитном поле индукции B , перпендикулярной плоскости xy . По проводнику из начала координат O перемещают поступательно вдоль оси y с постоянной скоростью v перемычку MN , параллельную оси x . Сопротивление единицы длины перемычки равно ρ . Пренебрегая сопротивлением проводника и скользящих контактов, а также индуктивностью контура, найдите полное количество теплоты Q , выделившейся в перемычке, за время её движения до точки C . Длина отрезка OC равна L .



Ответ: $Q = \frac{B^2 v L^2}{\rho} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{B^2 v L^2}{\rho}$.

20. К оси колеса, масса m которого равномерно распределена по ободу, присоединена пружина жесткости k . Второй конец пружины прикреплен к стене. С

помощью нити, перекинутой через блок, к оси колеса подвешены два груза: $m_1 = m$, и $m_2 = 3m$. Система пришла в движение с нулевой начальной скоростью при недеформированной пружине. Считая, что колесо катится по горизонтальной поверхности без проскальзывания, определите максимальную силу натяжения нити, соединяющей грузы m_1 и m_2 , при их дальнейшем движении. Массами пружины, нити и блока пренебречь.



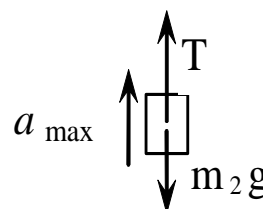
Решение.

1) Квадрат круговой частоты $\omega^2 = \frac{k}{m_1 + m_2 + 2m} = \frac{k}{m + 3m + 2m} = \frac{k}{6m}$.

2) Амплитуда колебаний грузов $A = \frac{(m_1 + m_2)g}{k} = \frac{4mg}{k}$.

3) Максимальное ускорение $a = A\omega^2 = \frac{4mg}{k} \frac{k}{6m} = \frac{2}{3}g$.

4) Уравнение 2-го закона Ньютона для момента времени, когда груз находится в нижнем положении; при этом сила натяжения нити максимальная: $m_2 a = T - m_2 g$,



откуда $T = m_2(g + a) = m_2(g + A\omega^2) = 3m\left(g + \frac{2}{3}g\right) = 5mg$.

Ответ: $T = 5mg$.

ЗАДАЧА СЧИТАЕТСЯ ПОЛНОСТЬЮ РЕШЁННОЙ, ЕСЛИ:

- приведены ссылки на законы, используемые для решения данной задачи, с учетом, если необходимо, их векторного характера; указаны физические явления, рассматриваемые в задаче;
- даны текстовые пояснения по ходу решения задачи;
- записаны необходимые для решения задачи уравнения, правильно проведены все алгебраические преобразования и получен ответ в буквенном виде;
- если необходимо по условию задачи, выполнены числовые расчеты и записан окончательный ответ в системе СИ с указанием единиц измерения полученных величин.