

История и методология механики

Лекция 13

Чиненова Вера Николаевна

**ТРАКТАТ И. НЬЮТОНА
«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАЧАЛА
НАТУРАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ»
(1687)**

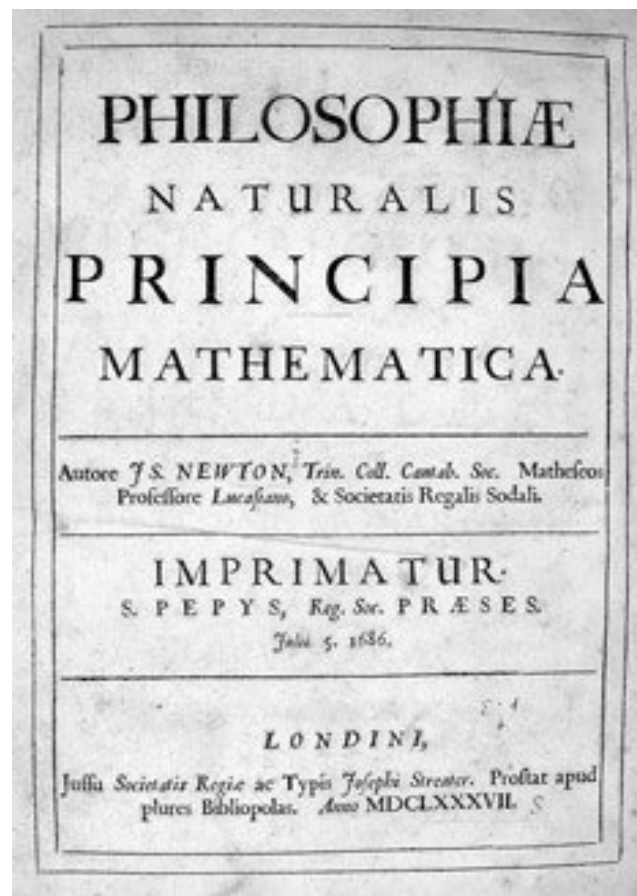
1. Определения, аксиомы и законы движения

2. Книга первая

И.Ньютон (1643-1727)



Первое издание (1687)
«Математические начала
натуральной философии»



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.

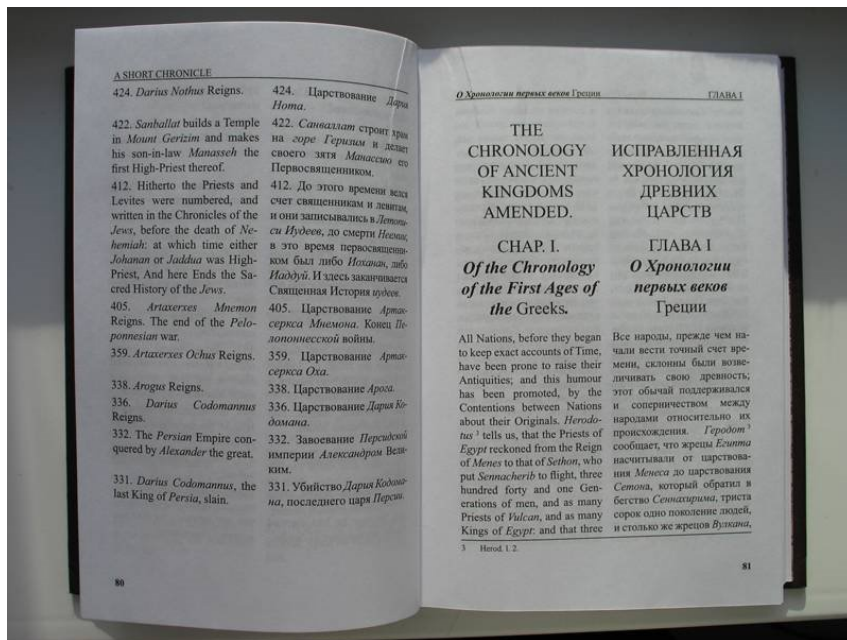
В 1703 г. – президентом Лондонского Королевского общества (членом которого он был с 1672 г.).

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)



A SHORT CHRONICLE

424. *Darius Nothus* Reigns.

422. *Sanelilat* builds a Temple in *Mount Gerizim* and makes his son-in-law *Manasseh* the first High-Priest thereof.

412. Hitherto the Priests and Levites were numbered, and written in the Chronicles of the *Jews*, before the death of *Nehemiah*: at which time either *Johanan* or *Jaddua* was High-Priest, And here Ends the Sacred History of the *Jews*.

405. *Artaserxes Mnemon* Reigns. The end of the *Peloponnesian* war.

359. *Artaserxes Ochus* Reigns.

338. *Aragus* Reigns.

336. *Darius Codomanus* Reigns.

332. The *Persian* Empire conquered by *Alexander* the great.

331. *Darius Codomanus*, the last King of *Persia*, slain.

424. Царствование *Дария Нота*.

422. *Санеллат* строит храм на горе *Геризим* и делает своего зятя *Манассию* его Первосвященником.

412. До этого времени всели счет священникам и левитам, и они записывались в *Летописи Иудеев*, до смерти *Неемии*, в это время первосвященником был либо *Иоханан*, либо *Иаддуй*. И здесь заканчивается Священная История *Иудеев*.

405. Царствование *Артаксеркса Мнемона*. Конец *Пелопоннесской* войны.

359. Царствование *Артаксеркса Охса*.

338. Царствование *Арага*.

336. Царствование *Дария Кодомана*.

332. Завоевание *Персидской* империи *Александром Великим*.

331. Убийство *Дария Кодомана*, последнего царя *Персии*.

О Хронологии первых веков Греции

ГЛАВА I

THE CHRONOLOGY OF ANCIENT KINGDOMS AMENDED. ИСПРАВЛЕННАЯ ХРОНОЛОГИЯ ДРЕВНИХ ЦАРСТВ

CHAP. I. Of the Chronology of the First Ages of the Greeks.

ГЛАВА I О Хронологии первых веков Греции

All Nations, before they began to keep exact accounts of Time, have been prone to raise their Antiquities; and this humour has been promoted, by the Contentions between Nations about their Originals. *Herodotus*³ tells us, that the Priests of *Egypt* reckoned from the Reign of *Menes* to that of *Setnon*, who put *Semacherib* to flight, three hundred forty and one Generations of men, and as many Priests of *Vulcan*, and as many Kings of *Egypt*: and that three

³ Herod. l. 2.

THE
CHRONOLOGY
OF
ANCIENT KINGDOMS

A M E N D E D.

To which is Prefix'd,

A SHORT CHRONICLE from the First Memory of Things in Europe, to the Conquest of Perfia by Alexander the Great.

By Sir *ISAAC NEWTON*.

L O N D O N :

Printed for *J. TONSON* in the *Strand*, and *J. OSBORN* and *T. LONGMAN* in *Pater-noster Row*.

MDCCXXXVIII.

Трактат И. Ньютона «Математические начала...»

- «В истории естествознания не было события более крупного, чем появление «Начал» Ньютона. Причина была в том, что эта книга подводила итоги всему сделанному за предшествующие тысячелетия в учении о простейших формах движения материи».

(С.И.Вавилов)

- *Если бы не Галлей, эта работа, по всей вероятности, не была бы задумана; а если бы была задумана, то не была бы написана; а если бы была написана, то не была бы напечатана.*
- **А. де Морган**

«...Наиболее из всех остроумный математик и философ господин Ньютон из Кембриджа блестяще изучил эффекты тяготения; его книга об этом находится сейчас в печати. Он показал, что сила тяготения наиболее велика на поверхности Земли и изменяется по простому закону — обратно пропорционально расстоянию от центра... Он показывает, что такая сила существует повсеместно, но больше всего — на Солнце, а также на Юпитере. Он делает заключение о том, что тела,двигающиеся вследствие какого-то импульса, под действием тяготения обязательно описывают круги или эллипсы, параболы или гиперболы в соответствии с величиной приданной им скорости. Среди небесных явлений не найдено ни одного, которое бы в точности не соответствовало этой гипотезе... Более того, он показывает, что такая сила составляется путём сочетания сил бесчисленного множества малых частичек, составляющих тела на Земле, Солнце и так далее, посредством которых они, взаимодействуя, находят одно другое, образуя некоторый союз. Как это можно наблюдать, например, в самых маленьких частичках жидких тел, а именно в каплях ртути или дождя, которые, пока они очень малы, обязательно принимают сферическую форму...»

Галлей — Иоганну Христиану Штурму, Лондон 16 марта 1686 года

Трактат И. Ньютона «Математические начала...»

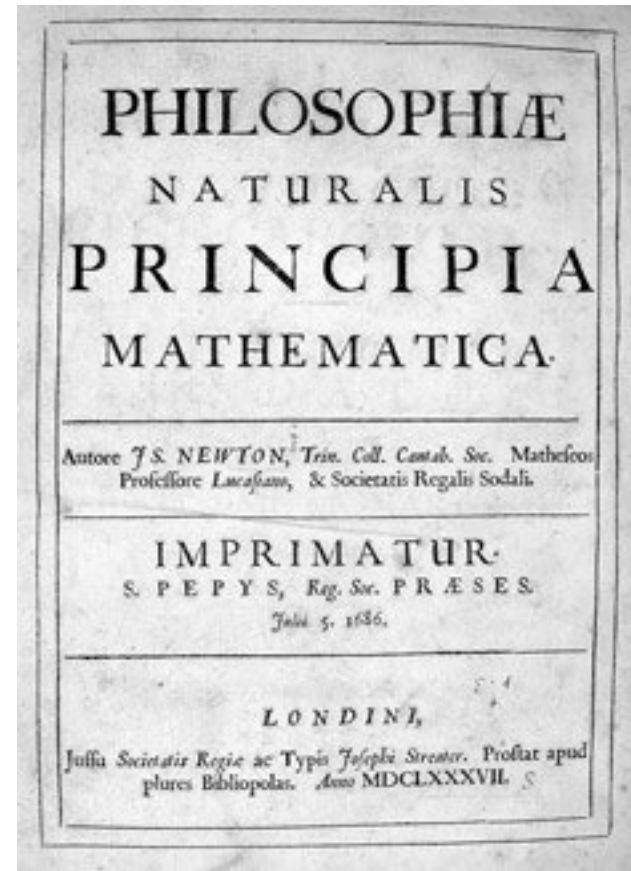
В начале **1685** г. рукопись мемуара «**О движении**», Ньютон передал для регистрации в Королевское общество. Здесь излагались фундаментальные положения динамики.

- В **1686**г. были закончены две первые книги трактата «**Математические начала натуральной философии**» («*Philosophiae naturalis Principia mathematica*»).

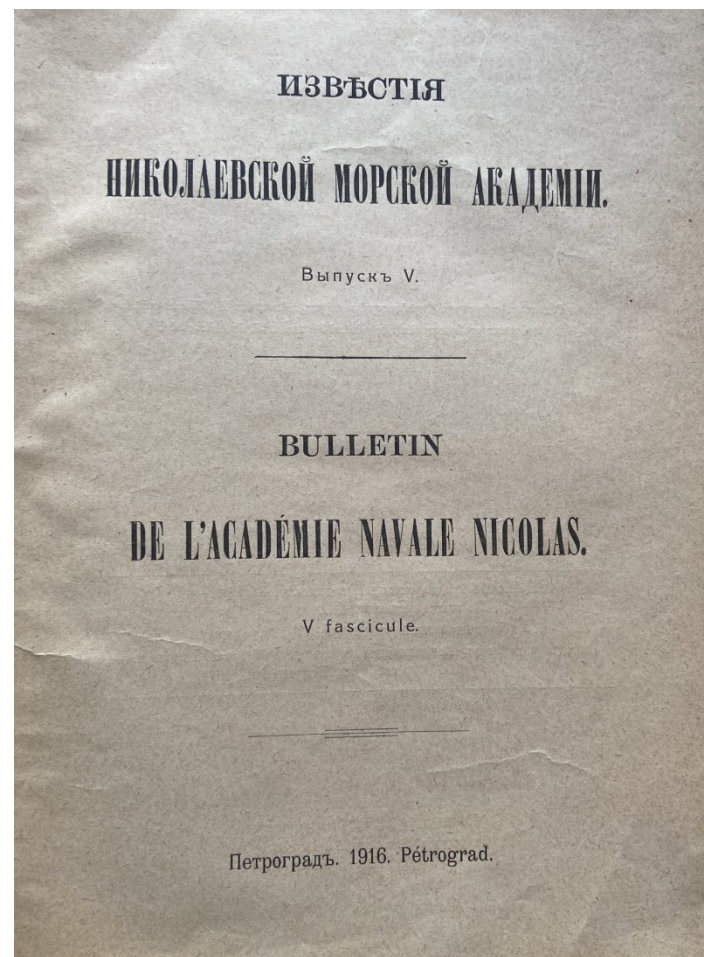
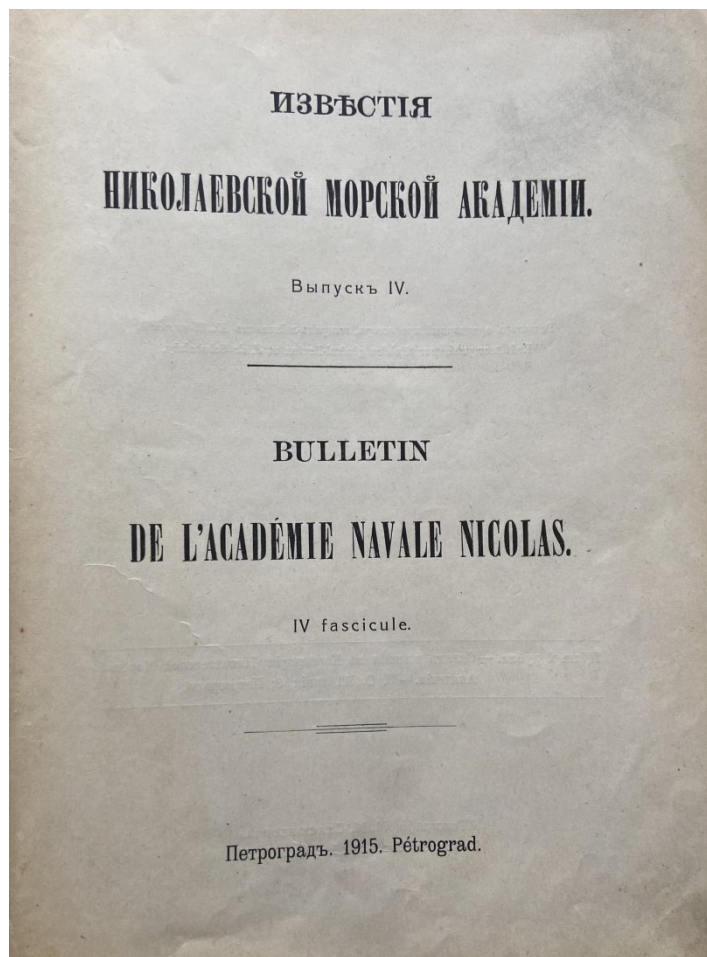
- «Сейчас в печати находится трактат Ньютона о движении. За этим присматривает господин Галлей, и 13 листов (как он сказал мне) уже отпечатаны. Он (господин Ньютон) оставил идею о вихрях, которые (как он писал мне) разрушат планетные движения и сделают их гораздо более нерегулярными, чем они являются в действительности... Картезианская философия в этой точке опрокинута, а вместо неё мы имеем теперь демонстрационные принципы. Я потерял повод претендовать на открытие... но я бесконечно больше выиграю от той помощи, которую эти открытия принесут мне в реформе планетных движений, так что в минуту скорби я праздную собственную победу...» *Джон Флемстид — Ричарду Таунлею 4 ноября 1686 года*

Трактат И. Ньютона «Математические начала...»

- Весной 1687 г. уже печаталась III книга «О системе мира»
- (На титульном листе арабскими цифрами 1686 напечатано время сдачи книги в печать (Imprimatur), а дата выхода приведена латинскими цифрами: MDCLXXXVII, поэтому датой появления «Начал» часто считают **1687г.**)



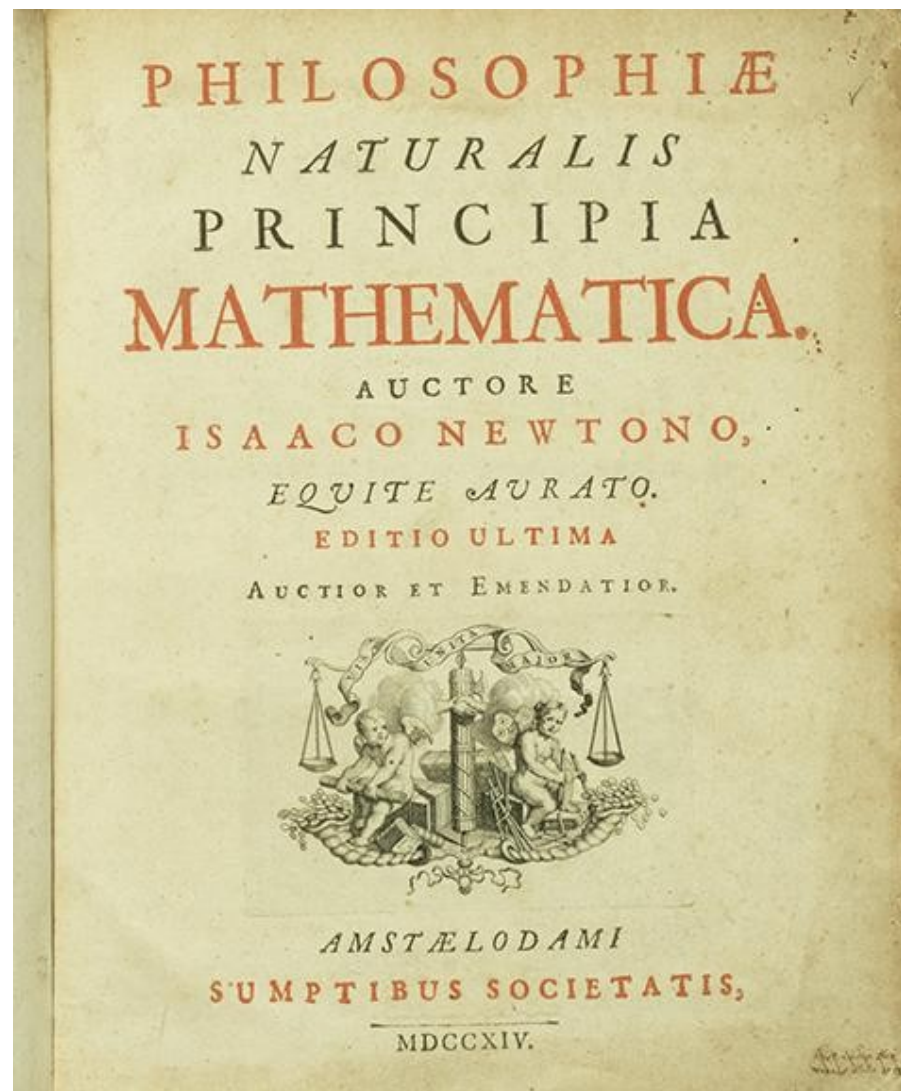
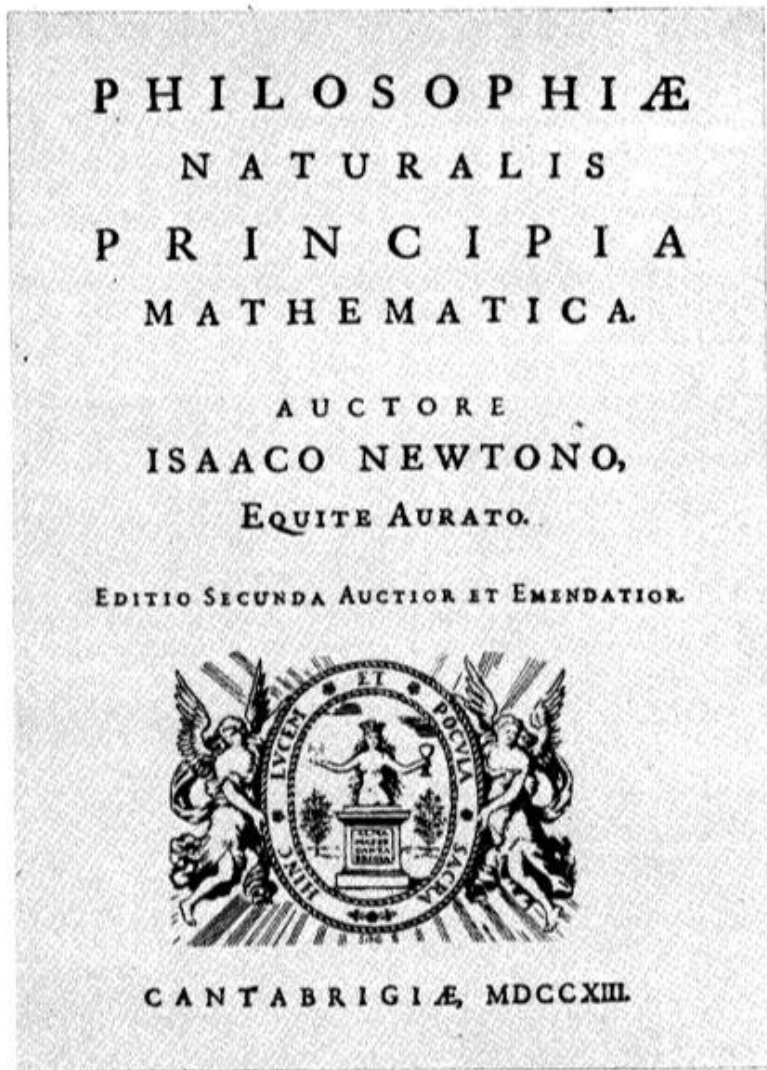
Русский перевод «Начал...» И.Ньютона, сделанный А.Н.
Крыловым



**Об основах классической механики
в трактате И. Ньютона «Математические
начала натуральной философии»
(«Philosophiae naturalis Principia
mathematica»)**

Прижизненные издания:
I-е - в 1687г., II-е - в 1713г., III-е -- в
1726г.

И. Ньютон. «Математические начала натуральной философии»



Предисловие И. Ньютона

- Трактат состоит из трех книг, которым предпосланы три небольших по объему, но весьма важных по содержанию раздела:
- «Предисловие автора»,
- «Определения»,
- «Аксиомы, или законы движения».
- Он начинает с Паппа (Паппуса), с древних, которые при изучении природы придавали большое значение механике.
- При этом Ньютон считает необходимым, отбросив понятия «субстанции» и «скрытых свойств», обратиться к математике и приложить её к физике.
- Ньютон ищет место физики в системе науки и практики.

«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАЧАЛА НАТУРАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ» (1687)

- Несмотря на высокую оценку практической механики, 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».

КОЛИЧЕСТВО МАТЕРИИ (МАССА)

«Определение I. Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее».

Современное понимание плотности как массы единицы объема вещества приводило бы такое определение к порочному кругу; однако у Ньютона здесь нет тавтологии. Будучи атомистом, он трактовал плотность иначе.

Плотность, по Ньютону, определяется числом идентичных корпускул в заданном объеме вещества. Атомистические воззрения Ньютона в «Началах» не излагаются, высказывания по этому вопросу можно найти в «Оптике», статье «О природе кислот»

и письмах.

Вслед за определением массы следует пояснение: «Воздуха двойной плотности в двойном объеме вчетверо больше, в тройном — вшестеро. То же относится к снегу

или к порошкам, когда они уплотняются от сжатия или таяния. Это же относится и ко всякого рода телам, которые в силу каких бы то ни было причин уплотняются.»

Ньютоновское определение **количества материи (массы)** через плотность хотя и не содержит порочного круга в определении, малопригодно для определения величины массы, поэтому Ньютон его фактически не применяет.

В «Началах» для определения величины массы он использует соображения, навеянные идеями инерции, с одной стороны, и гравитации, с другой. Плотность при этом становится производной от массы и объема.

Замечание.

Галилей принимал за меру материи ее вес. Такой вариант был для Ньютона неприемлем, поскольку, в отличие от Галилея, он уже знал о том, что вес тела может меняться (этот вывод он сделал, исходя из опытов, показавших изменение периода колебаний маятника на разных широтах).

- **«Определение II. Количество движения есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе.**
- Количество движения целого есть сумма количеств движения отдельных частей его, значит для массы, вдвое большей, при равных скоростях оно двойное, при двойной же скорости – четверное».
- Замечание: Дж. Валлис определял количество движения (momentum) иначе, а именно, как меру движения, пропорциональную весу и скорости движущегося тела.

«Определение III. Врожденная сила (*vis insita*) материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно самому себе, удерживает свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения».

- **«Эта сила всегда пропорциональна массе, и если отличается от инерции массы, то разве только воззрением на нее.**

От инерции материи происходит, что всякое тело лишь с трудом выводится из своего покоя или движения. Поэтому «врожденная сила» могла бы быть весьма вразумительно названа «силою инерции» (*vis inertiae*). Эта сила проявляется телом единственно лишь, когда другая сила, к нему приложенная, производит изменение в его состоянии. *Проявление этой силы может быть рассматриваемо двояко: и как сопротивление и как напор.* Как сопротивление – поскольку тело противится действующей на него силе, стремясь сохранить свое состояние; как напор – поскольку то же тело, с трудом уступая силе сопротивляющегося ему препятствия, стремится изменить состояние этого препятствия. Сопротивление приписывается обыкновенно телам покоящимся, напор – телам движущимся. Но движение и покой, при обычном их рассмотрении, различаются лишь в отношении одного к другому, ибо не всегда находится в покое то, что таковым простому взгляду представляется».

- Определение 4.

Приложенная сила есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

Ньютон поясняет, что действие силы не остается в теле после прекращения приложения ее (далее тело будет двигаться по инерции).

В качестве примеров сил указываются удар, давление, центростремительная сила.

«Определение 5. **Центростремительная сила** есть та, с которою тела к некоторой точке, как к центру, отовсюду притягиваются, гонятся или как бы то ни было стремятся.

- Такова сила тяжести, под действием которой тела стремятся к центру Земли; магнитная сила, которою железо притягивается к магниту, и та сила, каковою бы она ни была, которою планеты постоянно отклоняются от прямолинейного движения и вынуждаются обращаться по кривым линиям. Камень, вращаемый в праще, стремится удалиться от вращающей пращу руки, и этим своим стремлением натягивает пращу тем сильнее, чем быстрее вращение, и как только ее пустят, то камень улетает».
- Впервые отчетливо сформулирована идея тождества законов, управляющих земной и небесной механикой, и даже магнетизма (ср. Гильберт, «Трактат о магните», 1600).
- Силу, противоположную сказанному стремлению, которою праща постоянно оттягивает камень к руке и удерживает его на круге, т. е. силу, направленную к руке или к центру описываемого круга, я и называю **центростремительной**. Это относится и до всякого тела, движущегося по кругу. Все такие тела стремятся удалиться от центра орбиты, и если бы не было некоторой силы, противоположной этому стремлению, которая их и удерживает на их орбитах, то они и ушли бы по прямым линиям, двигаясь равномерно.

- В «Поучении» вводятся важные понятия *абсолютного и относительного времени и пространства*:
- «**I. Абсолютное, истинное математическое время** само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью»
- **Относительное**, кажущееся или обыденное время есть или точная, или изменчивая, постигаемая чувствами внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения, мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как-то: час, день, месяц, год.
- Доклассическая наука (до XVII в.) не знала понятия абсолютного времени, т.е. «длительности», присущей покоящимся телам. Время в ней определялось исключительно внешним движением.

- **«Абсолютное пространство** по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным.
- **Относительное** есть его мера или какая-либо ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел и которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное»
- В «Оптике» Ньютон назвал абсолютное пространство «чувствилищем Бога» (*sensorium Dei*). Такое отождествление позволяет трактовать характерные свойства абсолютного пространства – бесконечность, однородность и изотропность (равноправность направлений) – как «следствия» соответствующих свойств Бога (проистекающих из Его бесконечности).
- (Это продуманная научно-философская концепция, или всего лишь метафора?)

«... относительные количества не суть те самые количества, коих имена им обычно придаются, а суть лишь результаты измерений сказанных количеств (истинные или ложные), постигаемые чувствами и принимаемые обычно за самые количества».

- Ньютон поясняет далее, что под названиями «время», «пространство», «место» и «движение» следует понимать их меры, постижимые чувствами, т. е. лишь относительные количества. Совершают ошибку те, кто истолковывают такие термины, как сами эти действительные величины, измеряемые физиками. «Не менее того засоряют математику и физику и те, кто смешивают самые истинные количества с их отношениями и их обыденными мерами».

Из уравнений движения материальной точки логически выводятся **три основные теоремы динамики**, а из теорем (при известных ограничениях) - **три закона**:
закон сохранения движения центра масс изолированной системы,
закон площадей для точки, движущейся под действием центральной силы,
закон сохранения механической энергии в поле консервативных сил.

- **Закон I.** *Всякое тело продолжает удерживаться в своём состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.*
- **Закон II.** *Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.*
- **Закон III.** *Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны.*

- Второй закон позволяет найти силу, если известно движение точки; если же в каждый момент движения известна сила, то можно найти все свойства движения материальной точки. Так как при движении тела по инерции (или при таком движении системы отсчета) не требуется действие силы, то второй закон справедлив не только в абсолютном пространстве, но и по отношению к любой инерциальной системе отсчета.
- Ньютон указывает, что Галилей уже использовал первый и второй законы и что Рен, Валлис и Гюйгенс добавляли еще и третий закон при исследовании явлений удара.
- Понятие массы явно не входит в три закона динамики, однако количество движения Ньютоном определено как величина, пропорциональная массе.
- Пропорциональность силы тяготения (тяжести) массе Ньютон проверял многочисленными опытами.

«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАЧАЛА НАТУРАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ» (1687)

- **А. Эйнштейн:**
- **«Дифференциальный закон является той единственной формой причинного объяснения, которая может полностью удовлетворять современного физика».**

- **Следствие I** При силах совокупных тело описывает диагональ параллелограмма в то же самое время, как его стороны — при отдельных.
(В первом следствии сформулирован принцип **независимости действия двух сил на точку**)
- **Следствие III** Количество движения, получаемое беря сумму количеств движения, когда они совершаются в одну сторону, и разность, когда они совершаются в стороны противоположные, не изменяется от взаимодействия тел между собою.
- **Следствие IV** Центр тяжести системы двух или нескольких тел от взаимодействия тел друг на друга не изменяет ни своею состоянием покоя, ни движения; поэтому центр тяжести системы всех действующих друг на друга тел (при, отсутствии внешних действий и препятствий) или находится в покое, или движется равномерно и прямолинейно.
(Четвертое следствие устанавливает **закон сохранения движения центра масс изолированной системы**).

- **Следствие V** Относительные движения друг по отношению к другу тел, заключенных в каком-либо пространстве, одинаковы, покоится ли это пространство, или движется равномерно и прямолинейно без вращения.
- (Пятое следствие является четкой формулировкой **принципа относительности**).
- **Следствие VI** Если несколько тел, движущихся как бы то ни было друг относительно друга, будут подвержены действию равных ускоряющих сил, направленных по параллельным между собою прямым, то эти тела будут продолжать двигаться друг относительно друга так же, как если бы сказанные силы на них не действовали.

ПОУЧЕНИЕ

- До сих пор я излагал начала, принятые математиками и подтверждаемые многочисленными опытами. Пользуясь первыми двумя законами и первыми двумя следствиями, Галилей нашел, что падение тел пропорционально квадрату времени и что движение брошенных тел происходит по параболе; это подтверждается опытом, поскольку такое движение не претерпевает замедления от сопротивления воздуха.

«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАЧАЛА НАТУРАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ» (1687)

- В 5-м и 6-м следствиях Ньютон фактически вводит понятия о привилегированных системах отсчета — инерциальных.
- Широко известный пример Ньютона с вращающимся ведром, наполненным водой, подчеркивает разницу между инерциальными и неинерциальными системами отсчета: пока вода не вращается, у нее плоская поверхность.
- Ньютон приводил и другие примеры тех экспериментов, которые могли бы выявить движение системы отсчета, если бы она имела элемент вращения.
- В такой системе два шарика, соединенные нитью, приводили бы нить в натянутое состояние. В этом примере фактически была высказана идея, воплощенная позже в устройстве прибора для измерения угловой скорости (тахометра).

«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАЧАЛА НАТУРАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ» (1687)

- В первой книге трактата **«О движении тел» (в пустоте)** Ньютон выводит законы Кеплера, исходя из определенных предположений о характере силы.

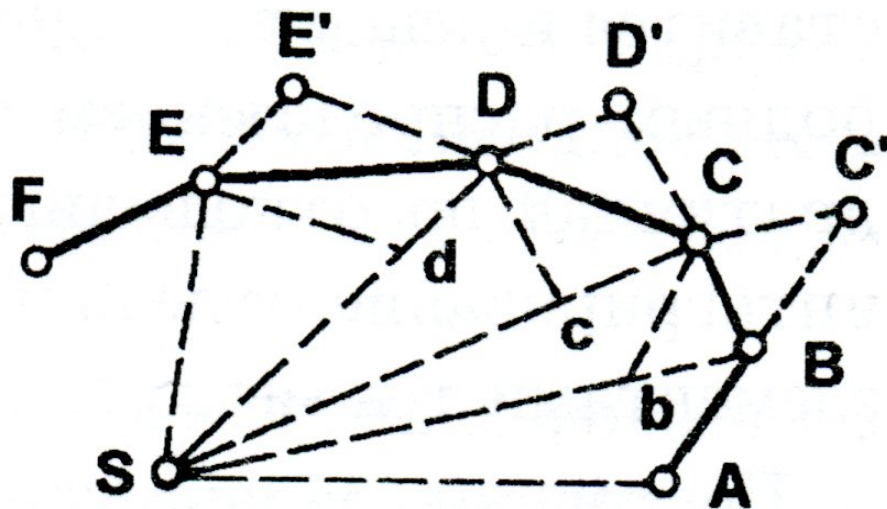
- Отдел I «О методе первых и последних отношений, при помощи которого последующее доказывается»
- В нем излагаются элементы дифференциального и интегрального исчисления.
- Эти идеи высказаны на языке геометрии, т.е. в построениях геометрических фигур с мысленно выполняемыми процессами предельного перехода, например, от ступенчатой кривой к плавной.

«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАЧАЛА НАТУРАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ» (1687)

ОТДЕЛ II

О НАХОЖДЕНИИ ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНЫХ СИЛ

Предложение I. Теорема I



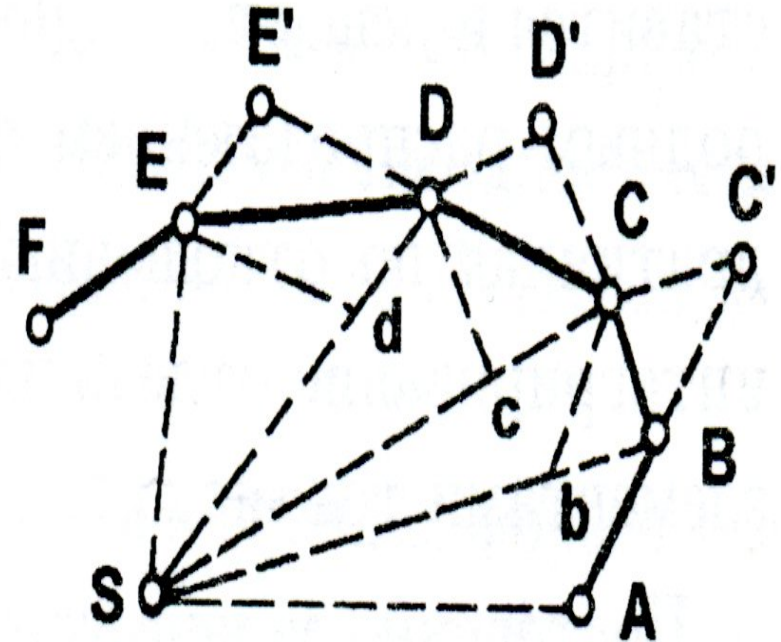
Площади, описываемые радиусами, проводимыми от обращающегося тела к неподвижному центру сил, лежат в одной плоскости и пропорциональны временам описания их.
- закон площадей (второй закон Кеплера), сила центральная

Обозначая через **S** неподвижный центр притяжения, Ньютон разбивает время на равные промежутки; в течение первого из них тело описывает по инерции отрезок **AB**. Без действия сил оно за следующий промежуток времени пришло бы в точку **C** вдоль прямой отрезка **AB**, причем **BC' = AB** по первому закону динамики. Площади треугольников **ASB** и **BSC** равны. По схеме Ньютона, когда тело пришло в точку **B**, на него подействовала «одним большим натиском» центростремительная сила **S**, вследствие чего тело отклонилось от пути **BC** и пошло по **BC** — диагонали параллелограмма **BC'Cb**, сторона которого **Bb** представляет перемещение точки **B**, если бы на него действовала только сила **S** за рассматриваемый промежуток времени. Из построения видно, что **BC** лежит в плоскости **SAB**, а площадь треугольника **SCB** равна площади первоначального треугольника **SAB**. Так же протекает движение точки и в следующий промежуток времени.

.

«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАЧАЛА НАТУРАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ» (1687)

Увеличивая число
треугольников и уменьшая
их высоту бесконечно,
получим, что в пределе
периметр $ABCD$ будет
кривой линией",
расположенной в одной
плоскости и
удовлетворяющей свойству
сохранения площадей,
описываемых радиусом за
равные промежутки
времени.



- С помощью нового исчисления (в геометрической архаичной форме) Ньютон решил задачу об эллиптическом движении планеты под действием притяжения Солнца обратноквадратичного расстоянию. (По существу Ньютон впервые решил фундаментальную задачу динамики: **о криволинейном, неравномерном движении материальной точки под действием центральной силы**).

- **Предложение IV. Теорема IV**
- *При движении тел, описывающих равномерно различные круги, центростремительные силы направлены к центрам этих кругов и пропорциональны квадратам описываемых в одинаковое время дуг, разделенным на радиусы кругов.*
- Замечание Ньютона:
- *«Такого рода предложениями Гюйгенс в превосходном своем сочинении: «De Horologio oscillatorio», и сопоставил силу тяжести с центробежными силами обращающихся тел».*

- **Разобрать доказательство Ньютона, приводимое им в «Началах»!**

- Рассмотрено много задач о невозмущенном движении небесного тела под действием силы притяжения Солнца, обратно пропорциональной квадрату расстояния до Солнца. Доказывается, что в этом случае траектории будут представлять собой различные *конические сечения*.
- Выводятся предложения, содержащиеся в трех законах Кеплера, исходя из определенных предположений о характере силы.

Предложение XL. Изучаются орбиты тел, движущихся под действием центростремительной силы.

Установлен закон **сохранения живых сил**:
если скорости двух тел, движущихся под действием некоторой центростремительной силы, равны при равном удалении от центра (одно тело движется по криволинейной орбите, второе – по прямолинейной), то эти скорости будут равны во всяких других положениях тел при равном их удалении от центра.

Далее Ньютон рассматривает движение планеты под действием возмущающих сил притяжения со стороны какой-либо сосед- соседней планеты, ставит задачу трех и более взаимодействующих тел (отдел XI).

И.Ньютон «Начала», Книга I

Далее Ньютон затрагивает вопросы возмущенного движения планет, под действием возмущающих сил притяжения со стороны какой-либо соседней планеты, при наличии главного фактора – притяжения Солнца.

В *Отделе XI* находим постановку задачи *трех и более взаимодействующих тел* (фактически материальных точек).

И.Ньютон «Начала», Книга I

- Далее Ньютон затрагивает вопросы возмущенного движения планет, под действием возмущающих сил притяжения со стороны какой-либо соседней планеты, при наличии главного фактора - притяжения Солнца.
- В *Отделе XI* находим постановку задачи трех и более взаимодействующих тел (фактически материальных точек).

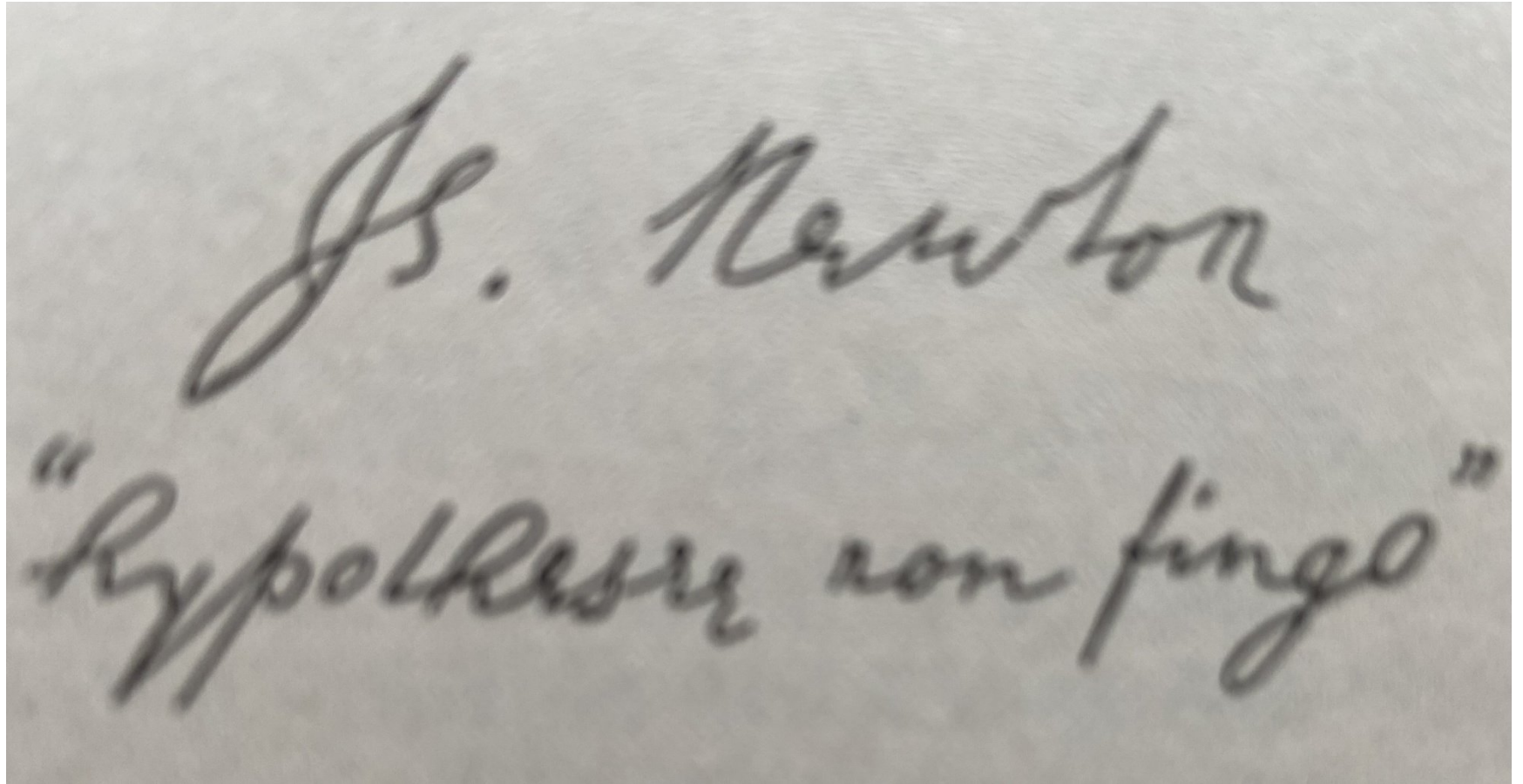
И.Ньютон «Начала», Книга I

- *В XII и XIII отделах* Ньютон занимается разработкой основ теории притяжения **сферических тел** (а затем и тел произвольной формы).
- Сначала ставится и решается **задача о притяжении точки сферическим телом, с однородным распределением плотности. Сила притяжения всюду обратно квадратичная по отношению к расстоянию.**
- Фактически Ньютон выполняет интегрирование отдельных сил притяжения между мысленно выделенными элементами тел (исчезающе малых размеров) с материальной точкой.

И.Ньютон «Начала», Книга I

- Далее рассматривается **притяжение двух однородных сфер, которое сводится к обратно квадратичному притяжению их центров**, как будто массы сфер сосредоточены в этих центрах.
- Рассматриваются вопросы **взаимодействия светоносных частиц с линзами, призмами и пр.**
- Так делается переход к оптическим задачам (о распространении, преломлении световых лучей), трактуемым чисто механически.
- Из задач **технического характера** решаются задачи о колебании маятников в среде без сопротивления (по окружности, циклоиде и сфере).

Автограф Ньютона: «Гипотез не измышляю!»



Is. Newton
"Hypotheses non fingo"

Главное значение трактата «Начала»:

- **Была дана тщательная сводка формулировок основных понятий и основных законов механики, завершающая труды предшественников Ньютона в области той части динамики, которая связана с развитием познания закона ускоряющих сил.**