

История и методология механики

Евгений Алексеевич Зайцев
e_zaitsev@mail.ru

Лекция № 12

План лекции

Тема. 1

Завершение научной революции XVII в. Построение механической картины мира.
Проблема тяготения.

Тема. 2

Гипотеза обратных квадратов Р. Гука и теория тяготения И. Ньютона

Тема 3.

Трактат И. Ньютона «Математические начала натуральной философии».
Полемика картезианцев и ньютонианцев

Тема. 1
Проблема тяготения.

Понятие «сила тяжести»

В механике Нового времени сила тяжести ничем не отличается от прочих сил. Словосочетание «сила тяжести» представляется, поэтому, совершенно естественным. Это связано с тем, что все взаимодействия в современной науке являются «насильственными». Кроме того, именно сила тяжести, действие которой было изучено раньше действия прочих сил, стала в последствии «образцом» для них.

Пример: электростатическая сила.

В доклассической физике словосочетание «сила тяжести» было невозможным. Ибо оно является незаконным соединением двух разнородных понятий или противоречием в понятиях (оксюморон).

Первое из понятий, «сила» указывает на внешнее насильственное действие, приводящее к неестественному, насильственному перемещению. Второе, «тяжесть», напротив, обозначает внутреннюю, естественную (природную) причину движения.

Вопрос о тяжести,

как причине движения с ускорением при свободном падении. Два мнения

Мнение 1. Для построения динамики вопрос о причинах ускорения свободного падения не существен

Сальвиати (alter ego Галилея):

«Мне думается, что сейчас неподходящее время для занятий вопросом о причинах ускорения естественного движения тел, по поводу которого различными философами было высказано столько различных мнений. Будет достаточно, если мы рассмотрим, как он [Галилей] исследует и излагает свойства ускоренного движения (безотносительно к причинам последнего)».

Галилей, «Беседы и математические доказательства» (1638, с.301-302)

Мнение 2. Вопрос о природе тяжести причинах ускорения свободного падения имеет первостепенное значение

Декарт :

«Невозможно сказать что-либо хорошее и прочное касательно скорости, не разъяснив на деле, что такое *тяжесть* и вместе с тем вся система мира».

Письмо Мерсенну (12 сентября
1638 г.)

Сочинения, т. II, с. 335

Ж.П. РОБЕРВАЛЬ (1602-1675) О ПРИРОДЕ ТЯЖЕСТИ

Согласно Робервалю,

возможны три различные точки зрения на природу тяжести:

- тяжесть заключена в самом тяжелом теле (Аристотель);
- тяжесть — результат взаимодействия между двумя телами по принципу «подобное стремится к подобному» (Н. Коперник, И. Кеплер);
- тяжесть производится третьим телом, толкающим одно к другому (Декарт).

Замечание Представление о дальнодействии (в духе И.Ньютона) в этом списке отсутствует.

Ж.П. РОБЕРВАЛЬ (1602-1675) О ПРИРОДЕ ТЯЖЕСТИ

Роберваль отказывается принять какую-либо из вышеизложенных точек зрения:

«Я всегда по возможности буду стараться подражать Архимеду, который именно в связи с тяжестью выдвигает в качестве принципа или постулата постоянный и во все минувшие до сей поры столетия засвидетельствованный факт: существуют тяжелые тела, отвечающие условиям, о которых он говорит в начале своего трактата на эту тему.

На этом основании я, как и он, построю свои рассуждения о механике, не затрудняя себя вопросом, что же такое в конце концов начала и причины тяжести, и довольствуясь тем, что буду следовать истине, если она пожелает когда-либо предстать ясно и отчетливо передо мною.

Вот правило, которого я всегда хочу держаться в сомнительных рассуждениях...»

(1669)

И. НЬЮТОН О ВСЕМИРНОМ ТЯГОТЕНИИ

Кредо ньютоновской механики – отказ от ответа на вопрос о природе тяготения (тяжести):

Фрагмент 1

«Под словом притяжение я разумею здесь вообще какое бы то ни было стремление тел к взаимному сближению – безразлично, происходит ли это стремление от действия самих тел, которые стараются сблизиться или приводят друг друга в движение посредством испускаемого ими эфира, либо, наконец, оно вызывается материальной или нематериальной средой – эфиром, воздухом ...».

«Математические начала натуральной философии»

(1687, кн. I, с. 244)

И. НЬЮТОН О ВСЕМИРНОМ ТЯГОТЕНИИ

Фрагмент 2

«То, что я называю притяжением, может происходить посредством импульса или какими-нибудь другими способами, мне неизвестными.

Я применяю здесь это слово для того, чтобы только вообще обозначить некоторую силу, благодаря которой тела стремятся друг к другу, какова бы ни была причина.

Ибо мы должны изучить по явлениям природы, какие тела притягиваются и каковы законы и свойства притяжения, прежде чем исследовать причину, благодаря которой притяжение происходит».

«Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света» (1704, с. 292)

И. НЬЮТОН О ВСЕМИРНОМ ТЯГОТЕНИИ

Фрагмент 3

«Причину... этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений; ... гипотез же я не измышляю (hypotheses non fingo) .. .

Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законам и вполне достаточно для объяснения всех движений небесных тел и моря».

«Математические начала натуральной философии»

(1687, кн. III, с. 662)

Декарт. Излагает мнение о том, что вес тела уменьшается с увеличением расстояния от центра Земли

«Есть и третье мнение – тех, кто считает, что тяжесть всегда относительна и что сила, которая заставляет падать тяжелые тела, находится не в них, а в центре Земли, или же во всей ее массе, которая притягивает тела к себе, как магнит притягивает железо, или каким-либо другим подобным образом.

Они считают, что, поскольку магниты и другие природные силы (*agens naturels*) ... действуют вблизи сильнее, чем вдали, то ... одно и то же тело имеет тем больший вес, чем ближе оно находится к центру Земли».

Декарт, Письмо Мерсенну от 13.06.1638
(*Oeuvres*, Adam-Tannery, t. 2 , p. 224)

Декарт. Скептическое отношение к возможности
опытного определения зависимости между величиной силы тяжести и
расстоянием от центра Земли

Далее Декарт пишет о том, что он не может присоединиться ни к одному из изложенных мнений.

И вот почему:

«Единственно, что можно сказать, что *природа тяжести* есть вопрос факта, то есть, люди не могут определить ее иначе, как производя опыты, а из опытов, производимых здесь, в нашем воздухе, нельзя судить о том, что происходит гораздо ниже, около центра Земли, или гораздо выше, за облаками, ибо если убывание или возрастание тяжести происходит, то маловероятно, чтобы оно происходило везде в одинаковой пропорции».

Декарт, Письмо Мерсенну от 13.06.1638
(Oeuvres, Adam-Tannery, t. 2 , pp. 224-5)

Декарт. Опыт по определению убывания и возрастания силы тяжести в зависимости от расстояния от центра Земли

Описание возможного опыта:

Свинцовый груз (вместе с веревкой) взвешивается на вершине башни. Затем веревка прикрепляется одним концом к чашке весов, а другой ее конец, нагруженный свинцом, опускается в колодец.

Разность в весе (если ее удастся установить) будет свидетельствовать об изменении силы тяжести в зависимости от расстояния тела от центра Земли.

Проблематичность опыта. Декарт понимал, что опыт мог дать результаты лишь в том случае, если разница в весе оказывалась весьма значительной. Между тем глубина колодца и высота башни малы по сравнению с радиусом Земли.

Декарт, Письмо Мерсенну от 13.06.1638
(Oeuvres, Adam-Tannery, t. 2 , p. 225)

Декарт. Два аргумента (опытных факта) в поддержку тезиса об убывании тяжести с увеличением расстояния от Земли.

Первый аргумент:

«Другой опыт, ... убедительно свидетельствует о том, что тела, находящиеся далеко от центра Земли, ощущают ее действие не так сильно, как те, которые находятся близко к ней. Планеты ..., такие как Луна, Венера, Меркурий и т. д., состоящие, вероятно, из той же материи, что и Земля, ... испытав мощное действие Земли, упали бы на нее, если бы не большое расстояния, совершенно лишившие их склонности [к падению]».

Второй аргумент

«Крупным птицам, например журавлям и аистам, гораздо легче летать на высоте в воздухе, чем внизу, и это нельзя целиком отнести на счет силы воздуха, ибо то же самое бывает и в тихую погоду, а это дает основание думать, что их удаленность от Земли делает их более легкими.

Подтверждают нам это и бумажные змеи, запускаемые детьми, а также снег, находящийся в облаках»

Декарт, Письмо Мерсенну от 13.06.1638
(Oeuvres, Adam-Tannery, t. 2 , p. 225)

Декарт о вихревой природе тяготения.

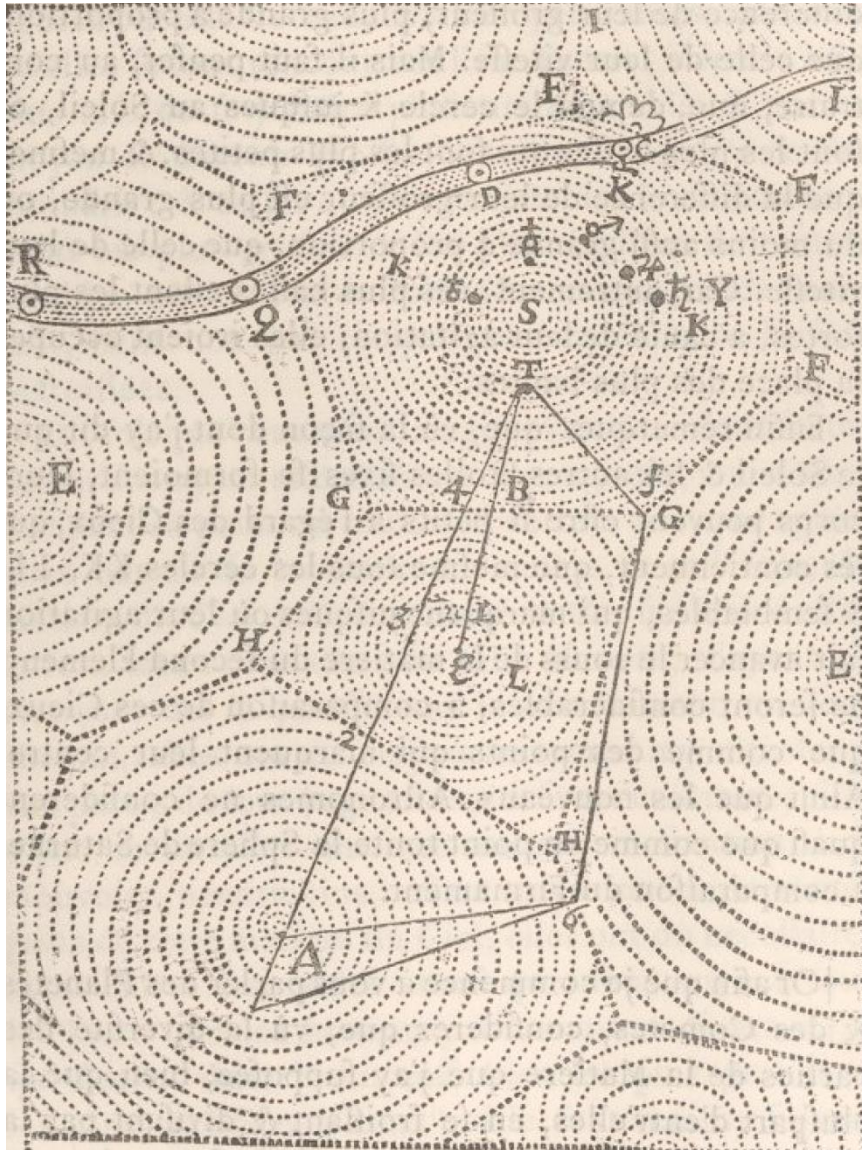
Теория вихревого движения небесных тел. «Мир или трактат о свете» (1630-34)

Причиной тяжести является вихревое движение тонкой материи, окружающей тела (водовороты).

□ Небесные тела увлекаются водоворотами жидкой, тонкой материи по направлению к Солнцу. Большая скорость вращения небесных тел вызывает действие центробежной силы, которая уравнивает центростремительное действие водоворотов. Поэтому планеты не падают на Солнце. Поведение планет напоминает поведение тел, переносимых течением воды.

□ Земные тела увлекаются водоворотами воздуха по направлению к Земле. По этой причине тела обладают тяжестью, тяготеют к Земле и предоставленные самим себе падают на ее поверхность.

Декарт. Теория вихревого движения небесных тел «Мир или трактат о свете» (1630-34)



Вселенная – совокупность смежных вихрей.

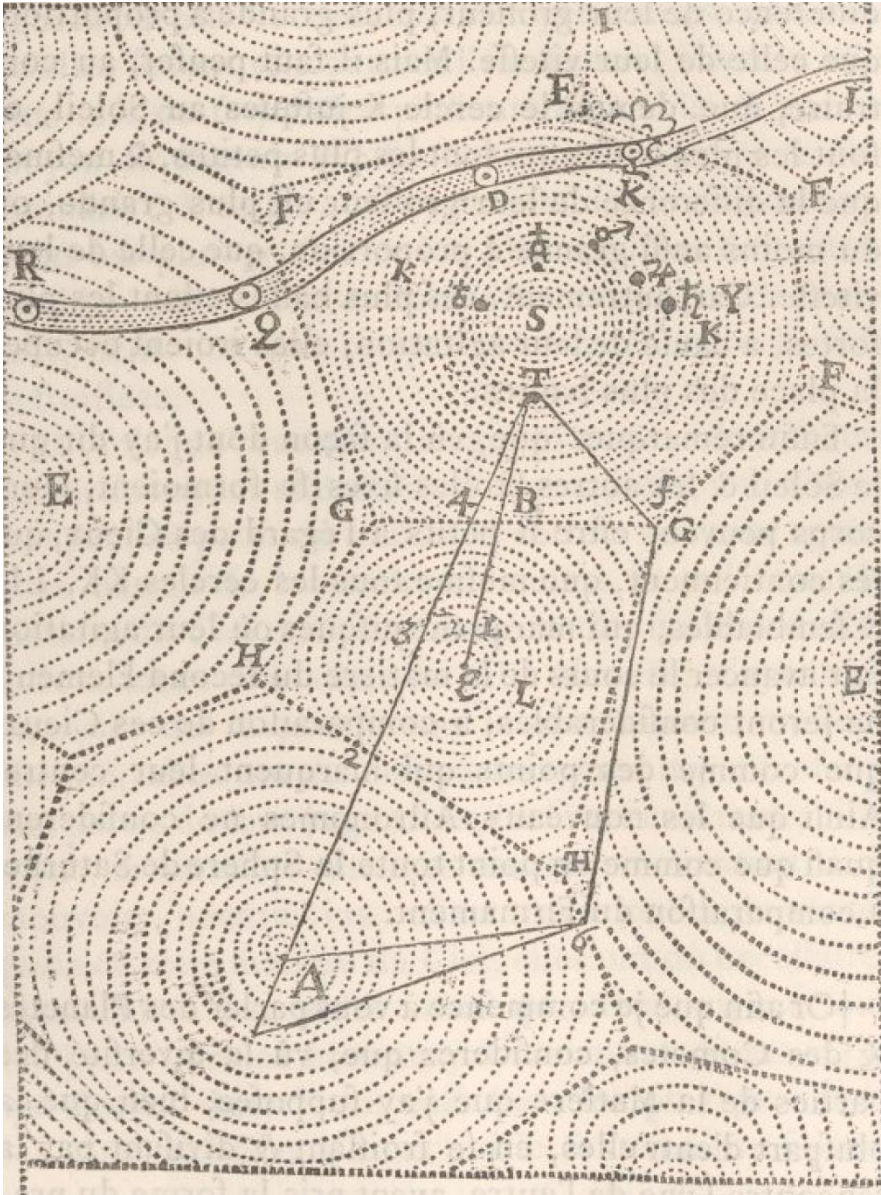
Вихрь с центром в S — Солнечная система. В точке S — Солнце, состоящее из первого элемента (огня).

Вихрь, вращающийся вокруг Солнца, состоит из частиц второго элемента (воздуха), которые различаются по размеру: самые маленькие и самые быстрые занимают нижнюю область (около S), самые большие и самые медленные – верхнюю область.

Частицы вихря упорядочены в соответствии с размерами: более крупные реализуют свое стремление следовать прямолинейному пути полнее, чем маленькие. Это верно также и для планет, которые состоят из частиц третьего элемента (земли).

CDQR – путь кометы

Планетарная теория Декарта – аналогия с движением судов по воде



«Отсюда вы видите, почему различные планеты могут висеть на различных расстояниях от Солнца внутри круга *K*, почему также наиболее отдаленными из планет будут не просто те, которые внешне кажутся самыми большими, но те, которые по своему внутреннему строению наиболее плотны и массивны».

Аналогия

«Мы знаем из опыта, что суда, плывущие по реке, никогда не движутся так быстро, как несущая их вода, и самые большие из них не плывут так быстро, как самые малые. Точно так же, хотя планеты и следуют, не сопротивляясь течению материи неба, по одному руслу с нею, это не значит еще, что они всегда движутся столь же быстро, как эта материя».

Почему планеты остаются внутри вихря,
а кометы переходят из одного вихря в другой?

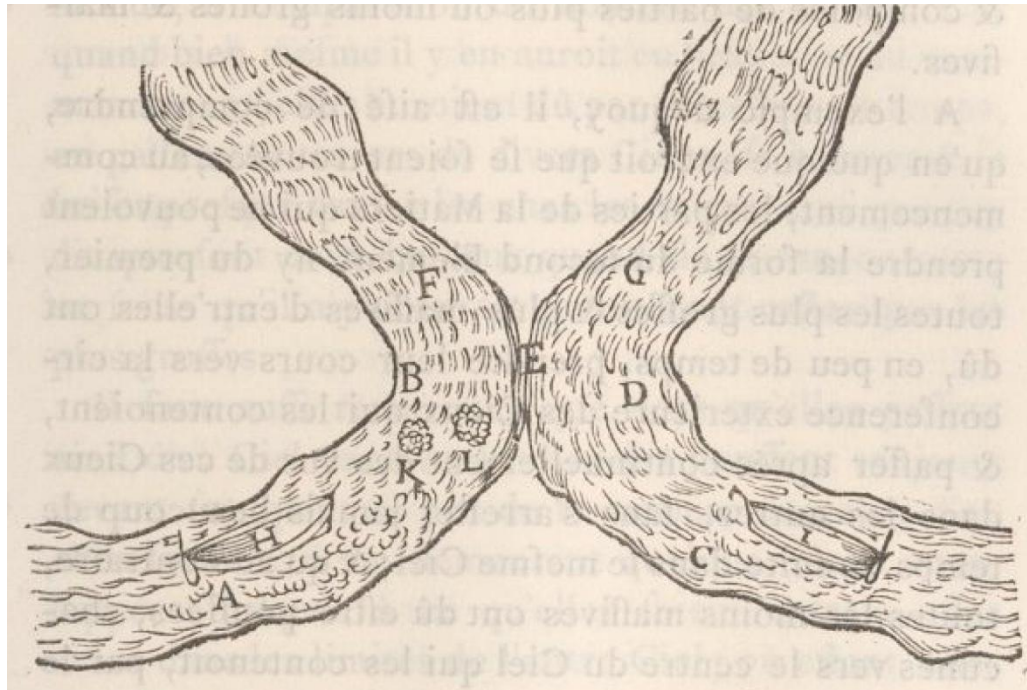
«...Из всех плавущих по воде тел наиболее тяжелые и массивные (какими обыкновенно бывают самые большие и очень нагруженные суда) всегда обладают значительно большей по сравнению с водой способностью продолжать свое движение, хотя бы оно и было получено только от одной воды.

Напротив, очень легкие тела, например белая пена, скопившаяся и плавающая на поверхности рек во время бури, обладают такой способностью в значительно меньшей степени».

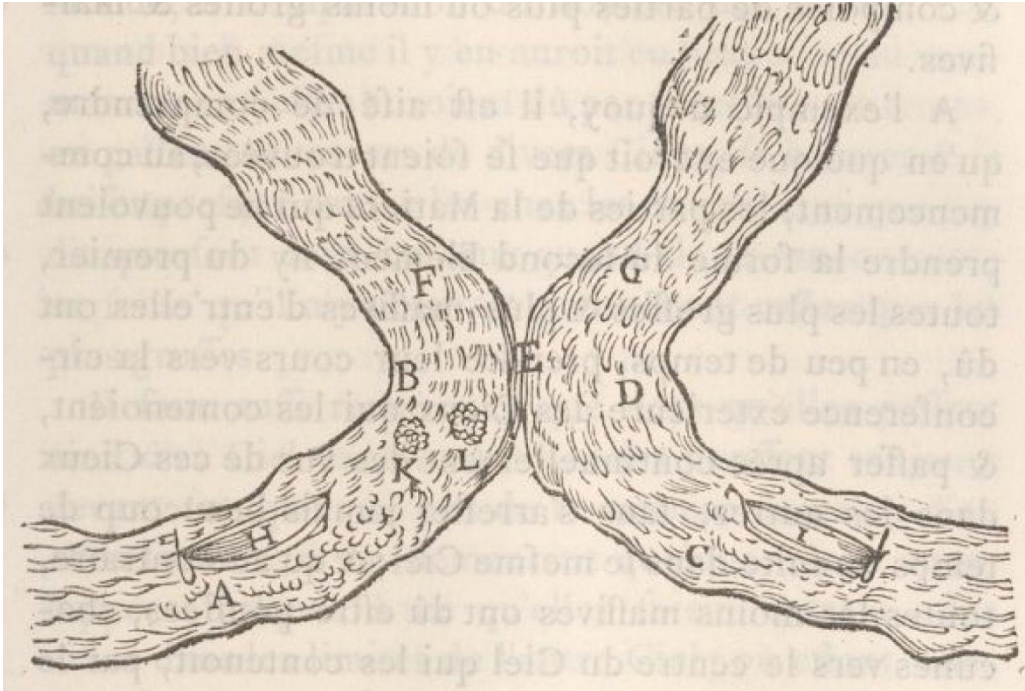
Почему планеты остаются внутри вихря, а кометы переходят из одного вихря в другой? Ответ: кометы массивные, планеты - легкие

«Представьте себе две реки, соединенные в каком-либо месте и снова разделяющиеся немного дальше, прежде чем успеют смешаться их воды ...

В этом случае суда и другие массивные и тяжелые тела, уносимые течением одной реки, могут легко перейти из этой реки в другую, в то время как самые легкие, наоборот, будут от нее удаляться и отбрасываться силой течения этой воды к тем местам, где оно не столь быстрое».

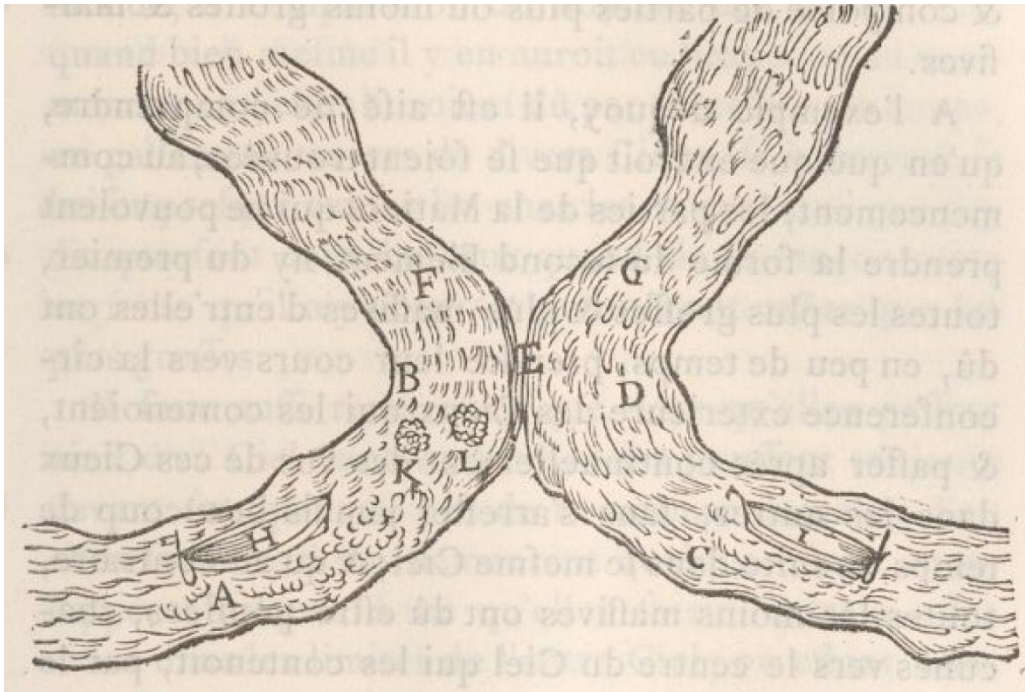


Почему планеты остаются внутри вихря, а кометы переходят из одного вихря в другой? Ответ: кометы массивные, планеты - легкие



«Пользуясь этим примером, легко понять, что самые большие и самые массивные частицы материи, которые не могли принять ни формы второго, ни формы первого элемента, ... должны были через некоторое время направиться к внешней поверхности вмещающего их неба, а затем постоянно переходить из одного неба в другое ...

Почему планеты остаются внутри вихря, а кометы переходят из одного вихря в другой? Ответ: кометы массивные, планеты - легкие

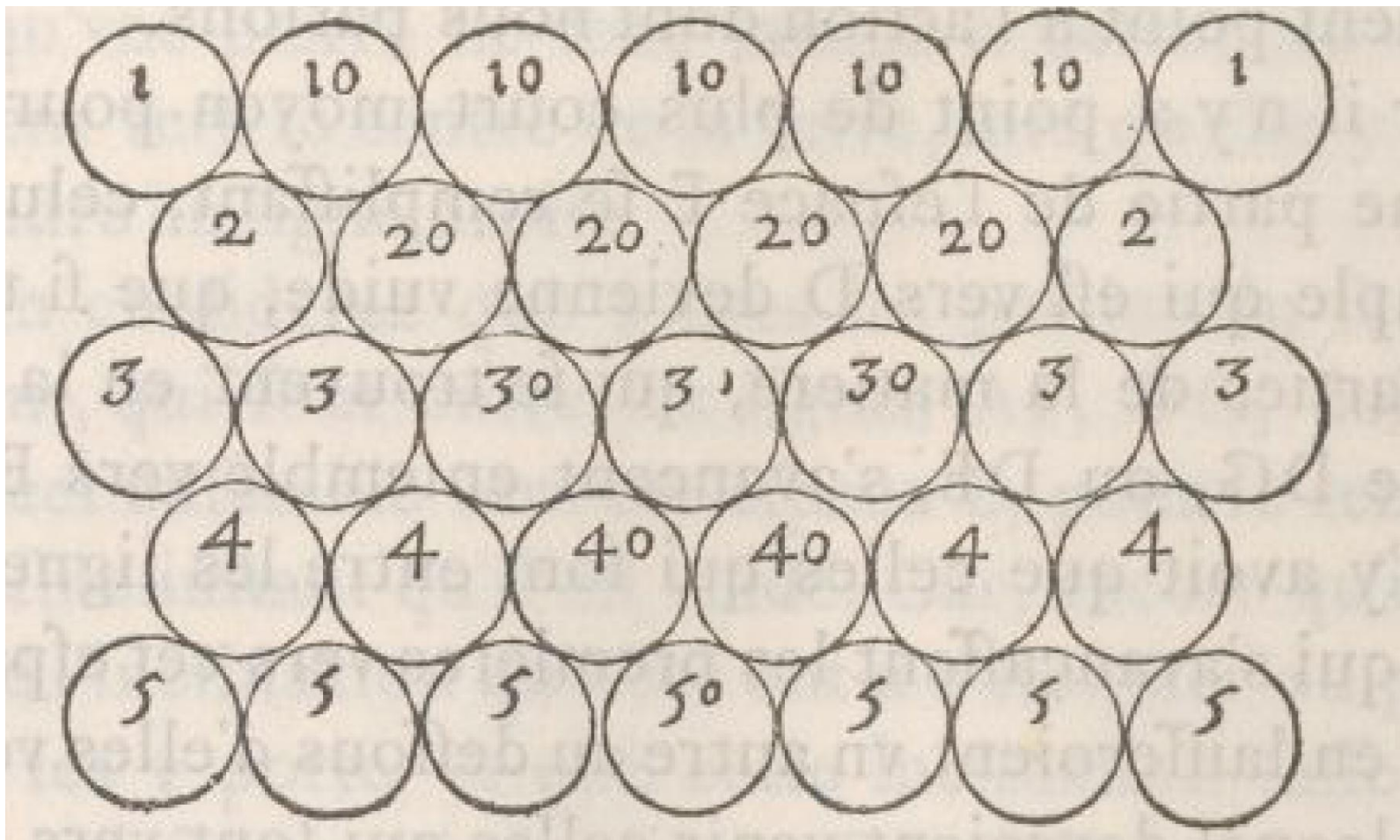


«Наоборот, все менее массивные из этих частиц должны быть отнесены движением материи неба к центру этого неба. ...

Таким образом, одни частицы материи должны направиться к внешней поверхности неба, а другие — к его центру.

Те частицы материи, которые расположены около центра какого-нибудь неба, мы должны здесь принять за планеты, а те, которые проходят через различные небеса, мы должны считать кометами».

Фрагмент мирового эфира (по Декарту). Передача воздействия от одной части среды к другой посредством толчка.
Отсутствие пустот (они заполнены еще более «тонкой» материей)



Теория зрения Декарта («Диоптрика», 1642)

«Ощупывание» предметов глазом посредством среды (эфира). Подобно тому, как слепец ощупывает свой путь при помощи палки, глаз «ощупывает» вещи посредством эфирного столба, находящегося между ним и этими вещами.



Джованни Альфонсо Борелли (1608-1679)

«Теория медийских планет, выведенная из физических причин» (1666)

Три главные фигуры в астрономии XVII в. (до Ньютона) – Коперник, Кеплер, Борелли

Основные тезисы Борелли:

1. Планеты стремятся к Солнцу по той же причине, по которой тяжелые тела стремятся к Земле.

2. Движение планет вокруг Солнца подобно движению камня в праще: «инстинкт», заставляющий планету стремиться к Солнцу, уравновешивается ее стремлением удалиться от центра, то есть, центробежной силой.

3. Планеты движутся под действием трех сил:

- сила «естественного» стремления планеты к Солнцу (направлена к Солнцу),
- Сила, исходящая от солнца и подобная свету, которая заставляет планеты вращаться вокруг Солнца (идея И. Кеплера)
- Центробежная сила, которая возникает вследствие вращения планет вокруг Солнца и которая «отталкивает» их от него.

Понятие тяжести и центробежной силы Х. Гюйгенса «О центробежной силе» (1703)

И. Ньютон о значении результатов Гюйгенса для небесной механики:

«... если тело обращается около Земли по кругу под действием силы тяжести, то эта сила и есть центростремительная. Такого рода предложениями Гюйгенс в превосходном своем сочинении «Маятниковые часы» и сопоставил силу тяжести с центробежными силами обращающихся тел» (И.Ньютон).

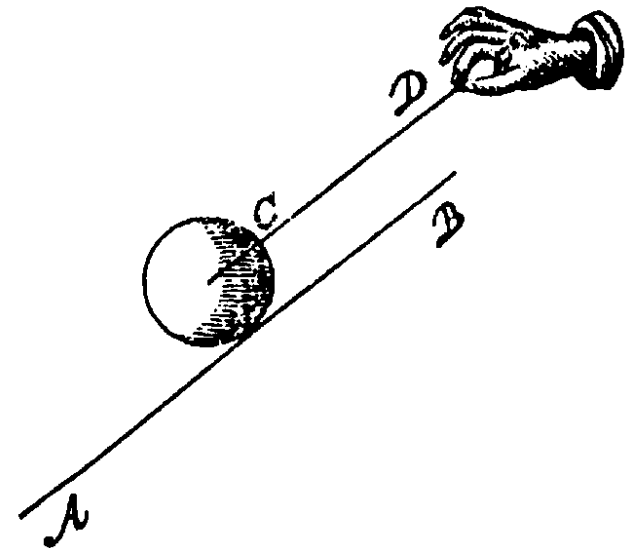
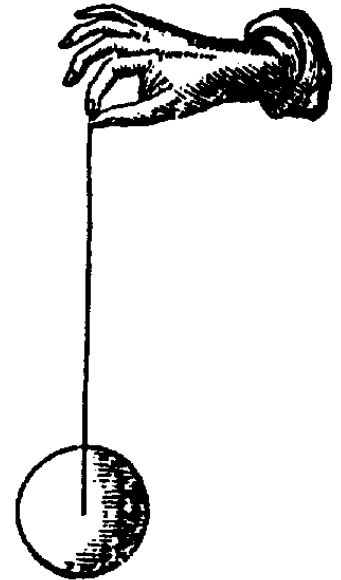
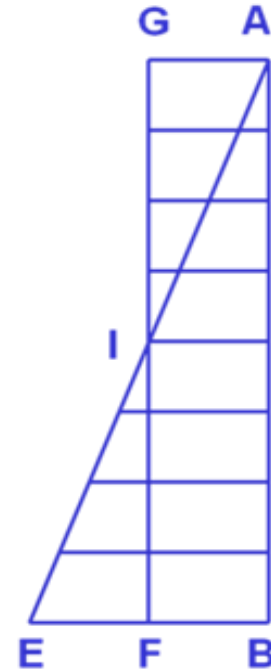
Гюйгенс – картезианец

Отправной точкой теории центробежной силы, развитой Гюйгенсом, была попытка дать механическое объяснение тяжести в русле идеи Декарта, что тяжесть (земное притяжение) – результат действия на тело вращающегося космического вихря.

На этом пути Гюйгенс приходит к выводу о том, что количественной характеристикой силы должно служить изменение скорости за (бесконечно) малый промежуток времени, т.е. ускорение.

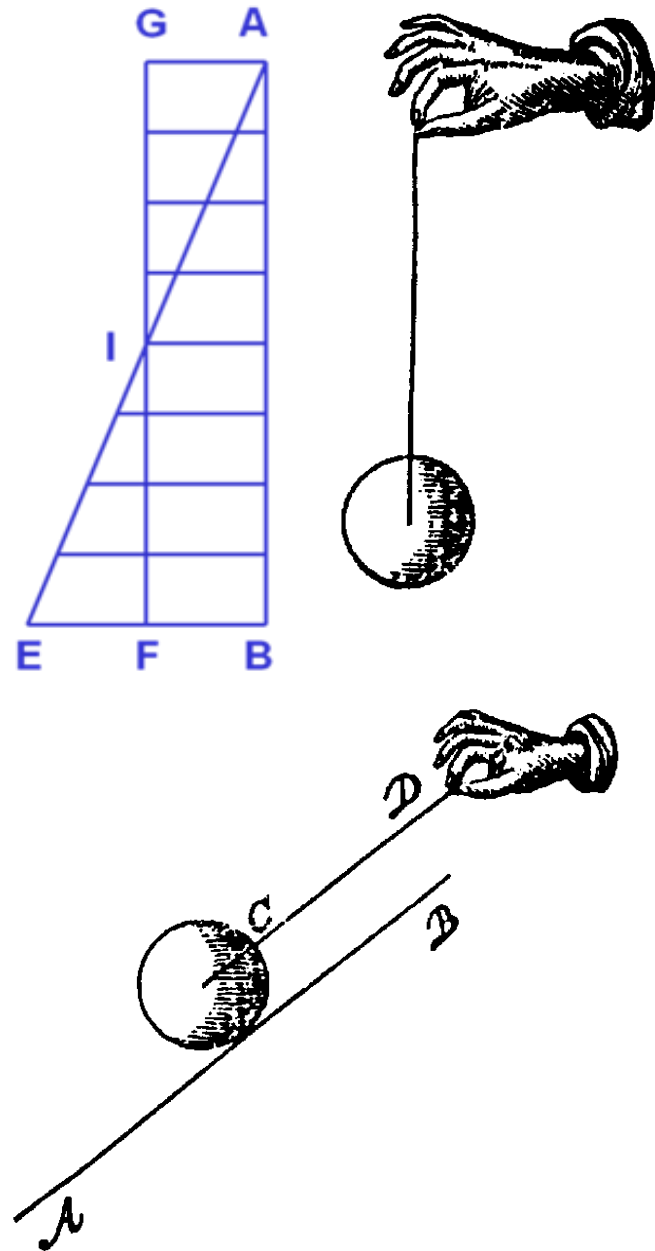
Х. Гюйгенс. «О центробежной силе» (1703)

- Гюйгенс начинает с изложения теории Галилея о свободном падении и падении (спуске) по наклонной плоскости.
- Основной характеристикой этих движений является постоянство ускорения.
- Далее он вводит понятие «стремление (груза) к движению» (лат. *conatus*).
- Стремление груза к движению можно измерить движением, которое будет произведено грузом в случае его отрыва от нити.



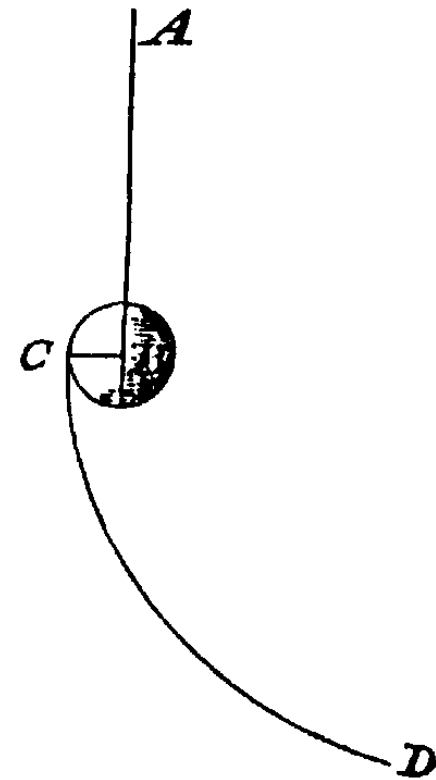
Х. Гюйгенс. «О центробежной силе» (1703)

- Рассматривается два случая:
стремление к движению шара, подвешенного вертикально, и
стремление к движению шара, удерживаемого нитью на наклонной плоскости.
- В обоих случаях отделившийся от нити шар будет спускаться вниз по *правилу нечетных чисел*:
в последовательные единицы времени он будет проходить расстояния, находящиеся в соотношении:
 $1, 3, 5, 7, \dots$;
при этом общее пройденное им расстояние будет увеличиваться согласно правилу квадратов (пропорционально квадрату времени):
 $1, 4, 9, 16, \dots$



Рождение современного понятия силы (Х. Гюйгенс. «О центробежной силе»)

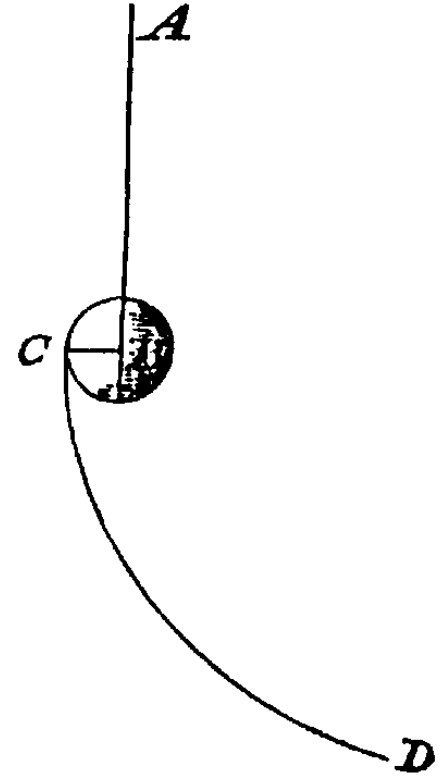
- Однако, измерять «стремление» шара расстоянием, на которое он падает за конечное время, будет неверно.
- Пусть шар, подвешенный на нити, касается гладкой изогнутой поверхности в точке *C*, в которой поверхность вертикальна. В этом случае начало движения шара будет точно таким же, как в случае, когда поверхность целиком вертикальна, т.е. не изгибается.
- Однако, если шар находится ниже, не на вертикальной, а на вогнутой части поверхности, то он будет падать медленнее.
- Поэтому, если мы хотим оценить стремление шара посредством движения, реализуемого при его отделении от нити, то для этого надо найти величину перемещения, происходящего в бесконечно малый промежуток времени сразу после отделения шара от нити.



Рождение современного понятия силы (Х. Гюйгенс. «О центробежной силе»)

Гюйгенс:

«Если мы хотим изучить это стремление к движению, то нам не нужно рассматривать, что произойдет с телом некоторое время спустя после отделения от нити, а надо рассмотреть возможно меньший промежуток времени, начиная от начала движения».



Гюйгенс. Рождение современного понятия силы

Х. Гюйгенс. «О центробежной силе»

Декарт «Первоначала философии»

«Рассмотрим теперь какое и с какой силой стремление удалиться от центра имеют тела, прикрепленные к вращающейся нити или колесу».

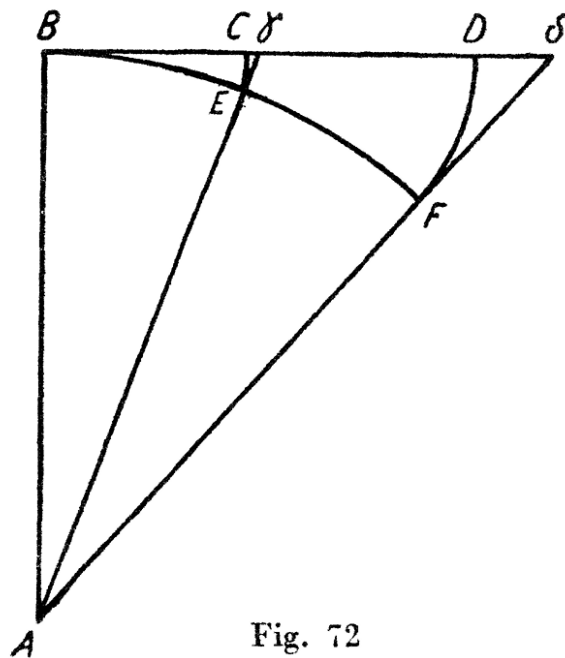
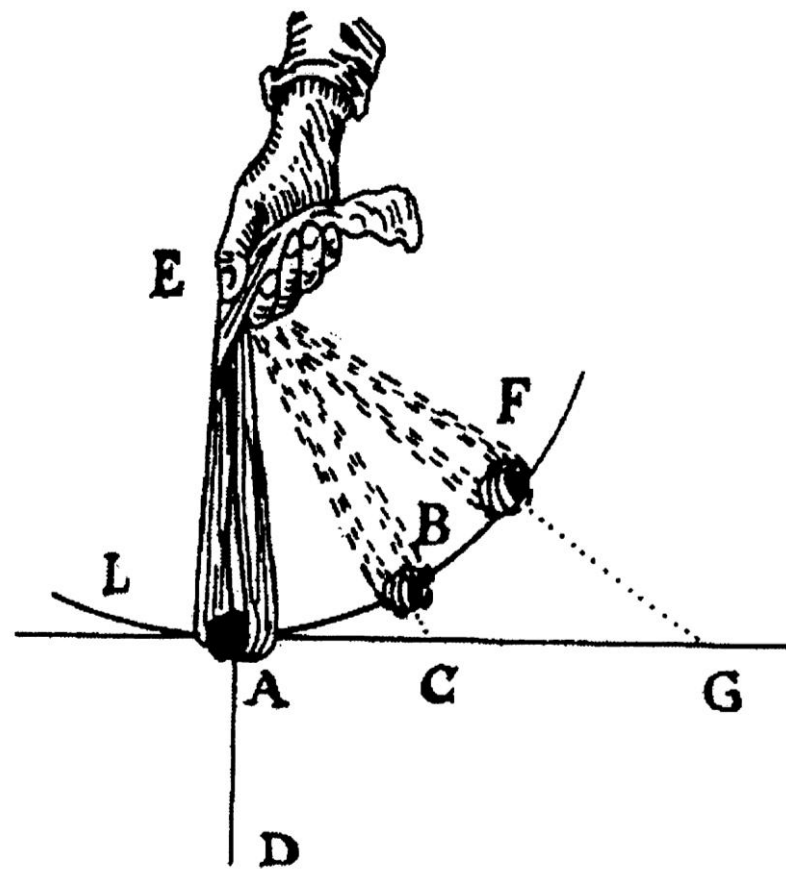
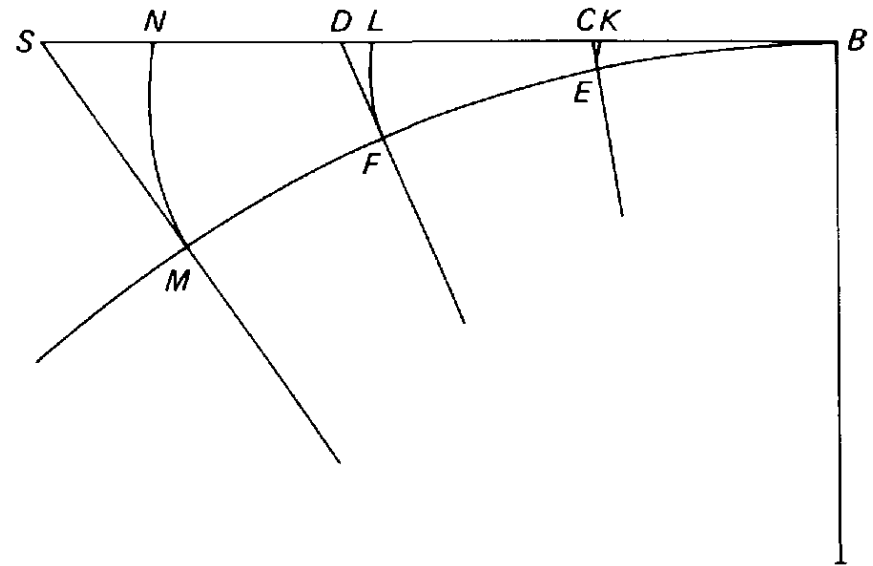


Fig. 72



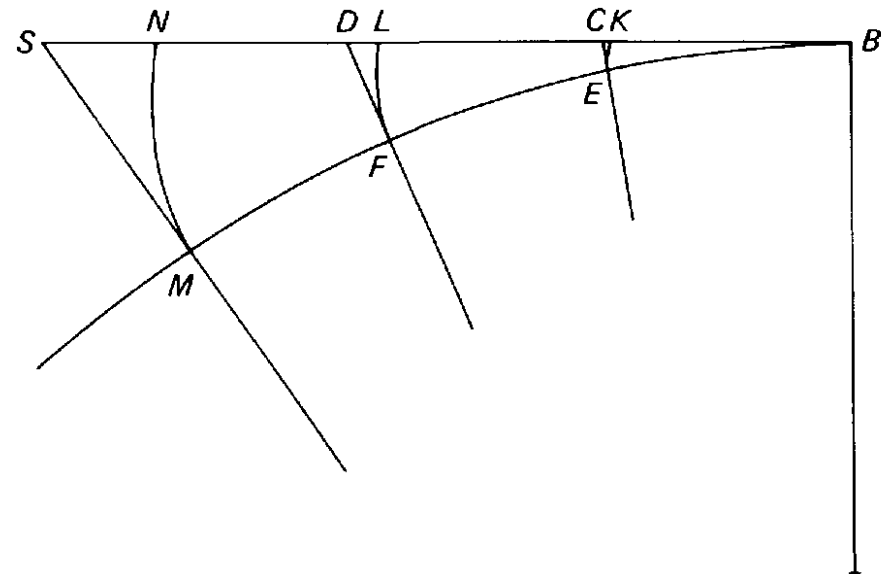
Рождение современного понятия силы (Х. Гюйгенс. «О центробежной силе»)

- Все рассуждения ведутся в системе отсчета, связанной с «колесом», которое вращается в горизонтальной плоскости вокруг точки O (на рисунке не изображена). Наблюдатель находится на «колесе».
- По закону инерции, после отрыва от колеса в точке B шар будет двигаться по касательной BS с постоянной скоростью: в равные бесконечно малые промежутки времени он будет проходить равные бесконечно малые расстояния BC , CD и DS .
- По отношению к наблюдателю, находящемуся на колесе, шар будет удаляться: на расстояние EC (за один отрезок времени), на расстояние FD (за два отрезка времени), на расстояние MS (за три отрезка времени) и т.д..



Рождение современного понятия силы (Х. Гюйгенс. «О центробежной силе»)

- Найдем закон возрастания величин расстояний EC , FD , MS .
- Обозначим CB – через d , а EC через δ . Пусть радиус колеса равен R . Три величины d , δ и R будут связаны соотношением $(R + \delta)^2 - R^2 = d^2$. Пренебрегая членом δ^2 , получаем $2R\delta = d^2$ или $EC = \delta = d^2/2R$.
- Аналогично получаем $FD = (2d)^2/2R$ и $MS = (3d)^2/2R$. Таким образом, величины EC , FD , MS будут приближенно возрастать как последовательность квадратных чисел 1, 4, 9 ... Чем короче дуги BK , KL , LN , тем точнее будет это соответствие.
- Вывод: «стремление» шара к движению (sonatus) после отрыва от колеса подобно «стремлению» к падению тяжелого тела, подвешенного на нити после отрыва от нее.



Понятие тяжести и центробежной силы по Х. Гюйгенсу «О центробежной силе» (1703)

Гюйгенс:

«Отсюда мы заключаем, что центробежные силы разных тел, движущихся по одинаковым кругам с одинаковой скоростью, относятся друг к другу, как веса тел или как количества материи.

Как все весомые тела стремятся падать вниз с одинаковой скоростью и одинаковым ускоренным движением, и притом это стремление обладает тем большей силой, чем они больше, так должно быть и с теми телами, которые стремятся удалиться от центра, так как их стремление, как мы показали, совершенно подобно тому, которое происходит от тяготения.

Но в то время как стремление падать у одного и того же шара всегда одно и то же, всякий раз, когда он подвешен на пути, центробежное стремление— разное, в зависимости от скорости вращения. Остается еще исследовать величину стремления в зависимости от скорости. Сначала мы определим, с какой скоростью надо вращать колесо, чтобы натяжение нити шаром было бы такое же, какое получается при подвешивании того же шара на нити».

Понятие тяжести и теория центробежной силы Х. Гюйгенса «О центробежной силе» (1703)

Предложение V

«Если тело движется по кругу с той скоростью, которую оно приобретает при падении с четвертой части поперечника (т.е. диаметра круга), то оно обладает стремлением удалиться от центра равным тяжести, т. е. оно тянет нить с той же силой, как если бы было к ней подвешено».

Тем самым исчерпывающим образом показана параллель между двумя разнородными «стремлениями». По сути, Гюйгенс сопоставил центробежную силу с силой тяжести, показав возможность их количественного сравнения.

Это пример того, как особая сила – сила тяжести – становится количественным эквивалентом для выражения сил иной природы.

Тема. 2

Гипотеза обратных квадратов Р. Гука и теория тяготения И. Ньютона

Роберт Гук (1635-1703) — английский ученый-энциклопедист, естествоиспытатель



Роберт Гук (1635-1703)

- Р. Гук был из семьи священника, имел незаурядные способности, феноменальную память.
 - В 1653 году поступил в Оксфордский университет, где проявил способности к физике и химии. Впоследствии он стал ассистентом Р. Бойля.
 - В 1662 г. - магистр искусств Оксфордского университета
 - В 1663 г. - создал устав для Лондонского королевского общества, стал его членом (был куратором в течение 40 лет). Еженедельные заседания. Обязанность Гука – готовить к заседаниям 3-4 опыта, касающихся свойств природы
 - 1665 г. - профессор в Лондонском университете.
 - В 1677-1683 — секретарь Лондонского Королевского общества..
 - В 1659 году он построил воздушный насос, в 1660 году совместно с Х. Гюйгенсом установил точные температуры таяния льда и кипения воды.
- Сконструировал зеркальный телескоп, прибор для измерения силы ветра, машину для деления круга....

Роберт Гук (1635-1703)

- В 1665 г. увидел свет важнейший труд Гука «Микрография», в котором детально излагались способы применения микроскопа и телескопа для разнообразных научных исследований.
- В 1660 гг. Гук сформулировал закон пропорциональности между силой, приложенной к упругому телу, и его деформацией (закон Гука).
- Предложил общую схему движения небесных тел, которую Ньютон положил в основание своей механики.
- Открытия Гука позволили создать пружинный механизм для карманных часов («искусственная тяжесть»).
- Гук – талантливый архитектор. По его проектам было построено несколько зданий, главным образом в Лондоне. «Арка Гука». Последним изобретением Гука был морской барометр.
- 3 марта 1703 года Роберт Гук скончался.

Создание теории всемирного тяготения. Роберт Гук.

- В 1661 г. в Лондоне была образована комиссия для изучения природы тяжести, в которую вошли Р. Бойль, Р. Гук и другие. В 1666 г. Гук доложил о проделанных им опытах, в которых он посредством взвешивания пытался установить убывание тяжести с возрастанием высоты над поверхностью Земли. Опыты оказались неубедительными
- Спустя два месяца Гук выступил с новым докладом, в котором утверждал, что Солнце должно обладать некоторым притягивающим свойством по отношению к планетам. Интересна его аналогия между движениями грузика конического маятника и планеты по ее орбите. Стремление грузика и планеты продолжать начатое движение по прямой (по свойству инерции) нарушается притягивающим изгибающим началом: у грузика — натяжением нити, у планеты — притяжением Солнца. Гук утверждал, что на основе предположения о притягивающем свойстве можно было бы по двум-трем положениям планет рассчитать их орбиты и движение.

Создание теории всемирного тяготения. Роберт Гук.

В 1674 г. Гук опубликовал мемуар «Попытка доказательства годичного движения на основе наблюдений». Здесь он подходит к истине еще ближе, резюмируя сочинение следующими тремя положениями.

- ❑ Не только Солнце притягивает планеты, но и планеты притягивают Солнце и друг друга.
- ❑ Приведенное в движение тело движется по прямой до тех пор, пока притягивающее изгибающее начало не отклонит его от прямолинейного движения, после чего оно будет вынуждено двигаться по окружности или эллипсу
- ❑ Притягивающее действие тем больше, чем ближе тело к центру притяжения. Что касается степени убывания этой силы, то она не определена им на опыте. Как только зависимость силы от расстояния станет известной, астрономы смогут найти законы небесных движений.

В 1679 г., став секретарем Королевского общества, Гук обратился к Ньютону с письмом, где спрашивал его мнение о своих гипотезах. Ньютон уклонился от дискуссии, сказав, что в последние годы он был далек от «философии» и ничего не слышал о гипотезах Гука.

Закон обратных квадратов.

Следующее письмо Р. Гука Ньютону (6 января 1680 г.):

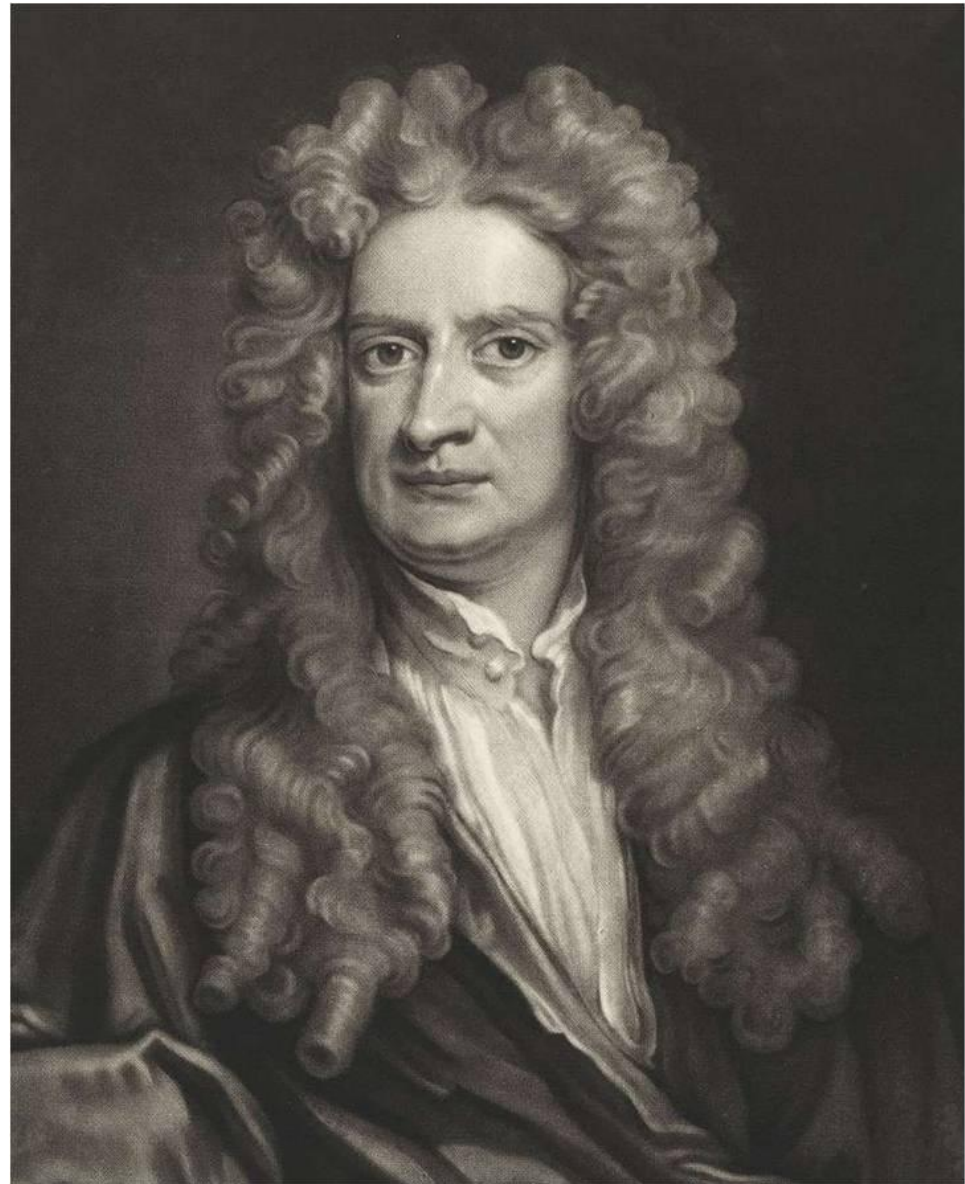
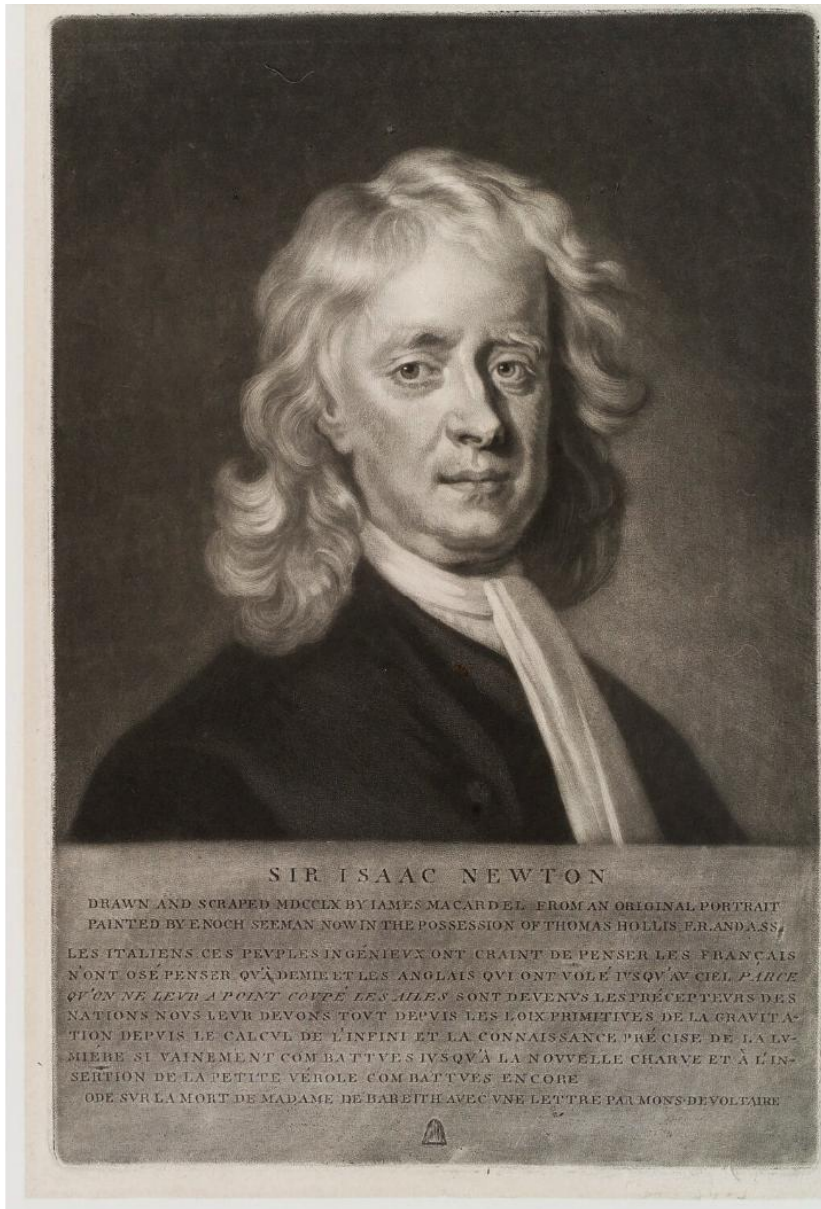
«Я предполагаю, что *притяжение обратно пропорционально квадрату расстояния до центра*, соответственно предположению Кеплера о зависимости скорости от расстояния. Галлей, вернувшись с острова св. Елены, рассказал мне, что маятник качается медленнее на вершине горы, чем у подножья, и не мог понять причины. Я сказал ему, что он решил давно занимавший меня вопрос об убывании тяготения с удалением от центра... Говоря о падении внутри Земли, я не думаю что закон притяжения будет таким же до самого центра Земли, но, напротив, я считаю, что, чем ближе тело будет к центру, тем слабее будет притяжение, возможно, подобно тому, как это происходит с маятником или телом внутри вогнутой поверхности, где сила уменьшается по мере приближения к нижней точке... Притяжение на значительных расстояниях [от небесных тел] можно вычислять по указанной пропорции [обратных квадратов] как притяжение самим центром».

В этом же письме он – проведя необходимые вычисления – Гук высказал мысль, что орбиты планет похожи на эллипсы (он называл их эллиптоиды). Доказать их эллиптичность Гук не смог.

Тема 3.

Трактат И. Ньютона «Математические начала натуральной философии».
Полемика картезианцев и ньютоналинцев

ИСААК НЬЮТОН (1643–1727)



ИСААК НЬЮТОН

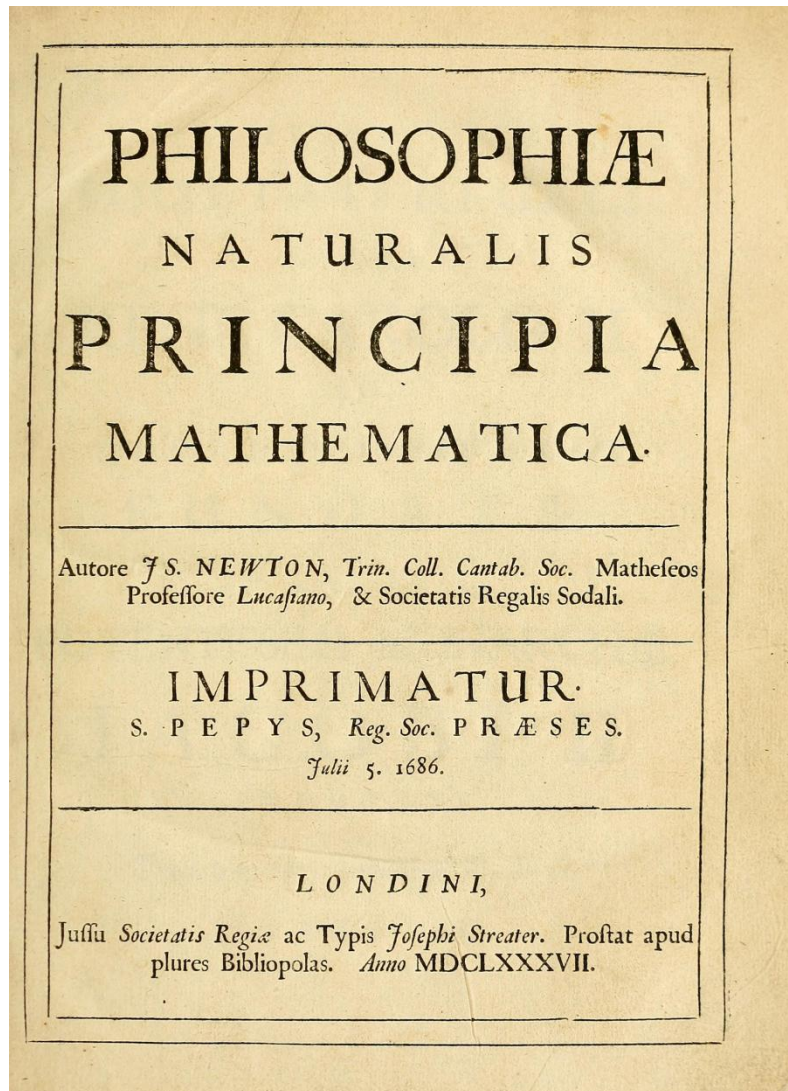
- Исаак Ньютон родился 4 января 1643 г. (25 декабря 1642 г. по старому стилю) в фермерской семье. Отец умер до рождения сына. Из-за перемен в семье (когда ему было 13 лет, умер его первый отчим) Ньютону пришлось прервать учебу в школе.
- В 18 лет поступил в Тринити-колледж в Кембридже. Двадцатишестилетнему Ньютону его учитель И. Барроу уступил свою кафедру. В это время Ньютон углубленно занимался оптикой и химией.
- С сер. 1660 гг. под влиянием Р. Гука начинает работу над проблемами тяготения и математической теорией движения. Результатом стала публикация трактата «Математические начала натуральной философии» (1687).
- В конце XVII в. Ньютон становится «хранителем» Королевского монетного двора (Master of Mint).
- В 1699 г. избран иностранным членом Парижской Академии наук.
- В 1703 г. – президентом Лондонского Королевско-го общества (членом которого он был с 1672 г.).
- Вскоре он был возведен в дворянское достоинство.
- Умер Ньютон 20 марта 1727 г.

ОСНОВНЫЕ ТРУДЫ НЬЮТОНА

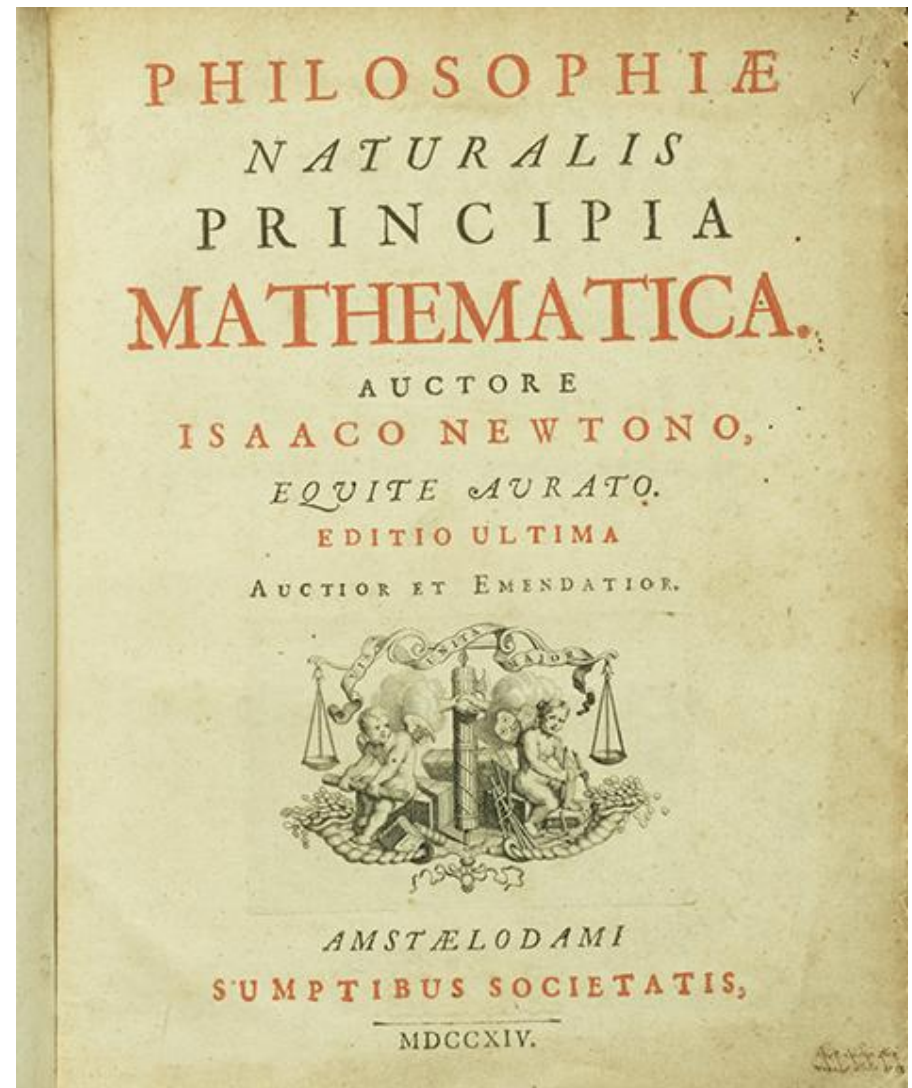
1. «Метод флюксий» (1671) (опубликован в 1736 г.)
2. «Новая теория света и цветов» (1672) (сообщение Королевскому обществу)
3. «Движение тел по орбите» (1684)
4. «Математические начала натуральной философии» (1687)
5. «Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света» (1704)
 - «О квадратуре кривых» (приложение к «Оптике»)
 - «Перечисление линий третьего порядка» (приложение к «Оптике»)
6. «Универсальная арифметика» (1707)
7. «Анализ с помощью уравнений с бесконечным числом членов» (1711)
8. «Метод разностей» (1711)

И. Ньютон. «Математические начала натуральной философии»

Первое издание (1687)



Второе издание (1714)



«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАЧАЛА НАТУРАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ» (1687)

Трактат состоит из трех книг, которым предпосланы три небольших по объему, но весьма важных по содержанию раздела: «Предисловие автора», «Определения», «Аксиомы, или законы движения».

В «Предисловии» Ньютон формулирует цель трактата: «дать тщательное развитие приложений математики к физике» (физика и натуральная философия для Ньютона синонимы).

«Древние рассматривали механику двояко: как *рациональную* (умозрительную), развиваемую точными доказательствами, и как *практическую*. К практической механике относятся все ремесла и производства, именуемые механическими, от которых получила свое название и самая *механика*.

Так как ремесленники довольствуются в работе лишь малой степенью точности, то образовалось мнение, что механика тем отличается от геометрии, что все вполне точное принадлежит к геометрии, менее точное относится к механике. Но погрешности заключаются не в самом ремесле или искусстве, а принадлежат исполнителю работы: кто работает с меньшей точностью, тот – худший механик, и если бы кто-нибудь смог исполнять изделие с совершеннейшею точностью, тот был бы наилучшим из всех механиков».

Таким образом, по Ньютону, статус практической механики столь же высок, как и статус геометрии.

«Математические начала натуральной философии» – теоретический трактат

- Несмотря на высокую оценку практической механики, в Ньютон не собирался писать трактат о «ремеслах», об усилиях, «производимых руками».
- Его произведение носит ярко выраженный теоретический характер, оно посвящено исследованию «сил природы» методами математики.
- Ньютон предупреждает: «Будем, главным образом, заниматься тем, что относится к тяжести, легкости, силе упругости, сопротивлению жидкостей и к тому подобным притягательным или напорающим силам. Поэтому и сочинение это нами предлагается как математические основания физики. Вся трудность физики ... состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления».
- Это – программа математизации физики. В трактате она реализована в отношении движений небесных тел. Но автор верит («многое заставляет меня предполагать»), что «и остальные явления природы» можно «вывести из начал механики».

«Математические начала натуральной философии» (1687).

Доказательство закона обратных квадратов

Закон обратных квадратов Ньютон доказал для движений тела по каждому из трех конических сечений. (предложения XI – XIII).

Предложение XI. Задача VI.

Тело обращается по эллипсу; требуется определить закон центростремительной силы, направленной к фокусу эллипса.

Предложение XII. Задача VII.

Тело обращается по гиперболу; требуется определить закон центростремительной силы, направленной к фокусу этой кривой.

Предложение XIII. Задача VIII.

Тело обращается по параболе; требуется определить закон центростремительной силы, направленной к фокусу этой кривой.

Во всех тех случаях показано, что центростремительная сила обратно пропорциональна квадрату расстояния тела до фокуса.

«Математические начала натуральной философии» (1687).

Центральная теорема

Следствие 1 (из предложений XI – XIII)

«Из последних трех предложений следует, что если какое-нибудь тело P выходит из места P по направлению прямой PR с какой-либо скоростью и находится под действием центростремительной силы, обратно пропорциональной квадратам расстояний до центра S , то это тело будет двигаться по коническому сечению, коего фокус лежит в центре сил, и наоборот; ибо при заданных: фокусе, точке касания и положения касательной можно построить лишь одно коническое сечение, имеющее в этой точке заданную кривизну».

Строго говоря, прямую теорему («и наоборот») Ньютон не доказал, а только сформулировал.

Ее аналитическое доказательство (в котором частично использовались еще геометрические методы) было дано в 1710 г. Я. Германом, И. Бернулли и П. Вариньоном. В этом доказательстве использовалась геометрически доказанная Ньютоном «теорема площадей» (2-ой закон Кеплера).

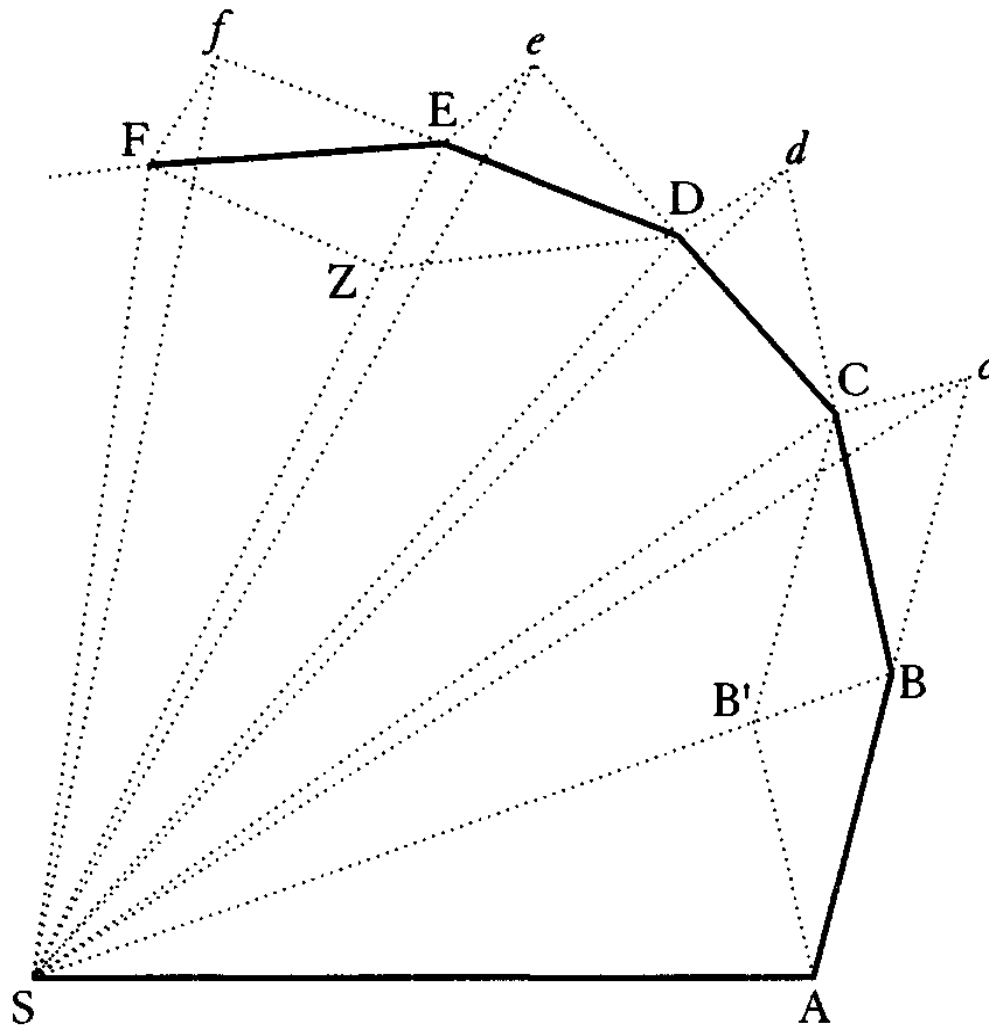
«Теорема площадей» (2-ой закон Кеплера).

И. Ньютон, «Математические начала натуральной философии» (1687).

Кн. I. Предложение I.

Аналитическое доказательство этой теоремы было получено только в 1740-х гг.

(Д. Бернулли, Л. Эйлер, А.-К. Клеро)



Полемика ньютонианцев и картезианцев

- ❑ Оставался еще один пробел в системе воззрений Ньютона: в чем состоит механизм тяготения? Именно по вопросу о природе тяжести и тяготения картезианцы XVIII в. атаковали ньютонианцев.
- ❑ Картезианская физика каждому явлению отыскивала какие-нибудь механические схемы («механизм» явления), подчас гипотетические ...
- ❑ Картезианская идеология сыграла большую роль в становлении новых областей современной физики.
- ❑ Создатели теории теплопроводности в XIX в. опирались на представление об особом материальном носителе тепла – теплороде.
- ❑ Создатели теорий электромагнетизма – на представление об эфире.

Л.И. Мандельштам, «Лекции по оптике».

Ньютон о дальном действии

Передача силового воздействия от тела к телу через пустоту казалась и самому Ньютону парадоксальной:

«Непостижимо, — читаем в одном из его писем (к Бентли), — чтобы неодушевленная грубая материя могла без посредства чего-либо нематериального действовать и влиять на другую материю без взаимного соприкосновения, как это должно бы происходить, если бы тяготение в смысле Эпикура было существенным и врожденным в материи.

Предполагать, что тяготение является существенным, неразрывным и врожденным свойством материи, так что тело может действовать на другое на любом расстоянии в пустом пространстве, без посредства чего-либо передавая действие и силу, — это, по-моему, такой абсурд, который немислим ни для кого, умеющего достаточно разбираться в философских предметах.

Тяготение должно вызываться агентом, постоянно действующим по определенным законам. Является ли, однако, этот агент материальным или нематериальным, решать это я предоставил моим читателям».