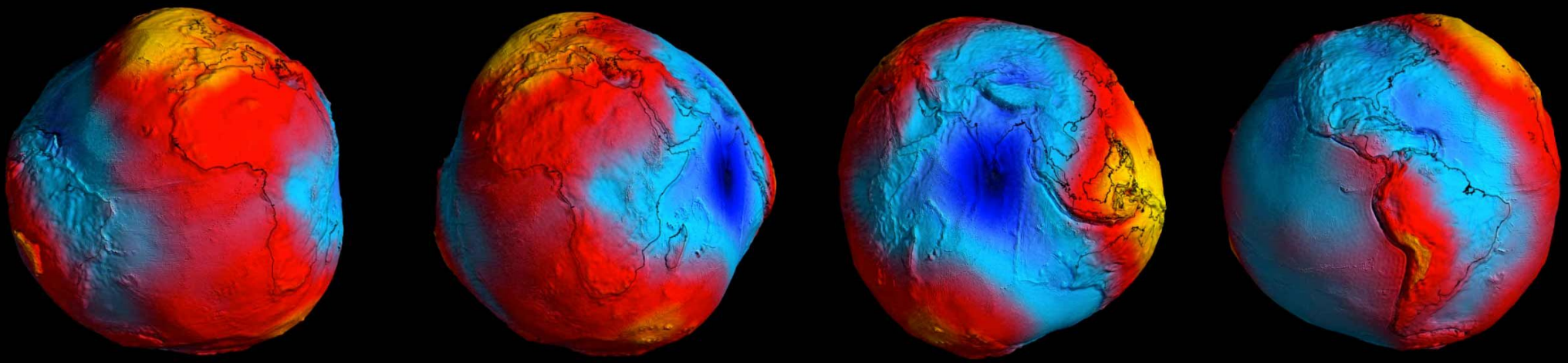


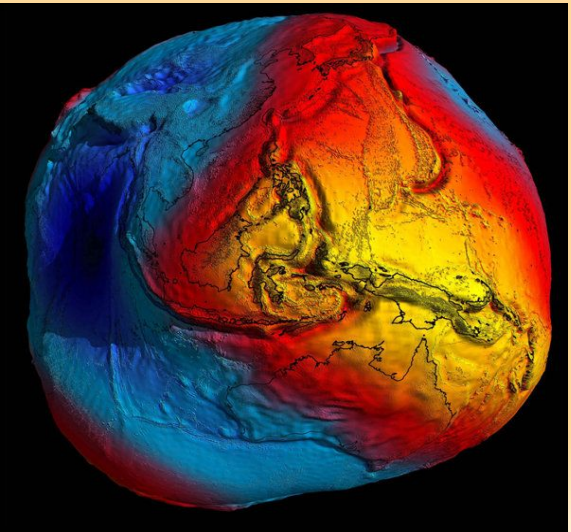
# Гравитационное поле Земли.

Учитель физики: Маркина Л.В.



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:

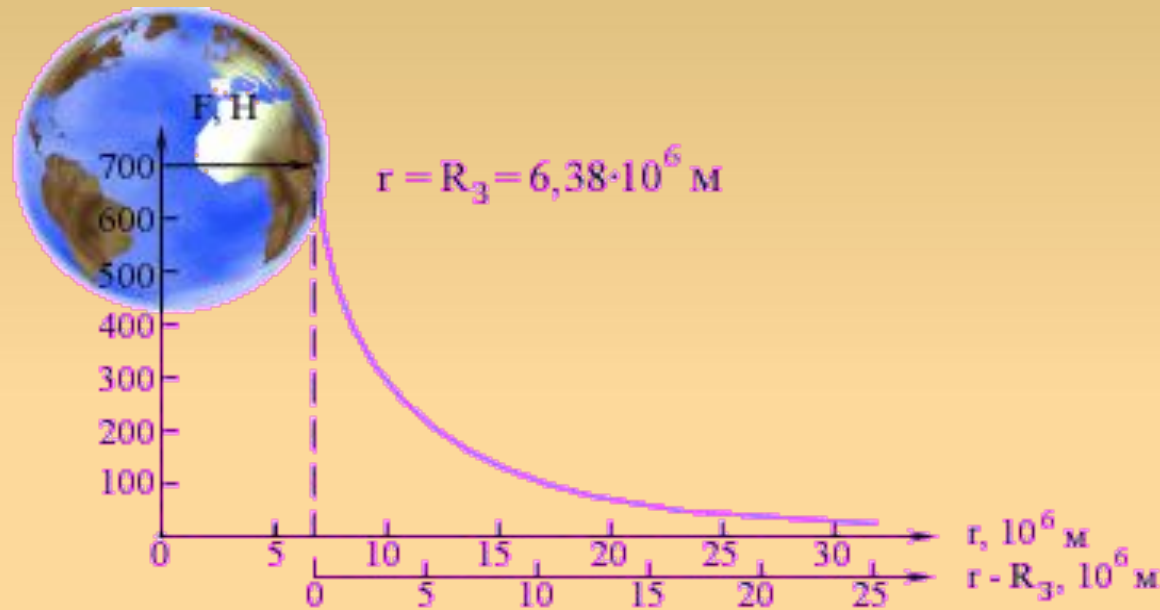
$$\frac{F}{m} = g$$



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



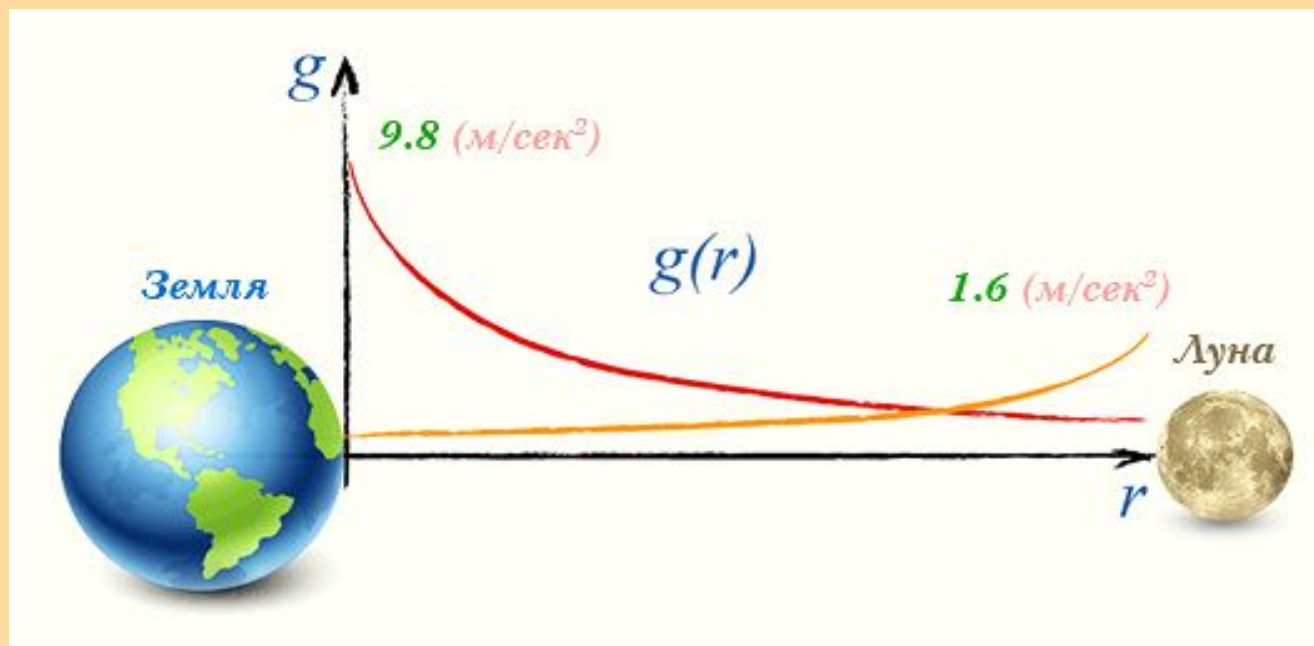
Земля

384 393 км

Луна



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  $R_3 \approx 6,37 \cdot 10^6$  м. Луна находится от центра Земли на расстоянии  $r_{\text{л}} \approx 3,84 \cdot 10^8$  м. Следовательно, ускорение  $a_{\text{л}}$ , обусловленное земным притяжением, на орбите Луны равно:

$$a_{\text{л}} = g(R_3/r_{\text{л}})^2 = 9,81 \cdot (6,37 \cdot 10^6 / 3,84 \cdot 10^8)^2 = 9,81 \cdot 60^2 = 0,0027 \text{ м/с}^2.$$

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:

$$a_{\text{л}} = v^2/r_{\text{л}} = (2\pi r_{\text{л}}/T)^2 / r_{\text{л}} = (2\pi r_{\text{л}} / T)^2 / r_{\text{л}} = 4\pi^2 r_{\text{л}} / T^2 = 0,0027 \text{ м/с}^2,$$

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. 9

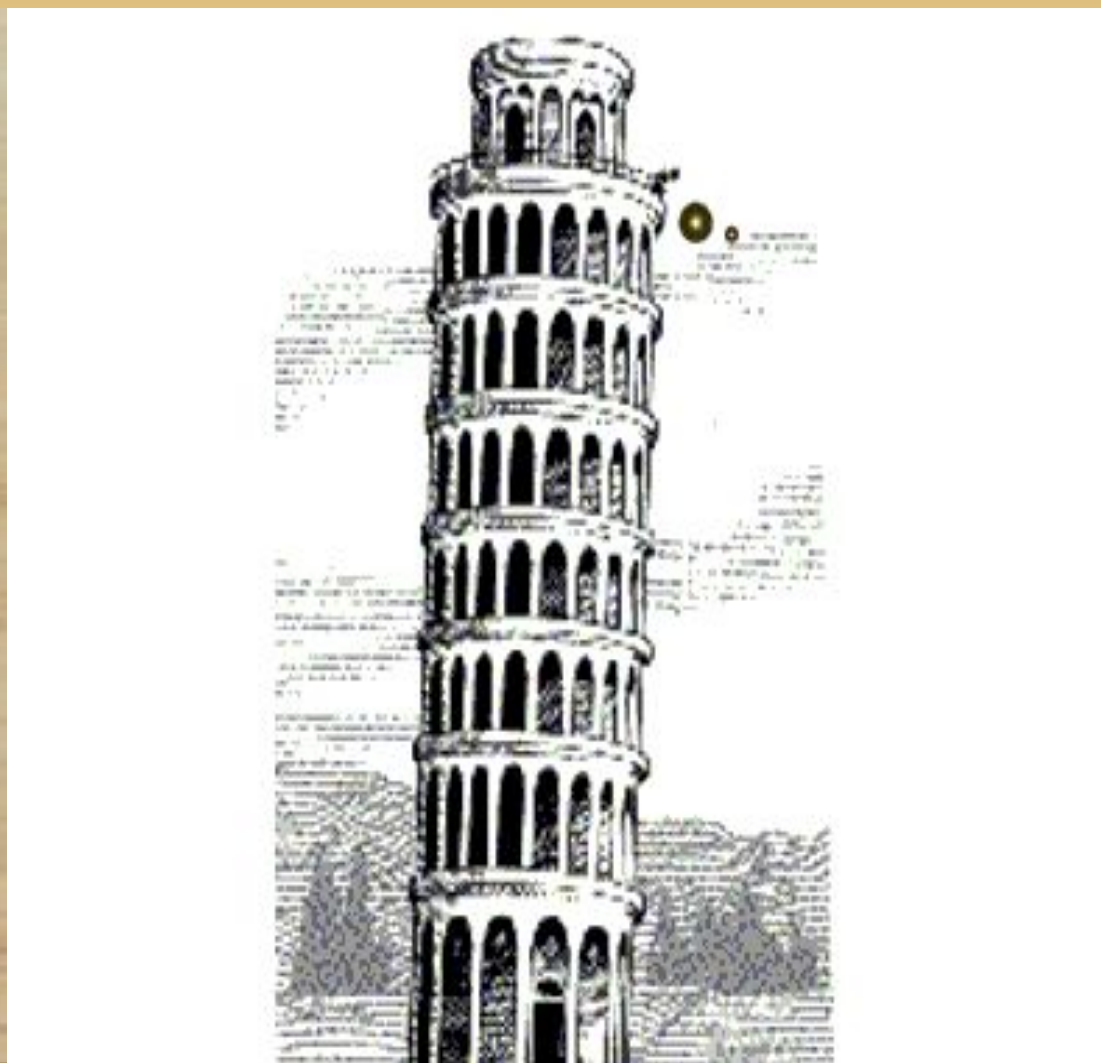
# Опыты Галилея с падающими телами

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

$$v = gt$$

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

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

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

# Движение тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью $v_0$

$$v = v_0 - gt$$

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

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



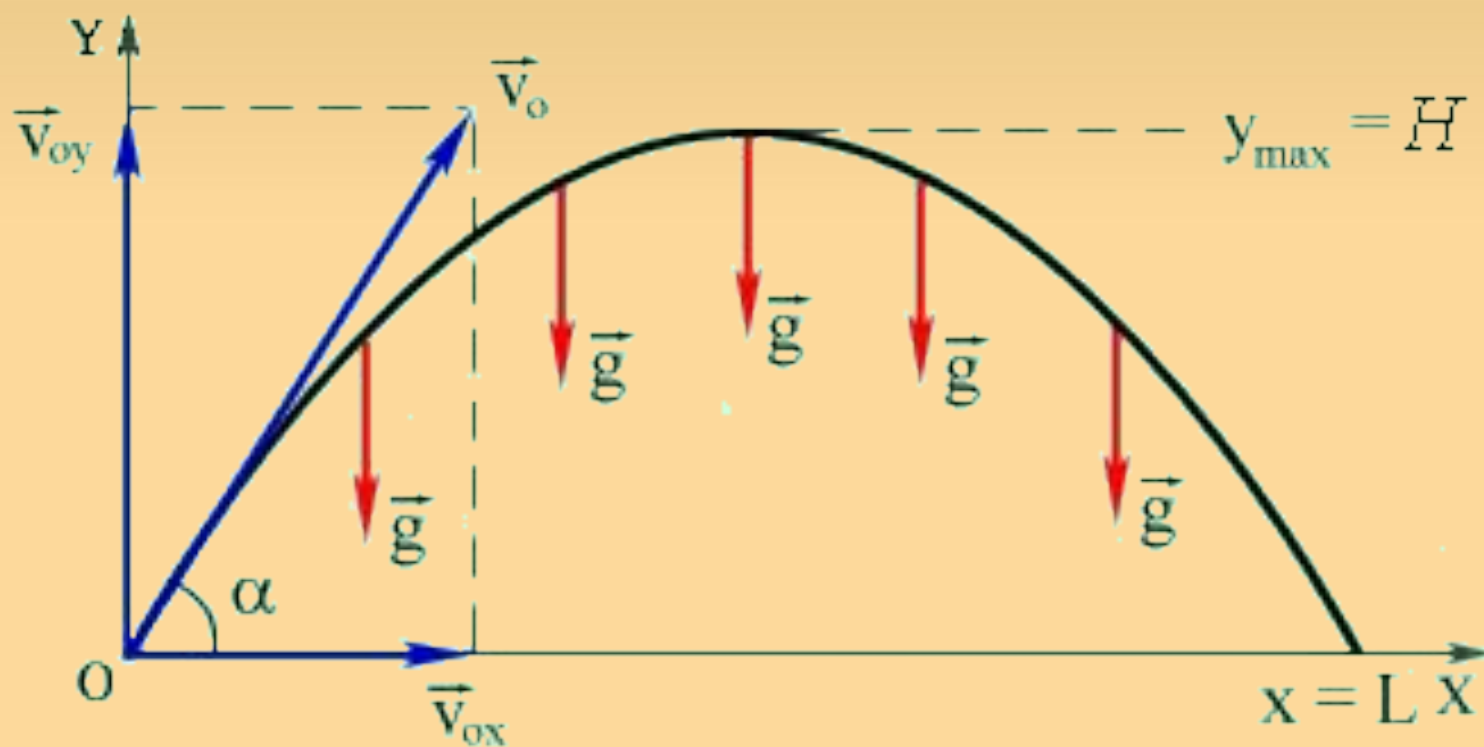
# Движение тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью $v_0$

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  $\alpha$  к горизонту,  
разложение вектора начальной скорости тела  $v_0$   
по координатным осям**



# Движение тела, брошенного под углом $\alpha$ к горизонту

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

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

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

# 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

