

**1. Стержень на плоскости (5 баллов)**

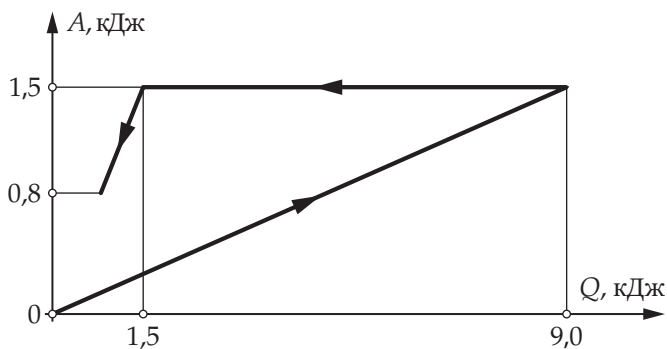
Однородный стержень массой  $m$  движется по плоскости так, что в некоторый момент времени абсолютные значения ускорений концов  $A$  и  $B$  стержня оказываются равны  $a_A = 2a_0$  и  $a_B = a_0$ , при этом ускорения направлены вдоль параллельных прямых, а векторы скоростей концов равны друг другу. Какая внешняя сила действует на стержень в данный момент времени? Определите модуль и направление вектора силы.

**2. Термодинамический цикл (6 баллов)**

Состояние одного моля идеального двухатомного газа изменяется в цикле, состоящем из процессов с постоянной теплоёмкостью. На рисунке, представленном ниже, изображён график зависимости работы, совершаемой газом, от количества теплоты, полученного или отданного им при достижении текущего состояния.

**А. (3 балла)** Определите КПД цикла.

**Б. (3 балла)** Чему равна минимальная температура газа в этом циклическом процессе, если максимальная температура равна 481 К?



*Примечание.* Квазистатический процесс, при котором молярная теплоёмкость газа  $c$  остаётся постоянной, описывается соотношением

$$PV^{\frac{c-c_p}{c-c_v}} = \text{const},$$

где  $P$  и  $V$  — давление и объём соответственно,  $c_V$  и  $c_p = c_V + R$  — это молярные теплоёмкости при постоянном объёме и давлении.

**3. Мартышка тянет удава (8 баллов)**

Удав выпрямился, лежа на горизонтальной поверхности, расслабился и не сопротивляется совсем. Его масса  $M$  равномерно распределена по его длине  $L$ . Поверхность гладкая, и по ней рядом с удавом

и параллельно ему проложена тропинка (не гладкая) для прогулок. Мартышка, находясь на этой тропинке, схватила удава за кончик его хвоста и потащила этот конец удава в направлении к его голове. При этом удав целиком лежит на поверхности. Сила  $F$ , с которой мартышка тянет хвост удава, горизонтальна и меняется в зависимости от времени  $t$  по закону  $F = At$ , где  $A$  — это известная постоянная величина.

**А. (4 балла)** С какой скоростью двигался кончик хвоста удава в тот момент, когда расстояние от него до головы удава впервые стало равно  $\frac{L}{2}$ ?

**Б. (2 балла)** Через какое время хвост удава поравняется с неподвижной головой удава?

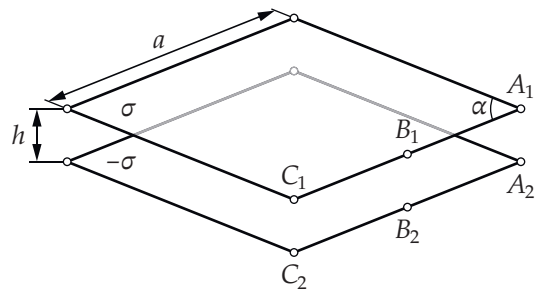
**В. (2 балла)** Какой будет скорость всего удава в тот момент, когда его голова придёт в движение?

*Указание.* Может оказаться полезной формула

$$\int_a^b x^n dx = \frac{1}{n+1} (b^{n+1} - a^{n+1}), \quad n \neq -1.$$

**4. Разности (6 баллов)**

Две одинаковые плоские диэлектрические пластины, заряженные равномерно по поверхности с плотностью  $\sigma$  и  $-\sigma$ , располагаются параллельно друг другу на небольшом расстоянии  $h$  (см. рисунок). Каждая пластина имеет форму ромба с острым углом  $\alpha$  ( $\frac{\pi}{6} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}$ ) и длиной стороны  $a$  ( $a \gg h$ ). Любая вершина верхней пластины и ближайшая к ней вершина нижней пластины лежат на общем перпендикуляре к плоскостям пластин.



**А. (1 балл)** Найдите разность потенциалов центров пластин. Центром ромба считается точка пересечения его диагоналей.

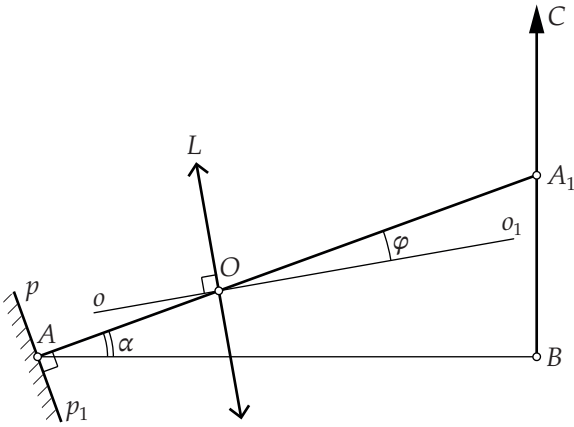
**Б. (2 балла)** Определите разность потенциалов середин близлежащих сторон пластин (точки  $B_1$  и  $B_2$ ).

**В. (3 балла)** Чему равна разность потенциалов вершин ромбов  $A_1$  и  $A_2$ ? А разность потенциалов вершин  $C_1$  и  $C_2$ ?

**Продолжение задания см. на листе 2**

## 5. Tilt-Shift (6 баллов)

Конструкция фотографического Tilt-shift объектива позволяет наклонять и сдвигать оптическую ось объектива относительно линии зрения (линии, соединяющей фотоаппарат и объект съёмки). Наклон оптической оси даёт возможность получать резкие изображения протяжённых предметов, разные точки которых находятся на разном расстоянии от фотоаппарата.



На упрощённой схеме, представленной на рисунке, собирающая линза  $L$  символизирует объектив. Главная оптическая ось объектива  $oo_1$  отклонена на угол  $\varphi$  от линии зрения  $AA_1$ , составляющей угол  $\alpha$  с горизонталью. Фотографируемый предмет изображается отрезком  $BC$ ,  $pp_1$  — плоскость, в которой располагается светочувствительная матрица фотоаппарата (или плёнка, если речь идёт о плёночной камере).

Пусть известны расстояние  $AB = 5$  м по горизонтали между матрицей фотоаппарата и предметом, фокусное расстояние объектива  $f = 50$  мм, а также угол  $\alpha = \frac{\pi}{4}$  между линией зрения и горизонталью. Угол поворота главной оптической оси  $\varphi$  подобран так, чтобы все точки светящегося отрезка  $BC$  изображались в плоскости матрицы фотоаппарата  $pp_1$  максимально резко. Найдите угол  $\varphi$ , считая его малым.

*Указание.* Для малого угла  $\beta$  ( $|\beta| \ll 1$ ) справедливы приближённые соотношения

$$\sin \beta \approx \beta, \quad \operatorname{tg} \beta \approx \beta, \quad \cos \beta \approx 1.$$