



Республиканская физическая олимпиада 2023 года (III этап)

Теоретический тур

10 класс.

Внимание! Прочтите это в первую очередь!

1. Полный комплект состоит из трех заданий. Для вашего удобства вопросы, на которые Вам необходимо ответить, помещены в рамки.

2. Каждое задание включает условие задания и Листы ответов. Для решения задач используйте рабочие листы. Часть из них используйте в качестве черновиков. После окончания работы черновые листы перечеркните.

В чистовых рабочих листах приведите решения задач (рисунки, исходные уравнения, математические преобразования, графики, окончательные результаты). Жюри будет проверять чистовые рабочие листы. Кроме того, каждое задание включает Листы ответов. В соответствующие графы Листов ответов занесите окончательные требуемые ответы. Для построения графиков, которые требуется по условию задачи, в Листах ответов подготовлены соответствующие бланки. Графики стройте на этих бланках. Дублировать их в рабочих листах не требуется.



4. При оформлении работы каждое задание начинайте с новой страницы. При недостатке бумаги обращайтесь к организаторам!

5. Подписывать рабочие листы запрещается.

4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.

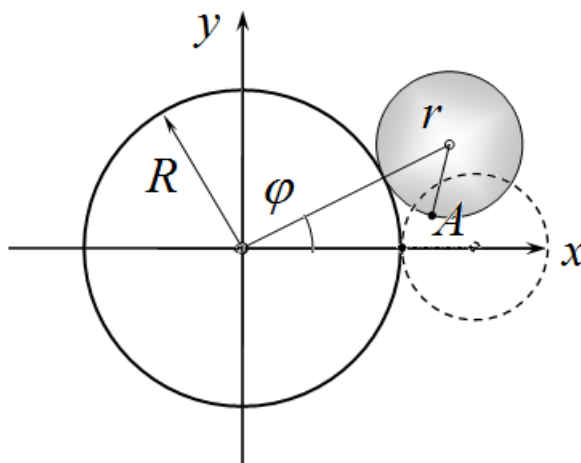
5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач, обращайтесь к организаторам олимпиады.

Пакет заданий содержит:

- титульный лист (1 стр.);
- условия 3 теоретических задач с Листами ответов (8 стр.).

Задание 10-1. Двойное вращение.

Колесо радиуса r катится без проскальзывания по боковой поверхности диска (снаружи его). Центр колеса движется вокруг центра диска с постоянной угловой скоростью ω . Положение центра колеса определяется углом φ . Точка A находится на ободе колеса. В момент времени $t = 0$ точка A касается поверхности диска в точке, находящейся на оси x (при этом $\varphi = 0$)



1. Выведите закон движения точки A , т.е. зависимости ее координат от времени $x(t), y(t)$.

2. Найдите максимальную по модулю скорость точки $A - v_{\max}$.

3. Постройте примерные траектории движения точки A , в трех случаях:

а) $\frac{r}{R} = \frac{1}{3}$;

б) $\frac{r}{R} = 1$;

в) $\frac{r}{R} = 2$.

Построения выполните на бланках в листах ответов. На этих бланках нарисованы две окружности: радиус меньшей из них равен R , радиус большей равен $R + 2r$.

Задание 10-1. Двойное вращение. Листы ответов.

1. Закон движения точки

$$x(t) =$$

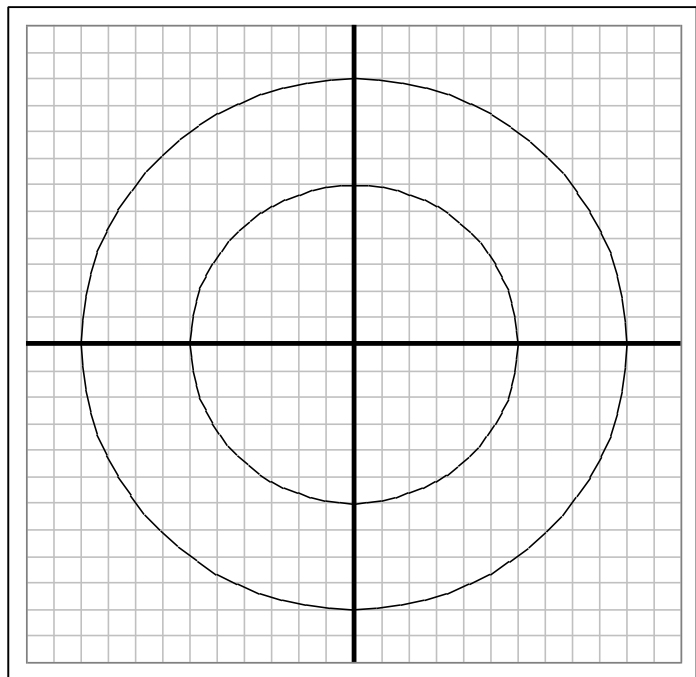
$$y(t) =$$

2. Максимальная скорость точки

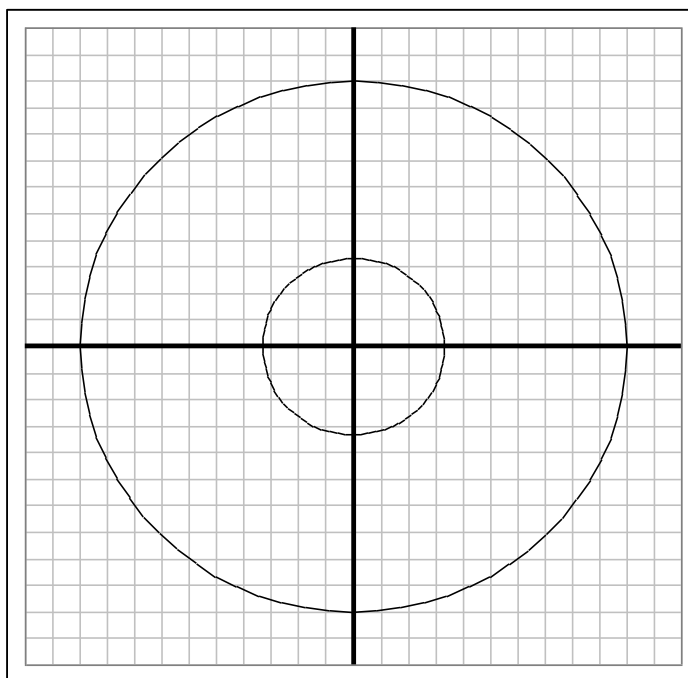
$$v_{\max} =$$

3. Схематические траектории точки.

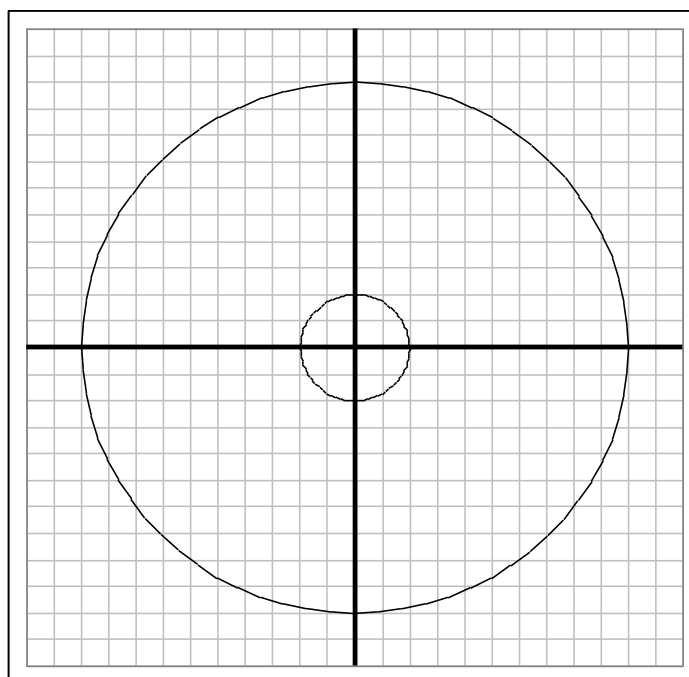
а) $\frac{r}{R} = \frac{1}{3}$



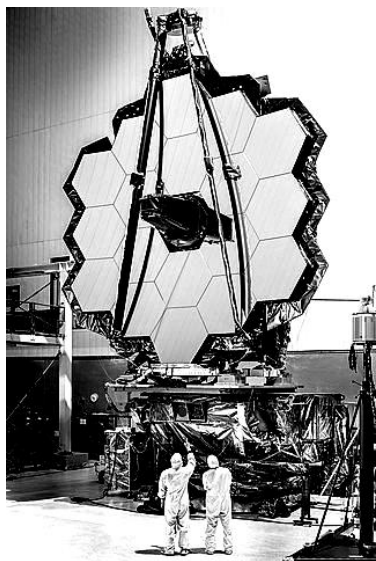
б) $\frac{r}{R} = 1$



в) $\frac{r}{R} = 2$



Задание 10-2. Космический инфракрасный телескоп Джеймс Уэбб.



25 декабря 2021 года с космодрома Куру при помощи ракеты «Ариан-5» был успешно запущен космический аппарат, снабженный инфракрасным телескопом «Джеймс Уэбб» (англ. James Webb Space Telescope, JWST). В январе 2022 года этот аппарат вышел в точку своей постоянной дислокации. Положение телескопа будет оставаться практически неизменным относительно Земли, причем все время он будет находиться в тени Земли.

В данной задаче вам необходимо рассчитать положение этой научной станции. На первый взгляд – такое положение космического аппарата невозможно: чтобы он все время оставался в тени Земли (т.е. все время находился на одной прямой с Солнцем и Землей) угловая скорость его вращения должна быть равна угловой скорости движения Земли. Но... по 3 закону Кеплера период обращения однозначно связан с

радиусом орбиты!!!

Разрешение парадокса заключается в том, что центр орбиты Земли не совпадает с центром Солнца: два взаимодействующих тела вращаются вокруг общего центра масс.

Для упрощения расчетов примем следующие приближения:

- при рассмотрении движения Земли и Солнца влиянием других планет пренебрегаем (рассматриваем задачу двух тел);
- тем более движение космического аппарата не влияет на движение Земли;
- орбита Земли является окружностью.

Масса Солнца $M_C = 2,0 \cdot 10^{30}$ кг. Масса Земли $M_3 = 6,0 \cdot 10^{24}$ кг. Радиус орбиты Земли

$R = 1,5 \cdot 10^8$ км.

Рассмотрим задачу «двух» тел: два массивных тела (масса одного из них m_1 , масса второго m_2 , для определенности будем считать, что $m_1 > m_2$) движутся только под действием силы гравитационного взаимодействия по круговым орбитам. Расстояние между телами остается неизменным и равным R .

1. Докажите, что центры окружностей, по которым движутся тела, совпадают с центром масс системы этих тел.
2. Найдите радиусы траекторий R_1, R_2 обоих тел.

Добавим в рассматриваемую систему третье тело, масса которого m_0 значительно меньше масс первых двух тел. Будем считать, что это тело все время находится на прямой, проходящей через центры Солнца и Земли. Можно показать, что на этой прямой существует только три точки, в которых может находиться третье тело, оставаясь все время неподвижным относительно Земли и Солнца (эти точки называются точками Лагранжа).

3. Получите точное уравнение, позволяющие определить расстояние x от менее массивного тела m_2 (т.е. Земли) до точки Лагранжа на прямой Земля – Солнце, находящейся за орбитой Земли.

Масса Солнца значительно больше массы Земли, поэтому полученное уравнение можно решить приближенно. Используйте тот факт, что расстояние от центра Солнца до центра масс системы Солнце – Земля значительно меньше радиуса земной орбиты.

4. Рассчитайте, на каком расстоянии от Земли располагается аппарат JWST.

Математическая подсказка: при $x \ll R$ можно использовать приближенную формулу

$$\frac{1}{(R+x)^2} \approx \frac{1}{R^2} - \frac{2}{R^3}x.$$

**Задание 10-2. Космический инфракрасный телескоп Джеймс Уэбб. Лист
ответов.**

2. Радиусы орбит

$$R_1 =$$

$$R_2 =$$

3. Точное уравнение для расстояния от Земли до космического аппарата

4. Расстояние до космического аппарата (формула, численное значение)

$$x =$$

Задание 10-3. Теплоемкость газа.

В восьмом классе вы познакомились с понятием теплоемкости тел. Пользовались таблицами удельных теплоемкостей веществ. Скорее всего, у Вас сложилось твердое убеждение, что удельная теплоемкость вещества некоторая табличная величина, данная ему Господом Богом в момент творения. Однако, в 10 классе вы должны понять, что теплоемкость — это не только характеристика тела, но и характеристика процесса изменения температуры тела. Более того, теплоемкость может изменяться в ходе процесса. При выполнении данного задания Вы должны показать, что хорошо понимаете эти особенности такой характеристики, как теплоемкость.

Напомним: теплоемкость тела называется отношение количества теплоты, полученной телом δQ к изменению температуры этого тела ΔT :

$$C = \frac{\delta Q}{\Delta T}. \quad (1)$$

Так теплоемкость может изменяться в ходе процесса, то использовать формулу (1) необходимо при малых изменениях параметров вещества.

Рассмотрим один моль идеального одноатомного газа, находящегося в сосуде объема V_0 при давлении P_0 . Газ начинает расширяться так, что его давление P и объем V оказываются связаны уравнением процесса

$$PV^n = const. \quad (2)$$

где n - некоторое постоянное число.

Математическая подсказка для этого процесса при малых изменениях объема и давления справедливо соотношение

$$\frac{\Delta P}{P} = -n \frac{\Delta V}{V} \quad (3)$$

1. На бланке в Листах ответов постройте схематические графики процесса для следующих значений n : $n = -2$; $n = -1$; $n = 0$; $n = 1$; $n = 2$; $n \rightarrow \infty$.
2. Рассчитайте значение теплоемкости газа в процессе, описываемом уравнением (2). Покажите, что во всех этих процессах теплоемкость газа постоянная.
3. При каком значении n теплоемкость газа равна нулю. Как называется такой процесс?
4. При каких значениях n теплоемкость газа отрицательна? Объясните возможность такого процесса: почему при получении теплоты температура газа может понижаться?
5. При каком значении n теплоемкость газа стремится к бесконечности? Как называется такой процесс?

Задание 10-3. Теплоемкость газа. Лист ответов.

1. Схематические графики процессов.



2. Формула для теплоемкости.

$$C =$$

3. Теплоемкость равна нулю при n

4. Теплоемкость отрицательна при n

5. Теплоемкость стремится к бесконечности при n