

Оглавление

От авторов	5
Глава I Теоретический материал для подготовки к ЕГЭ	6
§ 1. Механика	6
1.1. Кинематика	6
1.2. Динамика	10
1.3. Статика и гидростатика	13
1.4. Законы сохранения в механике	15
1.5. Механические колебания и волны	17
§ 2. Молекулярная физика. Термодинамика	19
2.1. Молекулярная физика	19
2.2. Термодинамика	23
§ 3. Электродинамика	26
3.1. Электростатика	26
3.2. Электроёмкость. Конденсаторы. Энергия электрического поля	28
3.3. Постоянный ток	29
3.4. Магнитостатика	32
3.5. Электромагнитная индукция	33
3.6. Электромагнитные колебания и волны	34
§ 4. Оптика	36
4.1. Геометрическая оптика	36
4.2. Волновая оптика	41
§ 5. Квантовая физика	43
5.1. Фотоны. Фотоэффект	43
5.2. Атомная физика	45
5.3. Ядерная физика	45
Краткие справочные данные	47
Глава II Тренировочные варианты	49
Инструкция по выполнению работы	49
Вариант № 1	51
Вариант № 2	61
Вариант № 3	71
Вариант № 4	81
Вариант № 5	91
Вариант № 6	101
Вариант № 7	111

Вариант № 8	121
Вариант № 9	130
Вариант № 10	139
Вариант № 11	147
Вариант № 12	156
Вариант № 13	165
Вариант № 14	176
Вариант № 15	186
Вариант № 16	196
Вариант № 17	206
Вариант № 18	216
Вариант № 19	226
Вариант № 20	235
Вариант № 21	244
Вариант № 22	253
Вариант № 23	262
Вариант № 24	271
Вариант № 25	280
Вариант № 26	288
Вариант № 27	297
Вариант № 28	304
Вариант № 29	311
Вариант № 30	320
Примеры выполнения заданий с развёрнутым ответом	329
Ответы	466

От авторов

Пособие предназначено для подготовки выпускников к ЕГЭ по физике. Варианты книги составлены в полном соответствии с проектами демоверсии и спецификации ЕГЭ 2026 года, опубликованными 22.08.2025 на сайте ФИПИ (www.fipi.ru).

В пособии собран весь материал, необходимый и достаточный для качественной подготовки к ЕГЭ:

- 30 новых авторских тренировочных вариантов;
- краткий теоретический материал;
- подробные решения всех заданий второй части и комментарии к ним;
- ответы ко всем вариантам.

Ко всем тренировочным вариантам даны ответы, а ко всем заданиям повышенного и высокого уровней сложности из второй части — примеры выполнения и комментарии к ним. Этот материал даст возможность выпускникам заниматься по книге не только с учителем или репетитором, но и самостоятельно.

Замечания и предложения, касающиеся данной книги, можно присылать на адрес электронной почты издательства legionrus@legionrus.com.

Глава I

Теоретический материал для подготовки к ЕГЭ

§ 1. Механика

1.1. Кинематика

Часть механики, в которой изучают движение, не рассматривая причины, вызывающие тот или иной характер движения, называют *кинематикой*.

Механическим движением называют изменение положения тела относительно других тел (тел отсчёта).

Системой отсчёта называют тело отсчёта, связанную с ним систему координат и часы.

В школьном курсе физики очень часто используется модель реального тела, называемая *материальной точкой*.

В *динамике* изучают причины равномерного или ускоренного движения.

Статика изучает причины равновесия тел.

Материальной точкой называют тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

Траекторией называют мысленную линию, по которой движется тело.

По форме траектории движение делится на:

а) прямолинейное;

б) криволинейное (частный случай — окружность).

Путь — это длина участка траектории между начальным и конечным положениями материальной точки. Путь — скалярная величина.

Перемещение — это вектор, соединяющий начальное и конечное положения материальной точки (см. рис. 1 на с. 7).

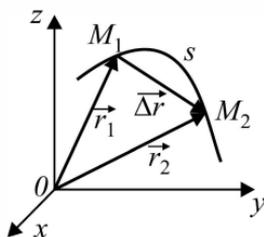


Рис. 1

M_1 и M_2 — положение материальных точек в пространстве.

\vec{r}_1 и \vec{r}_2 — радиус-векторы точек.

$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ — вектор перемещения.

S — путь, пройденный телом (длина участка траектории).

Относительностью механического движения называют зависимость пути, перемещения и скорости одной и той же материальной точки от выбора системы отсчёта.

Равномерным прямолинейным движением называют такое движение, при котором материальная точка за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.

Скоростью равномерного прямолинейного движения называют отношение перемещения ко времени, за которое это перемещение произошло:

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}.$$

Проекция скорости на выбранную ось

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = x'_t, \quad v_y = y'_t, \quad v_z = z'_t.$$

Уравнение равномерного прямолинейного движения (зависимость координаты тела от времени)

$$x(t) = x_0 + v_{0x} \cdot t.$$

Здесь v_{0x} — постоянная скорость движения.

Закон сложения скоростей: скорость тела \vec{v} в неподвижной системе отсчёта равна сумме скорости этого тела \vec{v}_1 в подвижной системе отсчёта и скорости \vec{v}_2 подвижной системы отсчёта относительно неподвижной:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2.$$

Равноускоренное прямолинейное движение — это прямолинейное движение, при котором мгновенная скорость за любые равные промежутки времени изменяется на одну и ту же величину.

Ускорением называют отношение изменения мгновенной скорости тела ко времени, за которое это изменение произошло:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Проекция ускорения на выбранную ось

$$a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = (v_x)'_t, \quad a_y = (v_y)'_t, \quad a_z = (v_z)'_t.$$

Уравнение равноускоренного прямолинейного движения

$$x(t) = x_0 + v_{0x} \cdot t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Зависимость скорости от времени при равноускоренном движении

$$v(t) = v_{0x} + a_x \cdot t.$$

Связь пройденного телом пути, скорости и ускорения

$$v_{2x}^2 - v_{1x}^2 = 2a_x \cdot (x_2 - x_1).$$

При движении в одном направлении путь

$$S = \frac{v_1 + v_2}{2} \cdot t.$$

Для неравномерного движения пользуются понятием *средней скорости*. Часто вводят среднюю скорость как скалярную величину. Это скорость такого равномерного движения, при котором тело проходит тот же путь за то же время, что и при неравномерном движении: $v_{\text{ср}} = \frac{S}{t}$.

Свободным падением называется движение тела (не обязательно в вертикальном направлении) под действием только одной силы — силы тяжести. При свободном падении справедливы все формулы ускоренного движения при условии $a = g$.

Движение тела, брошенного под углом к горизонту, можно разложить на два более простых движения — вдоль оси x и вдоль оси y . При этом в

каждой точке траектории на тело действует только сила тяжести, направленная вертикально вниз. Поэтому ускорение тела $a = g$ во всех точках траектории также направлено вертикально вниз (см. рис. 2).

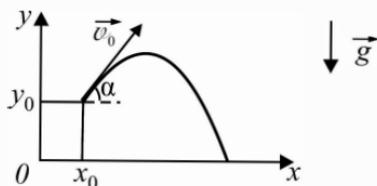


Рис. 2

Уравнения движения тела в горизонтальном направлении (равномерное движение) и вертикальном направлении (ускоренное движение):

$$x(t) = x_0 + v_0 \cos \alpha \cdot t;$$

$$y(t) = y_0 + v_0 \cdot t \cdot \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}.$$

Проекции скорости на оси x и y :

$$v_x = v_0 \cos \alpha; \quad v_y = v_0 \sin \alpha - gt.$$

Проекции ускорения на оси x и y :

$$a_x = 0; \quad a_y = -g = \text{const}.$$

При движении тела по окружности *линейная скорость* в каждой точке направлена по касательной, то есть перпендикулярно радиусу окружности в этой точке (см. рис. 3).

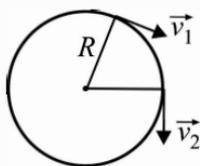


Рис. 3

Отклонение угла поворота этого радиуса к промежутку времени, в течение которого этот поворот произошёл, называется *угловой скоростью* ω .

Угловая скорость выражается в радианах в секунду

$$[\omega] = \frac{\text{рад}}{\text{с}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}.$$

Периодом T называют время, за которое материальная точка совершает один полный оборот.

Частотой ν называют число оборотов материальной точки за единицу времени (за 1 с).

Угловая и линейная скорости точки:

$$v = \omega R, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

Поскольку даже при движении по окружности с постоянной по модулю скоростью меняется её направление, то возникает *центростремительное ускорение*:

$$a_{\text{ц.с.}} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$$

1.2. Динамика

Часть механики, изучающая причины, вызвавшие ускорение тел, называется *динамикой*.

Первый закон Ньютона:

существуют такие системы отсчёта, относительно которых тело сохраняет свою скорость постоянной или покоится, если на него не действуют другие тела или действие других тел скомпенсировано.

Свойство тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения при уравновешенных внешних силах, действующих на него, называется *инертностью*. Явление сохранения скорости тела при уравновешенных внешних силах называют *инерцией*. *Инерциальными системами отсчёта* называют системы, в которых выполняется первый закон Ньютона.

Принцип относительности Галилея:

во всех инерциальных системах отсчёта при одинаковых начальных условиях все механические явления протекают одинаково, т. е. подчиняются одинаковым законам.

Масса — мера инертности тела

$$m = \rho \cdot V,$$

где ρ — плотность вещества, из которого сделано тело, V — его объём.

Сила — это количественная мера взаимодействия тел.

Принцип суперпозиции сил:

при действии на тело нескольких сил, $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$, равнодействующая всех сил равна векторной сумме этих сил

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n.$$

Второй закон Ньютона:

ускорение движения тела прямо пропорционально равнодействующей всех приложенных к нему сил и обратно пропорционально массе этого тела:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

Если $\vec{F} = \text{const}$, то

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t.$$

Здесь p — импульс тела.

Третий закон Ньютона:

силы, с которыми два тела действуют друг на друга, расположены на одной прямой, равны по модулю и противоположны по направлению:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

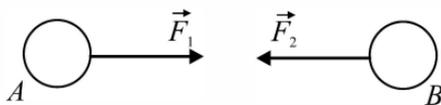


Рис. 4

III закон Ньютона подчёркивает, что действие тел друг на друга носит характер взаимодействия.

Гравитационными силами называют силы, с которыми любые два тела притягиваются друг к другу.

Закон всемирного тяготения:

любые два тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}.$$

Здесь R — расстояние между телами. Закон всемирного тяготения в таком виде справедлив либо для материальных точек, либо для тел шарообразной формы.

Сила тяжести — это сила, с которой Земля или другое небесное тело притягивает к себе массу других объектов.

Зависимость силы тяжести от высоты h над поверхностью планеты радиусом R_0 :

$$F = G \frac{Mm}{(R_0 + h)^2},$$

где M — масса планеты, m — масса тела.

На поверхности Земли силу тяжести, действующую на тело массой m , можно найти по формуле

$$F_T = m \cdot g.$$

Здесь $g = 10 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения на Земле.

Весом называют силу, с которой тело давит на опору или растягивает подвес.

При движении опоры с ускорением вес тела изменяется в зависимости от величины и направления ускорения.

Невесомостью называют такое движение тела, когда на него действует только одна сила тяжести.

Если тело подвергнуть деформации, то возникают силы, препятствующие этой деформации. Такие силы называют *силами упругости*. Закон Гука записывают в виде

$$F = -k \cdot x,$$

где k — жёсткость пружины, x — деформация тела. Знак « $-$ » указывает на то, что сила и деформация направлены в разные стороны.

При движении тел друг относительно друга возникают силы, препятствующие движению. Эти силы называются *силами трения*. Различают *трение покоя* и *трение скольжения*. *Сила трения скольжения* подсчитывается по формуле

$$F = \mu N,$$

где N — сила реакции опоры, μ — коэффициент трения.

Эта сила не зависит от площади трущихся тел. Коэффициент трения зависит от материала, из которого сделаны тела, и качества обработки их поверхности. *Трение покоя* возникает, если тела не перемещаются друг относительно друга. Сила трения покоя может меняться от нуля до некоторого максимального значения.

Давлением называют физическую величину, равную отношению силы F , действующей на площадку, перпендикулярную этой силе, к площади площадки S :

$$p = \frac{F}{S}.$$

1.3. Статика и гидростатика

Тело (материальная точка) находится в состоянии равновесия, если векторная сумма сил, действующих на него, равна нулю. Различают 3 вида равновесия: устойчивое, неустойчивое и безразличное (см. рис. 5).

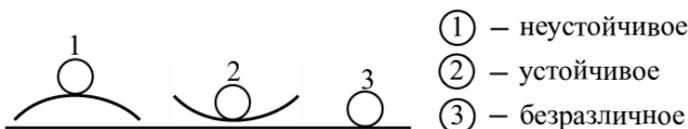


Рис. 5

Если при выведении тела из положения равновесия возникают силы, стремящиеся вернуть это тело обратно, это устойчивое равновесие. Если возникают силы, стремящиеся увести тело ещё дальше из положения равновесия, это неустойчивое положение; если никаких сил не возникает — безразличное.

Абсолютно твёрдое тело — тело, чья форма и размеры неизменны, а расстояние между любыми его двумя точками остаётся неизменным.

Центр масс — геометрическая точка, положение которой определяется распределением массы в теле, а перемещение характеризует движение тела или механической системы как целого.

Положение центра масс (центра инерции) системы материальных точек в механике определяется следующим образом:

$$\vec{r}_{\text{ц.м.}} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots}.$$

В однородном поле тяжести ($\vec{g} = \text{const}$) центр масс тела совпадает с его центром тяжести.

Плечом силы относительно некоторой оси вращения называется кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы.

Момент силы — физическая величина, равная произведению модуля силы на её плечо:

$$M = F \cdot l.$$

Равновесие тела достигается при одновременном выполнении двух условий:

1) векторная сумма всех сил, приложенных к телу, равна нулю:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = 0;$$

2) алгебраическая сумма моментов всех сил, приложенных к телу относительно любой оси, равна нулю:

$$M_1 + M_2 + \dots = 0.$$

Момент силы считают положительным, если сила вращает тело относительно выбранной оси против часовой стрелки, отрицательным — если по часовой стрелке.

Для жидкостей и газов справедлив *закон Паскаля*:

давление распространяется по всем направлениям без изменений.

Если жидкость или газ находятся в поле силы тяжести, то каждый вышерасположенный слой давит на нижерасположенные и по мере погружения внутрь жидкости или газа давление растёт. Для жидкостей

$$p = \rho gh,$$

где ρ — плотность жидкости, h — глубина проникновения в жидкость.

Давление в жидкости на глубине h :

$$p = p_0 + \rho gh,$$

где p_0 — атмосферное давление.

На тело, погружённое в жидкость или газ, со стороны этой жидкости или газа действует направленная вверх выталкивающая сила, которую называют *силой Архимеда*.

Величину выталкивающей силы устанавливает *закон Архимеда*: на тело, погружённое в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу жидкости или газа, вытесненных телом:

$$F_A = \rho_{\text{жидк.}} \cdot g \cdot V_{\text{погр.}},$$

где $\rho_{\text{жидк.}}$ — плотность жидкости, в которую погружено тело; $V_{\text{погр.}}$ — объём погружённой части тела.

Условие плавания тела — тело плавает в жидкости или газе, когда выталкивающая сила, действующая на тело, равна силе тяжести, действующей на тело.

1.4. Законы сохранения в механике

Импульсом тела называют физическую величину, равную произведению массы тела на его скорость:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Импульс — векторная величина.

Второй закон Ньютона можно выразить в импульсной форме:

$$\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t.$$

Импульс системы тел

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots$$

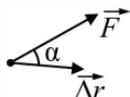
Для изолированной системы тел (система, телá которой взаимодействуют только друг с другом) выполняется *закон сохранения импульса*: векторная сумма импульсов тел изолированной системы до взаимодействия равна векторной сумме импульсов этих же тел после взаимодействия.

Если на систему действуют внешние силы, то закон сохранения импульса системы:

$$\Delta\vec{p} \equiv \Delta(\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots) = \vec{F}_{1\text{внеш.}}\Delta t + \vec{F}_{2\text{внеш.}}\Delta t + \dots$$

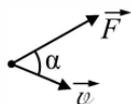
Если $\vec{F}_{1\text{внеш.}} + \vec{F}_{2\text{внеш.}} + \dots = 0$, то $\Delta\vec{p} \equiv \Delta(\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots) = 0$.

Механической работой называют физическую величину, которая равна произведению модуля силы, действующей на тело, на модуль перемещения тела и на косинус угла между направлением силы и перемещения:



$$A = |\vec{F}| \cdot |\Delta\vec{r}| \cdot \cos \alpha = F_x \cdot \Delta r.$$

Мощность силы — это работа, совершённая в единицу времени:



$$P = \frac{A}{\Delta t} = F \cdot v \cdot \cos \alpha.$$

Способность тела совершать работу характеризуется величиной, которую называют *энергией*. Механическую энергию делят на кинетическую и потенциальную.

Кинетическая энергия поступательного движения материальной точки подсчитывается по формуле

$$E_{\text{кин.}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}.$$

Закон изменения кинетической энергии системы материальных точек в инерциальной системе отсчёта:

$$\Delta E_{\text{кин.}} = A_1 + A_2 + \dots,$$

где $A_1 + A_2 + \dots$ — работа всех сил, действующих на систему.

Силы, работа которых не зависит от пути, называются *потенциальными* (силы гравитационного взаимодействия и силы упругости). Если работа силы зависит от пути, то такую силу называют *непотенциальной* (силы трения и силы сопротивления).

Связь работы потенциальных сил с изменением потенциальной энергии:

$$A_{12} = E_{1\text{потенц.}} - E_{2\text{потенц.}} = -\Delta E_{\text{потенц.}}$$

Потенциальная энергия тела в однородном поле тяжести:

$$E_{\text{потенц.}} = mgh.$$

где h — высота подъёма.

Потенциальная энергия деформированной пружины:

$$E_{\text{потенц.}} = \frac{k \cdot \Delta x^2}{2},$$

где k — коэффициент жёсткости пружины, Δx — абсолютная деформация пружины.

Сумма потенциальной и кинетической энергии составляет *механическую энергию*:

$$E_{\text{мех.}} = E_{\text{кин.}} + E_{\text{потенц.}}$$

Для изолированной системы тел в механике справедлив *закон сохранения механической энергии*: если между телами изолированной системы не действуют силы трения (или другие силы, приводящие к рассеянию энергии), то сумма механических энергий тел этой системы не изменяется (закон сохранения энергии в механике):

$$\Delta E_{\text{мех.}} = 0, \quad \text{если } A_{\text{всех непот. сил}} = 0.$$

Если же силы трения между телами изолированной системы есть, то при взаимодействии часть механической энергии тел переходит во внутреннюю энергию:

$$\Delta E_{\text{мех.}} = A_{\text{всех непот. сил.}}$$

1.5. Механические колебания и волны

Гармоническими колебаниями называют такие колебания, в которых колеблющаяся величина x изменяется по закону синуса (или косинуса):

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

где A — амплитуда, или максимальное смещение из положения равновесия; $\omega t + \varphi_0$ — фаза колебаний, характеризует положение тела в начальный момент времени.

Скорость и ускорение:

$$v_x(t) = x'_t, \quad a_x(t) = (v_x)'_t = -\omega^2 x(t).$$

Следовательно,

$$a_x + \omega^2 x(t) = 0.$$

Динамическое описание

$$ma_x = -kx,$$

где $k = m\omega^2$.

Энергетическое описание (закон сохранения механической энергии):

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{mv_{max}^2}{2} = \frac{kA^2}{2} = const.$$

Связь амплитуды колебаний исходной величины с амплитудами колебаний её скорости и ускорения:

$$v_{max} = \omega A, \quad a_{max} = \omega^2 A.$$

Период и частота колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\nu}.$$

Период свободных колебаний математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Период свободных колебаний пружинного маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Волна называется *поперечной*, если частицы среды колеблются в направлениях, перпендикулярных направлению распространения волны.

Волна называется *продольной*, если колебания частиц среды происходят в направлении распространения волны.

Длиной волны называют расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одинаковой фазе.

Скорость распространения и длина волны связаны соотношением

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}.$$

Звуковыми волнами называют волны, колебания в которых происходят с частотами от 20 до 20 000 Гц.

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru