

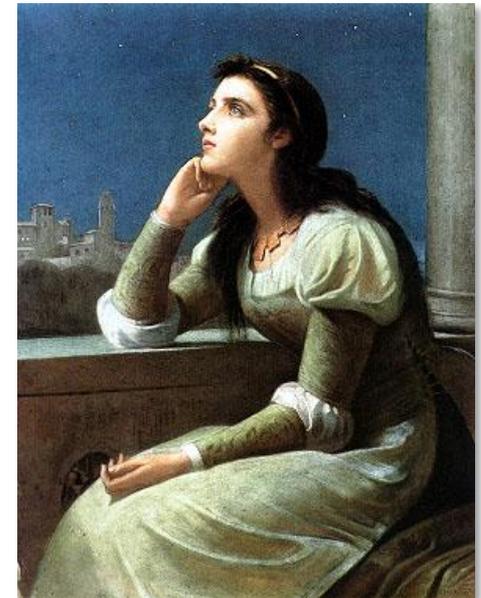
*«В каждой душе живет тяготение
к счастью и смыслу»*

Фома Аквинский

Динамика Часть 2.

*«Тяготение-
влечение, тяга, стремление, склонность,
страсть, устремление, наклонность;
притяжение, гравитация; пристрастие,
слабая струна, устремленность, потребность,
приверженность, порыв, расположение,
полет, вкус, охота, любовь, бзик...»*

Из словарей



Сила тяжести. Вес

Под действием силы притяжения все тела падают на Землю с одинаковым относительно поверхности Земли ускорением g . Это означает, что в системе отсчета, связанной с Землей, на любое тело массы m действует сила

$$\vec{P} = m\vec{g},$$

называемая силой тяжести.

Согласно обобщенному закону Галилея, все тела в одном и том же поле тяготения падают с одинаковым ускорением. Следовательно, в данном месте Земли ускорение свободного падения одинаково для всех тел. Оно изменяется вблизи поверхности Земли с широтой в пределах от $9,780 \text{ м/с}^2$ на экваторе до $9,832 \text{ м/с}^2$ на полюсах. Это обусловлено суточным вращением Земли вокруг своей оси и отличием экваториального и полярного радиусов Земли (соответственно 6378 и 6357 км).

Так как различие значений g невелико, ускорение свободного падения, которое используется при решении практических задач, принимается равным $9,81 \text{ м/с}^2$. А Землю принимают за однородный шар радиуса R .

Закон всемирного тяготения



Когда великие предшественники Ньютона, в частности **Галилей**, изучали равноускоренное движение тел, падающих на поверхность Земли, они были уверены, что наблюдают явление чисто земной природы — существующее только недалеко от поверхности нашей планеты.

Когда другие ученые, например **Иоганн Кеплер**, изучали движение небесных тел, они полагали что в небесных сферах действуют совсем иные законы движения, нежели законы, управляющие движением здесь, на Земле.

Все аргументы, касающиеся движения небесных тел, до Ньютона сводились в основном к тому, что небесные тела, будучи совершенными, движутся по круговым орбитам в силу своего совершенства, поскольку окружность — суть идеальная геометрическая фигура. Таким образом, выражаясь современным языком, считалось, что имеются **два типа гравитации**, и это представление устойчиво закрепилось в сознании людей того времени. Все считали, что есть **земная гравитация**, действующая на несовершенной Земле, и есть **гравитация небесная**, действующая на совершенных небесах.



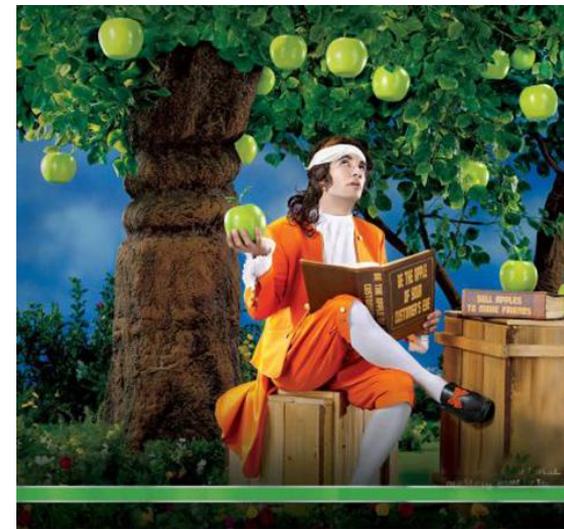
На склоне своих дней Исаак Ньютон рассказал, как это произошло: он гулял по яблоневому саду в поместье своих родителей и вдруг увидел луну в дневном небе. И тут же на его глазах с ветки оторвалось и упало на землю яблоко.



Поскольку Ньютон в это самое время работал над законами движения он уже знал, что яблоко упало под действием силы тяжести.

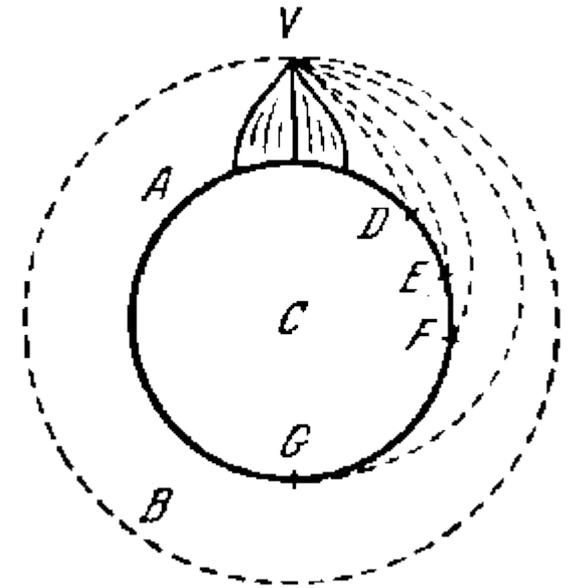
Знал он и о том, что Луна не просто висит в небе, а вращается по орбите вокруг Земли, и, следовательно, на нее воздействует какая-то сила, которая удерживает ее от того, чтобы сорваться с орбиты и улететь по прямой прочь, в открытый космос.

Тут ему и пришло в голову, что, возможно, это одна и та же сила заставляет и яблоко падать на землю, и Луну оставаться на околоземной орбите.



В «Математических началах натуральной философии» Ньютона есть рисунок под номером 213, замечательный тем, что при всей своей простоте он позволяет понять глубокую связь между «земной» и «небесной» механикой. В подписи к этому рисунку, в частности, говорится: « Брошенный камень отклонится под действием тяжести от прямолинейного пути и, описав кривую траекторию, упадет наконец на Землю. Если его бросить с большой скоростью, то он упадет дальше».

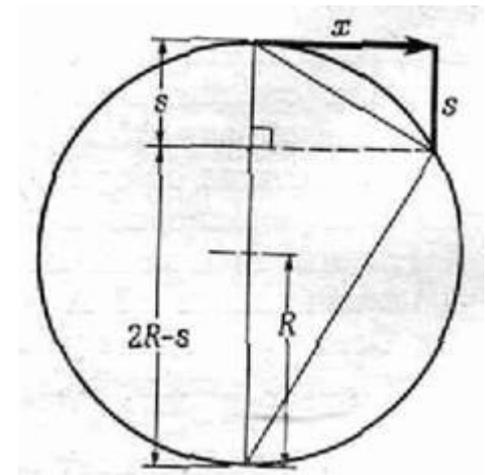
Продолжая эти рассуждения, Ньютон приходит к выводу, что если бы не сопротивление воздуха, то по достижении достаточной скорости траектория сделается такой, что камень может вообще никогда не достигнуть поверхности Земли, а станет двигаться вокруг нее, «подобно тому, как планеты описывают в небесном пространстве свои орбиты». Нельзя не вспомнить этой цитаты особенно сейчас, после многочисленных запусков искусственных спутников и космических кораблей.



Что случится, если камень бросать все быстрее? Не забудьте, что поверхность Земли кривая. Камень может вылететь с такой скоростью, что, упав на $s=4,9$ м, она все равно останется по отношению к Земле на первоначальной высоте.

Может ли такое быть? Да. Хотя камень падает, но и Земля искривляется, вот и получается падение «вокруг» Земли. Надо только узнать, на каком расстоянии поверхность Земли окажется на $s=4,9$ м ниже горизонта. На рисунке изображена Земля с ее радиусом ($R=6370$ км) и путь камня (окружность).

Пролетая по горизонтали за 1 секунду расстояние x , камень опускается на расстояние s . Из подобия треугольников легко получить $x^2=(2R-s)s$, откуда находим $x=7900$ м = 7,9 км.



Ньютон спросил себя: притягивает ли Земля людей так же, как Луну («так же» значит обратно пропорционально квадрату расстояния). Если тело у поверхности Земли падает в первую секунду (из состояния покоя) на 4,9 м, то на сколько падает Луна?

Можно возразить, что Луна вообще не падает. Но если бы на Луну не действовала сила, она бы унеслась по прямой линии, а на самом деле она обращается по круговой орбите; следовательно, она падает с того места, где она должна была бы быть, если бы сила на нее не действовала.

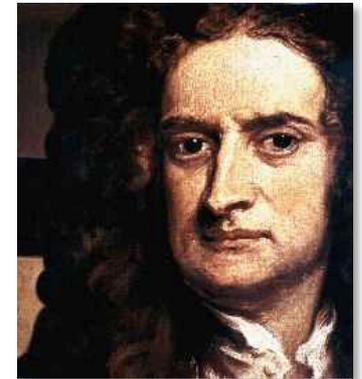
Зная радиус орбиты Луны (около 384 000 км) и время ее оборота вокруг Земли (около 29 дней), можно подсчитать, сколько она проходит за 1 сек и затем на сколько за это время она падает. Оказывается, что это расстояние примерно равно 1,36 мм. Это хорошо укладывается в закон обратных квадратов, потому что радиус Земли 6370 км, и если на этом расстоянии тела, падая, проходят в первую секунду 4,9 м, то на расстоянии в 384 тыс. км, т. е. в 60 раз дальше от центра Земли, они должны падать на $1/3600$ от 4,9 м, или как раз на 1,36 мм.

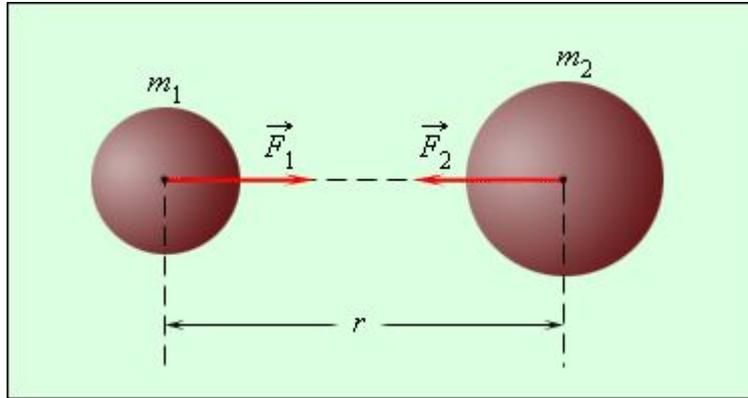
Желая подтвердить свою теорию тяготения подобными расчетами, Ньютон их аккуратно проделал и... получил сильнейшее несовпадение цифр. Он счел, что теория противоречит фактам, и не опубликовал ее.

Шестью годами позже новые измерения радиуса Земли показали, что принятое в ту пору астрономами расстояние до Луны было неверным.

Услышав об этом, Ньютон провел новый расчет с исправленными цифрами и получил уже превосходное совпадение.

Мысль, что Луна «падает», несколько смущает; почему же она тогда не приближается? Эта мысль настолько интересна, что заслуживает дальнейшего пояснения: **Луна «падает» в том смысле, что отклоняется от прямой линии, по которой она бы двигалась, не будь больше никаких сил.**





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

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

Этот закон справедлив также для сферически симметричных тел (при расстояниях между центрами больше суммы их радиусов), а приближенно он выполняется для любых тел, если расстояние между ними велико по сравнению с их размерами.

Относительно этого закона нужно сделать несколько важных замечаний.

Во-первых, его действие в явной форме распространяется на все без исключения физические материальные тела во Вселенной. В частности, сейчас вы и ваш сосед (соседка) испытываете равные по величине и противоположные по направлению силы взаимного гравитационного притяжения. Конечно же, эти силы настолько **малы**, что их не зафиксируют даже самые точные из современных приборов, — но они реально существуют, и их можно рассчитать. Точно так же вы испытываете взаимное притяжение и с далеким квазаром, удаленным от вас на десятки миллиардов световых лет. Опять же, силы этого притяжения слишком малы, чтобы их инструментально зарегистрировать и измерить.

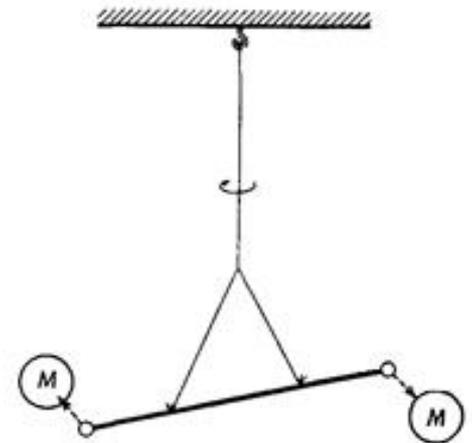
Во-вторых, ничтожная для небольших масс сила тяготения становится весьма **ощутимой**, когда речь идет о колоссальных массах небесных тел. Так, даже Нептун, очень далекая от нас планета, медленно кружащаяся почти на краю солнечной системы, шлет нам свой «привет» притяжением Земли с силой 18 миллионов тонн!

Опыт Кавендиша

Если существует притяжение между любыми двумя объектами, то должна существовать и возможность измерить силу, действующую между ними. И не обязательно следить за движением звезд; почему бы не взять два шара, и не проследить, как один будет двигаться к другому?

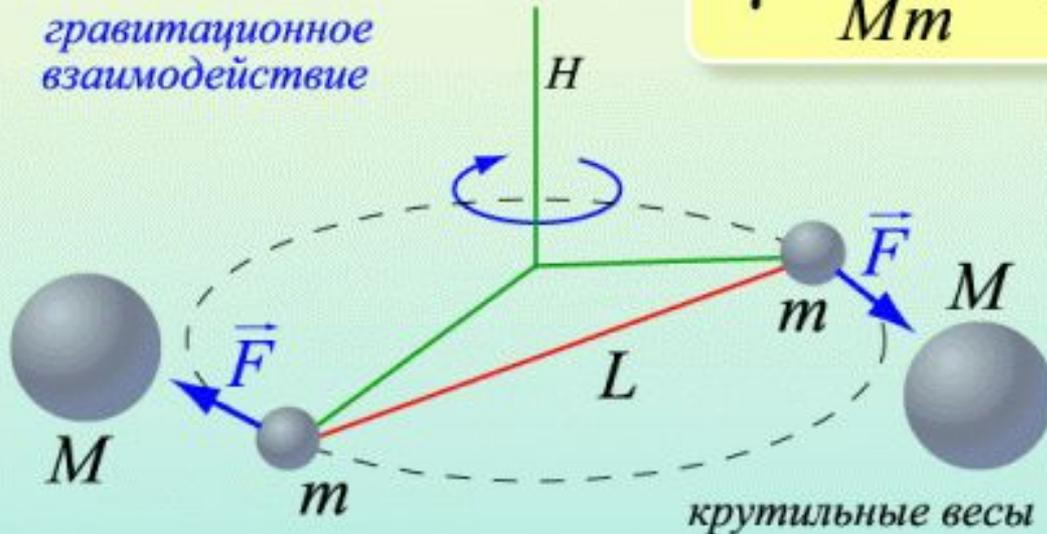
Трудность столь простого по идее опыта заключается в крайней слабости, незаметности сил. Проводить его следует с исключительной осторожностью: сначала выкачать из аппарата воздух, убедиться, что нигде нет электрических зарядов и т. д., и только тогда можно попытаться измерить силу. Впервые она была измерена английским ученым **Генри Кавендишем** с помощью специальных «крутильных весов».

Опыт доказал, что существует сила, действующая между двумя большими закрепленными свинцовыми шарами и двумя меньшими (тоже из свинца); в опыте шары размещались на концах коромысла, висящего на очень тонкой упругой нити. Измеряя, насколько закрутится нить, можно было узнать величину силы и убедиться, что она обратно пропорциональна квадрату расстояния.



Опыт Кавендиша

$$\gamma = \frac{Fr^2}{Mm} = 6,65 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$



H – тонкая нить

L – двухметровый стержень

m – свинцовые шары (диаметром 5 см и массой 775 г)

M – свинцовые шары (диаметром 20 см и массой 49,5 кг)

Определив из этого опыта величину G и зная силу притяжения Земли, можно было косвенно определить ее массу! Опыт поэтому называют «взвешиванием Земли». Кавендиш утверждал, что он взвесил Землю, хотя он только измерил коэффициент G ; но это единственный способ определить массу Земли.

Коэффициент G оказался равным

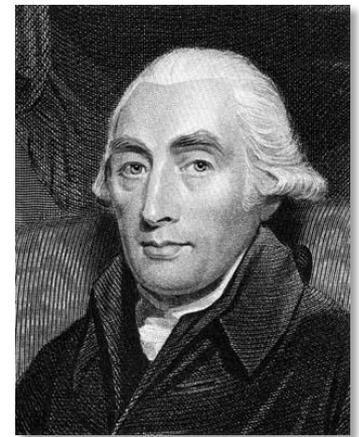
$6,670 \cdot 10^{-11}$ ньютон*м²/кг².

Трудно преувеличить силу влияния теории тяготения, ее величественных успехов на историю науки. Вместо царивших в прежние века неуверенности, сомнений, неполноты знаний, бесконечных споров и парадоксов перед людьми предстал новый закон во всей своей четкости и простоте.

Как важно было то, что все луны, все планеты, все звезды подчиняются столь простому правилу! Но еще важнее то, что человек оказался в состоянии понять это правило и предсказывать на будущее пути планет! Это определило быстрый, успешный рост науки в последующие годы; у людей появилась надежда, что и в других явлениях мира прячутся такие же простые закономерности.

Кавендиш Генри (1731 – 1810)

Унаследовав в 1773 г. от своего дяди крупное состояние, Кавендиш тратил почти все доходы на проведение экспериментов; в своем доме в Лондоне он устроил лабораторию, где собрал лучшие приборы и инструменты того времени.

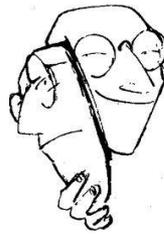


Основные труды Кавендиша относятся к химии газов и различным разделам экспериментальной физики. В 1766 г. Кавендиш опубликовал первую важную работу по химии – «Искусственный воздух», где сообщалось об открытии «горючего воздуха» (водорода).

В 1781 г. Кавендиш определил состав воздуха, а в 1784 г., сжигая водород, установил химический состав воды, опровергнув представления об её элементарности.

Кавендиш ввёл в науку понятие электрического потенциала, исследовал зависимость ёмкости электрического конденсатора от среды, изучал взаимодействие электрических зарядов, предвосхитив закон Ш. Кулона. Он впервые сформулировал понятие теплоёмкости. В 1790 г. Кавендиш сконструировал крутильные весы и измерил с их помощью силу притяжения двух сфер, подтвердив закон всемирного тяготения, а также определил гравитационную постоянную, массу и среднюю плотность Земли.

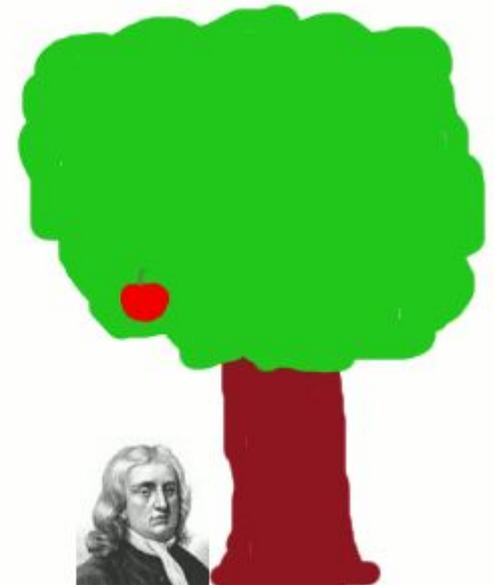
Физики шутят...



Закон всемирного тяготения был открыт задолго до Исаака Ньютона. К сожалению, всем его открывшим до него на голову падали очень тяжелые предметы.

*— Где на земном шаре сила земного тяготения наибольшая?
— В кресле, возле телевизора.*

*Чем массивней мышцы станут
От зарядок по утрам,
Тем сильнее к ним потянет
Юных девушек и дам.*



Вообразите, что могущественное притяжение Солнца почему-либо в самом деле исчезло и Земле предстоит печальная участь навсегда удалиться в холодные и мрачные пустыни вселенной.

Вы можете представить себе – здесь необходима фантазия, – что инженеры решили, так сказать, заменить невидимые цепи притяжения материальными связями, т. е. попросту задумали соединить Землю с Солнцем крепкими стальными канатами, которые должны удерживать земной шар на круговом пути в его беге вокруг Солнца.

Представьте себе мощную стальную колонну, поперечником в 5 м. Площадь ее сечения включает круглым счетом 20 000 000 кв. мм; следовательно, такая колонна разрывается лишь от груза в 2 000 000 тонн. Вообразите далее, что колонна эта простирается от Земли до самого Солнца, соединяя оба светила. Знаете ли вы, сколько таких могучих колонн потребовалось бы для удержания Земли на ее орбите? Миллион миллионов! Чтобы нагляднее представить себе этот лес стальных колонн, густо усеивающих все материки и океаны, прибавлю, что при равномерном распределении их по всей обращенной к Солнцу половине земного шара промежутки между соседними колоннами были бы лишь немногим шире самих колонн.

И вся эта колоссальная сила проявляется лишь в том, что, искривляя путь движения Земли, каждую секунду заставляет Землю уклоняться от касательной на 3 мм; благодаря этому путь нашей планеты и превращается в замкнутый, эллиптический. Не странно ли: чтобы придвигать Землю каждую секунду на 3 мм, высоту этой строки, – нужна такая исполинская сила! Это только показывает, как огромна масса земного шара, если даже столь чудовищная сила может сообщить ей лишь весьма незначительное перемещение.

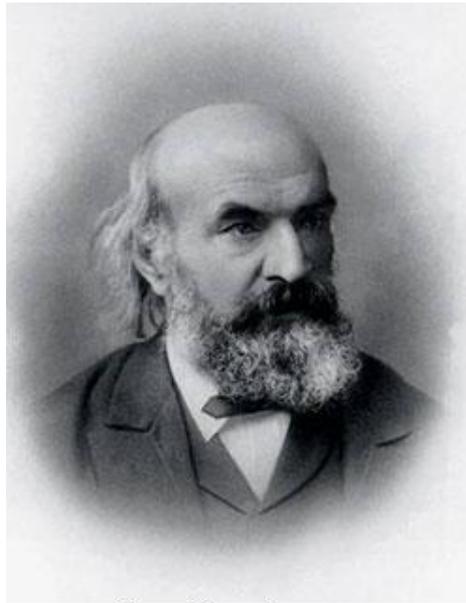




Ярким примером роли закона всемирного тяготения для науки является история открытия планеты **Нептун**.

В 1781 г. английский астроном Вильям Гершель открыл планету Уран. Была вычислена ее орбита и составлена таблица положений этой планеты на много лет вперед. Однако проверка этой таблицы показала, что Уран движется не совсем так, как было рассчитано. Ученые предположили, что отклонение в движении Урана вызвано притяжением неизвестной планеты, находящейся от Солнца еще дальше, чем Уран. Зная отклонения от рассчитанной траектории, англичанин **Адамс** и француз **Лeverрье**, пользуясь законом всемирного тяготения, вычислили положение этой планеты на небе. **Адамс** раньше закончил вычисления, но наблюдатели, которым он сообщил свои результаты, не торопились с проверкой. А тем временем **Лeverрье**, закончив вычисления, указал немецкому астроному Галле место, где надо искать неизвестную планету.

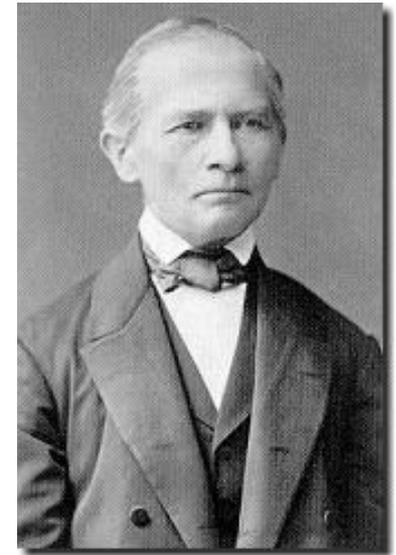
В первый же вечер, 28 сентября 1846 г., **Галле**, направив телескоп на указанное место, обнаружил новую планету! Ее назвали Нептуном. Это была первая планета, которую открыли не в ходе наблюдений за небом, а в результате математических вычислений (как говорят, "на кончике пера"). Таким же образом в 1930 году была открыта планета Плутон.



Джон Кауч Адамс



Урбен Леверье

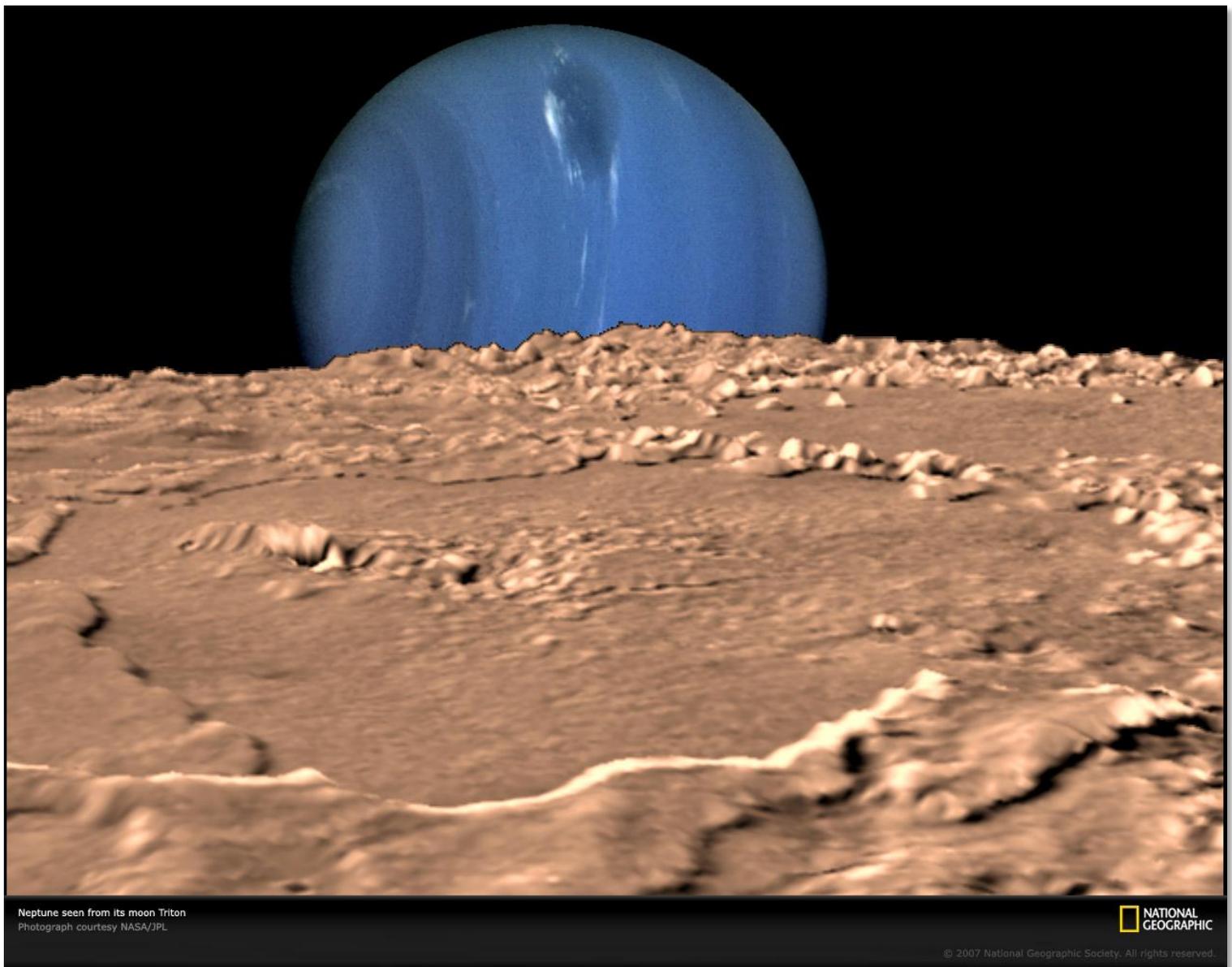


Иоганн Готфрид
Галле

Джон Кауч Адамс (1819–1892), британский математик и астроном, внес вклад в теорию движения Луны и рассчитал орбиту метеорного потока Леонид. Для решения задач небесной механики Адамс разработал математические методы, применяемые и в настоящее время (так называемый метод Адамса, разностный метод численного интегрирования дифференциальных уравнений).

Урбен Леверье (1811–1877), французский математик и астроном, прославился предсказанием о существовании восьмой планеты Нептун и ее положении (независимо от Адамса).

Иоганн Готфрид Галле (1812-1910) немецкий астроном, впервые обнаружил планету Нептун.



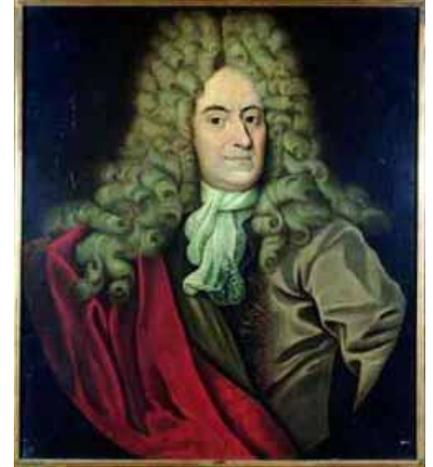
Вид на Нептун с его спутника Тритона

Что же еще следует из закона тяготения?

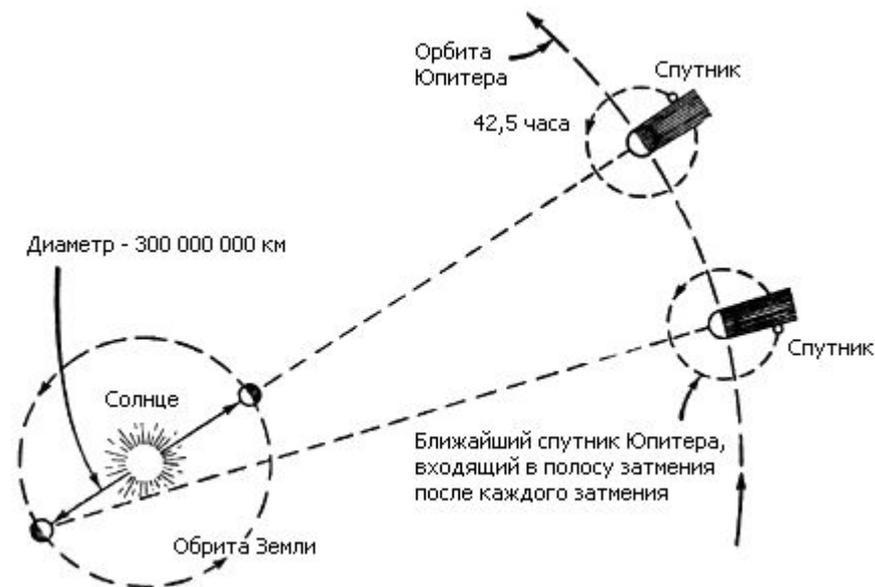
Наблюдая за спутниками Юпитера, можно понять все законы их движения вокруг планеты. В этой связи стоит рассказать об одной заминке, которая вышла у закона тяготения с лунами Юпитера.

Эти спутники очень подробно изучались датским астрономом Рёмером, и вот он заметил, что временами они нарушают расписание: то опаздывают, то приходят в назначенное место раньше времени. Более того, он заметил, что опоздания случаются, когда Юпитер удален от Земли, а когда мы от Юпитера близко, то движение лун опережает расписание.

Такую вещь очень трудно было уложить в закон тяготения, и ему бы угрожала безвременная кончина, не найдись другого объяснения. Ведь если закону противоречит хотя бы один случай, то закон неверен.

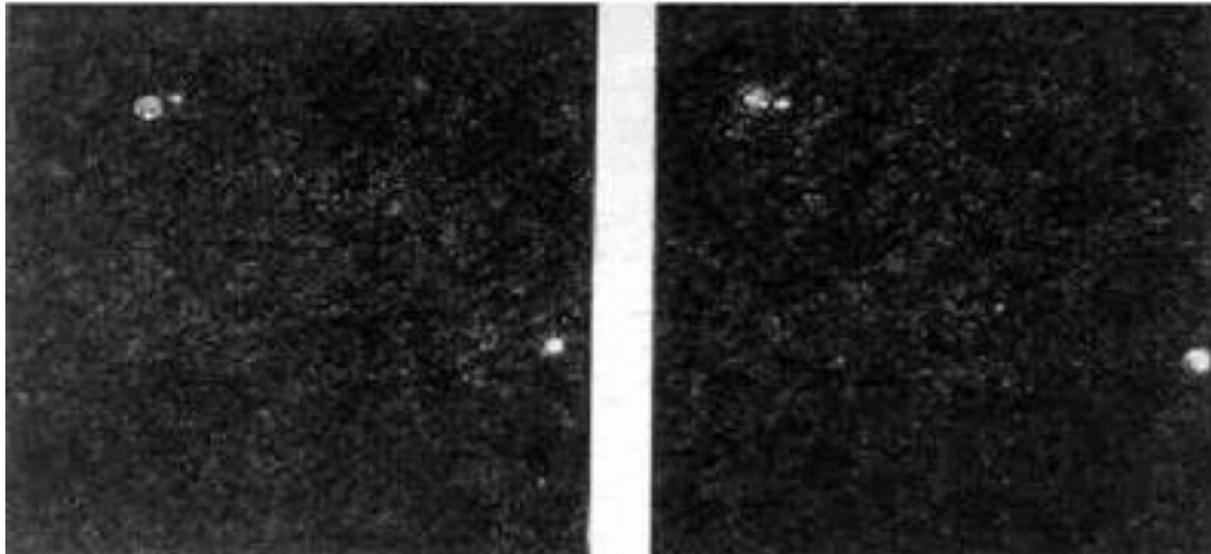


Причина расхождения оказалась очень естественной и красивой: дело в том, что необходимо какое-то время, чтобы увидеть луну на нужном месте, ведь свет от нее до нас доходит не мгновенно. Время это небольшое, когда Юпитер находится близко к Земле, но оно затягивается, когда Юпитер удалится от нее. Вот почему кажется, что луны в среднем торопятся или отстают в зависимости от того, близко ли или далеко они находятся от Земли. Это явление доказало, что свет распространяется не мгновенно, и снабдило нас первой оценкой его скорости (было это в 1676 г.).

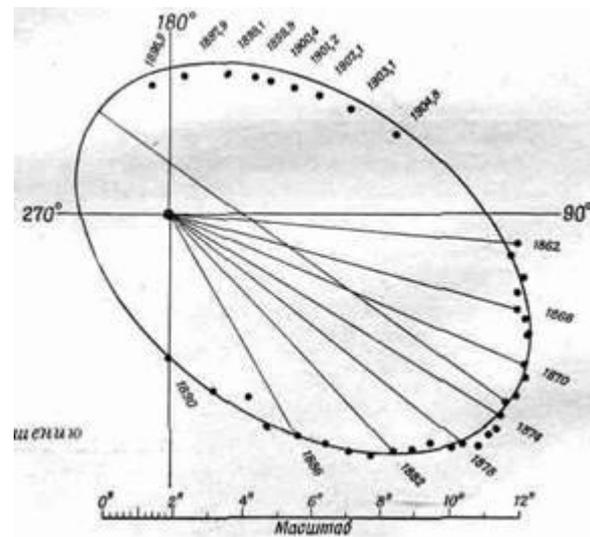
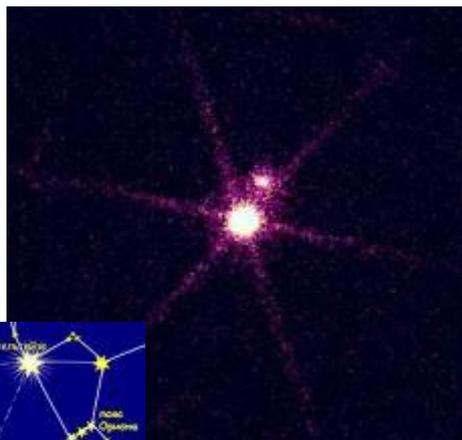


В солнечной системе законы Ньютона абсолютно верны. Но верны ли они на расстояниях, больших, чем относительно малые расстояния до планет? Во-первых, можно поставить вопрос: притягивают ли звезды друг друга так же, как планеты?

Положительные доказательства этого мы находим в двойных звездах. На рисунке показана двойная звезда Сириус— две близкие звезды (третья звезда нужна, чтобы убедиться, что фотография не перевернута); вторая фотография сделана через несколько лет.



Сравнивая с «фиксированной» звездой, мы видим, что ось пары повернулась, т. е. звезды ходят одна вокруг другой. Вращаются ли они в согласии с законами Ньютона? Тщательные замеры относительной позиции двойной звезды Сириус показали превосходный эллипс (измерения начаты в 1862 г. и доведены до 1904 г.; с тех пор был сделан еще один оборот).



Здесь показано одно из красивейших небесных зрелищ — шаровые звездные скопления. Каждая точка — это звезда. Нам кажется, будто у центра они набиты вплотную; происходит это из-за слабой чувствительности телескопа; на самом деле промежутки между звездами даже в середине очень велики, а столкновения крайне редки.

Больше всего звезд в центре, а по мере удаления к краю их все меньше и меньше. Ясно, что между звездами действует притяжение, т. е. что тяготение существует и на таких гигантских расстояниях .



Рассмотрим типичную галактику
Форма ее явно указывает на
стремление ее вещества стянуться.

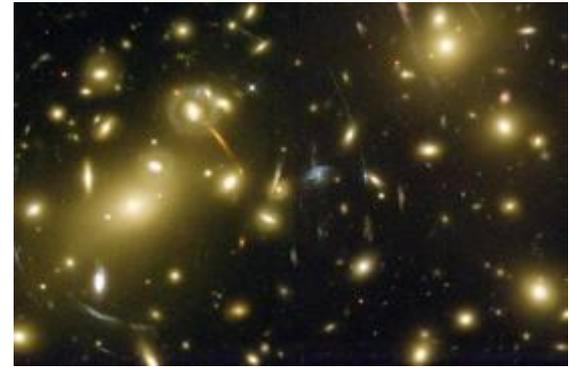
Конечно, доказать, что здесь
действует закон обратных
квадратов, нельзя; видно только, что
и на таком протяжении есть силы,
удерживающие всю галактику от
развала.

Вы можете сказать: «Ладно, все это
разумно, но почему же эта штука,
галактика, уже не похожа на шар?»
Да потому, что она вертится, что у
нее есть момент количества
движения (запас вращения); если
она сожмется, ей некуда будет его
девать; ей остается только
сплюснуться.



Это облака галактик, подобные звездному скоплению. Стало быть, и галактики притягиваются между собой на таких расстояниях, иначе бы они не собрались в «облако».

По-видимому, и на расстояниях в десятки миллионов световых лет проявляется тяготение; насколько ныне известно, всюду все еще действует закон обратных квадратов.



Что такое тяготение?

Почему закон тяготения так прост? Что можно сказать о причине этого? До сих пор мы только описывали, как Земля обращается вокруг Солнца, но ни слова не сказали о том, что заставляет ее двигаться. Ньютон не строил догадок об этом; ему было достаточно открыть, что происходит, не входя в механизм происходящего.

Но и никто другой с тех пор никакого механизма не открыл. Все физические законы отличаются в этом отношении своим абстрактным характером. Закон сохранения энергии — это теорема о величинах, которые нужно вычислить и сложить, не думая о причине этого; точно так же и великие законы механики представляют собой количественные математические закономерности, о внутреннем механизме работы которых никаких данных нет.

Почему мы можем пользоваться математикой для описания законов, не зная их причины? Никто и этого не знает. Мы продолжаем идти по этой дороге, потому что на ней все еще происходят открытия.

Предлагались многие механизмы тяготения. Интересно рассмотреть один из них, ибо до него время от времени додумывались то один, то другой ученый. Причем каждый сперва воспрянет духом и ходит осчастливленный своим «открытием», но потом начинает понимать, что тут что-то не так.



Впервые это «открытие» произошло примерно в 1750 г. Представьте себе, что в пространстве носится в разных направлениях с огромной скоростью множество частиц, лишь слегка поглощаемых веществом. Поглощаясь, они передают свой импульс Земле. Но так как во всех направлениях их количество одинаково, то все импульсы уравниваются. Когда же неподалеку находится Солнце, то частицы, приближающиеся к Земле сквозь Солнце, частично им поглощаются, так что от Солнца их проходит меньше, чем с обратной стороны. Следовательно, Земля ощутит импульс, направленный к Солнцу, и нетрудно показать, что он будет обратным квадрату расстояния: таков закон изменения пространственного угла, под которым видимо Солнце, с ростом расстояния.

Что же плохо в этом механизме?

Неверны те выводы, которые из него следуют. Появляется новая забота: Земля в своем движении вокруг Солнца будет испытывать больше столкновений с частицами спереди, чем сзади (когда бежишь навстречу дождю, лицо мокнет больше, чем затылок!). Поэтому спереди Земля получит больше импульсов, чем сзади, и должна почувствовать сопротивление своему движению, а это сказалось бы на замедлении ее движения по орбите. Можно подсчитать, сколько времени понадобится Земле, чтобы в результате такого сопротивления остановиться; оказывается, не так уж много; а раз Земля все же движется по своей орбите, то вся эта механика не годится.

Так и не было предложено ни одного механизма, «объясняющего» тяготение, который бы не предсказывал добавочных, несуществующих явлений.

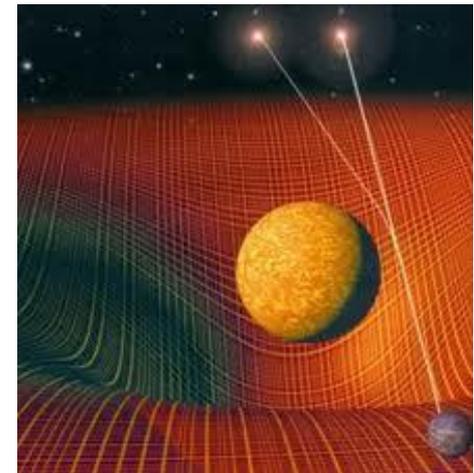
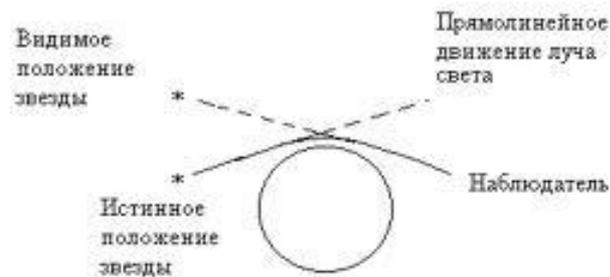
Однако, несмотря на вызванное им воодушевление, ньютонов закон тяготения все же неверен!

Учтя требования теории относительности, Эйнштейн видоизменил этот закон. Согласно Ньютону, тяготение действовало мгновенно. Это значит вот что: сдвинув массу, мы должны в тот же миг почувствовать изменение силы в результате смещения; стало быть, таким способом можно посылать сигналы с бесконечной скоростью.

Эйнштейн выдвинул доводы, что невозможно посылать сигналы быстрее скорости света; закон тяготения, таким образом, должен быть ошибочным. Если исправить его, учтя запаздывание, то получится уже новый закон, закон тяготения Эйнштейна. Одна из особенностей нового закона легко укладывается в голове: по теории относительности Эйнштейна любой объект, обладающий энергией, обладает и массой:

$$E=mc^2.$$

Поэтому он должен тяготеть к другим объектам. Даже световой луч имеет «массу», ибо он обладает энергией. И когда луч света, неся с собой энергию, проходит мимо Солнца, то Солнце его притягивает. И луч уже идет не по прямой, а искривляется. Например, во время солнечных затмений звезды, окружающие Солнце, кажутся сдвинутыми с того места, где они наблюдались бы, если бы Солнца не было. И это явление и впрямь наблюдалось!



Согласно теории тяготения Эйнштейна в любой конечной области пространство-время окажется искривленным – неевклидовым. Сумма углов треугольника в таком пространстве не равна π , отношение длины окружности к радиусу отлично от 2π , время в разных точках течет по-разному.

Согласно Эйнштейну, истинное гравитационное поле есть проявление искривления четырехмерного пространства-времени.

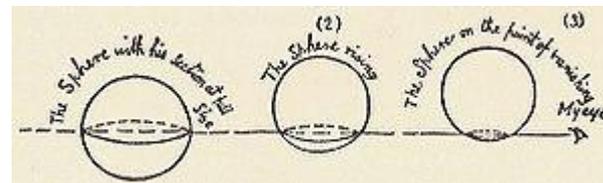
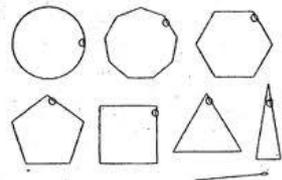
Кривизна пространства-времени создается источниками гравитационного поля – массами вещества и всеми видами энергии, присутствующими в системе, поскольку энергия и масса эквивалентны.

Тяготение зависит не только от распределения масс в пространстве, но и от их движения, давления и напряжений, имеющих в телах от всех физических полей. Движение тел в искривленном пространстве-времени происходит по кратчайшим траекториям – геодезическим, которые в трехмерном пространстве-времени воспринимаются как движение по искривленным траекториям с переменной скоростью. Изменение гравитационных полей в вакууме распространяется со скоростью света.

«Флатлândia» - роман Эдвина Э. Эбботта, который вышел в свет в 1884 году. Этот научно-фантастический роман считается полезным для людей, изучающих такие темы, как, например, понятия о других пространственных измерениях или гиперпространства. Как литературное произведение роман ценится из-за сатиры на социальную иерархию Викторианского общества. Айзек Азимов в предисловии к одной из многих публикаций романа написал, что это «лучшее введение в способ восприятия измерений, которое может быть найдено».

Действие романа происходит в двумерном мире под названием Флатландия. Безымянный рассказчик, скромный квадрат (социальная группа джентльменов во Флатландии), показывает читателю различные сферы жизни в двух измерениях. Квадрат видит сон о посещении одномерного мира (Лайнландии), и пытается доказать невежественному монарху Лайнландии существование второго измерения, но находит, что невозможно вынудить его посмотреть за пределы своей вечно прямой линии.

Затем рассказчика посещает трёхмерная сфера, суть которой он не может постигнуть.



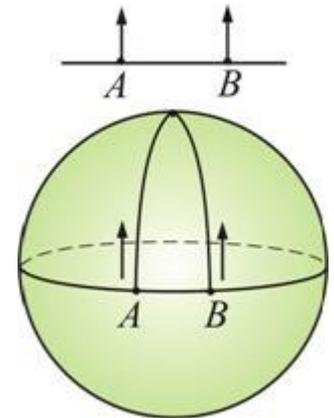
В основу ОТО Эйнштейна положены два постулата.

- Принцип эквивалентности сил инерции и сил гравитации. (Этот факт можно считать доказанным. Эффекты гравитации и ускорения движения частиц – неразличимы).
- Гравитационное взаимодействие распространяется с конечной скоростью, равной скорости света c в виде гравитационных волн. (Пока кванты гравитационного поля – гравитоны – не обнаружены).

Еще одним ключевым моментом в ОТО является понятие кривизны пространства-времени. Проведем мысленный эксперимент:

В ходе путешествия плоские двумерные существа отправившиеся из A и B по параллельным дорогам будут замечать, что они приближаются друг к другу (кривизны сферы, если она достаточно велика, они не замечали, не знали, что живут на сфере).

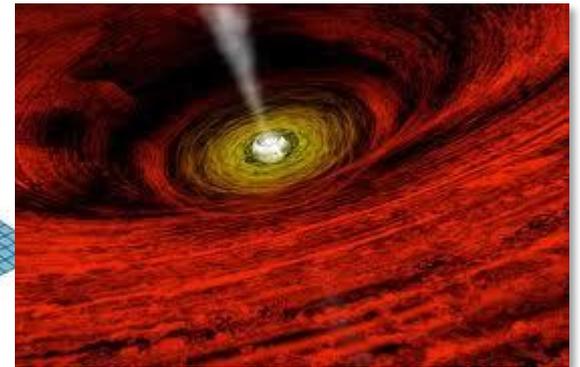
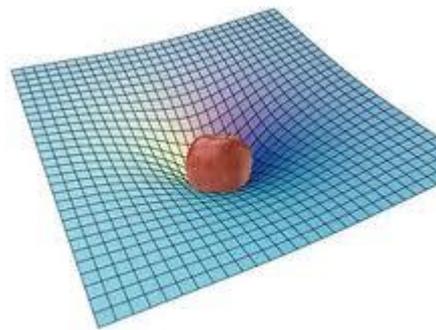
И приближаются они все быстрее и быстрее – с ускорением, как будто под действием некой силы. Назовем эту силу **гравитацией**. Наблюдатель со стороны видит, что сама кривизна выступает в роли силы, т.е. геометрические свойства пространства выступают в роли реально действующих сил!



Анализируя этот мысленный эксперимент и тот факт, что любые массы притягиваются всегда, Эйнштейн пришел к мысли, что сила тяготения не есть специфическая сила, то, что мы принимаем за силу притяжения, следует рассматривать лишь как проявление специфики геометрических свойств пространства-времени.

Любая масса искривляет пространство-время, другая масса, попадая в область искривления, испытывает силу притяжения.

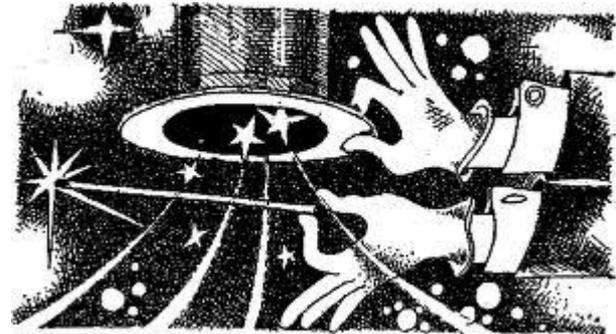
Серьезная проверка положений ОТО началась лишь с двадцатых годов прошлого века, т.е. недавно, и пока нет ни одного факта, противоречащего ОТО.



И, наконец, сопоставим тяготение с другими теориями. В последние годы выяснилось, что любая масса обязана своим происхождением мельчайшим частицам и что существует несколько видов взаимодействия, например ядерные силы и т. п. Ни одна из этих ядерных или электрических сил пока тяготения не объясняет.

Квантовомеханические стороны природы мы еще пока не распространили на тяготение. Когда на малых расстояниях начинаются квантовые эффекты, то тяготение оказывается еще настолько слабым, что нужды в квантовой теории тяготения не возникает.

С другой стороны, для последовательности наших физических теорий было бы важно понять, должен ли закон Ньютона с внесенным Эйнштейном видоизменением быть изменен и дальше с тем, чтобы согласовываться с принципом неопределенности. Это последнее видоизменение пока не сделано.



Приливы и отливы

Под влиянием притяжения Луны и Солнца происходят периодические поднятия и опускания поверхности морей и океанов – приливы и отливы. Частицы воды совершают при этом и вертикальные и горизонтальные движения.

Наибольшие приливы наблюдаются в дни сизигий (новолуний и полнолуний), наименьшие (квадратурные) совпадают с первой и последней четвертями Луны. Между сизигиями и квадратурами амплитуды приливов могут изменяться в 2,7 раза.

Лунные приливы в 2,17 раза превышают по силе солнечные.



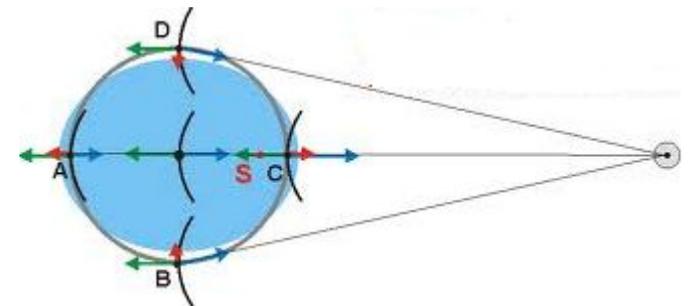
Гравитационное воздействие Земли на Луну и наоборот довольно велико. При этом Землю и Луну уже нельзя считать материальными точками.

Разные части Земли по-разному подвергаются притяжению Луны: сторона, повернутая к Луне, - в большей степени, обратная сторона - в меньшей, так как дальше находится от нашего спутника.

В результате, разные части Земли стремятся прийти в движение в направлении Луны с разными скоростями. Поверхность, обращенная к Луне, вздувается, центр Земли смещается меньше, а противоположная поверхность вовсе отстает, и с этой стороны тоже образуется вздутие - из-за "отставания".

Земная кора деформируется неохотно, на суше приливных сил мы не замечаем. А вот про изменение уровня моря, про приливы и отливы, слышали все.

Вода поддается воздействию Луны, образуя приливные горбы на двух противоположных сторонах планеты.



В открытом море подъем водной поверхности во время прилива не превышает 1 м. Значительно большей величины приливы достигают в устьях рек, проливах и в постепенно суживающихся заливах с извилистой береговой линией. Наибольшей величины приливы достигают в заливе Фанди (Атлантическое побережье Канады). У порта Монктон в этом заливе уровень воды во время прилива поднимается на 19,6 м. В Англии, в устье реки Северн, впадающей в Бристольский залив, наибольшая высота прилива составляет 16,3 м. На Атлантическом побережье Франции, у Гранвиля, прилив достигает высоты 14,7 м, а в районе Сен-Мало до 14 м. Во внутренних морях приливы незначительны. Так, в Финском заливе, вблизи Ленинграда, величина прилива не превышает 4...5 см, в Черном море, у Трапезунда, доходит до 8 см.

При отливах на пологих берегах морей может происходить обнажение дна на расстоянии в несколько километров по перпендикуляру к береговой линии. Рыбаки Терского побережья Белого моря и полуострова Новая Шотландия в Канаде используют это обстоятельство при ловле рыбы. Перед приливом они устанавливают на пологом берегу сети, а после спада воды подъезжают к сетям на телегах и собирают попавшую в чих рыбу.



В устьях рек приливные волны распространяются вверх по течению, уменьшают скорость течения и могут изменить его направление на противоположное. На Северной Двине действие прилива сказывается на расстоянии до 200 км от устья вверх по реке, на Амазонке – на расстоянии до 1 400 км.

На некоторых реках (Северн и Трент в Англии, Сена и Орне во Франции, Амазонка в Бразилии) приливное течение создает крутую волну высотой 2...5 м, которая распространяется вверх по реке со скоростью 7 м/сек. За первой волной может следовать несколько волн меньших размеров. По мере продвижения вверх волны постепенно ослабевают, при встрече с отмелями и преградами они с шумом дробятся и пенятся.

Река Сен-Джонс в Канаде, недалеко от места впадения в залив Фанди, проходит через узкое ущелье. Во время прилива ущелье задерживает движение воды вверх по реке, уровень воды выше ущелья оказывается ниже и поэтому образуется водопад с движением воды против течения реки. При отливе же вода не успевает достаточно быстро проходить через ущелье в обратном направлении, поэтому уровень воды выше ущелья оказывается выше и образуется водопад, через который вода устремляется вниз по течению реки.



Благодаря вращению Луны по орбите вокруг Земли между двумя последовательными приливами или двумя отливами в данном месте проходит примерно 12 ч 25 мин. Интервал между кульминациями последовательных прилива и отлива около 6 ч 12 мин. Период продолжительностью 24 ч 50 мин между двумя последовательными приливами называется приливными (или лунными) сутками. Вследствие суточного вращения Земли и движения Земли, Луны и Солнца по своим орбитам, приливообразующая сила в каждой точке на поверхности Земли непрерывно меняется во времени, никогда точно не повторяясь. Однако приливные силы можно представить как сумму большого числа строго периодических составляющих, определяемых из теории движения Луны вокруг Земли и Земли вокруг Солнца.

Вращаясь, Земля "подставляет" Луне разные свои стороны, и приливной горб перемещается по поверхности. Такие деформации земной коры вызывают **внутреннее трение**, которое тормозит вращение нашей планеты. Раньше она вращалась гораздо быстрее. Луна еще больше подвергнута влиянию приливных сил, ведь Земля гораздо массивнее. Скорость вращения Луны настолько замедлилась, что она повернулась к нашей планете одной стороной, и приливной горб не бежит более по лунной поверхности.



В наше время приливная энергия в основном превращается в электрическую энергию на приливных электростанциях и вливается затем в общий поток энергии, вырабатываемой электростанциями всех типов.

В Кислой губе вблизи Мурманска с 1968 года начала работать первая в нашей стране приливная электростанция мощностью в 400 киловатт. Проектируется приливная электростанция в устье Мезени и Кулоя мощностью 2,2 млн киловатт.

За рубежом разрабатываются проекты приливных электростанций в заливе Фанди (Канада) и в устье реки Северн (Англия) мощностью соответственно в 4 и 10 млн киловатт, вступили в строй приливные электростанции Ранс и Сен-Мало (Франция) мощностью в 240 и 9 тыс. киловатт, работают небольшие приливные электростанции в Китае.

Поскольку запасы приливной энергии планеты значительно превосходят полную величину гидроэнергии рек, можно полагать, что приливная энергия будет играть заметную роль в дальнейшем прогрессе человеческого общества.



Hello, Goodbye



and I say goodbye

Hello

Goodbye

