

## ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

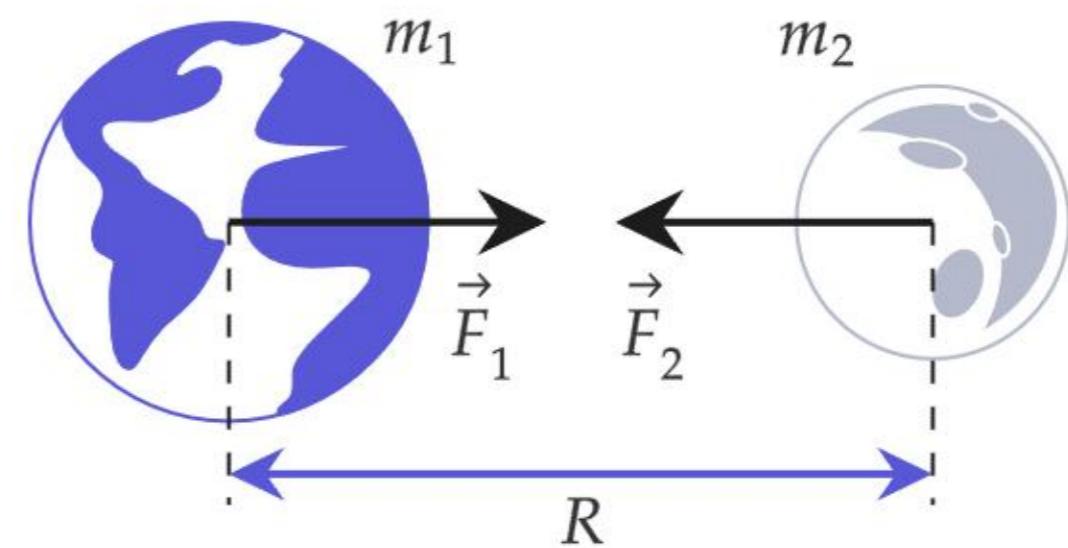
Два тела притягиваются друг к другу с силой, модуль которой прямо пропорционален произведению масс этих тел, обратно пропорционален квадрату расстояния между ними:

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

где  $m_1$  и  $m_2$  — массы тел, кг

$R$  — расстояние между центрами тел, м

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$  — гравитационная постоянная,



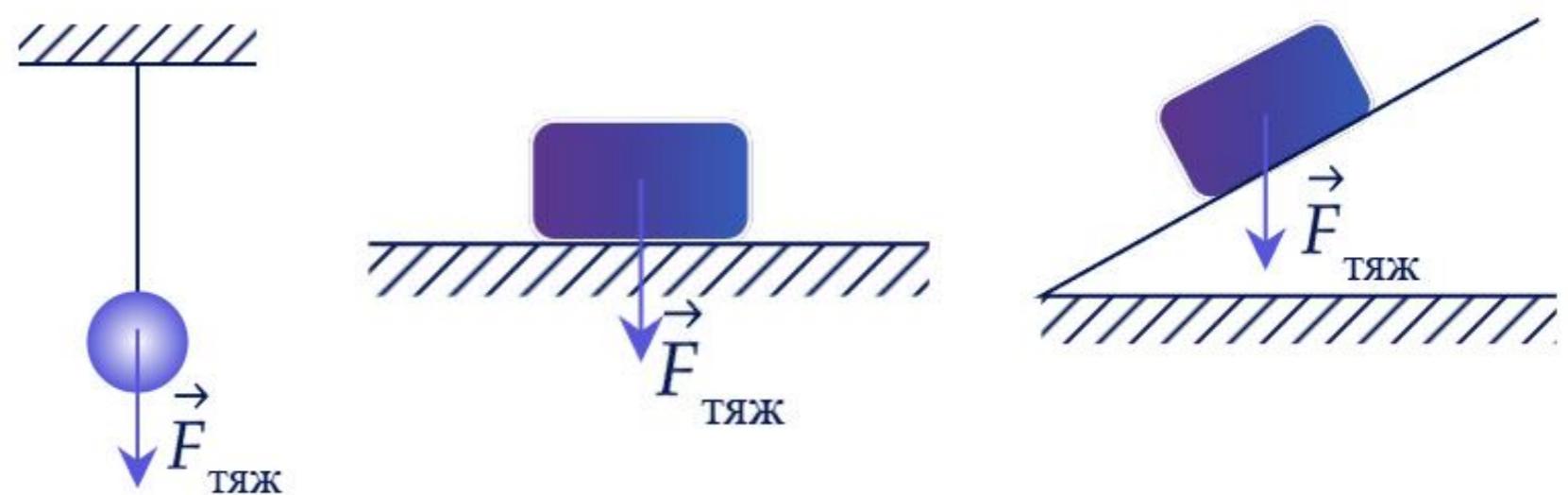
## СИЛА ТЯЖЕСТИ

$$F_{\text{тяж}} = mg = G \frac{M_{\text{пл}} m}{R_{\text{пл}}^2}$$

В СИ:  $[F_{\text{тяж}}] = 1 \text{ Н}$

$m$  — масса тела, кг

$g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$



## УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

$$g = G \frac{M_{\text{пл}}}{R_{\text{пл}}^2}$$

где  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$  — гравитационная постоянная

$M_{\text{пл}}$  — масса планеты, кг

$R_{\text{пл}}$  — радиус планеты, м

## ПЕРВАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ

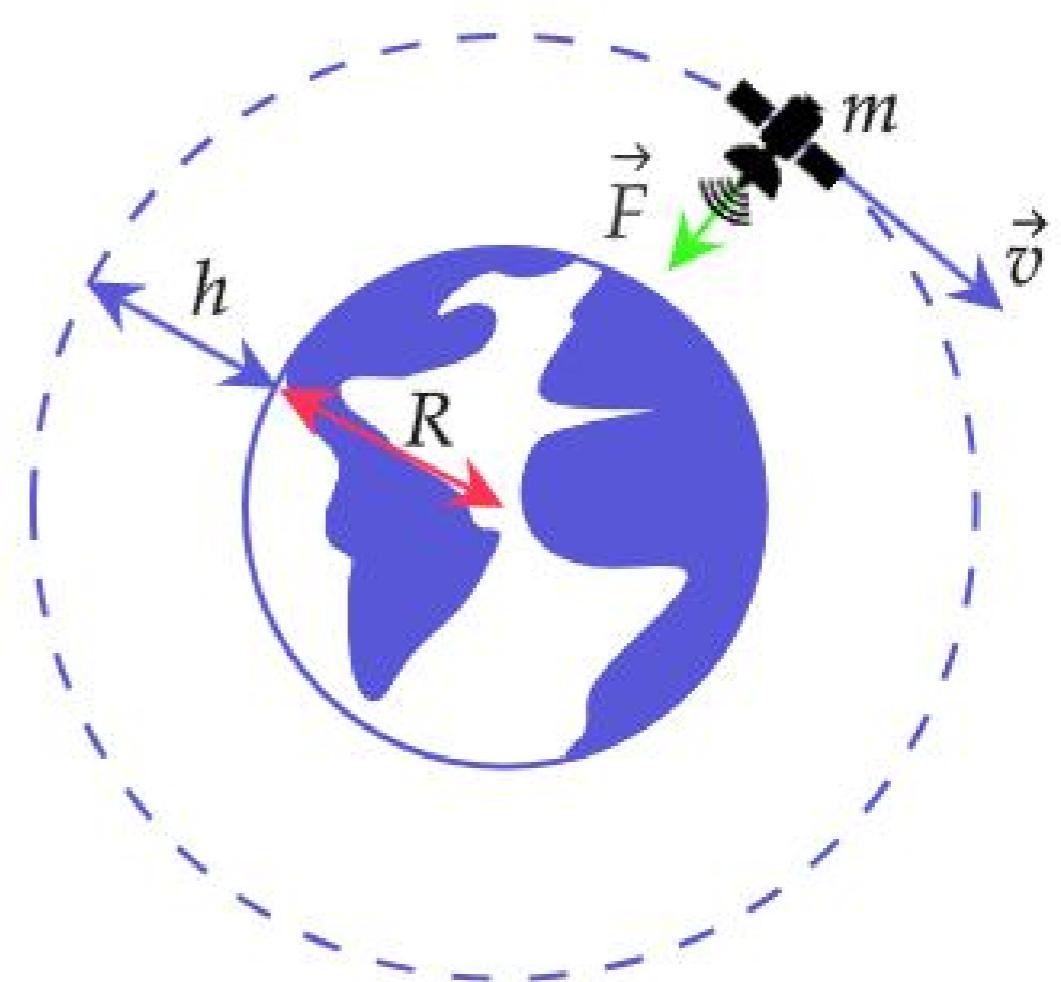
**Первая космическая скорость** — это горизонтально направленная минимальная скорость, с которой тело могло бы двигаться вокруг планеты по круговой орбите, т.е. стать искусственным спутником.

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM_{\text{пл}}}{R_{\text{пл}}}}$$

где  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$  — гравитационная постоянная

$M_{\text{пл}}$  — масса планеты, кг

$R_{\text{пл}}$  — радиус планеты, м

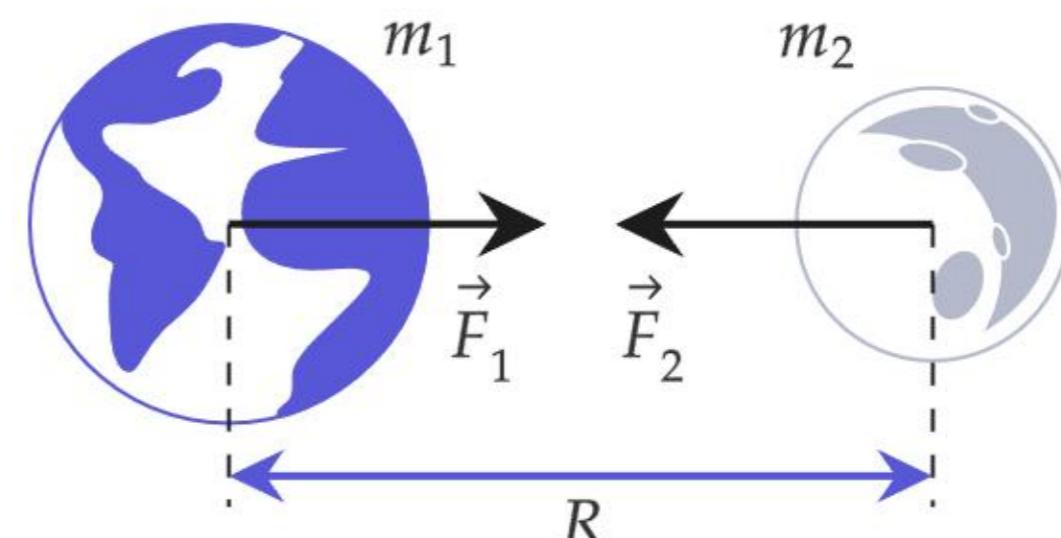


# ТЕОРИЯ №11. ВСЕМИРНОЕ ТЯГОТЕНИЕ. СИЛА ТЯЖЕСТИ. УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ. ПЕРВАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ

## ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Все тела притягиваются друг к другу под действием гравитационных сил - сил всемирного тяготения.

Величина этих сил определяется по закону, который вывел И. Ньютон.



### Закон Всемирного тяготения

- | Два тела притягиваются друг к другу с силой, модуль которой прямо пропорционален произведению масс этих тел, обратно пропорционален квадрату расстояния между ними:

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

где  $m_1$  и  $m_2$  — массы тел, кг

$R$  — расстояние между телами, м

$G$  — гравитационная постоянная,  $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$

Гравитационная постоянная ( $G$ ) численно равна силе притяжения между двумя телами массой 1 кг каждое, расположенными на расстоянии 1 м:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

Значение гравитационной постоянной запоминать не нужно, она будет указана в справочных данных КИМ.

Силы всемирного тяготения равны (по третьему закону Ньютона) и направлены вдоль линии, соединяющей центры взаимодействующих тел.

### ВАЖНО!

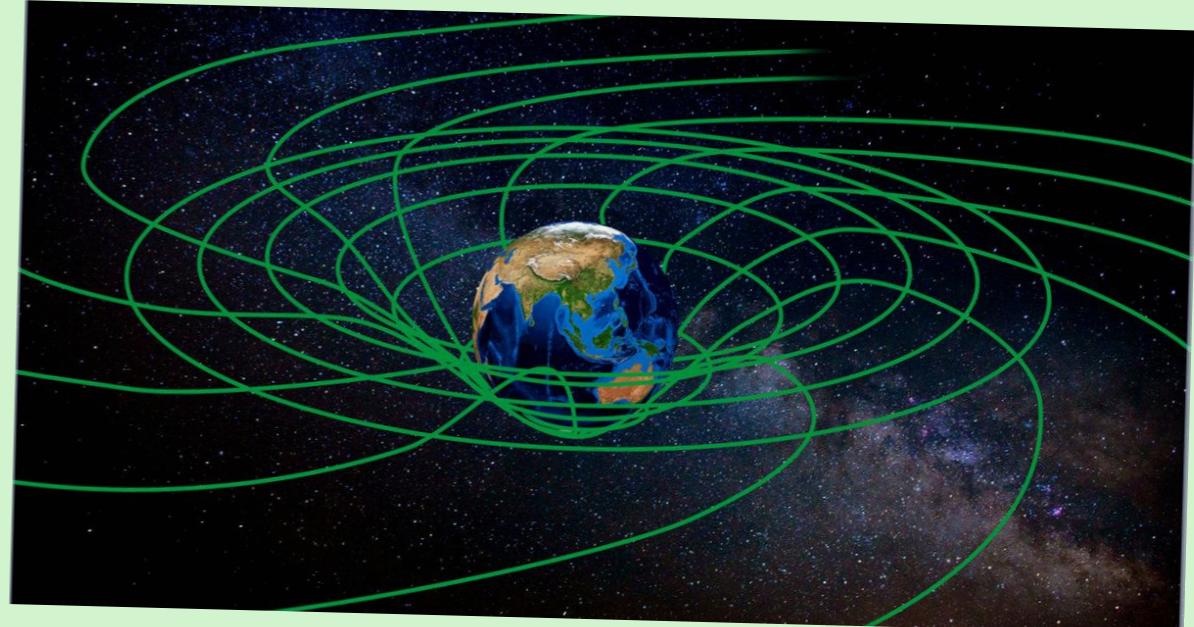
- | При решении задач следует помнить, что в законе всемирного тяготения расстояние берётся между центрами тел, а не от его поверхности.

Порядок величины гравитационной постоянной объясняет, почему мы не замечаем взаимного притяжения окружающих нас предметов: гравитационные силы оказываются слишком малыми при небольших массах тел. Мы наблюдаем лишь притяжение предметов к Земле, масса которой примерно  $6 \cdot 10^{24}$  кг, а также других космических тел большой массы.

Закон справедлив для:

- материальных точек;
- однородных шаров;
- материальной точки и шара.

Гравитационные силы являются проявлением гравитационного поля. Гравитационное поле – особый вид материи, который не могут обнаружить органы чувств человека, оно проявляет себя по действию на тела гравитационной силой. Гравитационное поле образовано искривлением пространства, вследствие того, что тело обладает некоторой массой. Чем больше масса тела, тем сильнее искажение и тем больше гравитация.



## СИЛА ТЯЖЕСТИ. УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

**Сила тяжести ( $F_{\text{тяж}}$ )** – сила, с которой тело, находящееся вблизи поверхности Земли или другой планеты, притягивается к ней. Сила тяжести одно из проявлений силы тяготения.

В СИ:  $[F_{\text{тяж}}] = 1 \text{Н}$

Сила тяжести рассчитывается по формуле:

**!**

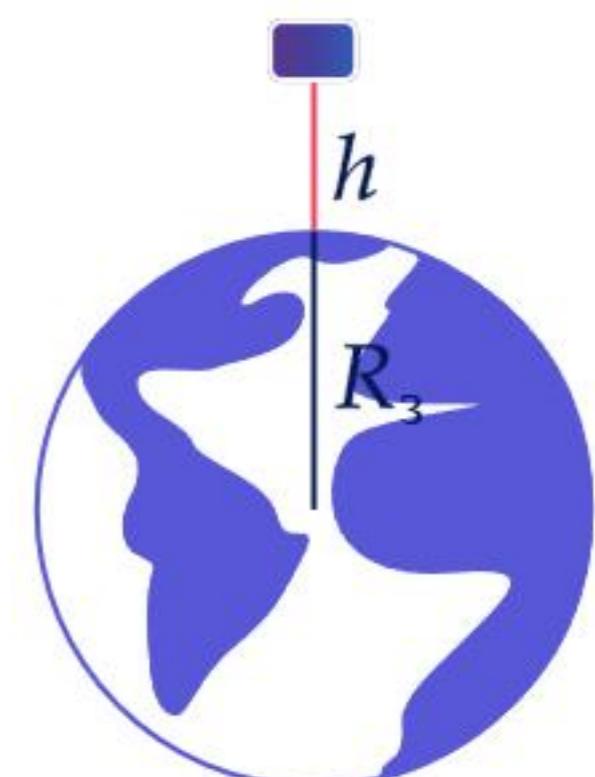
$$\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$$

Докажем справедливость этой формулы. Пусть тело массы  $m$  находится на высоте  $h = 20 \text{ м}$ , т.е. вблизи поверхности Земли. Тогда согласно закону всемирного тяготения

$$F = G \frac{M_3 m}{(R_3 + h)^2}$$

Радиус земли составляет примерно  $6400 \text{ км}$ , поэтому если мы добавим ещё  $20 \text{ м}$  к этому расстоянию, то оно не вносит большого вклада в притяжение. Отбросим  $h$  как величину пренебрежимо малую.

$$F = G \frac{M_3 m}{R_3^2}$$



$M$  – масса Земли,  $R$  – радиус Земли,  $G$  – гравитационная постоянная – все эти величины являются константами, посчитаем какой результат они дают:

$$G \frac{M_3}{R_3^2} \approx 9,8$$

Таким образом мы получили уже знакомое нам числовое значение  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  (ускорение свободного падения).

Мы вывели формулу силы тяжести

$$mg = m \cdot G \frac{M}{R^2}$$

Доказали, что она является частным случаем закона всемирного тяготения, составленного для планеты Земля.

Если в данном равенстве подставить массу и радиус любого другого космического тела, то можно узнать ускорение свободного падения на этом объекте.

$$g = G \frac{M}{R^2}$$



### Вывод

- Ускорение свободного падения не зависит от массы тела, зависит от массы планеты и от радиуса планеты.

## ДВИЖЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ

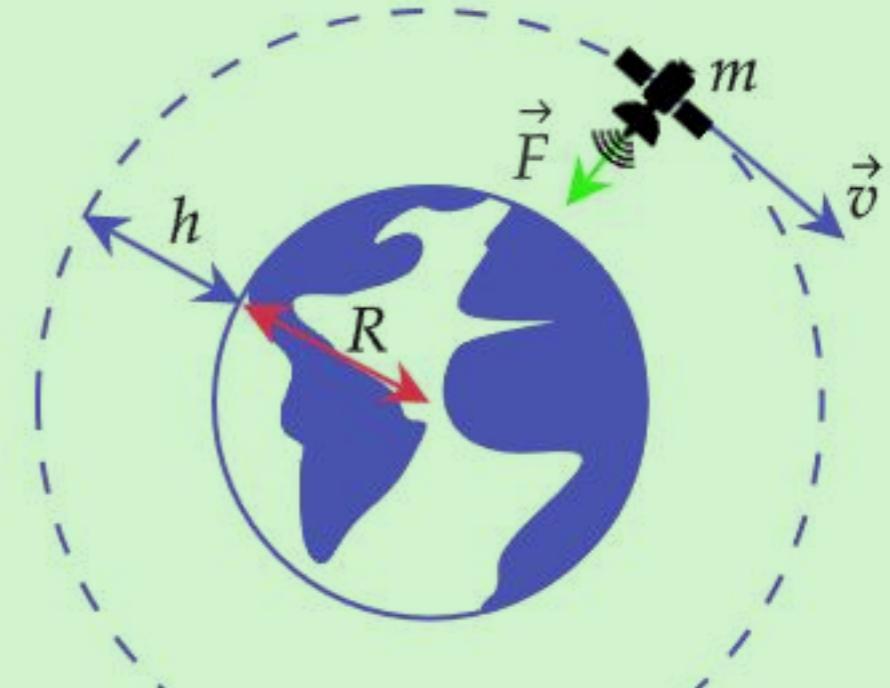
Искусственный спутник Земли — это тело, которое обращается вокруг Земли.

### Назначение спутников:

- Исследование других планет;
- Проведение научных экспериментов;
- Контроль климата (погода, природные катаклизмы);
- Обеспечение Земли связью и другое.

Траектория движения искусственных спутников — эллипс, но для упрощения считают, что они движутся по окружности.

Для того, чтобы выйти на орбиту спутнику необходим мощный двигатель, который создаст такую тягу, чтобы преодолеть Земное притяжение. Когда спутник находится на орбите он не нуждается в работе двигателя, поскольку гравитационное поле планеты удерживает спутник и заставляет его вращаться по окружности с приблизительно постоянной скоростью.



## ПЕРВАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ

Применим закон всемирного тяготения и второй закон Ньютона для спутника массой  $m$ , движущегося вокруг Земли массой  $M_3$ . Радиус Земли обозначим  $R_3$ , высоту спутника над поверхностью Земли  $h$ .

Спутник будет двигаться под действием единственной силы  $F$  — силы всемирного тяготения, направленной к центру планеты. Туда же направлено и ускорение спутника — центростремительное ускорение. При движении по окружности с постоянной скоростью у всякого тела есть центростремительное ускорение, вызванное изменением направления вектора скорости.

$$F = ma_{\text{ц}} \quad (1)$$

$$F = G \frac{M_3 m}{(R_3 + h)^2} \quad (2)$$

$$a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R_3 + h}$$

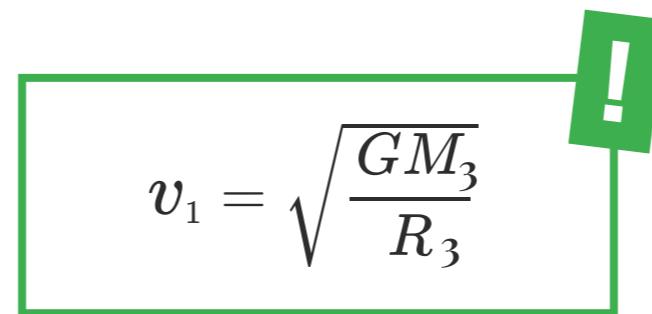
Приравниваем правые части выражений 1 и 2:

$$m \frac{v^2}{R_3 + h} = G \frac{M_3 m}{(R_3 + h)^2}$$

Преобразуем и получим выражение для скорости движения спутника по орбите:

$$v = \sqrt{\frac{GM_3}{R_3 + h}}$$

Если говорят, что спутник находится вблизи поверхности Земли, то считаем, что  $h=0$  и получаем выражение для первой космической скорости:


$$v_1 = \sqrt{\frac{GM_3}{R_3}}$$

**Первая космическая скорость** — это минимальная скорость, с которой тело могло бы двигаться вокруг Земли по круговой орбите, т.е. стать искусственным спутником Земли.

Расчёты показывают, что для Земли первая космическая скорость составляет примерно:

$$v_1 = 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$