

Содержание

Введение	4
Что нужно знать.....	6
Механика	6
Кинематика	6
Динамика	15
Законы сохранения.....	20
Статика.....	24
Механические колебания и волны.....	26
Молекулярная физика. Термодинамика	30
Молекулярная физика.....	30
Термодинамика	38
Электродинамика	45
Электрическое поле.....	45
Законы постоянного тока.....	54
Магнитное поле	61
Электромагнитные колебания и волны.....	67
Оптика.....	72
Квантовая физика и элементы астрофизики	85
Корпускулярно-волновой дуализм	85
Физика атома.....	88
Физика атомного ядра.....	90
Элементы астрофизики	94
Как решать задачи.....	99
Задачи для самостоятельного решения.....	221
Ответы	265

Введение

В данном пособии представлен блок единого государственного экзамена (ЕГЭ) по физике, развивающий такой важный навык, как решение задач. Теория и примеры задач с подробным объяснением связаны непосредственно с тем минимумом знаний и навыков, которые понадобятся для успешного выполнения экзаменационной работы.

Книга состоит из четырёх разделов: «Что нужно знать» (теоретический блок, в котором приведены формулировки законов, определения физических понятий, явлений, формулы для определения физических величин), «Как решать задачи» (приводятся методы решения задач базового, повышенного уровней, а также примеры оформления задач с развёрнутым ответом), «Задачи для самостоятельного решения» и «Ответы».

Задания для самостоятельной работы, представленные в пособии, соответствуют контрольным измерительным материалам (КИМ) ЕГЭ и разделены согласно спецификации ЕГЭ по физике. Их следует выполнять самостоятельно и только после полного решения задачи обращаться для проверки к приведённым ответам.

Важно учитывать требования к форме ответа: в каких единицах необходимо дать ответ (не всегда он будет выражен в СИ), нужно ли проводить округление (если да, то до каких разрядов). При выполнении заданий 27—32, предусматривающих развёрнутый ответ, следует обратить особое внимание на оформление, изложение материала, критерии оценивания.

Для выполнения экзаменационной работы по физике отводится 3 часа 55 минут (235 минут). Вариант КИМ состоит из двух частей и содержит 32 задания, различающиеся по форме и уровню сложности.

В заданиях 1—4, 8—10, 14, 15, 20, 25, 26 ответом является целое число или конечная десятичная дробь. Число записывается в поле ответа в тексте работы, а затем переносится по приведённому ниже образцу в бланк ответов № 1. Каждую цифру, знак «минус» и запятую в бланке ответов следует писать в отдельную клетку. Единицы измерений (в том числе проценты и градусы) писать не нужно.

КИМ

БЛАНК

Ответ: -3,6 м/с².**1**

-	3	,	6																
---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Ответом к заданиям 5—7, 11, 12, 16—18, 21, 23, является последовательность двух цифр, к заданию 24 — двух или трёх цифр. Ответ записывается в поле ответа в тексте работы, а затем переносится по приведённому ниже образцу без пробелов, запятых и других дополнительных символов в бланк ответов № 1.

КИМ

БЛАНК

Ответ:

А	Б
3	1

18

3	1																		
---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Ответом к заданию 13 является слово. Ответ записывается в поле ответа в тексте работы, а затем переносится по приведённому ниже образцу в бланк ответов № 1.

КИМ

БЛАНК

Ответ: вправо**13**

В	П	Р	А	В	О														
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Ответом к заданиям 19 и 22 являются два числа. Ответ записывается в поле ответа в тексте работы, а затем переносится по приведённому ниже образцу, не разделяя числа пробелом, в бланк ответов № 1.

КИМ

БЛАНК

Ответ: (0,14±0,01) А.**22**

0	,	1	4	0	,	0	1												
---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Ответ к заданиям 27—32 включает подробное описание всего хода выполнения задания. В бланке ответов № 2 необходимо указать номер задания и записать полное изложение решения с ответом, составленное в соответствии с требованиями. При этом должны быть записаны положения теории и физические законы, необходимые для решения выбранным способом.

Для подготовки к экзамену необходимо ознакомиться с кодификатором, спецификацией и демонстрационным вариантом контрольных измерительных материалов ЕГЭ по физике.

Желаем успехов на ЕГЭ!

Что нужно знать

В данном разделе размещён теоретический материал, куда включены основные сведения по каждой теме курса физики, а также все элементы, содержащиеся в кодификаторе ЕГЭ: приведены определения всех понятий, формулировки законов, примеры.

Механика

Курс механики включает следующие подразделы: кинематика, динамика, законы сохранения, статика, гидростатика, механические колебания.

Кинематика

Кинематика изучает механическое движение тел и физические величины (скорость, время, пройденный путь, перемещение, ускорение и т. д.), характеризующие это движение, и не рассматривает причины, которыми вызвано такое движение.

Механическое движение

Механическое движение — изменение положения тела в пространстве **относительно** других тел с течением времени. Слово «относительно» выделено неслучайно. Движение тела, рассмотренное относительно разных тел отсчёта (**тело отсчёта** — тело, относительно которого рассматривается движение), будет иметь различные траектории (**траектория движения** — линия, вдоль которой движется тело), перемещение и скорость.

ПРИМЕР

Рассмотрим движение автомобиля по дороге. В системе отсчёта, связанной с автомобилем, пассажиры пребывают в состоянии покоя, их скорость равна нулю, траекторией можем назвать точку. В системе отсчёта, связанной с землёй, они

>>>

движутся со скоростью автомобиля, траектория движения совпадает с дорогой. А деревья, которые растут на земле и находятся в покое относительно земли, движутся в сторону, противоположную движению автомобиля (в системе отсчёта, связанной с автомобилем), со скоростью, равной скорости автомобиля.

Поэтому, когда говорят о движении тела, всегда указывают систему отсчёта, относительно которой рассматривается движение.

Основная задача механики

Основная задача механики — определение положения тела в любой момент времени. То есть, зная начальные данные (точку, из которой тело начало своё движение, его скорость, ускорение), мы должны определить положение тела в любой интересующий нас момент времени.

Чтобы максимально облегчить решение задач на движение, тело можно рассмотреть как **материальную точку** (то есть пренебречь его размерами, но не массой). Однако применить данную модель можно не всегда. Тело считается материальной точкой **в условиях данной задачи**, если его размеры во много раз меньше расстояния, которое тело проходит, или если тело движется **поступательно** (все точки тела движутся одинаково, поэтому достаточно для описания движения рассмотреть одну из них). Определённое тело в одной задаче может быть материальной точкой, а в другой — нет. Всё будет зависеть от условия задачи: только поступательное движение либо преодоление больших расстояний при движении позволяют рассматривать тело как материальную точку.

ПРИМЕР

Самолёт вырывается на взлётно-посадочной полосе, и тот же самолёт совершает перелёт Москва — Екатеринбург. В каком случае можно считать самолёт материальной точкой?

>>>

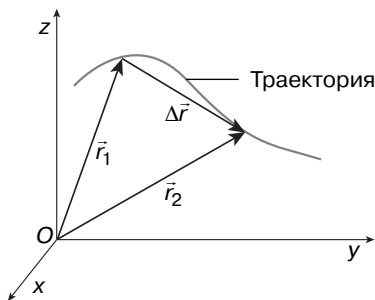
>>>

Во втором случае самолёт может считаться материальной точкой (рассматривается большое расстояние), в первом — нет (важны размеры самолёта, и движение непоступательное).

Для описания движения материальной точки в системе отсчёта надо задать радиус-вектор, соединяющий начало координат с точкой, в которой находится тело. Положение тела можно задать с помощью координат, тогда радиус-вектор примет вид $\vec{r}(t) = (x(t), y(t), z(t))$. Тело в процессе своего движения проходит через точки. Эти точки образуют **траекторию** движения тела (линию, которую описывает тело при своём движении). Вектор $\Delta\vec{r}$, соединяющий начальное и конечное положение тела, называют **вектором перемещения** тела, он равен

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1) = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = (\Delta x, \Delta y, \Delta z) = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1).$$

Модуль перемещения: $|\Delta\vec{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$.



Траектория и перемещение.

\vec{r}_1 и \vec{r}_2 — радиус-векторы материальной точки в двух положениях

Путь l (м) — это расстояние, пройденное телом по траектории. Путь является неубывающей функцией времени.

Скорость материальной точки \vec{v} (м/с) — векторная величина, показывающая, как быстро меняется положение тела.

Поэтому скорость определена следующим образом:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \vec{r}'_t = (v_x, v_y, v_z), \quad v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = x'_t,$$

аналогично $v_y = y'_t, \quad v_z = z'_t$.

Согласно данному определению, скорость можно найти как производную функции радиус-вектора по времени.

Вследствие этого определения скорость всегда направлена по касательной к траектории.

Равномерное движение тела

Равномерное движение тела — движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит равные расстояния.

Равномерное прямолинейное движение — движение тела по прямой с постоянной скоростью. По этой прямой напомним ось X .

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

$$v_x(t) = v_{0x} = \text{const}$$

Константы x_0 и v_{0x} могут иметь любой знак. Если направление вектора скорости совпадает с направлением оси X , то $v_{0x} = v_0 > 0$. Если вектор скорости направлен в противоположную сторону, то $v_{0x} = -v_0 < 0$.

Неравномерное движение

Неравномерное движение — движение, при котором тело за равные промежутки времени проходит разные расстояния.

Описывая неравномерное движение, говорят о **средней (путевой) скорости** — скалярной величине, равной отношению пути к промежутку времени, за который данный путь пройден:

$$v_{\text{ср}} = \frac{l}{t},$$

где l — пройденный путь, t — время, затраченное на его прохождение.

Важно также понятие **мгновенной скорости** — скорости движения в данный момент:

$$\vec{v}_{\text{МГН}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{S}}{\Delta t},$$

где \vec{S} — вектор перемещения.

■ ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ! ■

Необходимо различать среднюю (путевую) скорость и среднюю скорость по перемещению: $\bar{v} = \frac{\bar{s}}{t}$. Средняя скорость, определённая таким образом, может равняться нулю даже в том случае, если точка (тело) реально двигалась, но в конце промежутка времени вернулась в исходное положение.

Равноускоренное движение

Равноускоренное прямолинейное движение — движение тела по прямой с постоянным ускорением.

Ускорение \bar{a} (м/с²) — векторная величина, характеризующая быстроту изменения скорости тела. Ускорение показывает, на какую величину скорость изменяется за каждую секунду:

$$\bar{a} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \frac{\bar{v} - \bar{v}_0}{\Delta t},$$

где \bar{v} — конечная скорость тела, \bar{v}_0 — начальная скорость.

$$a_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = (v_x)_t', \quad \text{аналогично } a_y = (v_y)_t', \quad a_z = (v_z)_t',$$

где a_x — проекция ускорения на ось X (аналогично на другие оси).

Равноускоренное движение описывается следующими уравнениями (если направить ось X вдоль прямой, по которой движется тело):

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

$$v_x(t) = v_{0x} + a_x t,$$

$$a_x = \text{const.}$$

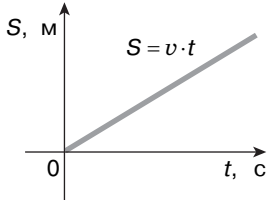
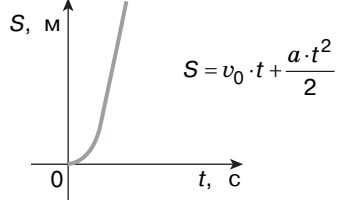
Отсюда следует, что $v_{2x}^2 - v_{1x}^2 = 2a_x(x_2 - x_1)$.

Проекции ускорения, начальной скорости и начальной координаты могут иметь любой знак. Если направление ускорения совпадает с направлением оси X , то знак проекции ускорения будет больше нуля, если вектор ускорения направлен в противоположную сторону — меньше нуля.

Графики скорости	
При равномерном движении	При равнопеременном движении
<p>v_x, м/с</p> <p>$v_{1x} > 0$</p> <p>$v_{2x} < 0$</p> <p>0</p> <p>t, с</p> <p>$v_x = \frac{S_x}{t}$</p> <p>\vec{v}_1 и \vec{v}_2 направлены противоположно</p>	<p>v, м/с</p> <p>v_1</p> <p>v_2</p> <p>$v = v_0 + a \cdot t$</p> <p>α_2</p> <p>α_1</p> <p>t, с</p> <p>Чем больше угол наклона прямой скорости, тем больше ускорение тела</p>

Определение перемещения по графику скорости	
При равномерном движении	При равнопеременном движении
<p>v_x, м/с</p> <p>$S_x = v_x \cdot \Delta t$</p> <p>v_x</p> <p>t_1</p> <p>t_2</p> <p>t, с</p> <p>Δt</p>	<p>v_x, м/с</p> <p>v_{x2}</p> <p>v_{x1}</p> <p>$S_x = \frac{v_{x1} + v_{x2}}{2} \cdot \Delta t$</p> <p>$t_1$</p> <p>$t_2$</p> <p>$t$, с</p> <p>$\Delta t$</p>
Площадь фигуры под графиком скорости равна модулю перемещения	

Графики ускорения	
При равномерном движении	При равнопеременном движении
<p>a, м/с²</p> <p>$a = 0$</p> <p>0</p> <p>t, с</p>	<p>a, м/с²</p> <p>$a_x > 0$</p> <p>0</p> <p>$a_x < 0$</p> <p>t, с</p> <p>a_x — проекция ускорения, t — время</p>
a — ускорение, t — время	

Графики перемещения	
При равномерном движении	При равнопеременном движении
	

Относительность механического движения

Рассмотрим движение тела в двух системах отсчёта, движущихся друг относительно друга. Время течёт в них одинаково.

Закон сложения скоростей для таких систем будет выглядеть следующим образом: $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{u}$. **Закон сложения перемещений:** $\Delta \vec{r} = \Delta \vec{r}_1 + \Delta \vec{r}_0$.

Скорость точки относительно неподвижной системы отсчёта (СО) \vec{v} равна векторной сумме скорости точки относительно подвижной СО (\vec{v}_1) и скорости самой подвижной СО относительно неподвижной (\vec{u}).

ПРИМЕР

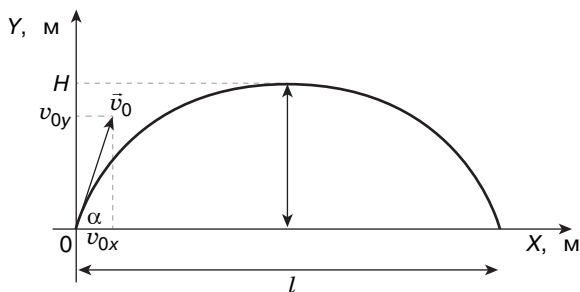
Рассмотрим движение лодки по реке.

Если скорость лодки направлена по течению, то скорость лодки относительно неподвижной СО (берега) находится с помощью суммы значений скорости лодки (скорость относительно подвижной СО) и реки (скорость подвижной СО относительно неподвижной СО — берега); если скорости лодки и течения противоположно направлены — с помощью разности этих значений. Если скорость лодки направлена под прямым углом к скорости течения, то используем теорему Пифагора: $v^2 = v_1^2 + u^2$; если скорость лодки направлена под произвольным углом к течению — применяем теорему косинусов: $v^2 = v_1^2 + u^2 - 2v_1u \cos \alpha$, где α — угол между векторами скорости лодки и скорости течения.

Движение тела под действием силы тяжести

Свободное падение — движение тела под действием только силы тяжести (все остальные силы либо отсутствуют, либо уравновешивают друг друга). Уравнения движения аналогичны уравнениям, описывающим равноускоренное движение.

Движение тела, брошенного под углом к горизонту, происходит под действием силы тяжести в плоскости XOY , направление осей указано на рисунке.



Траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту:

\vec{v}_0 — начальная скорость тела, v_{0x} и v_{0y} — проекции начальной скорости на оси координат, α — угол наклона начальной скорости к оси OX , l — дальность полёта, H — максимальная высота подъёма

При рассмотрении движения тела, брошенного под углом к горизонту, важно помнить следующую особенность: тело участвует одновременно в двух видах движения: по горизонтали — равномерное движение, по вертикали — равноускоренное.

При проецировании вектора скорости на оси получим:

$$v_x = v_0 \cos \alpha, \quad v_y = v_0 \sin \alpha,$$

где v_0 — модуль скорости, с которой бросили тело.

Для ускорения: $g_x = 0$, $g_y = -g = \text{const}$.

Уравнения движения примут вид:

$$x(t) = x_0 + v_{0x}t = x_0 + v_0 \cos \alpha \cdot t,$$

$$y(t) = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2} = y_0 + v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}.$$

Время движения тела будет одинаковое при движении и по вертикали, и по горизонтали. Поскольку в верхней точке траектории полёта вертикальная составляющая скорости будет равна нулю, время подъёма можно определить по формуле

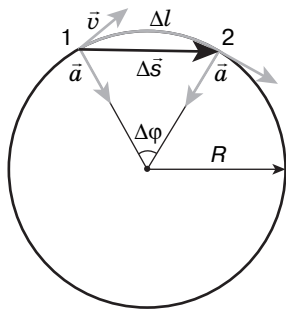
$$\tau = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \quad (\text{можно получить из формулы } v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin \alpha - gt).$$

Так как время подъёма и падения тела одинаковое, то время полёта будет равно $t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$.

Максимальную высоту подъёма можно вычислить, подставив время подъёма (оно же является и временем падения) в формулу $H = \frac{g\tau^2}{2}$, а дальность полёта вычисляется следующим образом: $l = v_{0x}t = v_0 \cos \alpha \cdot t$, где t — время полёта.

Движение тела по окружности

Пусть материальная точка при движении по окружности радиуса R переместится из точки 1 в точку 2 за время Δt , при этом её радиус-вектор совершит поворот на угол $\Delta \varphi$.



Движение материальной точки по окружности из точки 1 в точку 2:

R — радиус окружности, $\Delta \varphi$ — угол поворота, Δl — пройденный путь (длина дуги), Δs — перемещение точки (хорда окружности), \vec{v} — линейная скорость, \vec{a} — центростремительное ускорение

Угловая скорость ω (рад/с) описывает быстроту изменения угла φ : $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \varphi'_t$.

Линейная скорость v (м/с) — модуль обычной скорости. Линейная скорость равна $v = |\omega| R$ и направлена по касательной к окружности.

Центростремительное ускорение $a_{ц}$ (м/с²), возникающее при любом движении по окружности (либо дуге окружности), направлено к центру окружности: $a_{ц} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$. Его ещё называ-

ют **нормальным ускорением**, так как оно направлено перпендикулярно вектору скорости.

Если модуль линейной скорости точки меняется, то кроме нормального ускорения возникает и ускорение, которое направлено вдоль вектора скорости, это ускорение называют **тангенциальным (линейным) ускорением**. Тогда ускорение точки будет равно векторной сумме нормального и тангенциального ускорения: $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$.

При равномерном движении по окружности $v = \text{const}$. В этом случае угловая скорость ω связана с периодом T и частотой обращения $\nu = \frac{1}{T}$ следующими равенствами: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$.

Период T (с) — время одного полного оборота $T = \frac{2\pi R}{v}$, где R — радиус окружности, v — линейная скорость.

Частота обращения ν (об/с, с^{-1} , Гц) — количество оборотов в единицу времени.

Динамика

Динамика изучает законы движения тел в зависимости от действующих на них сил.

Законы Ньютона

Первый закон Ньютона. Существуют такие системы отсчёта, относительно которых тело движется прямолинейно и равномерно или покоится, если на него не действуют другие тела или действие тел скомпенсировано. Такие системы называются инерциальными системами отсчёта (ИСО).

▼ ПОМНИТЕ! ▼

Ключевые слова для определения принадлежности СО к ИСО: «прямолинейно и равномерно» или «покоится».

Принцип относительности Галилея. Во всех ИСО любое механическое явление при одинаковых внешних условиях (включая начальные условия) протекает одинаково.

Явление инерции — явление сохранения скорости (либо покой, либо равномерное прямолинейное движение).

▼ ПОМНИТЕ! ▼

Если в задаче говорится о движении тела по инерции, это означает, что рассматривается равномерное прямолинейное движение.

Масса m (кг) — мера инертности. **Инертность** — свойство тела в большей или меньшей степени препятствовать изменению своей скорости относительно инерциальной системы отсчёта при воздействии на него внешних сил. Масса тела — собственная характеристика тела, не зависящая от его движения.

Плотность вещества ρ (кг/м³) для тела массой m и объёмом V из однородного вещества можно вычислить по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Сила \vec{F} (Н) — векторная величина, характеризующая воздействие одного тела на другое (или воздействие внешнего поля на тело). Результат действия зависит от модуля силы, направления её действия и точки приложения. В результате действия силы тело изменяет скорость (динамическое действие) или деформируется (статическое действие).

Если на тело действует несколько сил, то равнодействующую сил находят, согласно **принципу суперпозиции сил**, как векторную сумму всех сил, действующих на тело: $\vec{F}_{\text{равн}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N$.

Второй закон Ньютона. В инерциальной системе отсчёта материальная точка постоянной массы m под действием силы \vec{F} (равнодействующей сил, приложенных к телу) движется с ускорением $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$.

▼ ПОМНИТЕ! ▼

Направление ускорения всегда совпадает с направлением силы.

Третий закон Ньютона для материальных точек. Силы воздействия материальных точек друг на друга равны по модулю и противоположны по направлению: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$. То есть эти силы лежат на одной прямой, соединяющей центры масс тел, равны по модулю, имеют одну природу. Этот закон применим в любой системе отсчёта, не только в инерциальной.

▼ **ПОМНИТЕ!** ▼

Данные силы нельзя складывать, так как они приложены к разным телам.

Закон всемирного тяготения

Закон всемирного тяготения. Все тела притягиваются друг к другу. В случае когда тела можно рассматривать как материальные точки, силу взаимодействия между ними можно рассчитать по формуле:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R_{12}^2},$$

где m_1 , m_2 — массы тел, R_{12} — расстояние между центрами масс тел, $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ — гравитационная постоянная.

Эта формула может быть применена в некоторых случаях, если тела не являются материальными точками, а именно: тело малых размеров находится около однородного шара, рассматриваются два однородных шара.

Сила тяжести $m\vec{g}$ (Н) — равнодействующая гравитационных сил, приложенных к телу.

■ **ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ!** ■

Вблизи поверхности Земли сила тяжести — это практически сила притяжения к Земле, вблизи поверхности Марса — сила притяжения к Марсу и т. д.

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

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

где G — гравитационная постоянная, m — масса тела, g — ускорение свободного падения на поверхности планеты.

Движение небесных тел и искусственных спутников

Первая космическая скорость движения спутника по круговой орбите в непосредственной близости от поверхности небесного тела происходит под действием только силы гравитационного притяжения (силы тяжести); так как движение происходит по