**Автономная некоммерческая общеобразовательная организация «Физтех-лицей»
(АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы)**

XX научно-практическая конференция

«Старт в инновации»

Приливы и отливы на Земле

Автор работы:
Потапова Ирина, 10 В
Научный руководитель:
Гончаревич В.О.

Оглавление

1.Введение

Как известно многим, причиной возникновения приливов и отливов служит гравитационное взаимодействие Земли и Луны и вращение Земли вокруг своей оси. Но влияют ли (и насколько сильно) на это другие космические тела, пролетающие мимо Земли?

Цели проектной работы:

1) Изучить динамику приливов и отливов.
2) Выявить вышеописанную зависимость, построить графики.
3) Выяснить, насколько сильно влияют другие космические объекты на приливы на Земле.
4) Сделать выводы на основе эксперимента.

Методы исследования:

1) изучение литературы
2) анализ полученных данных
3) сравнение теоретически выведенного результата с экспериментальной зависимостью

2. Теоретическая справка и объяснение некоторых явлений

Давайте сначала разберёмся, каким именно образом происходят приливы. Пусть орбита Земли представляет собой окружность, центром которой является Солнце. Тогда a_0 - это центростремительное ускорение Земли, которое создаётся гравитационным притяжение Солнца. Именно ускорение Земли влияет на приливы и отливы, но при этом оно не зависит от орбитальной скорости Земли.

Для удобства будем рассматривать движение тел в геоцентрической системе отсчета. Пусть эта система координат будет не вращающейся. На любое тело массы m, находящееся в поле тяготения Земли, действует сила инерции $F_{in} = -ma_0$ (обозначена как F_1 на рис.1), её величина и направление не зависят от положения на Земле. Также, на это же тело действует сила притяжения к Солнцу F_0 (обозначена как F_2 на рис.1), направленная к его центру. Если заданное нами тело не находится в центре Земли, то данные силы F_{in} и F_0 не будут уравновешивать друг друга, но их векторная сумма и есть приливная сила. Попросту говоря, их равнодействующая (отмечена как R на рис.1) - приливообразующая сила, действует в любом месте на Земле или вблизи Земли.

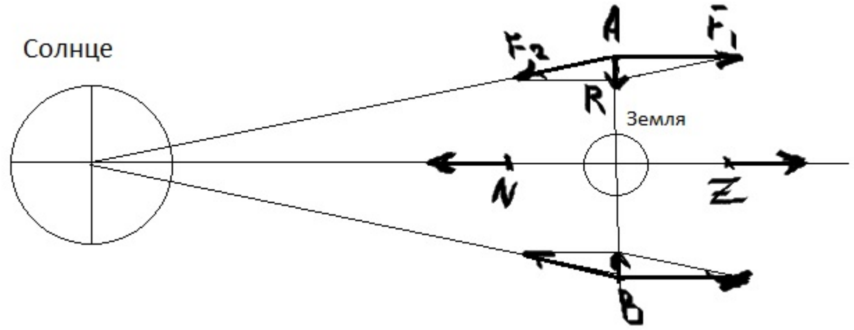

рис.1

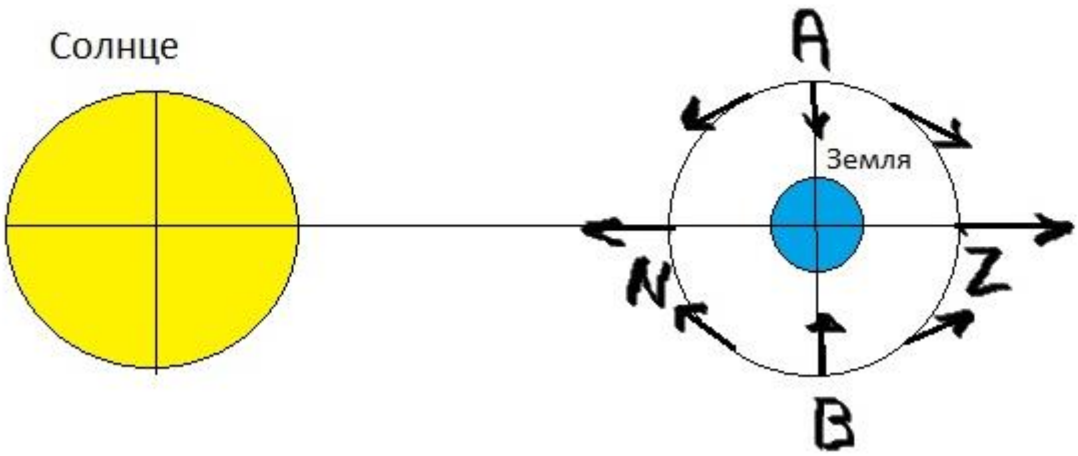

рис.2

На рис.2 отмечены направления действия приливных сил в разных точках. Исходя из этого, становится понятно, что они пытаются сплющить Землю, изменяя её форму. Искажение формы Земли вычисляется по формуле

$$\frac{\Delta R}{R} = 2\frac{m}{M} \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^3 \qquad (1)$$

где R - радиус Земли (или любого возмущенного тела), m и M - массы возмущающего тела и Земли соответственно, r - расстояние между возмущающим и возмущенным объектами.

Понятно, что в системе Земля-Луна силы будут аналогичны, однако, так как Луна почти в 2 раза ближе к Солнцу, их действие будет значительно больше.

Также, для проведения операций с кометой Галлея, нам нужна теоретическая справка и некоторые данные о кривых второго порядка, а именно об эллипсе.

Во-первых, эллипс - одна из кривых второго порядка, или геометрическое место точек плоскости, для которых сумма расстояний до двух фиксированных точек F_1 и F_2

этой плоскости, называемых фокусами, есть величина постоянная. В работе будут использованы также такие понятия, как эксцентриситет (обозначено как е) - характеристика вытянутости орбиты кометы, равная отношению с/а (где с - расстояние от центра до одного из фокусов, а - большая полуось орбиты).

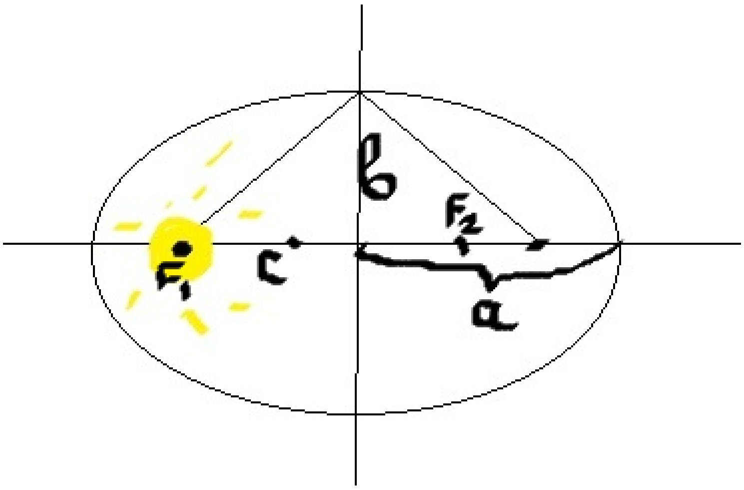

рис.3. Здесь представлен эллипс и его основные точки и характеристики, которые помогут в исследовательской работе.

Также, нам понадобится выяснить расстояние от точки на эллипсе до одного из фокусов. Давайте выведем это расстояние.

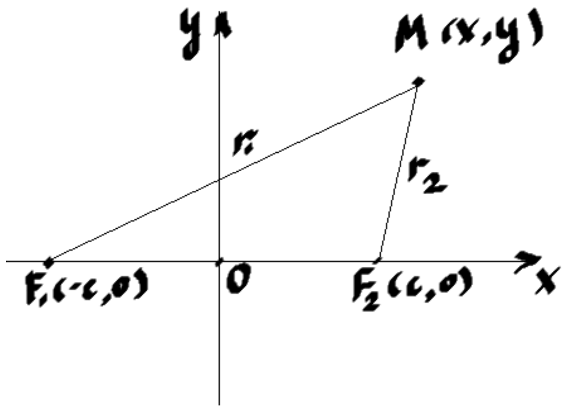

рис а

Из определения следует, что $r_1+r_2=2a$

Из прямоугольных треугольников мы можем выразить r_1 и r_2:

$$r_1 = \sqrt{(x+c)^2 + y^2}$$

$$r_2 = \sqrt{(x-c)^2 + y^2}$$

Отсюда находим r_1 и r_2, и, используя, что $r_1 + r_2 = 2a$, а также уравнение эллипса:

$$(\frac{x}{a})^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1$$

и соотношение, которое можно получить, пользуясь рис.3 :

$$b^2 = a^2 - c^2$$

получим, что

$$r_1 = a + \left(\frac{c}{a}\right)x = a + ex$$

$$r_2 = a - ex$$

3.Практическая часть.

Точно таким же образом, что и для Солнца, учтём влияние достаточно близко пролетающего объекта, например, кометы Галлея на динамику приливов и отливов. Исходя из (1), становится понятно, что от нас требуется вычислить расстояние от Земли до нашей кометы. Для того, чтобы сократить количество возможных случаев, мы как бы “заморозим” Землю так, что она не будет двигаться по эллипсу и будет проецироваться на большую полуось эллипса в плоскости кометы Галлея. И в данной упрощенной системе мы рассмотрим все возможные положения кометы.

Сначала мы рассмотрим движение кометы в её собственной плоскости. Как известно, в одном из фокусов орбиты кометы находится Солнце, что представлено на рис.4(Солнце отмечено как F_1). Таким образом, рассчитав расстояние r от кометы до Солнца, и, зная расстояние в системе Солнце-Земля, мы сможем найти как раз-таки нужное нам расстояние от Земли до кометы Галлея.

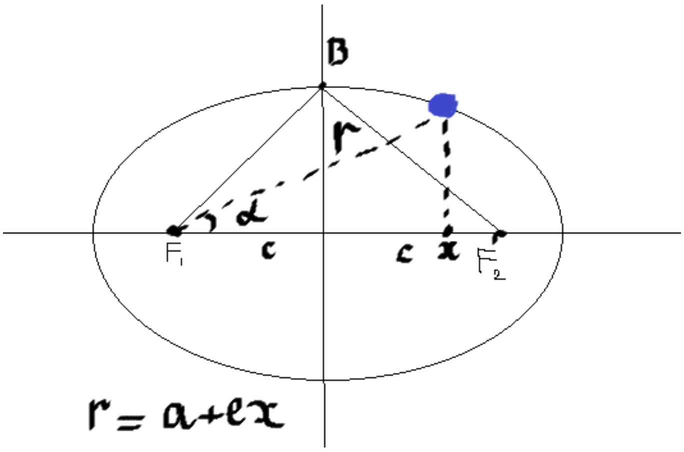

рис.4. В зависимости от угла α и, следовательно, координаты x, будет меняться расстояние r.

Из выведенного в нашей теоретической справке, расстояние от кометы до фокуса(Солнца) F_1 равно

$$r = a + ex \tag{2}$$

Таким же образом, можем выразить теперь x через угол поворота α (обычно называется истинной аномалией). Здесь же у нас появляется два возможных случая, которые приведут к разным выводам формул.

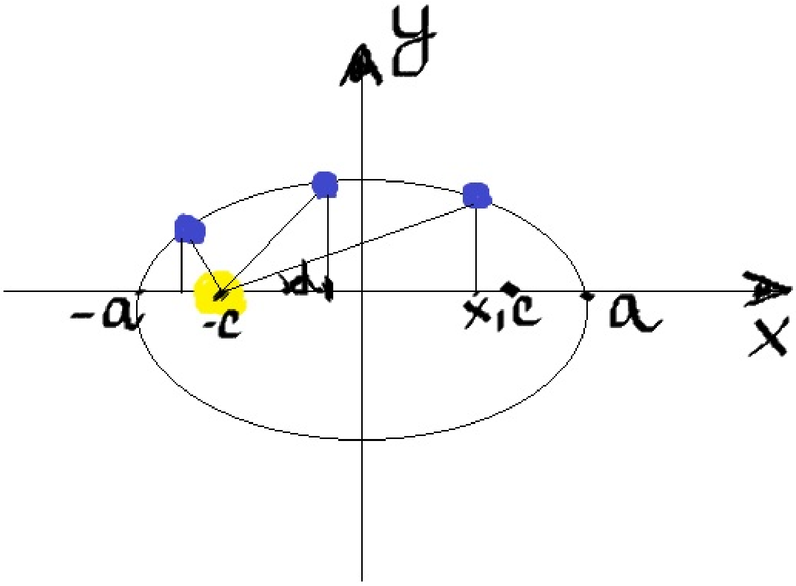

рис.5

Здесь представлено 3 случая ($x>0$; $x<0$, $x>-c$; $x<0$, $x<-c$). При дальнейших расчётах выяснилось, что два последних случая совпадают, при этом учтено, что, находясь в нижней части эллипса, расстояние будет рассчитываться аналогично.

Первый случай – $x > 0$.

Из прямоугольного треугольника на рис.4 выражаем

$$x + c = r * cos\alpha$$

Откуда, выражая x и подставляя в (2), получим, что

$$r_1 = \frac{a-ec}{(1+e*cos\alpha)} \quad 3(а)$$

Аналогично, находим r для случая, когда $x < 0$

$$r_2 = \frac{a+ec}{(1+e*cos\alpha)} \quad 3(б)$$

Итак, всё, что требовалось от этой плоскости, мы нашли. Теперь мы можем перейти к пространству.

Как мы уже обговорили выше, мы специально выбрали такое положение Земли, что она будет проецироваться на плоскость кометы так, что проекция этой точки попадет на большую полуось. Это сильно упростит нам задачу при расчёте расстояния от кометы до Земли.

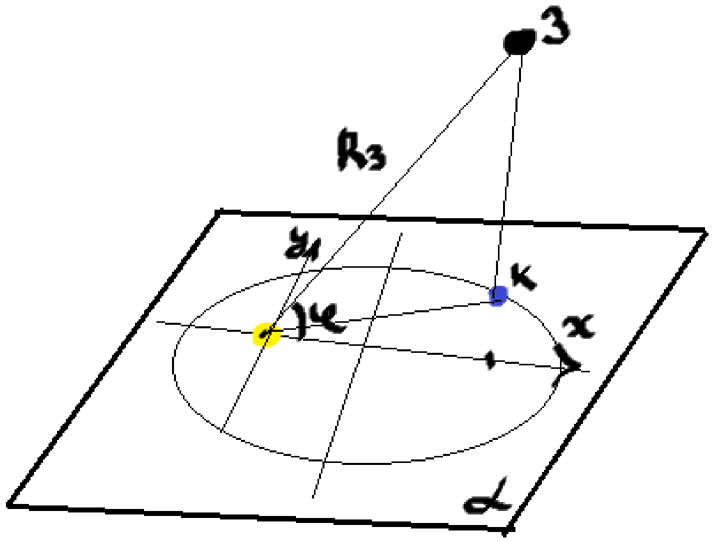

рис.7 “З” - Земля, “К” - комета Галлея, φ - угол между плоскостями. R_3 - расстояние от Земли до Солнца

Теперь найдём это расстояние. Для этого нам нужно значение φ - угол между плоскостями эклиптики и кометы. На рисунке ниже за плоскость α обозначена плоскость кометы.

Возьмём за центр нашей системы координат - фокус эллипса - Солнце и запишем координаты для Земли и кометы.

З$(R3cos\varphi; 0; R3sin\varphi)$;

К$(rcos\alpha; rsin\alpha; 0)$;

Вычтя одно из другого, получим векторное расстояние от Земли до кометы:

$$\overline{R_x} = (R_3cos\varphi - rcos\alpha; -rsin\alpha; R_3sin\varphi)$$

Теперь найдём это расстояние по модулю:

$$|R_x| = \sqrt{(R_3cos\varphi - rcos\alpha)^2 + (rsin\alpha)^2 + (R_3sin\varphi)^2} = \sqrt{R_3^2 - 2rR_3cos\alpha cos\varphi + r^2} \quad (4)$$

Наконец, из (1):

$$\Delta R = 2\frac{m}{M} \cdot \frac{R^4}{R_x^3} = 2\frac{m}{M} \cdot \frac{R^4}{(R_3^2 - 2rR_3cos\alpha cos\varphi + r^2)^{1.5}} \quad (5)$$

Теперь, подставляя 3(а) и 3(б) в (5), получим зависимость угла поворота кометы от изменения искажения Земли:

$$\Delta R = 2\frac{m}{M} \cdot \frac{R^4}{(R_3^2 - 2R_3cos\alpha cos\varphi(\frac{a+ec}{1+ecos\alpha}) + (\frac{a+ec}{1+ecos\alpha})^2)^{1.5}}$$

$$\Delta R = 2\frac{m}{M}\cdot\frac{R^4}{(R_3^2 - 2R_3 cos\alpha cos\varphi(\frac{a-ec}{1+ecos\alpha}) + (\frac{a-ec}{1+ecos\alpha})^2)^{1.5}}$$

Все данные нам известны, построим график данной зависимости:

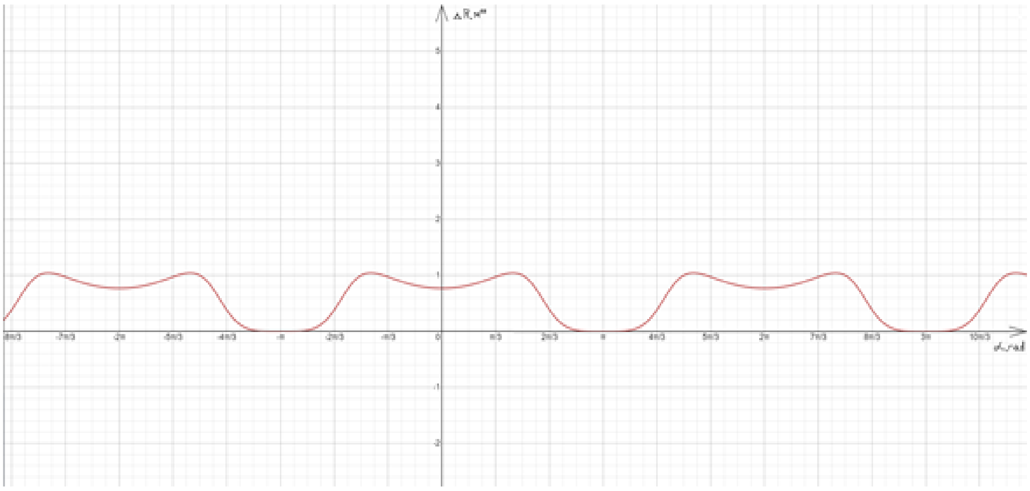

рис.8 . На графике обозначен также период, за который комета делает полный оборот

А также изобразим график зависимости высоты прилива от расстояние от кометы до Земли (уже на начальном этапе понятно, что это гиперболоид):

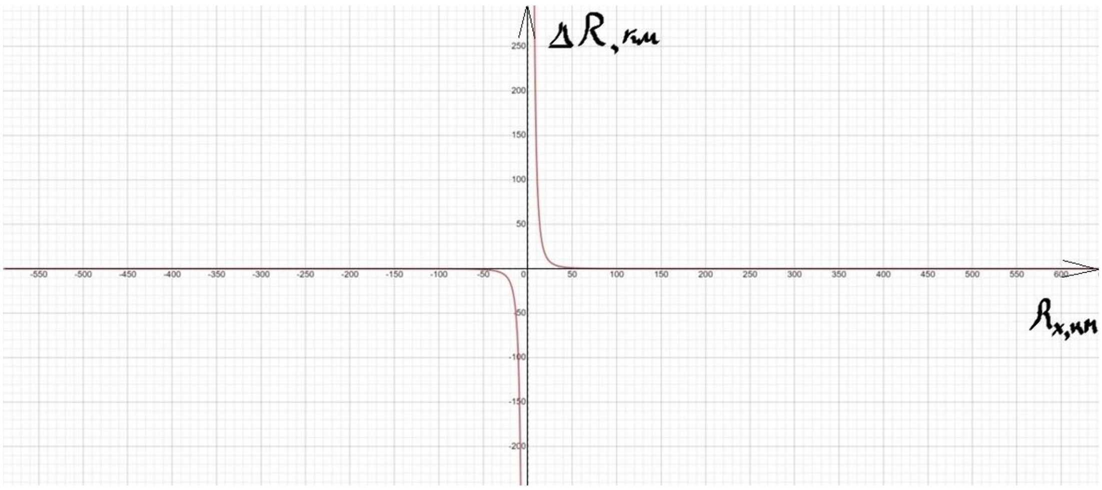

рис.9

Как видно из графиков, действие приливной силы (или высота прилива) от кометы Галлея на Землю настолько мало, что фактически незаметно для Земли и почти не влияет на её форму и искажение. Пришли мы к этому выводу, найдя даже приблизительную высоту прилива, появляющуюся при взаимодействии Земли и Луны и Земли и Солнца:

$$\Delta R_{\text{Луна}} \approx 36 \text{ см}$$

$$\Delta R_{\text{Солнце}} \approx 16 \text{ см}$$

Мы можем предположить лишь, что такой результат мы получили вследствие колоссальной разницы Земли и кометы в массе (ок. 14-ти порядков!), что как раз-таки и привело к малым искажениям формы или их отсутствию.

4. Вывод:

Комета Галлея – один из самых исследованных на данный момент космических объектов. При этом, изучая её свойства, мы пришли к выводу, что она не оказывает почти никакого влияния на Землю и её форму. Также, наше расследование достаточно актуально в области промышленности, где динамика приливов и отливов действительно активно используется и просто необходима. Например, приливные электростанции, которые работают, исходя лишь из принципа приливов и отливов, используют кинетическую энергию вращения Земли. Они размещены специально в местах, где действие приливных сил особенно значимо. Данная работа была направлена на дальнейшее изучение кометы Галлея и её свойств. При этом, мы считаем, что выполнили поставленную задачу, наглядно показав одно из них.