

10 класс

Теоретический тур

Задача №1. Исследовательский зонд

Исследовательский зонд, находящийся на круговой орбите радиуса R вокруг планеты Шелезяка, изучает движение Болтика — маленького спутника планеты. Орбита Болтика также является круговой с радиусом r ($r < R$) и лежит в той же плоскости, что и орбита зонда (см. рис. 1). В процессе наблюдения приборы зонда зафиксировали, что Болтик спустился $t_1 = 165$ мин после пересечения им видимого края диска планеты оказался на максимальном угловом расстоянии $\theta_{max} = 15^\circ$ от центра Шелезяки, а ещё спустя некоторое время, большее t_1 , снова пересёк край видимого диска планеты. Известно, что между указанными пересечениями других пересечений Болтика с видимым краем планеты не было. Планета Шелезяка имеет форму шара и на ней нет атмосферы. Масса Болтика много меньше массы планеты, зонд и спутник обращаются вокруг планеты в одну и ту же сторону. Угловой диаметр планеты, наблюдаемый зондом, равен $2\theta_0 = 6^\circ$. Гравитационная постоянная равна $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$.

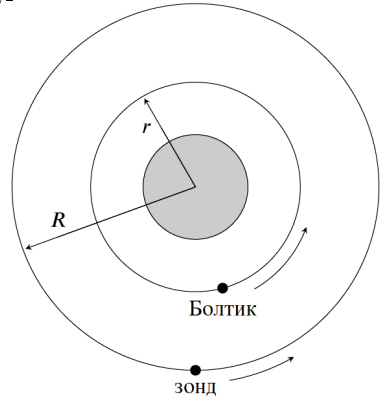


Рис. 1

Масса Болтика много меньше массы планеты, зонд и спутник обращаются вокруг планеты в одну и ту же сторону. Угловой диаметр планеты, наблюдаемый зондом, равен $2\theta_0 = 6^\circ$. Гравитационная постоянная равна $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$.

1. Определите отношение R/r .
2. Чему равен период обращения зонда T вокруг Шелезяки?
3. Найдите среднюю плотность Шелезяки ρ .

Примечание:

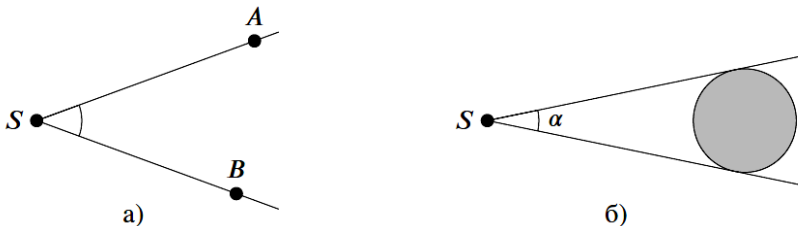


Рис. 2

1. Угловым расстоянием между точками A и B называется величина угла $\angle ASB$, на сторонах которого лежат рассматриваемые точки, а вершина S находится в точке наблюдения (см. рис. 2а).

2. Угловым диаметром астрономического объекта (например, звезды или планеты) называется величина максимально возможного угла α между двумя касательными к поверхности рассматриваемого объекта, вершина которого находится в точке наблюдения S (рис. 2б).

Задача №2. С ускорением

Идеально гибкая однородная нерастяжимая цепочка постоянной толщины, массой m и длиной L подвешена с помощью короткой нити к закреплённой точке A (рис. а). В некоторый момент времени нить пережигают, и цепочку начинают тянуть за её нижний конец с постоянной силой F в направлении точки A (рис. б).

1. С каким по модулю ускорением a_0 начнёт двигаться верхний конец цепочки сразу после пережигания нити?

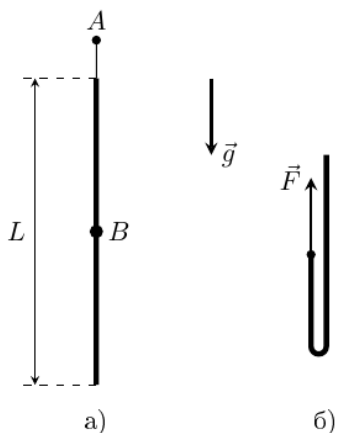
2. Через какое время τ после пережигания нити вся цепочка снова выпрямится?

3. Определите модуль скорости цепочки v сразу после её распрямления.

4. Какое количество теплоты Q выделится за время τ ?

5. Определите силу натяжения T цепочки в точке B , расположенной в её середине, после её распрямления.

Ускорение свободного падения равно g . Сопротивлением воздуха необходимо пренебречь. Размеры звеньев в цепочке много меньше её длины. Считайте, что столкновения звеньев в цепи неупругие.



Задача №3. Пузырёк чёрного курильщика

В океанах на большой глубине около срединно-океанических хребтов могут встречаться такие источники тепла, как чёрные курильщики. Они извергают геотермальную воду высокой температуры. После одного из таких выбросов в толще океана появился слой теплой воды, температура t в котором изменялась с глубиной h так, как показано на рисунке (представлен на отдельном листе).

Продукты выброса чёрных курильщиков также часто содержат различные газы, которые формируют пузырьки.

1. Найдите все возможные значения глубины, на которых пузырёк в воде будет находиться в равновесии.

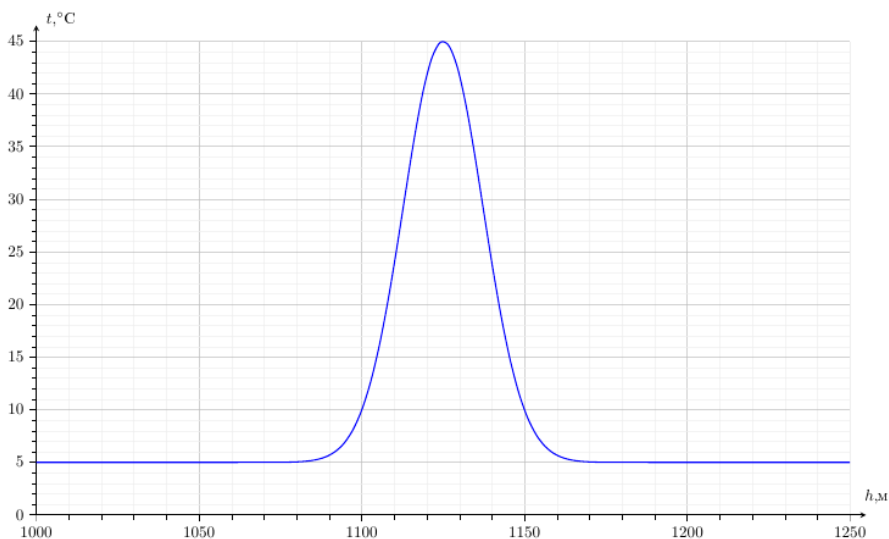
2. Определите, являются ли найденные положения равновесия устойчивыми. Считайте, что:

- течение в воде отсутствует, и она находится в состоянии покоя;

- пузырёк всегда имеет форму шара, и давление внутри него равно внешнему давлению воды;
- газ внутри пузырька можно считать идеальным;
- температура внутри пузырька равна температуре окружающей воды;
- газ не растворяется в воде.

Молярная масса газа $\mu = 222$ г/моль, плотность воды постоянна и равна $\rho_{\text{в}} = 1020$ кг/м³, универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К), ускорение свободного падения $g = 10$ м/с², атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

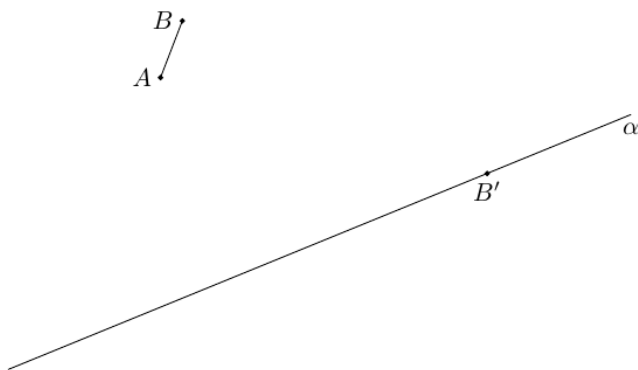
Примечание. При сдаче работы лист с рисунком вкладывается в решение участника.



Задача №4. Точно не Снеллиус?

Даны светящийся отрезок AB , точка B' — изображение точки B , создаваемое некоторой тонкой линзой, и прямая α , проходящая через точку B' (см. рисунок). Известно, что точка B' лежит в плоскости двойного фокуса линзы, а точка A' (изображение точки A) лежит на прямой α . Для всех возможных вариантов с помощью циркуля и линейки без делений восстановите:

1. положение оптического центра линзы;
2. положение линзы и положение её главной оптической оси;
3. положение фокусов линзы;
4. положение точки A' .



На отдельном листе приведено два рисунка. Все построения выполняйте на этом листе, опишите их. Метод построения параллельных и перпендикулярных прямых, проходящих через заданную точку, деление отрезка пополам, откладывание равных отрезков и подобные стандартные геометрические процедуры описывать не обязательно.

Считайте, что данная линза любые лучи (даже непараксиальные) преломляет по тем же правилам, что и параксиальные. Параксиальный луч — это луч, идущий под малым углом к главной оптической оси линзы и на малом расстоянии от неё.

Примечание. При сдаче работы лист с рисунками вкладывается в решение участника.

Задача №5. Усилитель

В данной задаче рассматривается упрощённый принцип работы трёхконтактного элемента электрической цепи — *полевого транзистора*. Контакты данного элемента называются «исток», «сток» (имеется в виду исток и сток электронов) и «затвор» (см. рис. 1). При этом сила тока через затвор много меньше силы тока, текущего между стоком и истоком.

Вольт-амперная характеристика транзистора, то есть зависимость силы тока I , текущего между стоком и истоком, от напряжения U между ними управляется напряжением $U_{зи}$, созданным между затвором и истоком (полярность подключения, соответствующая положительным значениям U и $U_{зи}$, указана на рис. 1).

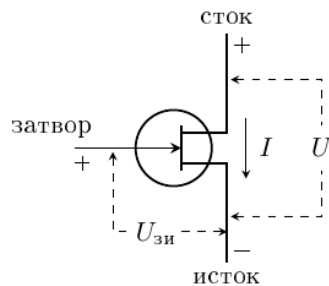


Рис. 1

В простейшей модели полевого транзистора его вольт-амперная характеристика описывается графиком, представленным на рис. 2а. При любых положительных напряжениях U между стоком и истоком через транзистор течёт постоянный ток $I_{\text{нас}}$, называемый током насыщения. Сила тока насыщения зависит от напряжения $U_{\text{зи}}$, созданного между затвором и истоком, так, как показано на рис. 2б.

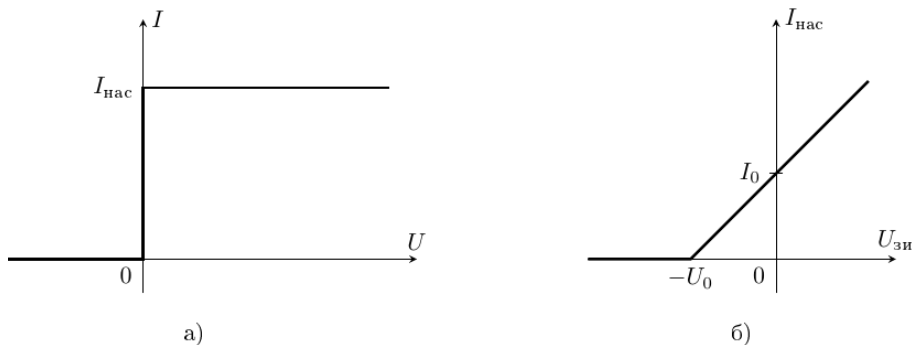


Рис. 2

На основе данного транзистора был собран простейший усилитель, то есть устройство, позволяющее увеличить амплитуду переменного напряжения. Схема такого устройства изображена на рис. 3 (буквами «с» и «и» отмечены, соответственно, сток и исток транзистора).

На вход усилителя подают переменное напряжение синусоидальной формы с амплитудой U_a , зависимость $U_{\text{зи}}$ от времени t для которого представлена на рис. 4, при этом определяют напряжение $U(t)$ на выходе.

При решении задачи считайте известными параметры транзистора: $I_0 = 0,5 \text{ A}$, $U_0 = 1 \text{ В}$, напряжение батареи $\mathcal{E} = 10 \text{ В}$, а также то, что батарея является идеальной.

Примечание: Амплитудой колебаний называется значение максимального отклонения исследуемой величины от её среднего значения.

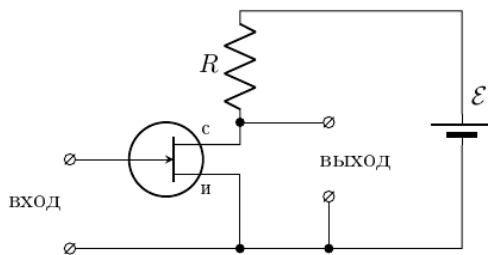


Рис. 3

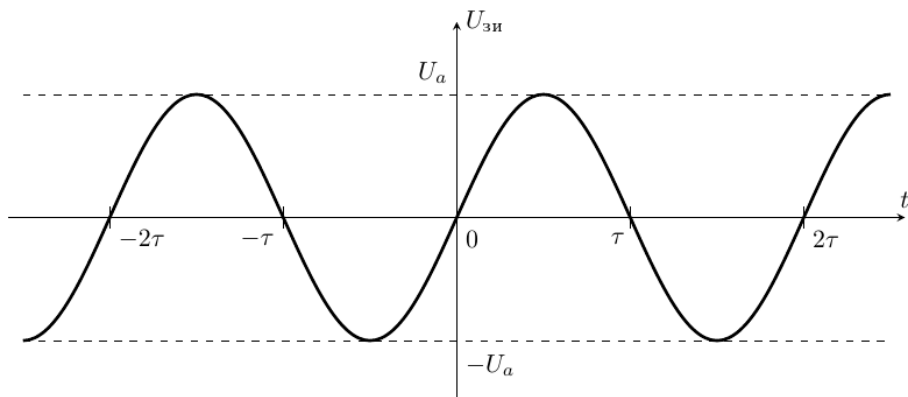


Рис. 4

1. При каких значениях U_a зависимость напряжения U на выходе усилителя от времени будет иметь форму синусоиды, если сопротивление резистора равно:
 а) $R = 5$ Ом; б) $R = 16$ Ом?

2. Определите коэффициент усиления K , то есть отношение амплитуды напряжения на выходе усилителя к амплитуде напряжения на входе, если $R = 5$ Ом, и сигнал на входе усилителя имеет синусоидальную форму.

3. Постройте график зависимости выходного напряжения U от времени t , если $U_a = 2$ В и $R = 8$ Ом. Отметьте на графике его основные особенности, укажите ключевые значения напряжений.