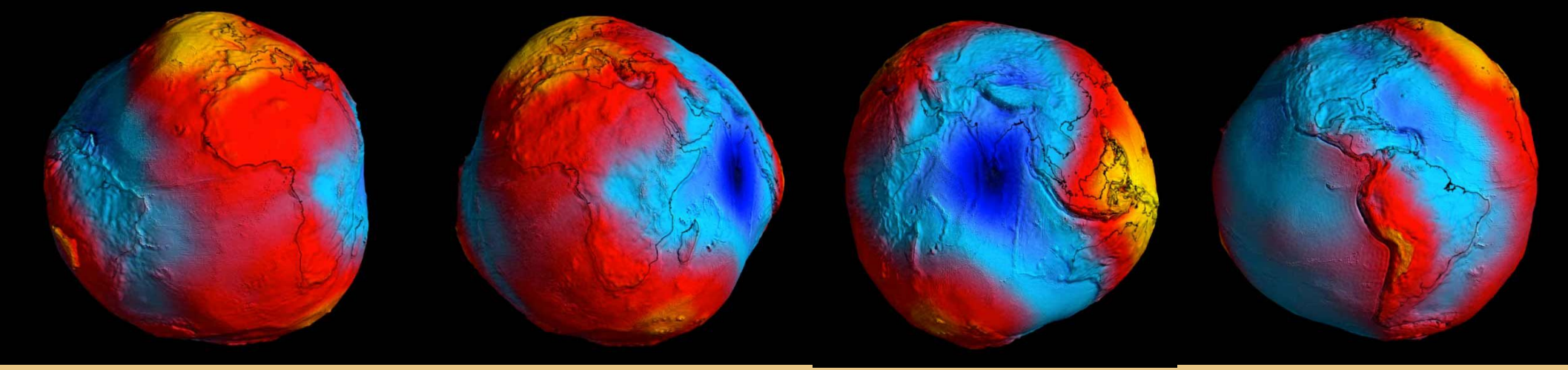
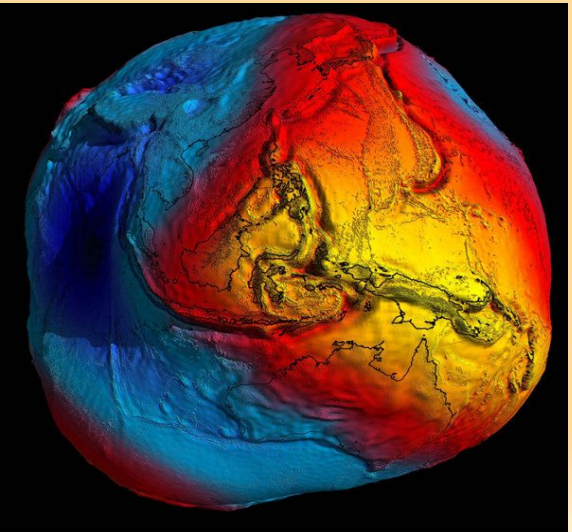
Часть 1

Гравитационное поле Земли.

Учитель физики: Яковлева Т. Ю.
Школа № 285
Санкт - Петербург



Гравитационные аномалии нашей планеты: желтые участки - самая высокая сила тяжести, красные высокая сила тяжести, синие и голубые участки - пониженная сила тяжести Картинки продемонстрировали специалисты из Института астрономической физики и физической геодезии Технического университета Мюнхена Точную форму Земли удалось определить с помощью данных, полученных с помощью спутника GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) Европейского космического агентства. Он был запущен в марте 2009 года, летает на высоте порядка 250 километров - ниже, чем другие аппараты. И улавливает малейшие гравитационные аномалии.



В Евразии и Африке в основном попадаются участки с повышенным притяжением (обозначены красным и желтым). А вот в Северной Америке сила тяжести меньше (синие участки). Разница в силе тяжести между США и Россией может достигать 0,04 процента.

Гравитационная карта Земли

Гравитационное поле Земли

Наличие всемирного тяготения приводит к представлению о **гравитационном поле** (как особой формы материи), в пределах которого на каждое тело действует сила, прямо пропорциональная массе этого тела.

Гравитационное поле представляет собой разновидность **силового поля**: на частицы, помещённые в каждой точке такого поля, действуют силы, прямо пропорциональные определённому физическому свойству этих частиц – массе.

Земля также окружена гравитационным полем (или **полем тяготения**), в котором на тело действуют силы, пропорциональные их массам.

Гравитационное поле Земли

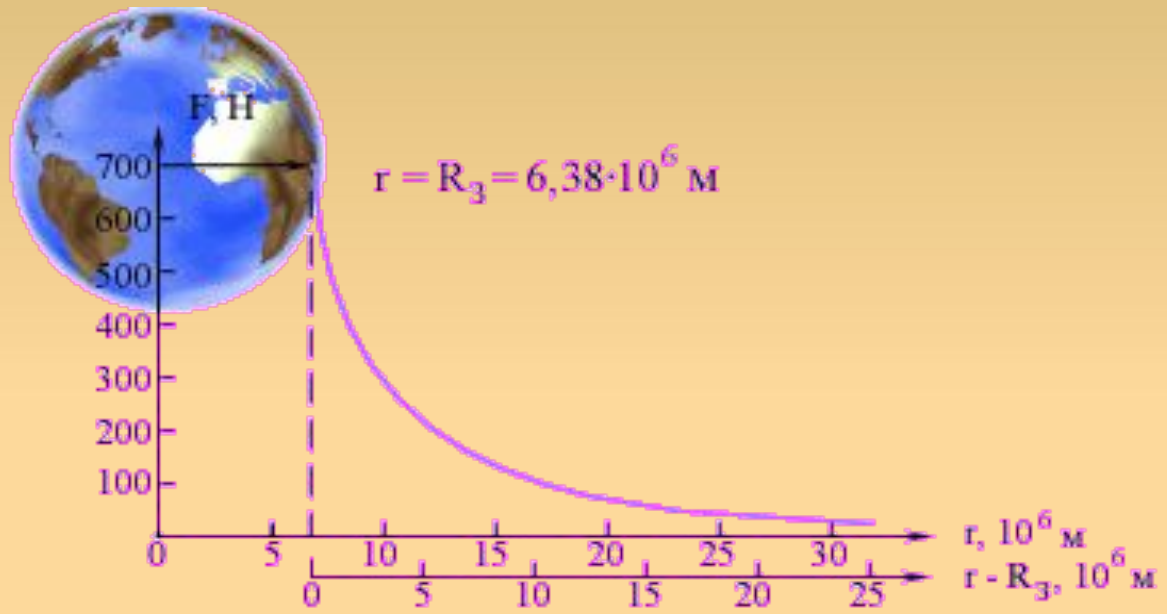
В каждой точке поля Земли можно определить отношение силы, действующей на точечное тело, к массе этого тела; это отношение не зависит от вещества тела, и равно ускорению, сообщаемому силой тяготения в данной точке поля:

$$\frac{\boldsymbol{F}}{m} = \boldsymbol{g}$$

Напряженность поля *g* представляет собой векторную величину, направление которой определяется направлением гравитационной силы *F*, а численное значение — **формулой ускорения свободного падения**.

Напряженность гравитационного поля совпадает по величине, направлению и единицам измерения с ускорением свободного падения, хотя по своему физическому смыслу, это совершенно разные физические величины. В то время, как напряженность поля характеризует состояние пространства в данной точке, сила и ускорение появляются только тогда, когда в данной точке находится пробное тело.

Изменение силы тяготения, действующей на космонавта при удалении от Земли



Из графика функции $g = g(r)$ наглядно видно, что напряженность гравитационного поля g стремится к нулю, когда расстояние r стремится к бесконечности. Поэтому утверждения типа «спутник покинул гравитационное поле Земли» неверны.

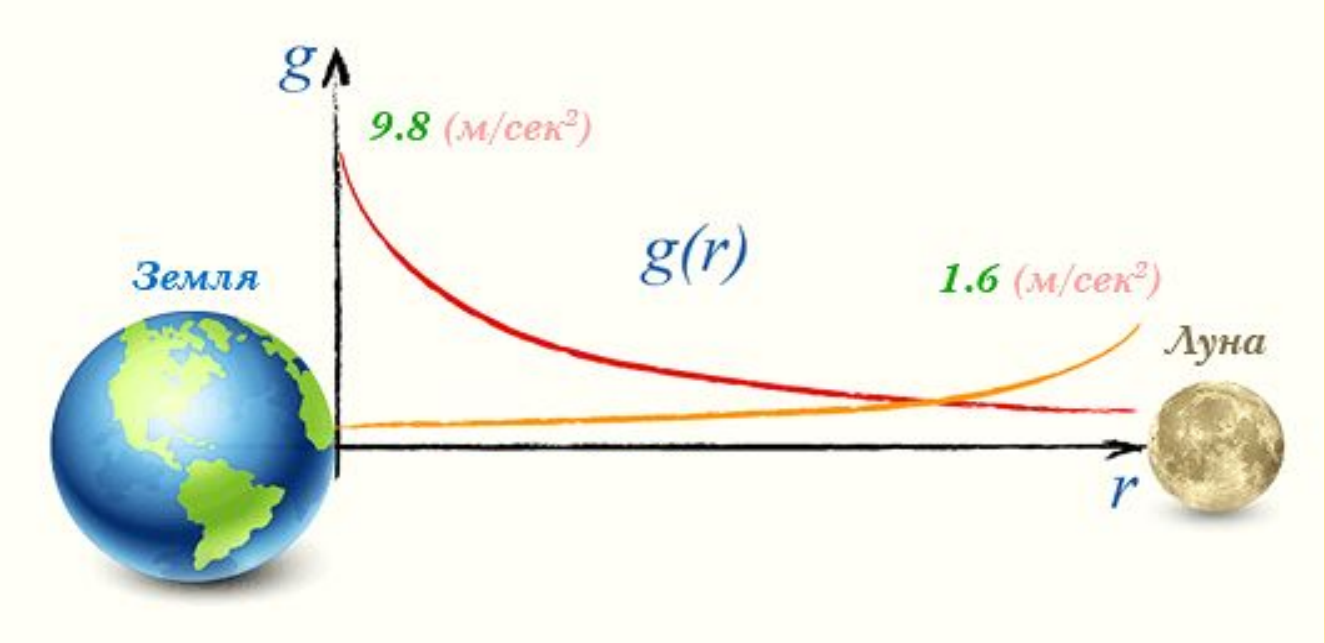
Расстояние от Земли до Луны

Земля

Луна

384 393 км

Гравитационные поля небесных тел перекрываются. Если двигаться вдоль прямой, соединяющей центры Земли и Луны, то, начиная с определенного места, будет преобладать напряженность гравитационного поля Луны.



Гравитационное поле Луны

Средний радиус Земли $R_З \approx 6{,}37 \cdot 10^6$ м. Луна находится от центра Земли на расстоянии $r_Л \approx 3{,}84 \cdot 10^8$ м. Следовательно, ускорение $a_Л$, обусловленное земным притяжением, на орбите Луны равно:

$$\boldsymbol{a_л = g(R_з/r_л)^2} = 9{,}81 \cdot (6{,}37 \cdot 10^6 / 3{,}84 \cdot 10^8)^2 = 9{,}81 \cdot 60^2 = 0{,}0027 \text{ м/с}^2.$$

С таким ускорением, направленным к центру Земли, Луна движется по орбите. Следовательно, это ускорение является нормальным ускорением, которое можно рассчитать по кинематической формуле для нормального ускорения:

$$\boldsymbol{a_л = v^2/r_л} = (2\pi r_л/T)^2 / r_л = (2\pi r_л/T)^2 / r_л = \boldsymbol{4\pi^2 r_л / T^2} = 0{,}0027 \text{ м/с}^2,$$

где T – период обращения Луны вокруг Земли (27,3 сут).

Совпадение результатов расчетов, выполненных разными способами, подтверждает предположение Ньютона о единой природе силы, удерживающей Луну на орбите, и силы тяжести.

Сила тяжести

Одним из проявлений силы взаимного тяготения является **сила тяжести**, т. е. сила притяжения тел к Земле.

Если на тело действует только сила тяжести, то оно совершает свободное падение. **Свободное падение** – это движение тела в безвоздушном пространстве (вакууме) под действием только силы тяжести.

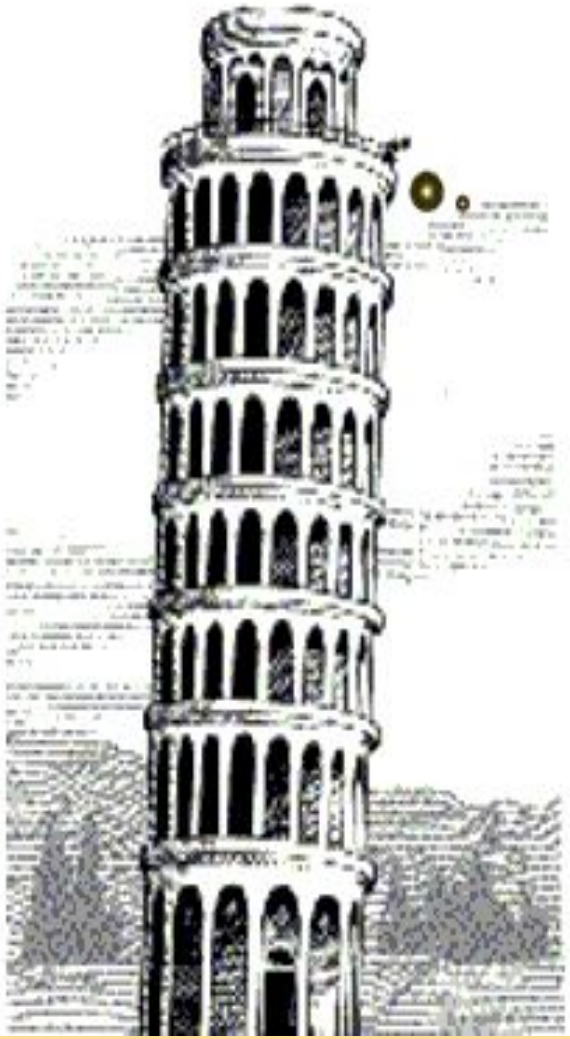
Ускорение свободного падения (**ускорение силы тяжести**) – ускорение, которое приобретает свободная материальная точка под действием силы тяжести. Такое ускорение имел бы центр тяжести любого тела при падении тела на Землю с небольшой высоты в безвоздушном пространстве.

Опыты Галилея с падающими телами

Если сила притяжения в точности пропорциональна массе, то два тела с разной массой должны одинаково изменять свою скорость в поле тяготения. Опыты с ядрами, сброшенными с «Падающей башни» в Пизе в конце XVI в., подтвердили с доступной для того времени точностью, что в отсутствие сопротивления воздуха все тела падают на Землю равноускоренно, и что в данной точке Земли ускорение всех тел при падении одно и то же.

Пизанская падающая башня

Опыты Галилея с падающими телами



Галилео Галилей (1564 — 1642 гг.)

Кинематические характеристики свободного падения

$$\mathrm{v} = gt$$

$$H = \frac{gt^2}{2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$\mathrm{v} = \sqrt{2g(H - y)}$$

Движение тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью v_0

$$v = v_0 - gt$$

$$y(t) = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

$$H = y_{max} = \frac{v_0^2}{2g}$$

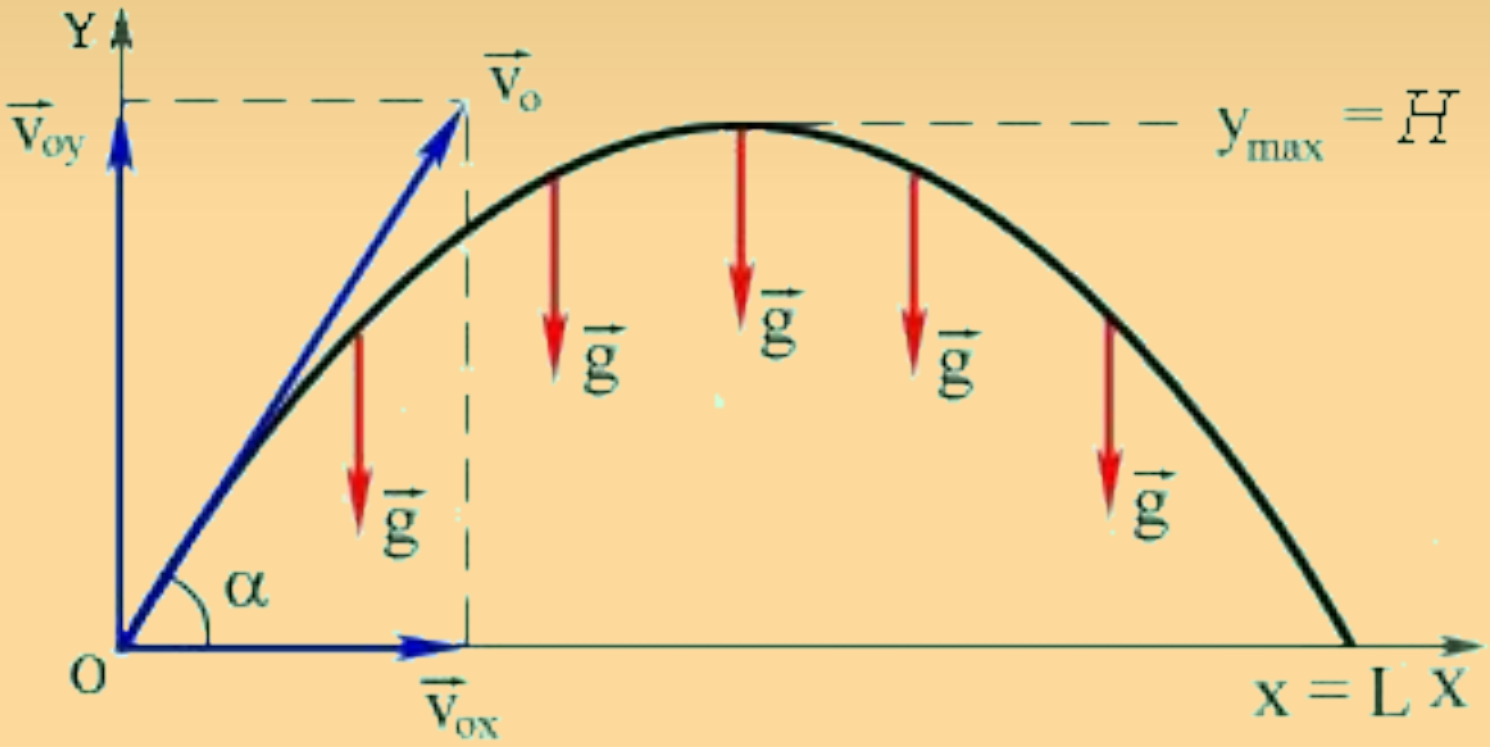
Движение тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью v_0

Тело, вертикально брошенное вверх с уровня Земли ($y = 0$) со скоростью v_0, возвращается на Землю ($y = 0$) через время

$$\frac{2v_0}{g}$$

следовательно, время подъёма и время падения одинаковы. Во время падения на Землю скорость тела равна $-v_0$, т. е. тело падает на Землю с такой же по модулю скоростью, с какой оно было брошено вверх.

Движение тела, брошенного под углом α к горизонту, разложение вектора начальной скорости тела v_0 по координатным осям



Движение тела, брошенного под углом α к горизонту

$$t = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g}$$

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$L_{max} = \frac{v_0^2}{g} \left(\text{при } \alpha = 45^\circ\right)$$ (градусов)

$$H_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g}$$

Баллистическая траектория

Движение тела, брошенного под углом к горизонту, происходит по параболе. В реальных условиях такое движение в значительной степени искажено из-за сопротивления воздуха, которое может существенно уменьшить дальность полёта тела.

Баллистическая траектория – траектория движения свободно брошенного тела под действием только силы тяжести (траекторию движения такого тела в атмосфере при равном или близком к нулю отношении подъёмной силы к аэродинамическому сопротивлению также называют баллистической траекторией).

Свободное движение тел в гравитационном поле Земли