Лекция 9

Чиненова Вера Николаевна

v.chinenova@yandex.ru

Защита теории Коперника. Письмо Галилея к Бенедетто Кастелли (1613)

- «Хотя не может заблуждаться Писание, но заблуждаться могут иной раз некоторые его истолкователи и изъяснители. Ошибки эти могут быть различными, и одна из них является очень серьезной и очень распространенной; именно ошибочно было бы, если б мы захотели держаться буквального смысла слов, ибо, таким образом, получились бы не только различные противоречия, но и тяжкие ереси и даже богохульства, ибо тогда пришлось бы с необходимостью предположить, что Бог имеет руки, ноги, уши, что Он подвержен человеческим страстям, как, например, гневу, раскаянию, ненависти; что Он также иногда забывает прошлое и не знает будущего. *Итак, в Писании, правда, содержатся многие предложения, которые, взятые в буквальном смысле слова, кажутся ложными, но они выражены таким образом для того, чтобы приспособиться к невосприимчивости простонародья*. Поэтому для тех немногих, которые достойны подняться над черным, ученые истолкователи должны разъяснять истинный смысл этих слов и приводить основания, по которым этот смысл преподносится именно в таких словах.

Защита теории Коперника. Письмо Галилея к Бенедетто Кастелли (1613) Продолжение

- «Таким образом, если Писание, как мы выяснили, во многих местах не только допускает, но и с необходимостью требует истолкования, отличного от кажущегося смысла его слов, то мне представляется, что *в научных спорах оно [Писание] должно привлекаться в последнюю очередь*; ибо от слова Божия произошли и Священное Писание и Природа, первое как дар Святого Духа, а вторая во исполнение предначертаний Господа. Но, как мы приняли, *в Писании, чтобы приноровиться к пониманию большинства людей, высказываются многие положения, несогласные с истиной*, если судить по внешности и брать буквально его слова, тогда как *Природа, напротив, непреклонна и неизменна, и совершенно не заботится о том, будут или не будут ее скрытые основы и образ действия доступны пониманию* людей, так что она никогда не преступает пределы законов, на нее наложенных».

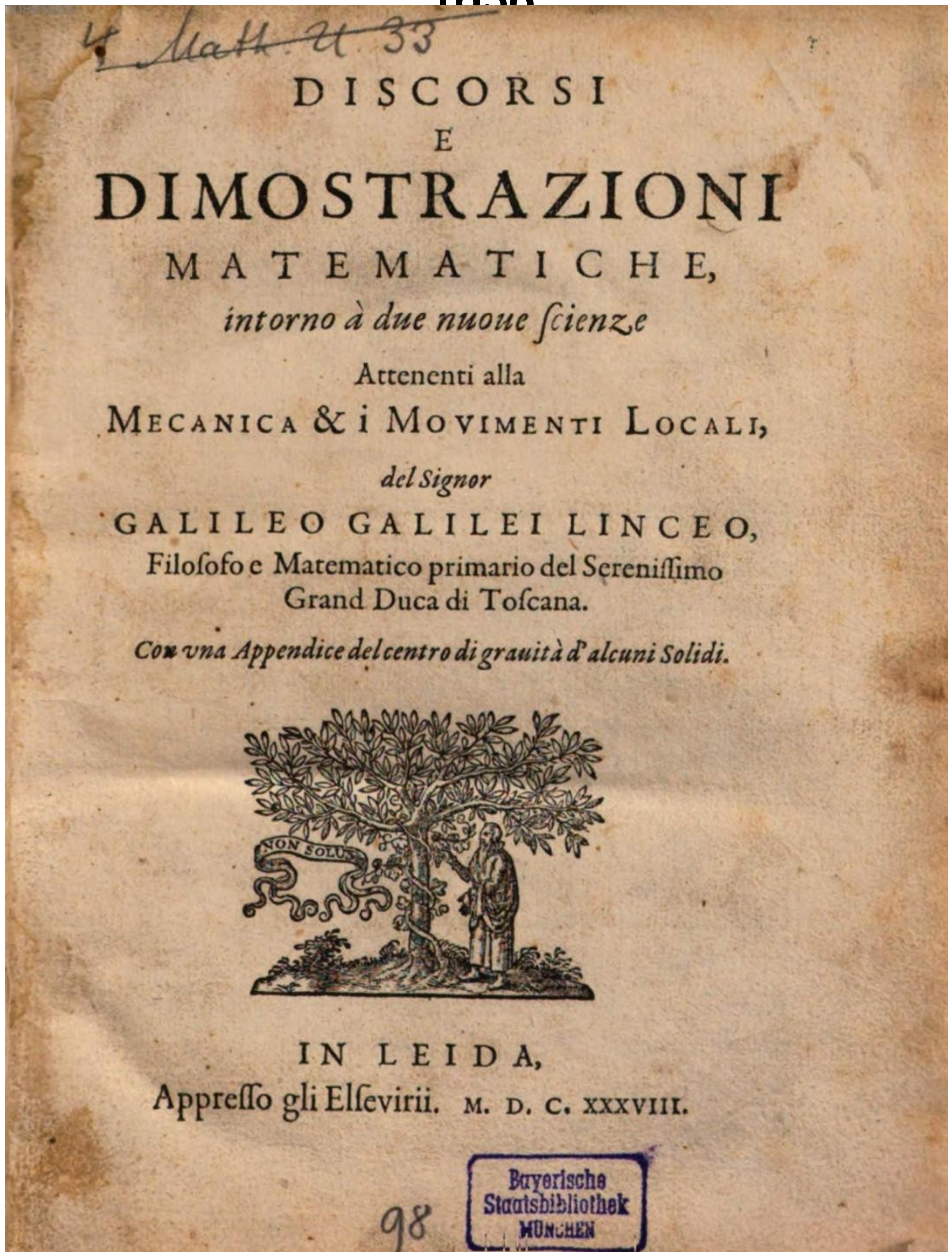
Учение о движении тяжелых тел в трудах Галилея

Галилео Галилей (1564-1642)

Галилео Галилей (1564-1642)

- Для завершения еще более фундаментального труда, Галилей 22 июня 1633 г. принес на коленях публичное покаяние и стал до конца жизни узником инквизиции, проведя последние годы под домашним арестом в Арчетри, близ Флоренции, при строгом надзоре инквизиции. Он потерял зрение, но продолжал упорную работу над новым учением — динамикой. Не устрашась нарушения строгого запрета публиковаться, Галилей сумел издать трактат «**Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки**». Он вышел **в 1638 г**. в Лейдене (Нидерланды), в стране, раньше других освободившейся от феодализма.

Беседы и математические доказательства двух новых наук
Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, 1638



DISCORSI
E
DIMOSTRAZIONI
MATEMATICHE,
intorno à due nuoue ſcienze
Attenenti alla
MECANICA & i MOVIMENTI LOCALI,
del Signor
GALILEO GALILEI LINCEO,
Filoſofo e Matematico primario del Sereniſſimo
Grand Duca di Toſcana.
Con vna Appendice del centro di grauità d'alcuni Solidi.

IN LEIDA,
Appreſſo gli Elſevirii. M. D. C. XXXVIII.

Беседы и математические доказательства двух новых наук Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, 1638.

- ПЕРЕЧЕНЬ ГЛАВНЫХ ТЕМ, ИЗЛАГАЕМЫХ В НАСТОЯЩЕМ СОЧИНЕНИИ
- 1. Первая новая наука, касающаяся сопротивления твердых тел разрушению (ДЕНЬ ПЕРВЫЙ)
- 2. Какова может быть причина такой связности тел (ДЕНЬ ВТОРОЙ)
- 3. Другая новая наука, касающаяся местного движения (ДЕНЬ ТРЕТИЙ) О равномерном движении О естественно ускоренном движении
- 4. О насильственном движении или движении бросаемых тел (ДЕНЬ ЧЕТВЕРТЫЙ). Приложение, содержащее некоторые предложения и доказательства, касающиеся центра тяжести твердых тел
- 5. О евклидовых определениях пропорциональности величин (ДЕНЬ ПЯТЫЙ)
- 6. О силе удара (ДЕНЬ ШЕСТОЙ)

Галилео Галилей (1564-1642)

- В трактате «Беседы» содержатся основы учения о движении падающих и брошенных тел. Многие положения и представления Галилея опережали тогдашнее состояние механики, поэтому даже выдающиеся ученые его эпохи не принимали многие из этих представлений. Б. Кавальери, М. Мерсенн и даже Декарт не приняли тезис Галилея о том, что начинающее падать из состояния покоя тело проходит через все «степени медленности», не имея с первого момента падения определенную конечную скорость («парадокс континуума»). Столь же сомнительным для современников был тезис о пустоте.

Галилео Галилей (1564-1642)

- Это представление, ставшее важнейшим в физике Ньютона, было обусловлено активным общением Галилея с флорентийскими и венецианскими мастерами, опытными ремесленниками, практиками. Именно от них узнал Галилей, что при выкачивании воды из шахт имеется предельная высота (18 локтей), на которую возможно поднять уровень воды в вертикальной трубке. Галилей считал, что если высота воды в трубке, соединяющей дно шахты с насосом, превысит указанный уровень, то тогда вес столба воды будет способен преодолеть «сопротивление образованию пустоты», после чего может образоваться пустота. Галилей не подтвердил это теоретическое положение экспериментально (позже это сделал Торричелли), но его убежденность сыграла немалую роль в развитии воззрений на пустоту.

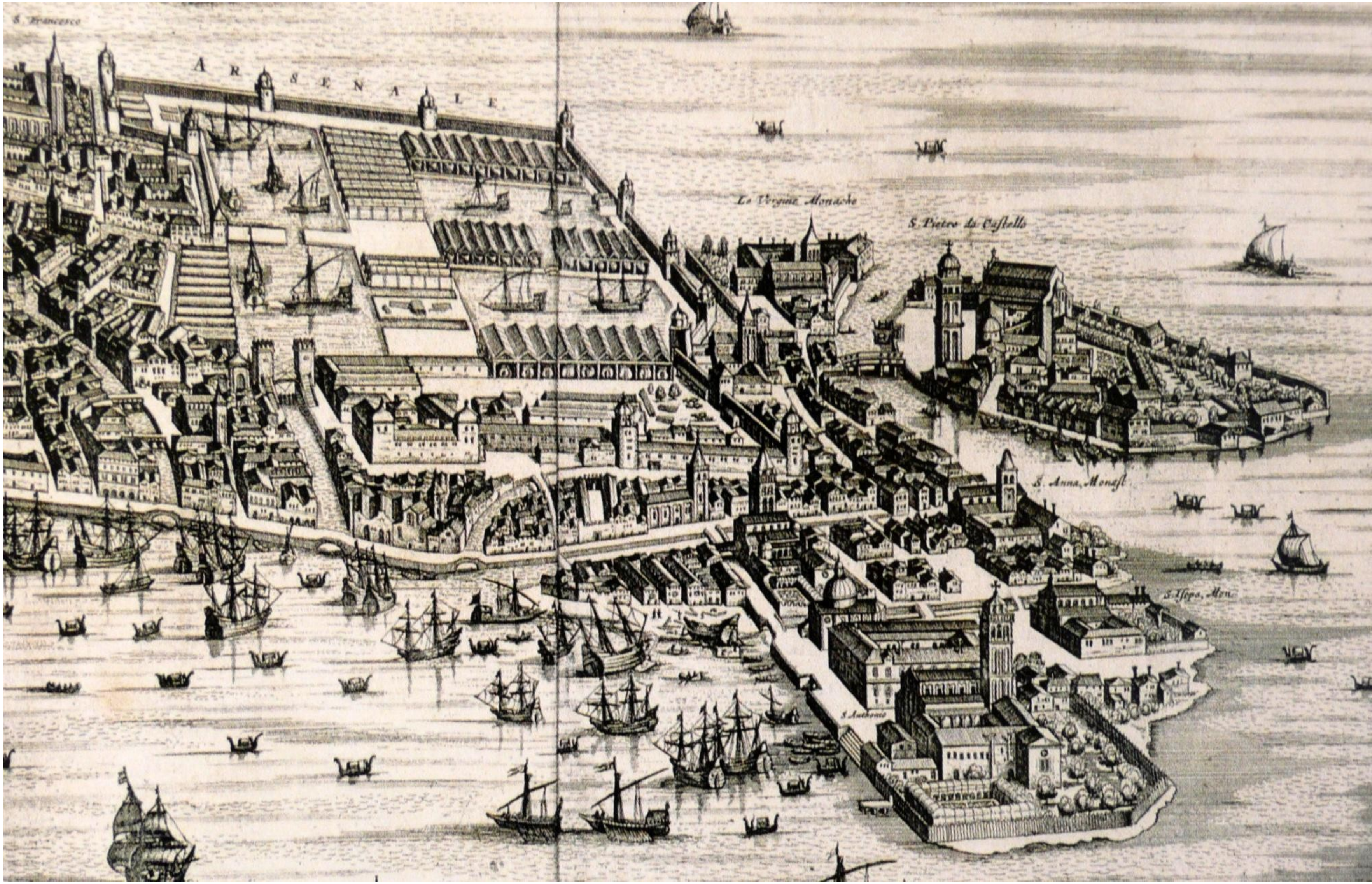
Галилей о Венецианском Арсенале

«*Сальвиати*. Обширное поле для философствования, думается мне, дает пытливым умам постоянная деятельность вашего знаменитого арсенала, синьоры венецианцы, особенно в области, что требуется для механики, поскольку всякого рода инструменты и машины постоянно применяются здесь большим числом мастеров, из которых многие путем наблюдений над созданиями предшественников и размышления при изготовлении собственных изделий приобрели большие познания и остроту рассуждения.

Сагредо. Вы нисколько не ошибаетесь, синьор. Я, будучи по природе любознательным, часто ради удовольствия посещаю это место, наблюдая за деятельностью тех, которых по причине их превосходства над остальными рабочими мы называем мастерами; беседы с ними не один раз помогли мне разобраться в причинах явлений не только чудесных, но и казавшихся сперва совершенно невероятными».

Галилей.«Беседы и математические доказательства двух новых наук» (1638). День первый

Венецианский Арсенал в XVII в.
Гравюра картографа Яна Блау (издание 1724 г.)



Галилео Галилей (1564-1642)
День первый

- «Первый день» посвящен теории падения тяжелых тел. Путем «умственных экспериментов» Галилей опровергает тезис Аристотеля о более быстром падении более тяжелых тел. Если наложить тяжелое тело поверх легкого и предоставить им вместе падать, то нижнее будет тормозить движение верхнего и общее движение будет медленнее падения тяжелого. Но вместе они стали бы тяжелее, чем одно верхнее, и потому должны падать быстрее, чем каждое тело. Это противоречие, по мнению Галилея, показывало неправильность положения Аристотеля о том, что более тяжелые тела падают быстрее легких.
- Не ограничиваясь умозрительными доводами, Галилей перечисляет результаты реальных опытов с маятниками одинаковой длины и с одинаковыми по форме шариками различного веса (из пробки, из свинца и т. д.)
- Он приходит к выводу: «*Если бы совершенно устранить сопротивление среды, то все тела падали бы с одинаковой скоростью*».

Беседы и математические доказательства двух новых наук 1638. День первый

- 1. Тезис об изохронности математического маятника (при любом угле отклонения) со ссылкой на опыт.
- 2. Зависимость периода колебаний только от квадратного корня из длины маятника
- 3. Утверждение о том, что спуск по вогнутой дуге окружности осуществляется быстрее, нежели по стягивающей ее хорде.

- Замечание: в 3-ем дне будет дополнительно доказана следующая теорема: *Рассмотрим окружность в вертикальной плоскости, на которой находится точка A. Проведем хорду AF, соединяющую точку A с самой нижней точкой окружности F. Пусть тело под действием своей тяжести скользит по хорде AF. Независимо от расположения точки A на окружности движение тела по хорде AF происходит в течение одного и того же промежутка времени (с.336)*

Галилео Галилей (1564-1642)
О местном движении

- Галилео Галилей. «О естественно-ускоренном движении»
- *«Прежде всего следует подыскать явлению, имеющему место в природе, подходящее определение и дать последнему объяснение. И хотя, конечно, допустимо представить в уме (confingere) некоторый произвольный вид движения, а затем исследовать его свойства (так, например, [поступили] те, кто представили (sibi finxerunt) спирали (helicas) и конхоиды в виде линий, порожденных не встречающимися в природе движениями, а затем, с блеском (cum laude) вывели из этого предположения их свойства); мы же поставили своей задачей исследовать то, что действительно имеет место в природе при падении тел, и дать определение ускоренного движения, отражающее существенные черты естественно ускоряющегося движения»* (с.281)
- «Беседы и математические доказательства» (1638) День третий.
- Ср. И. Ньютон “hypotheses non fingo”

Галилео Галилей (1564-1642)
День Третий

- Галилей начал построение теории падения тел при отсутствии сопротивления воздуха с введения **понятия равноускоренного движения (движение, при котором в равные промежутки времени скорость получает равные приращения**).
- Исходя из этого определения и дав правильное геометрическое изображение зависимости скорости от времени в равноускоренном движении (улучшенную диаграмму Орезма), Галилей вывел ряд количественных соотношений, характеризующих свойства такого движения.
- **Первая теорема Галилея** устанавливает, *что расстояние, пройденное телом из состояния покоя в равноускоренном движении за некоторое время, равно расстоянию, пройденному телом за то же время в равномерном движении со скоростью, равной половине конечной скорости первого типа движения.*

Галилео Галилей (1564-1642)
День Третий

- Важнейшее свойство равноускоренного движения тела устанавливает **вторая теорема**:
  «*Если тело, выйдя из состояния покоя, падает равноускоренно, то расстояния, проходимые им за определенные промежутки времени, относятся между собой как квадраты времени*».
  Создав полную теорию равноускоренного движения точки, Галилей задает себе вопрос: **действительно ли таково ускорение, которым природа пользуется при движении падающих тел**?
  Вопрос, по мнению Галилея, выясняется только путем точного количественного **эксперимента**. Однако прямой опыт с падением тяжелого тела по отвесному направлению не мог дать Галилею надежных результатов: в его распоряжении не было даже точного хронометра.

Беседы и математические доказательства двух новых наук , 1638. День третий и четвертый

- *День третий:*
  Закон свободного падения
  Законы движения (падения и подъема) по наклонной плоскости и по дуге окружности
- *День четвертый:*
  Закон инерции при движении в горизонтальной плоскости.
  Параболичность траектории полета снаряда – центральный результат динамики Галилея

Галилео Галилей (1564-1642)
День Третий

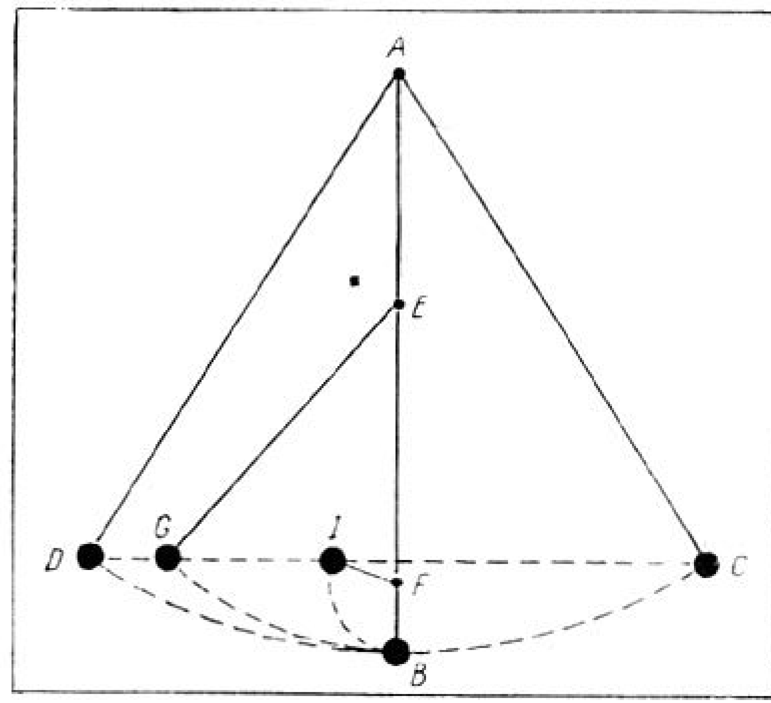
- Отвесное падение тел протекало слишком быстро. Галилей справился с этим затруднением, проводя эксперименты с телом, скользящим вдоль гладкой наклонной плоскости.
- Вдоль наклонной плоскости грузик двигался также равноускоренно, но с меньшим ускорением, что позволяло измерить время движения.
- Галилей проводил многочисленные опыты с бронзовыми шариками, соскальзывавшими по наклонным желобкам, обтянутым гладким пергаментом, причем наклоны плоскостей желобков менялись. В качестве измерителя интервалов времени использовались клепсидры — водяные часы, где количество вытекшей воды при постоянном расходе было мерой времени.

Галилео Галилей 1564-1642 «Беседы»

- **Основной тезис** Галилея о равновысоких наклонных плоскостях:
- **«…степени скорости, приобретаемые одним и тем же телом при движении по наклонным плоскостям, равны между собой, если высоты этих наклонных плоскостей одинаковы».**

Галилео Галилей 1564-1642 «Беседы»

- **Скорость, приобретаемая телом при опускании его с некоторой высоты по некоторому пути, будет достаточна для поднятия тела на такую же высоту по любому пути.**
- Это была элементарная формулировка **закона сохранения механической энергии**, выведенного из эксперимента (1-е издание «Бесед…»).

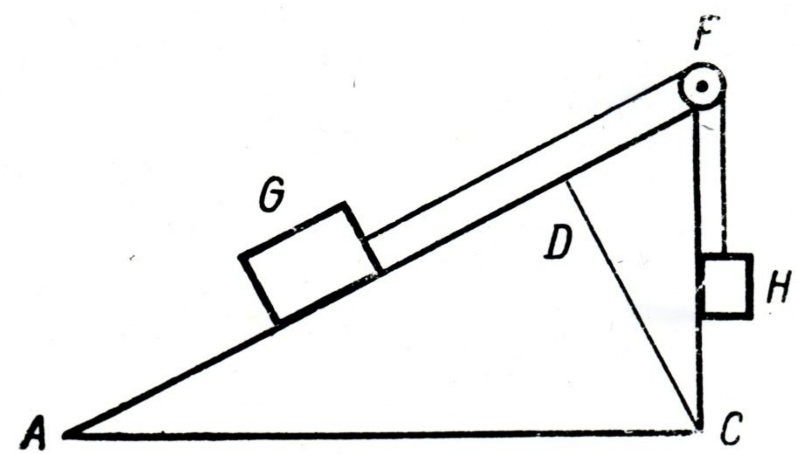


Галилео Галилей 1564-1642 «Беседы»

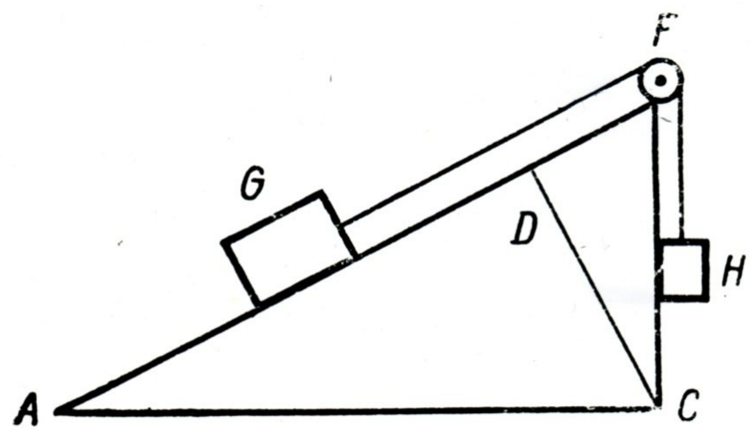
- **«Степень скорости, обнаруживаемая телом, ненарушимо лежит в самой природе, в то время как причины ускорения или замедления являются внешними; ибо при движении по наклонной плоскости вниз наблюдается ускорение, а при движении вверх --- замедление. Отсюда следует, что движение по горизонтали является вечным»**
- (закон инерции!)

Галилео Галилей (1564-1642) «Беседы…»

«Совершенно ясно, что импульс тела к падению столь же велик, как то наименьшее сопротивление или та наименьшая сила, которые достаточны для того, чтобы воспрепятствовать падению и удержать тело».



Галилео Галилей (1564-1642) «Беседы…»



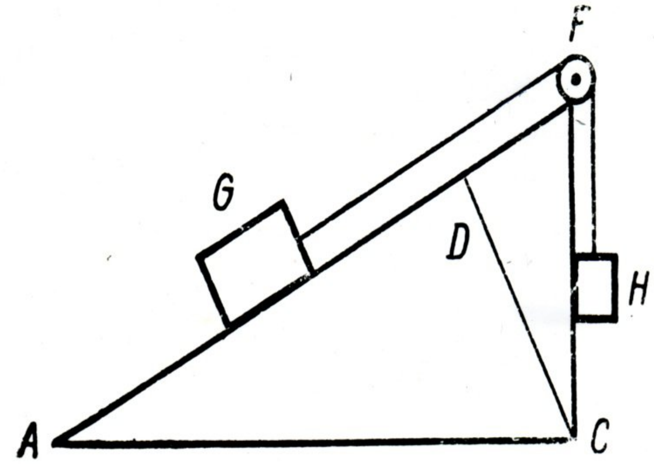
Если перерезать нить *GF*, то тело *G* будет двигаться равноускоренно по гладкой наклонной плоскости *FA.* Так как импульс тела (или его стремление) к падению «столь же велик» как сила, способная его остановить, то в качестве этой силы можно взять тяжесть противовеса *H*, уравновешивающего груз *G* с помощью нити *GFH*.

Галилео Галилей (1564-1642) «Беседы»

$$\frac{j_{AF}}{j_{FC}} = \frac{H}{G} \qquad \frac{H}{G} = \frac{FC}{AF}$$

ß

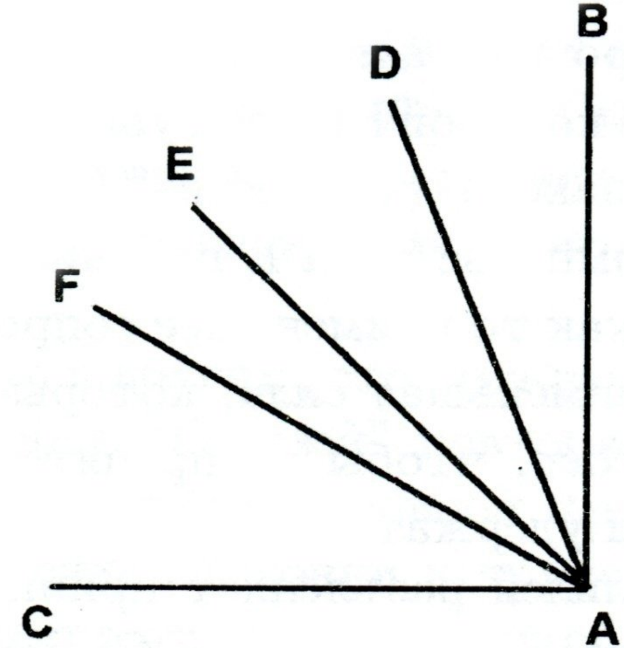
$$\frac{j_{AF}}{j_{FC}} = \frac{FC}{AF}$$



«момент скорости тела» (т.е. ускорение) вдоль данной наклонной плоскости обратно пропорционален длине плоскости

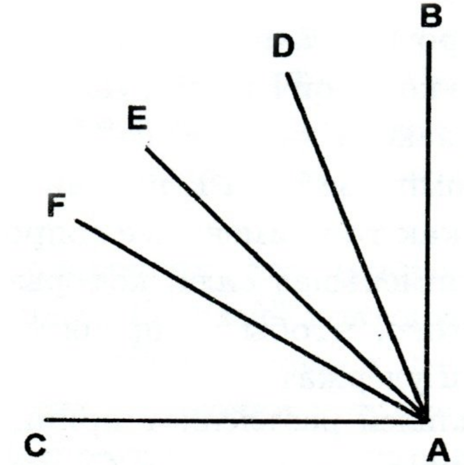
Галилео Галилей (1564-1642) «Беседы…»

- **«Утверждаю, что тело обладает наибольшим импульсом к падению вдоль вертикали *BA*, меньшим - вдоль линии *DA,* еще меньшим - вдоль *EA* и т.д.; импульс постепенно уменьшается по мере приближения к наименее наклонной линии *FA* и *совершенно исчезает при достижении горизонтали CA: здесь тело оказывается индифферентным к движению и покою,* не имея само по себе никакой склонности к перемещению в какую-либо сторону и не проявляя никакого сопротивления передвижению».**



Галилео Галилей (1564-1642) «Беседы…»

Моменты или скорости одного и того же движущегося тела различны при различном наклоне плоскости



Можно пересчитывать ускорения движения тел вдоль данной наклонной плоскости в ускорение вдоль другой плоскости, имеющей иной наклон, а так же и в ускорение движения вдоль отвесной линии.

Закон инерции (предыстория)

- Галилей. «De motu» (1590).
- Формулирует понятие нейтрального движения, предвосхищающее понятие инерции. Модель – шарик, катящийся по сферической поверхности с центром в центре Земли.
- Термин «нейтральное движение» (motus neuter) использовался в схоластике, начиная с сер. XIII в. (Альберт Великий), для обозначения движения, которое не является ни естественным, ни насильственным.
- (*Типичный пример*: вращение мельничного жернова, происходящее в горизонтальной плоскости).
- Импетус средневековья и инерция классической механики на излете средневековья, включая XVI в.:

теория импетуса получила широкое (хотя и не повсеместное) признание. Водораздел между средневековым понятием импетуса и понятием инерции классической механики определяется тем, что в процессе движения *импетус исчерпывается,* и для продолжения движения требуется постоянная энергетическая «подпитка».

В случае *инерциального движения дополнительной энергии не требуется*. Вопрос об истоках понятия инерции – один из центральных вопросов истории науки. Окончательного решения он так и не получил.

Галилео Галилей 1564-1642

- И.Ньютон: «***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***».

Параболичность траектории (структура доказательства)

- 1. Открытие параболической траектории полета снаряда является ключевым моментом становления классической механики.
- 2. В основе доказательства параболичности траектории лежат три принципа, на базе которых впоследствии была построена классическая механика.
- 3. Это – закон инерции (равномерность движения по прямой в отсутствии сил), закон свободного падения (квадратичная зависимость пройденного пути от времени) и закон суперпозиции или параллелограмма движений, в соответствии с которым движение тела в пространстве может быть разложено на независимые компоненты.
- 4. Доказательство параболичности – исторически первый пример эффективного использования этих принципов при построении теории.

- **Два подхода к реконструкции открытия параболичности**
- 1. Согласно **А. Койре** (работы 1935-1964), Галилей не был экспериментатором. Открытие параболичности и, соответственно, законов механики, лежащих в ее основе, стало результатом его теоретических построений. Ссылки Галилея на проводимые им опыты недостоверны. Ключевую роль в создании теории полета сыграли не реальные, а мысленные эксперименты. Ими Галилей нередко злоупотреблял.
- Вывод получен в результате исследования печатных работ Галилея. Статья Койре «Le De Motu Gravium de Galilée. De l’expérience imaginaire et de son abus (1960)».
- 2. Согласно **С. Дрейку** (работы 1972-1993), открытие параболичности и лежащих в ее основе законов механики – результат экспериментальной деятельности Галилея. Реальные эксперименты играли определяющую роль в его творчестве. Этот вывод получен в результате изучения рукописи Codex Ms. Gal. 72, содержащей описание многочисленных опытов Галилея. 3. Несмотря на различие в оценке роли эксперимента, и **Койре, и Дрейк** исходили из единой схемы, согласно которой Галилей сначала открыл законы падения и инерции, а затем сформулировал тезис о параболичности траектории (в 1602-1609). Т.е. в начале он разработал принципы теории, и лишь затем вывел из них саму теорию.

Закон свободного падения (предыстория)

- **Доминго де Сото (Dominico de Soto), (1494-1560)**
- Впервые сформулировал гипотезу о равноускоренном характере падения тяжелого тела (In VIII libros physicorum Aristotelis, 1545).
- Де Сото не связывал закон падения с движением по наклонной плоскости.
- **Галилей Закон свободного падения**
- Галилей сформулировал впервые в 1604 г. в письме к Паоло Сарпи: *«Расстояния, которые тело проходит при естественном движении (падении), относятся как квадраты времени падения. Следовательно, расстояния, пройденные за равное время, связаны друг с другом, как последовательные нечетные числа, начиная с единицы»*.
- Иными словами, в первый интервал времени тело проходит расстояние 1, во второй – 3, в третий – 5, в четвертый – 7, и т.д. $v \propto t$, $s \propto t$
- 2 Изначально Галилей допустил ошибку. Он полагал, что скорость увеличиается линейно в зависимости от расстояния от точки падения. Иными словами, он полагал, что $v \propto s$. «*Тело, которое движется естественным образом, увеличивает скорость в зависимости от расстояния от точки падения».*
- В 1604 г. ошибка была исправлена.

Третий подход к реконструкции открытия параболичности
(Институт истории науки Макса Планка, Берлин) J. Renn, P. Damerow, S. Rieger, M. Camerota “Hunting the White Elephant. When and How Did Galileo Discover the Law of Fall?” (1998).

1.Ставится под сомнение общепринятая точка зрения на последовательность событий, приведших к открытию параболичности. Выдвигается тезис о том, что Галилей пришел к идее параболичности еще в 1592 г. в ходе опытов, проводившихся совместно с Гвидо дель Монте.

Законы свободного падения и инерции он сформулировал позднее с целью обоснования параболичности. Помимо теоретического обоснования своей гипотезы Галилей искал ее экспериментального подтверждения, проводя (реальные) опыты.

2. Сочетание теоретизирования и экспериментальной практики характерная черта так называемых «инженеров-ученых» – практических механиков с теоретическими интересами, работавших во второй половине XVI в. Наиболее известные среди них – Н. Тарталья (баллистика, наука о весах), Гвидобальдо дель Монте (теория простых машин).

3. Галилей находился под влиянием этого направления.

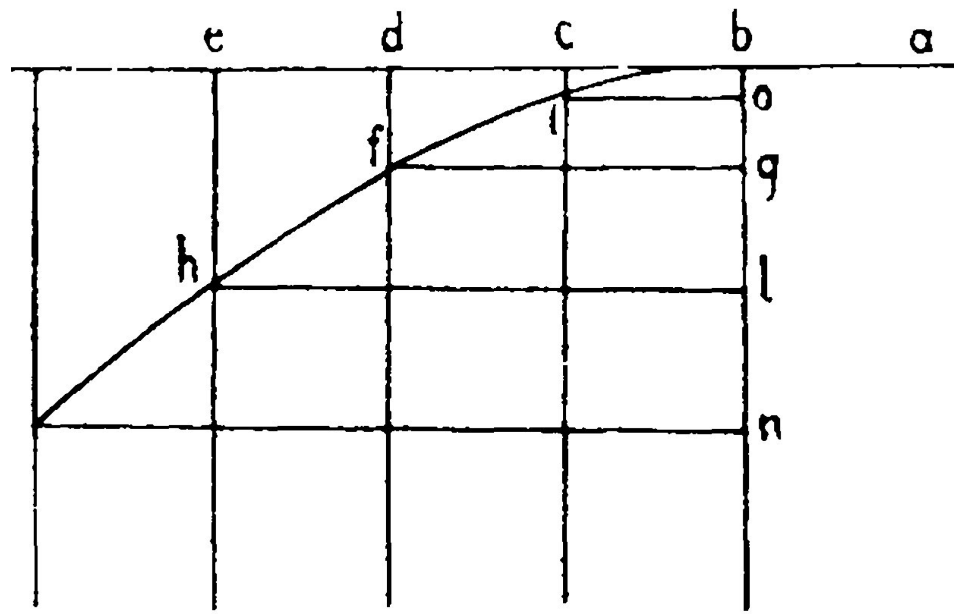
Галилео Галилей «Беседы…». День четвертый

Движение бросаемых в пустоте тяжелых тел
или баллистическая задача.

- **«Возникает сложное движение, говорит он, слагающееся из равномерного горизонтального и естественно-ускоренного вниз: его я называю движением бросаемых тел».**

- Второе равноускоренное движение, уточняет Галилей, вызвано силою тяжести.

Галилей доказывает, что траектория такого движения тела — парабола; он доказывает разнообразные свойства движения, в частности тот факт, что наибольшая высота достигается при стрельбе под углом 45° к горизонту. Здесь же приводятся таблицы стрельбы, рассчитанные Галилеем, о которых он говорит, что они имеют важное практическое значение в применении к метанию снарядов посредством мортир.



Откладывая по горизонтальной прямой равные отрезки расстояний, проходимых точкой в каждую единицу времени (*из-за того, что импульс к падению на такой прямой равен нулю),* затем откладывая на отвесной, направленной вниз полуоси отрезки расстояний, проходимые в каждую единицу времени *в равноускоренном движении*, Галилей доказал, что баллистическая пустотная кривая - полупарабола, а для движения тяжелых тел, брошенных под углом к горизонту парабола, состоящая из двух симметричных ветвей.

Параболическая траектория брошенного тела
Галилей, «Беседы…» (1638) День Четвертый

1.В «Беседах» отсутствует теорема о параболичности для общего случая, когда снаряд выпущен под произвольным углом возвышения.

2.Галилей доказывает теорему о параболичности только для случая горизонтального выстрела (теорема 1, предложение 1). В его доказательстве используются три «предшественника» законов классической механики: закон инерции, закон квадратичной зависимости пути от времени при свободном падении и правило параллелограмма. Но только закон квадратичной зависимости пути от времени носит абсолютный характер. Два других ограничены горизонтальной стрельбой.

3.Согласно Галилею, перемещение снаряда по линии действия импетуса равномерно только в случае горизонтальной стрельбы. Строго говоря, принцип инерции Галилей сформулировал для движения не по горизонтали, а по окружности, центр которой совпадает с центром Земли (принцип круговой инерции).

4.Закон параллелограмма движений выполняется в отношении стрельбы в «горизонтальном» направлении. Только в этом случае полет снаряда есть композиция двух *независимых* движений – перемещения по окружности, центр которой совпадает с центром Земли, и падения по вертикали (задача 1, предложение 4).

Галилей о траектории снаряда при произвольном угле возвышения орудия (при положительном угле бросания)

1. Вначале Галилей рассматривает случай горизонтальной стрельбы и доказывает для него теорему о параболичности траектории. Из этой теоремы он выводит ряд свойств движения снаряда по нисходящей ветви параболы.
2. Затем Галилей рассматривает случай стрельбы под положительным углом к горизонту. Без каких-либо пояснений (как будто речь идет о самоочевидном факте) он использует свойства, характеризующие полет снаряда, выпущенного горизонтально. Галилей исходит из того, что траектория полета состоит из двух симметричных ветвей, каждая из которых является полупараболой. При этом обе они совпадают с полупараболой, описываемой снарядом, выпущенным в горизонтальном направлении из верхней точки траектории.
3. «Постулат» о тождестве ветвей Галилей использует в доказательстве теоремы о том, что максимальная дальность стрельбы («амплитуда параболы») достигается при угле возвышения в 45° (следствие к теореме 4, предложение 7). На этот «постулат» опирается также доказательство теоремы о равенстве «амплитуд парабол» при стрельбе под углами, «отклоняющимися на одну и ту же величину в ту или другую сторону от половины прямого» (теорема 5, предложение 8) .

Критика подхода Галилея его современниками

1. На отсутствие оснований для отождествления *восходящей* ветви при положительном угле возвышения и *нисходящей* ветви при горизонтальной стрельбе первым указал Рене Декарт. Согласно Декарту, Галилей поступил незаконно, поскольку неявным образом опирался на утверждение, которое хотел доказать (письмо М. Мерсенну).

2. Пробел в рассуждениях Галилея отметил также Торричелли. «*Когда линия стрельбы отлична от горизонтальной, то есть, идет вверх или вниз, траекторией брошенного тела будет некоторая кривая линия … Однако, вывод, что эта кривая будет параболой и, тем более, [той самой] параболой, которую описывает тело, брошенное горизонтально из ее вершины, является до сих пор, скорее, желаемым, нежели точно установленным (hactenus desideratur magis, quam probatur).*»

E. Torricelli, Opera geometrica (1664). Раздел «О полете брошенного тела».

Галилео Галилей 1564-1642 «Беседы»

Галилей: «**необходимо найти меру скорости такую, которая была бы для всех понятной, приемлемой и одинаковой в различных случаях".**

Речь идет не о самой скорости, ибо она не может быть одинаковой для всех тел, а о величине, характеризующей возрастание скорости падающего тела (ускорении), так как именно эта искомая величина остается неизменной для ``естественно падающих тяжелых тел, у коих *возрастание* скорости во всех частях света происходит в одинаковой степени,… которая приобретается, для примера, свинцовым шаром, весом в один фунт, вышедшим из состояния покоя и падающим вертикально с определенной высоты, сохраняется подходящею для выражения величины импульса, который получается при естественном падении»

Галилео Галилей 1564-1642 «Беседы»

Искомой мерой «импульса тела к падению» (земного ускорения) будет конечная скорость падения тяжелого тела (единичной массы) к концу **определенного** промежутка времени. Эта величина равна удвоенной высоте падения грузика из состояния покоя к концу означенного промежутка времени (лучше всего, если этот промежуток времени принят за единицу).

Галилео Галилей 1564-1642 «Беседы»

- Обозначим через H высоту падения грузика из состояния покоя за первую секунду времени, v - скорость, приобретенная грузиком за это время, g – ускорение силы тяжести или «момент» («импульс») скорости; формула Галилея принимает вид:

$$g = 2H, \quad t = 1.$$

- Такой способ определения численной величины ускорения силы тяжести продержался до XIX в.

- Х.Гюйгенс в трактате ``Маятниковые часы'' нашел численное значение длины секундного маятника: в переводе на современные размерности это дает
 99, 45 см.
- При этом Гюйгенс, как промежуточный результат, получил **численную величину высоты падения тяжелой точки за первую секунду: 489,9 см.**
- **Если по правилу Галилея удвоить эту высоту, то получим численную величину земного ускорения: 979,9 см;**

 тогда еще не осмеливались относить футы (и др. меры длины) к величинам других размерностей, например, к секундам или их квадратам.

Оценка вклада Галилея в XVIII в.

- В 1705 г. **П. Вариньон** составил дифференциальное уравнение материальной точки единичной массы под действием одной силы тяжести:

$$p=dv/dt\ .$$

  Вариньон считает, что в этой формуле выражена ``**гипотеза Галилея**'' о постоянстве тяжести ***p*.**
- Затем Вариньон вводит в рассмотрение силу сопротивления воздуха, представляя ее линейной функцией времени, а, следовательно, и скорости:

$$adt+tdt=adv,$$

  такой вид имеет дифференциальное уравнение тяжелой точки, движущейся в среде с линейным сопротивлением, ***a*** - некоторая постоянная, вводимая Вариньоном.
- Качественно такую задачу обсуждали Сальвиати и его собеседники в ``Беседах'' Галилея.

Оценка вклада Галилея в XVIII в.

- **Д. Бернулли** в публикации в ``Комментариях Петербургской академии наук'' (1728 г.), записав дифференциальное уравнение движения тяжелой точки в форме ***dv=pdt*** назвал это соотношение **принципом Галилея**

Оценка вклада Галилея в XVIII в.

- **И. Бернулли** определяет силу тяжести почти в тех же выражениях, что и Галилей, говоря, что она «**ускоряет тела, падающие, поднимающимся же телам противодействует и их движение замедляет».**

- **«Пусть *g* будет силой тяжести, т.е. естественным ускорением, которым тяжелые тела одушевляются для вертикального падения. Отсюда, если *A* и *B* обозначают массы тел, то их абсолютные веса должны быть выражены через *gA* и *gB*»**