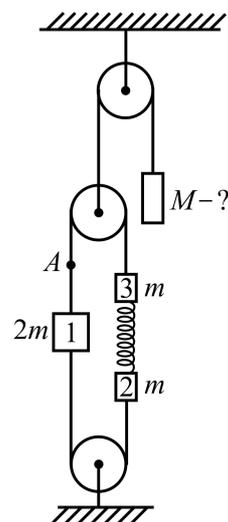


### Задача 1

В системе, изображенной на рисунке, все блоки – невесомые и вращаются без трения, все нити – невесомые и нерастяжимые (их жесткость велика по сравнению с жесткостью пружины). Пружина также невесома. Система находится в покое. При какой массе груза  $M$  груз 1 сразу после пережигания нити в точке  $A$  будет иметь ускорение большее по модулю, чем  $g$ ?



**Ответ:**  $M > 6m$ .

#### Критерии

Правильно найдено соотношение между ускорениями грузов 1 и 2 – 2 балла.

Правильно найдено минимальное значение силы упругости пружины – 2 балла.

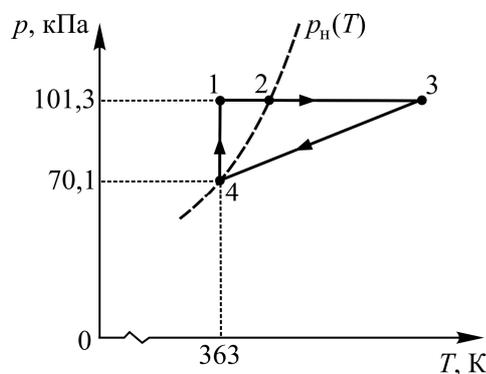
Правильно записано условие равновесия груза 3 до пережигания нити – 2 балла.

Получен правильный ответ – 2 балла.

Всего: 8 баллов

### Задача 2

Рабочим телом тепловой машины служит некоторое количество воды. Цикл, по которому работает машина, показан на рисунке в  $p$ - $T$  координатах (пунктиром изображена зависимость давления насыщенных паров воды от температуры). Он состоит из изобарического (1-2-3), изохорического (3-4) и изотермического (4-1) участков. Найдите КПД этого цикла, считая воду практически несжимаемой жидкостью.



*Напоминания:*  $p_1 = 101,3$  кПа – нормальное атмосферное давление, удельная теплота парообразования воды (при  $100^\circ\text{C}$ )  $L \approx 2,26 \cdot 10^6$  Дж/кг, молярная масса воды  $\mu = 18$  г/моль, удельная теплоемкость воды  $c \approx 4,19 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К), универсальная газовая постоянная  $R \approx 8,31$  Дж/(моль·К), теплоемкость одного моля водяного пара при постоянном давлении равна  $4R$ .

**Ответ:**  $\eta \approx 0,029 = 2,9\%$ .

#### Критерии

Правильно описано изменение состояния рабочего тела, в том числе указано на наличие двухфазных состояний системы – 1 балл.

Правильно найдена температура в точке 3 – 1 балл.

Правильно найдены количества теплоты  $Q_{12}$  (нагревание воды до кипения),  $Q_{22'}$  (выкипание воды) и  $Q_{2'3}$  (нагревание пара) – по 1 баллу за каждое количество теплоты (всего 3 балла). Если сразу правильно найдено полное количество теплоты  $Q^+$ , полученное от нагревателя – 3 балла.

Цикл правильно перерисован на  $pV$ -диаграмме (1 балл) и правильно найдена работа, совершаемая за цикл (1 балл) – всего 2 балла.

Правильно найден КПД – 1 балл.

Всего: 8 баллов

### Задача 3

Тонкий жесткий непроводящий стержень длиной  $L$  несет на себе электрический заряд  $Q$ , который равномерно распределен по длине стержня. Маленький шарик имеет электрический заряд  $q$  и прикреплен к одному из концов стержня тонкой непроводящей и незаряженной нитью длиной  $R$ . Какова сила натяжения нити, если система находится в равновесии? Считать, что  $Q/q > 0$ . Силу тяжести не учитывать.

**Ответ:**  $F(R) = k \frac{qQ}{R(R+L)} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 R(R+L)}$ .

#### Критерии

Способ 1 (энергетический).

Записана связь между работой силы и изменением потенциальной энергии – 1 балл.

*Московская олимпиада школьников по физике 2011 г. 11 класс, 2-й тур.*

Проведено разбиение стержня на элементы и показано, что изменение потенциальной энергии взаимодействия шарика со стержнем может быть найдено как разность энергий взаимодействия шарика с двумя точечными зарядами – 2 балла.

Правильно найдена убыль энергии взаимодействия шарика со стержнем – 3 балла.

Получена правильная формула для силы взаимодействия – 2 балла.

Всего: 8 баллов

Способ 2 (прямое интегрирование).

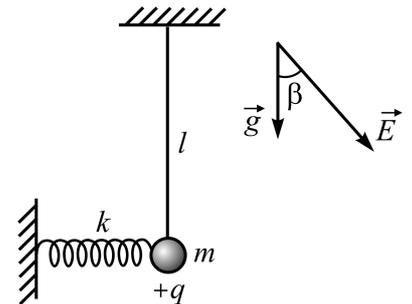
Проведено разбиение стержня на элементы и найдена сила взаимодействия шарика с точечным элементом – 3 балла.

Проведено интегрирование по длине стержня и получен правильный ответ – 5 баллов. За ошибки при вычислении определенного интеграла снимается 2 балла.

Всего: 8 баллов

### Задача 4

На тонкой непроводящей нити длиной  $l$  подвешен маленький шарик массой  $m$ , который заряжен зарядом  $+q$ . Слева к шарикам прикреплена непроводящая пружинка жесткостью  $k$ , расположенная горизонтально. Шарик находится в однородном электрическом поле  $\vec{E}$ , направленном так, как показано на рисунке. В состоянии равновесия нить с шариком висит вертикально. Найти период малых колебаний шарика в плоскости рисунка.



**Ответ:** 
$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m} + \frac{g}{l} + \frac{qE \cos\beta}{ml}}}$$

### Критерии

Способ 1 (энергетический).

Правильно записана кинетическая энергия системы (1 балл) и потенциальная энергия системы (2 балла) – всего 3 балла. Если сразу записано правильное выражение для полной энергии системы – 3 балла.

Использовано условие малости амплитуды колебаний – 1 балл.

Проведено дифференцирование по времени выражения для полной энергии системы и получено уравнение колебаний – 2 балла.

Уравнение колебаний приведено к стандартному виду уравнения гармонических колебаний – 1 балл.

Получена правильная формула для периода колебаний (или для частоты  $\omega$ ) – 1 балл.

Всего: 8 баллов

Способ 2 (силовой).

Правильно сделан чертеж, на нем обозначены действующие на шарик силы (или интересующие нас проекции сил) – 1 балл.

Записано уравнение движения шарика (правильно применен второй закон Ньютона) – 3 балла.

Использовано условие малости амплитуды колебаний – 1 балл.

Показано, что горизонтальная составляющая электрического поля не оказывает влияния на период колебаний (из-за того, что соответствующая проекция силы имеет второй порядок малости) – 1 балл.

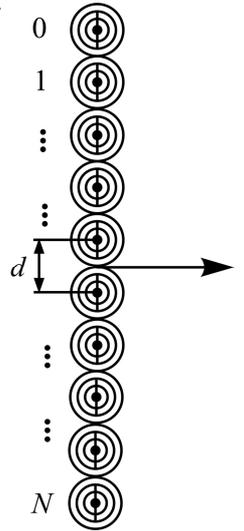
Уравнение колебаний приведено к стандартному виду – уравнения гармонических колебаний – 1 балл.

Получена правильная формула для периода колебаний (или для частоты  $\omega$ ) – 1 балл.

Всего: 8 баллов

### Задача 5

СВЧ-антенна радиолокатора устроена следующим образом: вдоль прямой линии на равных расстояниях  $d = 2,5$  см друг от друга расположены  $N = 100$  излучателей электромагнитных волн длиной  $\lambda = 2d$  (см. рис.). Каждый из них излучает сферическую волну, причем модуль напряженности поля  $n$ -го излучателя ( $0 \leq n \leq N$ ) изменяется по закону  $E(t) = A \sin(\omega t - kr_n + n \frac{\pi}{2} \cos \Omega t)$ , где  $r_n$  – расстояние от данного излучателя,  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число, а  $\Omega \ll \omega$ . Найдите, как зависит от времени угол между лучом, излучаемым радиолокатором в плоскости рисунка, и нормалью к цепочке излучателей. Оцените угловую ширину луча и его угловую скорость.



**Ответ:** Цепочка излучателей является направленной антенной, испускающей узкий СВЧ-луч, угол  $\varphi$  отклонения которого от нормали к цепочке меняется по закону  $\sin \varphi = \frac{1}{2} \cos \Omega t$ , причем угол максимального отклонения  $\varphi_{\max} = \arcsin \frac{1}{2} = 30^\circ$ . При

$\varphi = 0$  максимальная угловая скорость качания луча  $\dot{\varphi}_{\max} = \frac{1}{2} \Omega$ , а угловая ширина луча

$$\Delta\varphi_{\min} = \frac{2}{N} = 0,02 \text{ радиана} \approx 1^\circ.$$

### Критерии

#### Вопрос 1.

Применен принцип Гюйгенса–Френеля для построения волнового фронта – 1 балл.

Правильно найдена разность хода волн от двух соседних излучателей – 2 балла.

Сделан вывод о том, что волновой фронт является плоскостью – 2 балла.

Найдено, как зависит от времени угол, который фронт волны (и пучок СВЧ-излучения) составляет с нормалью к цепочке излучателей – 3 балла.

Итого: 8 баллов

#### Вопрос 2.

Найдена угловая скорость луча – 2 балла.

Оценена угловая ширина луча – от 1 балла до 3 баллов (в зависимости от степени правильности рассуждений).

Итого: 5 баллов.

Всего: 13 баллов