



Республиканская физическая олимпиада 2025 года (III этап)

Теоретический тур

11 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, если это требуется по условию задачи, в Листах ответов подготовлены соответствующие бланки. Графики стройте на этих бланках. Дублировать их в рабочих листах не требуется.

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

4. Подписывать рабочие листы запрещается.

5. Рекомендуется использование инженерного калькулятора.

6. В ходе работы вы можете использовать ручки черного или синего цветов, карандаши, чертежные принадлежности.

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



Пакет заданий содержит:

- титульный лист (1 стр.);
- условия 3 теоретических заданий с Листами ответов (9 стр.).

Задание 11-1. Разминка

1. «Посмотри и объясни» На Рис. 1 изображена известная физическая демонстрация. Проанализируйте Рис. 1, кратко опишите суть демонстрации и принцип действия изображенного устройства. Как называется данное устройство? Действие каких физических законов он демонстрирует? Сформулируйте эти законы.

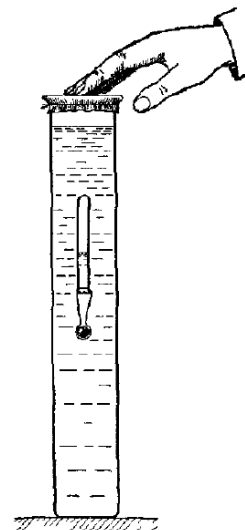


Рис. 1

2. «Гравитационный маятник» Однородный гладкий тонкий достаточно длинный стержень массой M и длиной L находится в невесомости в далеком космосе (Рис. 2). На стержень надета небольшая бусинка, масса m которой гораздо меньше массы M стержня ($m \ll M$). Найдите период T малых колебаний бусинки вблизи центра стержня. Гравитационная постоянная G .

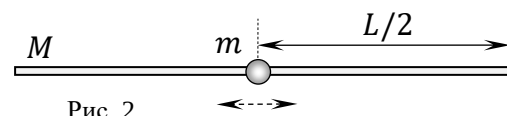
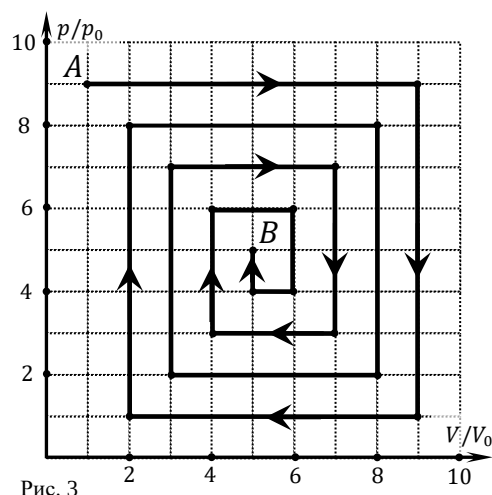


Рис. 2

3. «Термодинамический лабиринт» С идеальным одноатомным газом реализован незамкнутый термодинамический процесс ($A \rightarrow B$), график которого изображен на $p - V$ диаграмме (Рис. 3) в безразмерных координатах ($V/V_0; p/p_0$). Найдите работу A , совершенную газом в течение данного процесса. Изменится ли ответ задачи, если газ будет не одноатомным? Не идеальным? Масштабные множители p_0 и V_0 считать известными. Количество вещества (идеального газа) в течение данного процесса было постоянно ($\nu = \text{const}$).



Лист ответов. Задание 11-1. Разминка

1. «Посмотри и объясни» Суть демонстрации, краткое описание принципа действия изображенного устройства:

Данное устройство называется:

Устройство демонстрирует действие законов:

Формулировки законов:

2. «Гравитационный маятник» Период малых колебаний:

$T =$

3. «Термодинамический лабиринт» Работа газа:

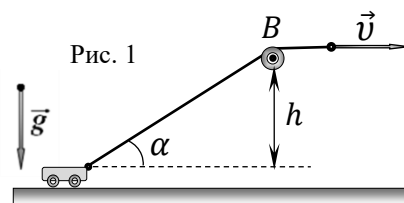
$A =$

Изменится ли ответ задачи, если газ будет не одноатомным?

Не идеальным?

Задание 11-2. Ускорение. Сила. Мощность

1. Небольшую тележку массой $m = 0,35$ кг подтягивают легкой нерастяжимой нитью к неподвижному блоку B по горизонтальной поверхности (Рис. 1). Известно, что механизм (например, лебёдка) вытягивает нить с постоянной скоростью v . Найдите ускорение a тележки в момент, когда нить образует угол α с горизонтом (см. Рис. 1). Блок расположен на высоте h от горизонтальной поверхности. Известно, что при движении тележка не отрывается от горизонтальной поверхности.



2. Найдите силу натяжения T нити в данный момент. Трением и сопротивлением воздуха можно пренебречь.
3. Найдите мощность P , развиваемую лебедкой в данный момент.
4. Вычислите по полученным формулам ускорение a , силу T , мощность P при следующих значениях параметров системы: $\alpha = 35^\circ$, $h = 1,0$ м, $v = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Лист ответов. Задание 11-2. Ускорение. Сила. Мощность

1. Ускорение тележки (формула):

$$a =$$

2. Сила натяжения нити (формула):

$$T =$$

3. Мощность лебедки (формула):

$$P =$$

4. Расчеты:

$$a =$$

$$T =$$

$$P =$$

Задание 11-3. Вокруг диполя

В электродинамике часто используется модель *диполя* (Рис. 1), представляющая собой два близко расположенных одинаковых по модулю точечных заряда разных знаков.

В качестве реальной модели диполя рассмотрим небольшие заряженные шарики, закрепленные на тонком непроводящем стержне. Электрические заряды шариков равны по модулю и противоположны по знаку (см. Рис. 1), т.е. равны $-q$ и $+q$, соответственно, где $(q > 0)$.

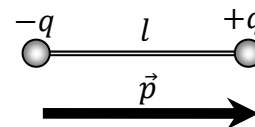


Рис. 1

Будем считать, что заряженные шарики закреплены на жестком стержне длины l , а все свойства диполя рассматриваются на достаточно больших расстояниях r ($r \gg l$) от его центра.

Диполь принято характеризовать вектором *дипольного момента* $\vec{p} = q\vec{l}$, величина которого равна ql , а направление выбирается вдоль оси диполя от его отрицательного заряда к положительному (см. Рис. 1).

Несмотря на то, что суммарный заряд диполя равен нулю, он создает в пространстве вокруг себя отличное от нуля электростатическое поле, которое несложно посчитать школьными методами.

В данной задаче рассмотрим возможность движения заряженной частицы вокруг диполя по окружности.

Справочные данные и параметры рассматриваемой системы: скалярное произведение векторов: $\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cos \alpha = ab \cos \alpha$, где α – угол между векторами $\vec{a}$ и $\vec{b}$; при малых x ($x \rightarrow 0$) справедливо приближенное равенство: $\frac{1}{1-x} \approx 1 + x$; $\pi = 3,14$.

Часть 1. Поле диполя

Рассмотрим электрический диполь AB (Рис. 2), ориентированный вдоль оси ординат Oy так, что в точке начала координат A расположен заряд $(-q)$, а в точке B – заряд $(+q)$, соответственно $(q > 0)$. Расстояние $AB = l$, соответственно, дипольный момент системы $\vec{p} = q\vec{l}$.

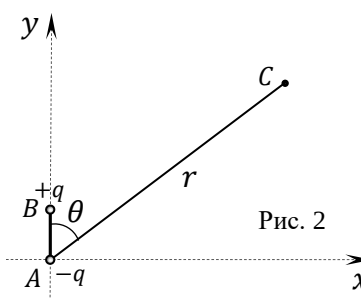


Рис. 2

Перейдем в полярную систему координат, в которой положение произвольной точки $C(r, \theta)$ в плоскости рисунка задается расстоянием r от начала координат и углом θ , образованным отрезком AC с осью ординат Oy . Рассмотрим электростатическое поле диполя AB в вакууме.

1.1 Найдите потенциал $\varphi(r, \theta)$ электростатического поля диполя в произвольной точке C на достаточном большом удалении от него ($r \gg l$). Запишите полученное выражение через скалярное произведение векторов $\vec{p}$ и $\vec{r}$.

1.2 Разложим напряженность $\vec{E}$ (Рис. 3) поля диполя в точке C на сумму $\vec{E} = \vec{E}_r + \vec{E}_\theta$ двух взаимно перпендикулярных составляющих $\vec{E}_r$ и $\vec{E}_\theta$, так, чтобы вектор $\vec{E}_r$ был направлен вдоль отрезка $AC = r$, а вектор $\vec{E}_\theta$ был нормален ему. Определите зависимость $E_r(r, \theta)$ радиальной составляющей поля диполя в точке C .

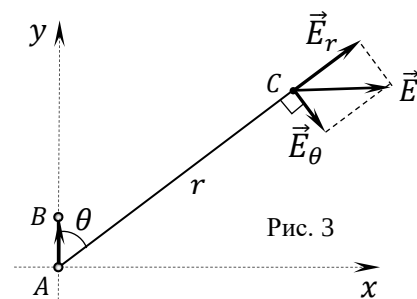


Рис. 3

1.3 Найдите зависимость $E_\theta(r, \theta)$ угловой составляющей поля диполя в точке C .

1.4 Получите формулу для модуля напряженности $E(r, \theta)$ поля диполя в точке C .

11 класс. Теоретический тур. Вариант I.

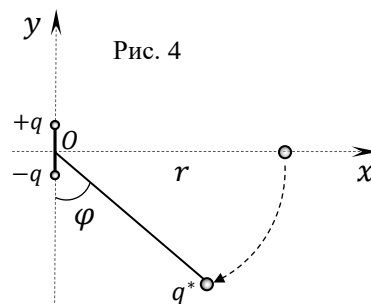
1.5 Докажите векторную формулу для напряженности $\vec{E}(\vec{r}, \vec{p}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{3(\vec{p} \cdot \vec{r}) \vec{r}}{r^5} - \frac{\vec{p}}{r^3} \right)$ поля диполя с моментом $\vec{p}$ в произвольной точке с радиус-вектором $\vec{r}$.

Часть 2. Движение вокруг диполя

Частицу массой m с положительным зарядом q^* удерживают в точке A на оси Ox на расстоянии r от центра закрепленного диполя, рассмотренного выше (Рис. 4).

В некоторый момент времени частицу отпускают и под действием электростатического поля диполя $\vec{E}(\vec{r})$ она начинает двигаться.

Силой тяжести и силой сопротивления воздуха пренебречь.



2.1 По какой траектории будет двигаться частица? Обоснуйте свое предположение и подтвердите его расчетами, выкладками, формулами.

2.2 Найдите зависимость скорости частицы $v(\varphi)$ от угла φ между радиусом и осью Oy (см. Рис. 4).

2.3 Определите максимальную скорость v_{max} частицы при движении в поле диполя.

2.4 Определите максимальное ускорение a_{max} частицы при движении в поле диполя.

Лист ответов. Задание 11-3. Вокруг диполя

Часть 1. Поле диполя

1.1 Потенциал поля диполя:

$$\varphi(r, \theta) =$$

1.2 Зависимость радиальной составляющей поля диполя:

$$E_r(r, \theta) =$$

1.3 Зависимость угловой составляющей поля диполя:

$$E_\theta(r, \theta) =$$

1.4 Модуль напряженности поля диполя:

$$E(r, \theta) =$$

1.5 Доказательство:

Часть 2. Движение вокруг диполя

2.1 Частица будет двигаться по траектории:

2.2 Скорость частицы $v(\varphi)$:

$$v(\varphi) =$$

2.3 Максимальная скорость частицы:

$$v_{max} =$$

2.4 Максимальное ускорение частицы:

$$a_{max} =$$