

## 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 спустя  $t_1 = 165$  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 лишена 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  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ .

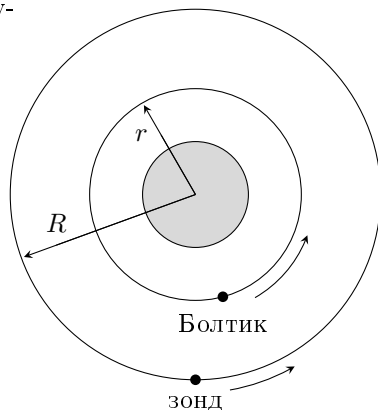


Рис. 1

Планета Шелезяка имеет форму шара и лишена 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  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ .

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

Примечание:

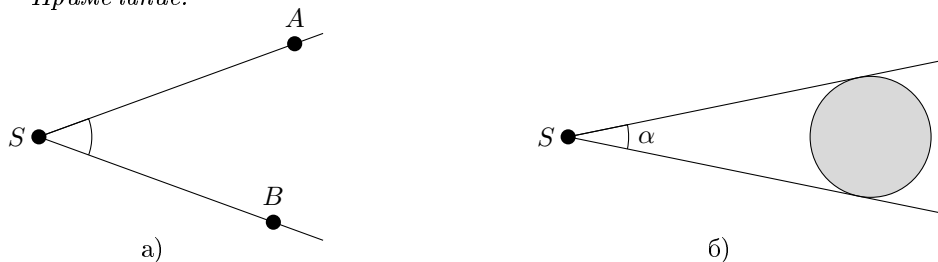


Рис. 2

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  $\alpha$  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?

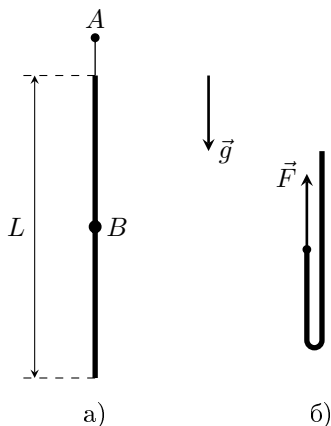
2. Через какое время  $\tau$  после пережигания нити вся цепочка снова выпрямится?

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

4. Какое количество теплоты  $Q$  выделится за время  $\tau$ ?

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

Ускорение свободного падения  $g$ . Соппротивлением 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.

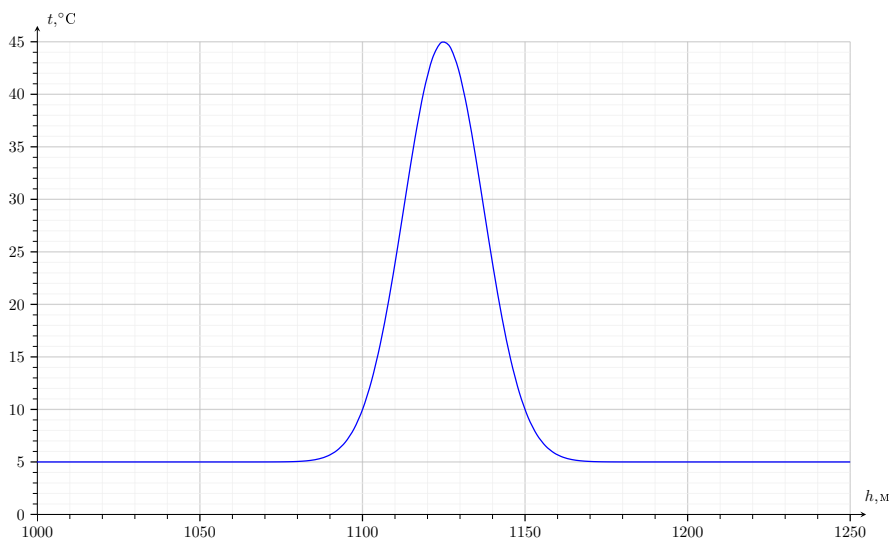
2. Определите, являются ли найденные положения равновесия устойчивыми. Считайте, что:

- 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/м<sup>3</sup>, универсальная газовая постоянная  $R = 8,3$  Дж/(моль · К), ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>, атмосферное давление  $p_0 = 10^5$  Па.

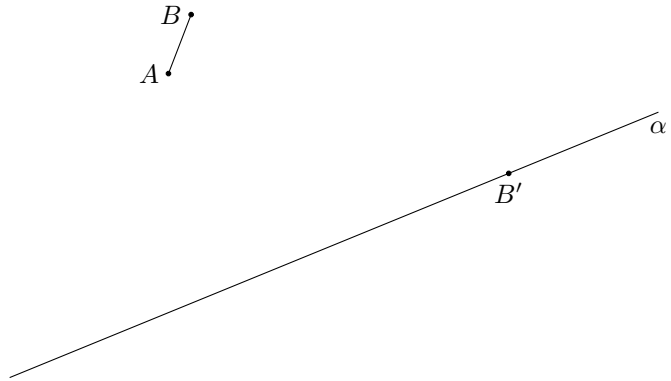
*Примечание.* При сдаче работы лист с рисунком вкладывается в решение участника.



#### Задача №4. Точно не Снеллиус?

Даны светящийся отрезок  $AB$ , точка  $B'$  — изображение точки  $B$ , создаваемое некоторой тонкой линзой, и прямая  $\alpha$ , 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  $\alpha$ . Для всех возможных ситуаций 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).

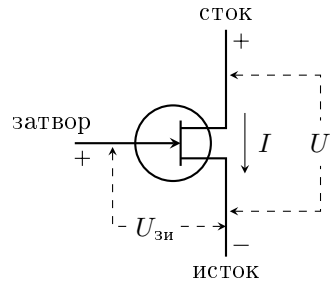


Рис. 1

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.

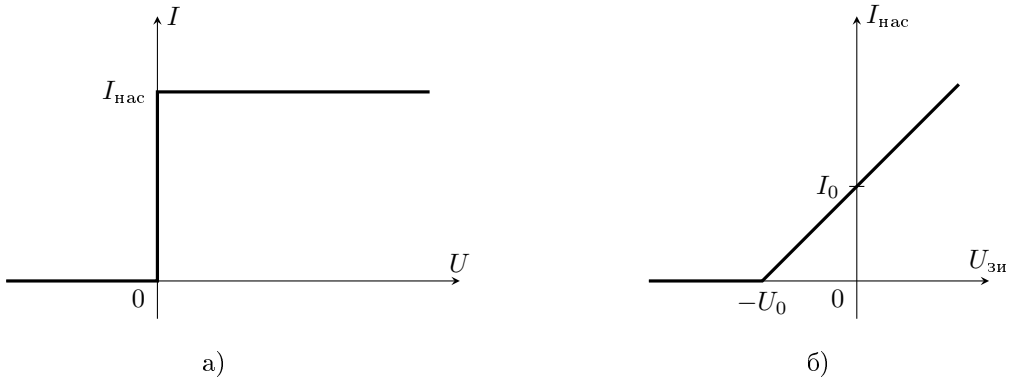


Рис. 2

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, и 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.

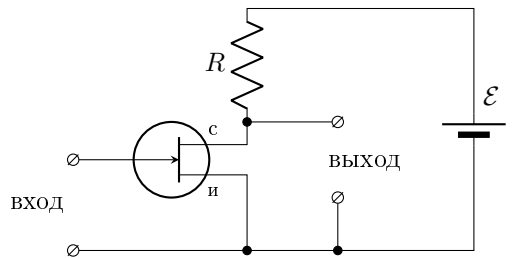


Рис. 3

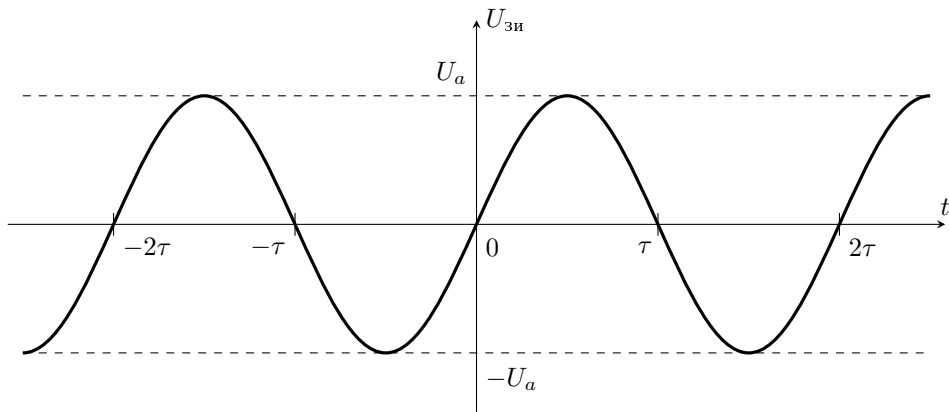


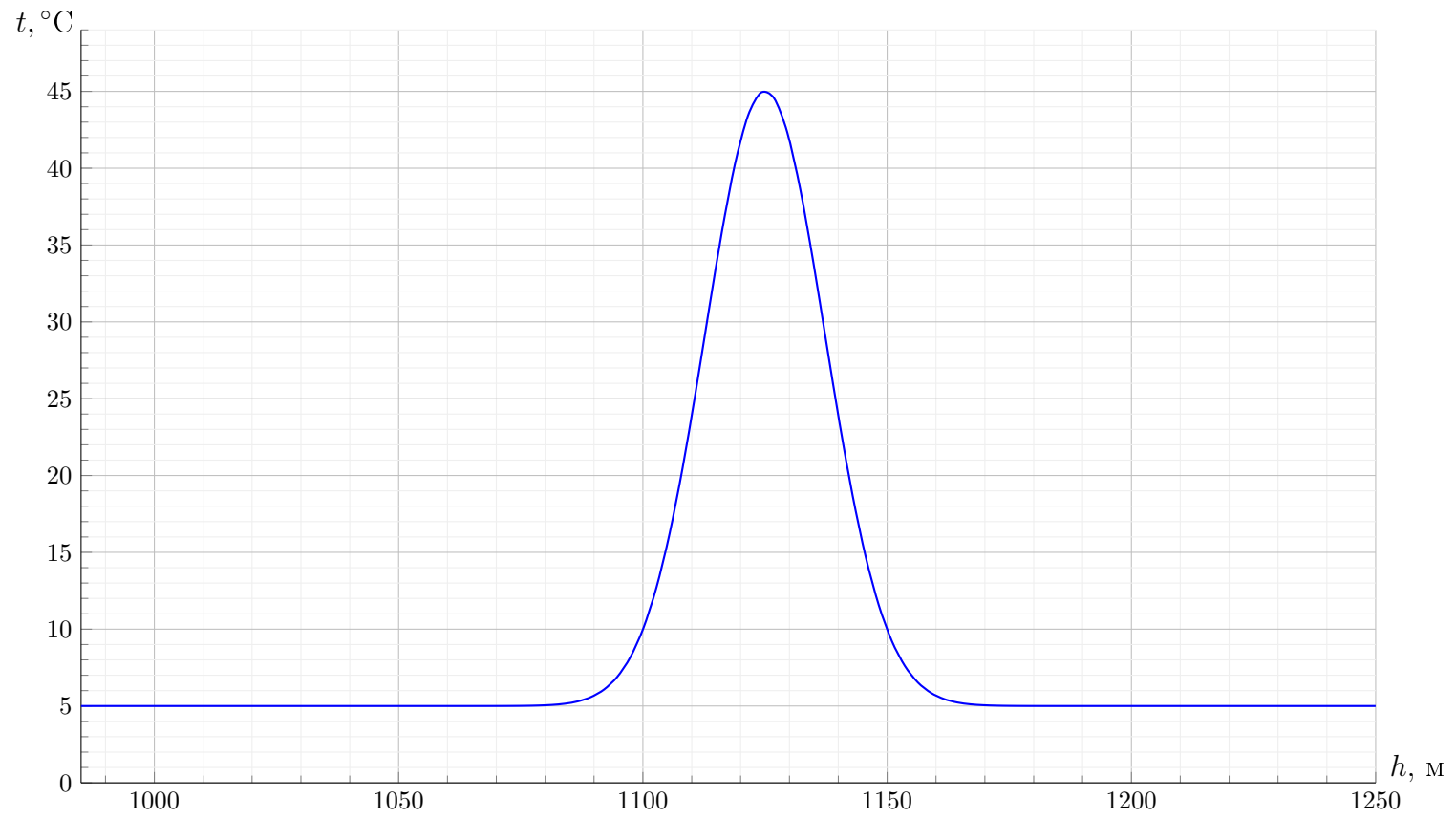
Рис. 4

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

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

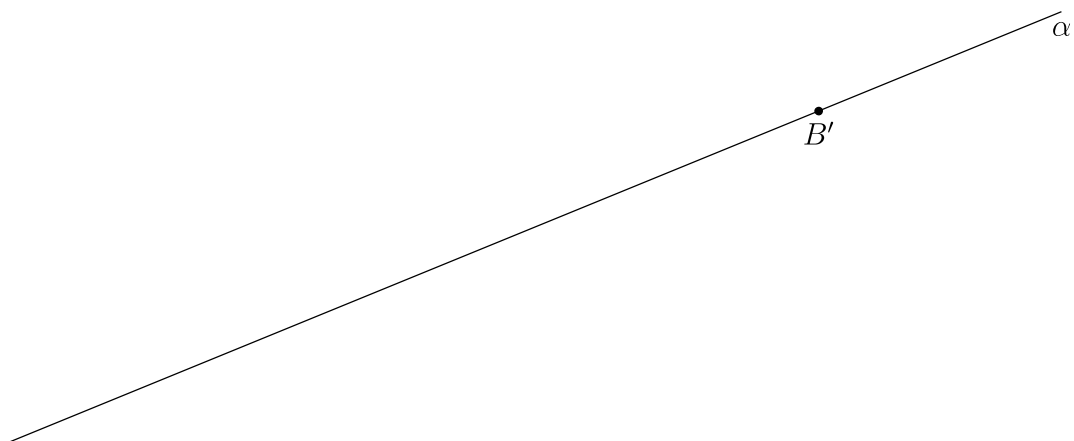
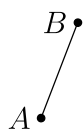
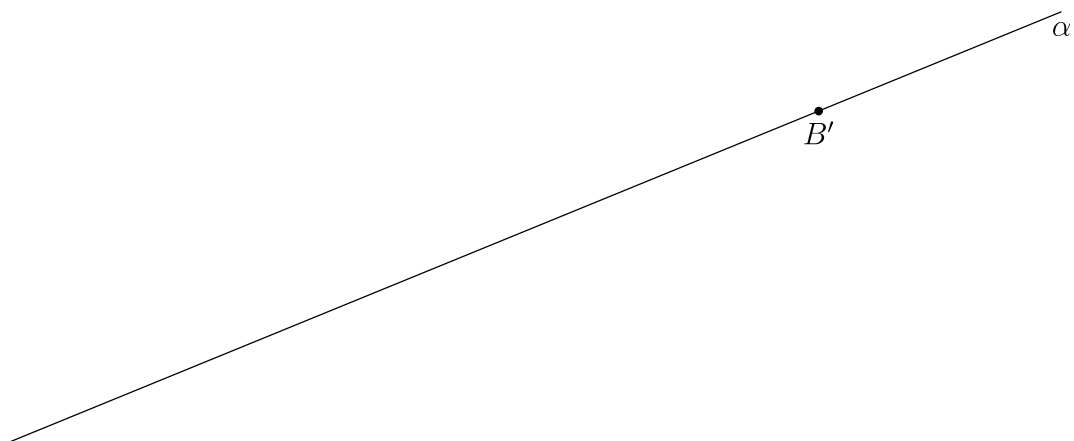
3. Постройте график зависимости выходного напряжения  $U$  от времени  $t$ , если  $U_a = 2 \text{ В}$  и  $R = 8 \text{ Ом}$ . Отметьте на графике его основные особенности, укажите ключевые значения напряжений.

Лист необходимо сдать вместе со своими решениями!



Лист необходимо сдать вместе со своими решениями!

Лист необходимо сдать вместе со своими решениями!



Лист необходимо сдать вместе со своими решениями!