

Лекция 8

**Учение о движении
тяжелых тел в трудах
Галилея**

Галилео Галилей (1564-1642)



Галилео Галилей (1564-1642) «Беседы...»

В 1638 г. «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки» вышли в Лейдене (Нидерланды).

Трактат **«Беседы»** состоит из шести частей («Дней»), на протяжении которых **Сальвиати** (персонаж, выражающий мнение автора), **Сагрето** и **Симпличио** обсуждают важнейшие проблемы механики и физики.

Галилео Галилей (1564-1642) «Беседы...»

- Галилей перечисляет результаты реальных **опытов с маятниками** одинаковой длины и с одинаковыми по форме шариками различного веса (из пробки, из свинца и т.п.), совершающими **синхронные колебания при одинаковых начальных условиях.**

Галилео Галилей (1564-1642) «Беседы...»

- **«Если бы совершенно устранить сопротивление среды, то все тела падали бы с одинаковой скоростью».**
- Галилей начал построение абстрактной теории падения тяжелого тела при отсутствии сопротивления воздуха с введения четкого понятия ***равноускоренного движения***: это - движение тела, при котором в равные промежутки времени его скорость получает равные приращения.

Галилео Галилей 1564-1642 «Беседы»

- ***Первая теорема:***

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 «Беседы»

Вторая теорема:

- **«Если тело, выйдя из состояния покоя, падает равномерно ускоренно, то расстояния, проходимые им за определенные промежутки времени, относятся между собой как квадраты времени»**

Галилео Галилей 1564-1642 «Беседы»

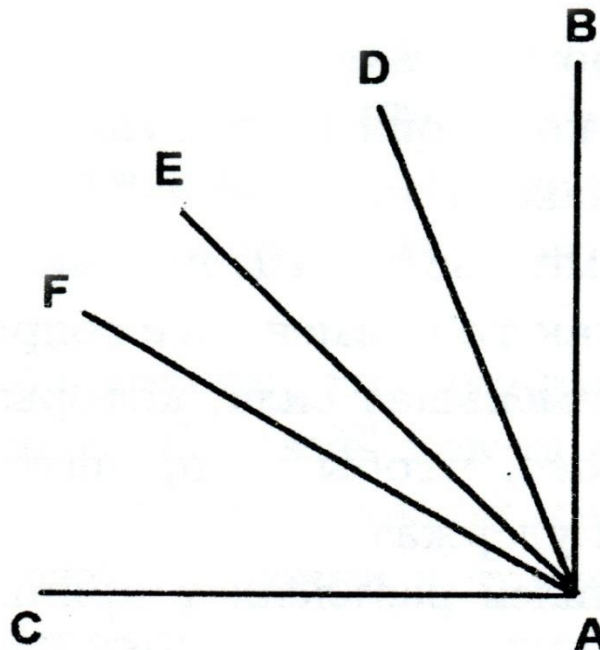
- Создал полную теорию равноускоренного движения точки, Галилей задает себе вопрос: **действительно ли таково ускорение, которым природа пользуется при движении падающих тел?**

Галилео Галилей 1564-1642 «Беседы»

- Галилей проводил многочисленные опыты с бронзовыми шариками, опускавшимися по наклонным желобкам, обтянутым гладким пергаментом, причем наклоны желобков к вертикали менялись. В качестве измерителя времени использовались клепсидры.
- Галилей показывает, что **типы равноускоренных движений точки** могут быть **различны**: в одних случаях скорость нарастает по времени быстрее, в других - медленнее.

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».

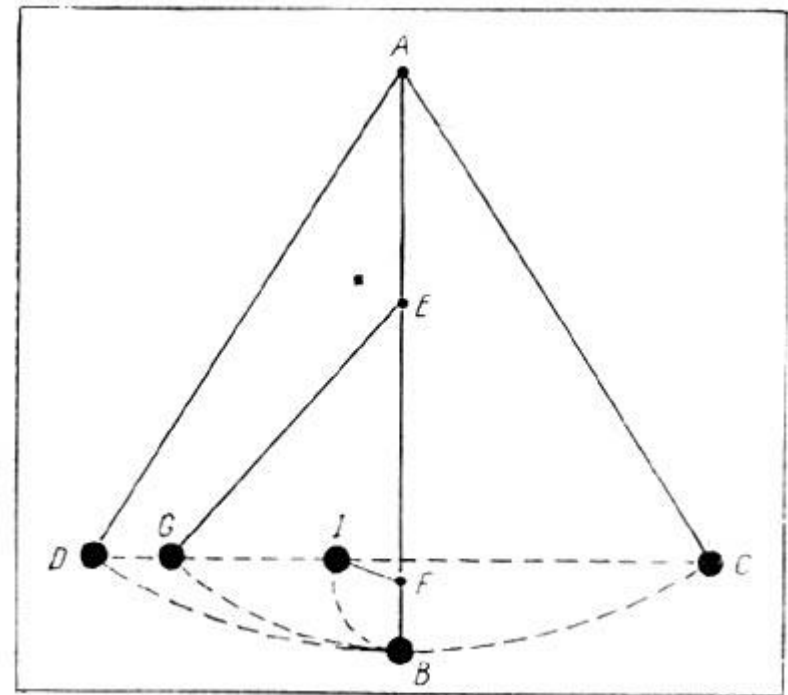


Галилео Галилей 1564-1642 «Беседы»

- **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.

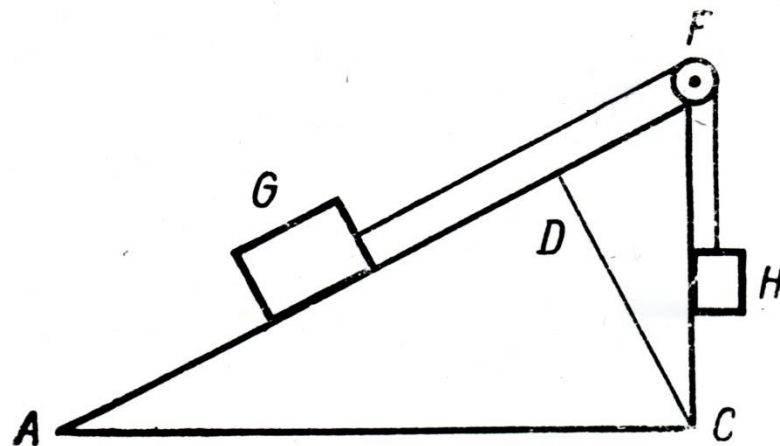


Галилео Галилей 1564-1642 «Беседы»

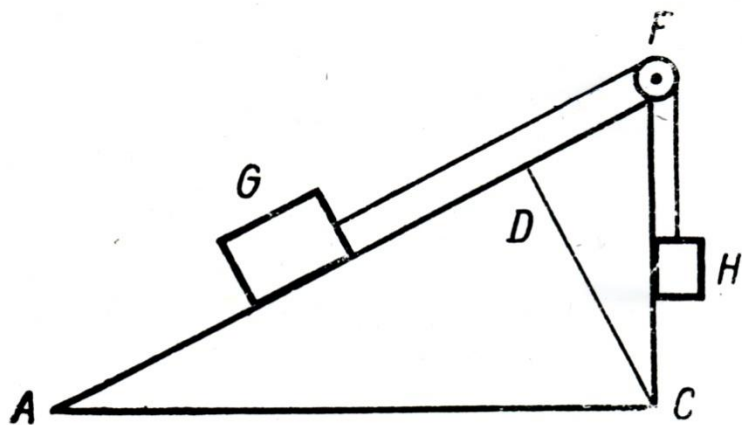
- **«Степень скорости, обнаруживаемая телом, ненарушимо лежит в самой природе, в то время как причины ускорения или замедления являются внешними; ибо при движении по наклонной плоскости вниз наблюдается ускорение, а при движении вверх --- замедление. Отсюда следует, что движение по горизонтали является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



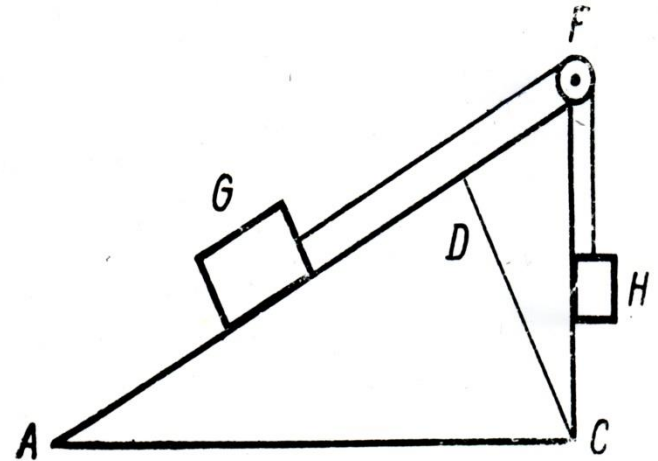
Если перерезать нить GF , то тело G будет двигаться равноускоренно по гладкой наклонной плоскости FA . Так как импульс тела (или его стремление) к падению «столь же велик» как сила, способная его остановить, то в качестве этой силы можно взять тяжесть противовеса H , уравновешивающего груз G с помощью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

Галилео Галилей (1564-1642) «Беседы»

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



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

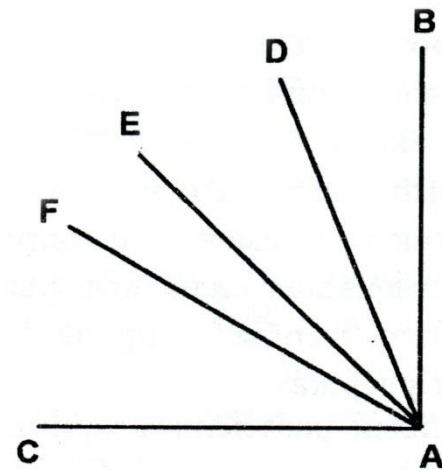


«момент скорости тела» (т.е. ускорение) вдоль данной наклонной плоскости обратно пропорционален длине плоскости

Галилео Галилей (1564-1642) «Беседы...»

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.



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».

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, a , 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.

- **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 »

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 **$dv=pd t$** назвал это соотношение **принципом Галилея**

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.

Г.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.

Откладывая по горизонтальной прямой равные отрезки расстояний, проводимых 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.

Галилей создал первые таблицы стрельбы, о которых сказал, что они имеют важное практическое применение к метанию снарядов посредством мортир.

Галилей доказал, что наибольшая дальность достигается при стрельбе под углом 45 градусов к горизонту.

Он дал способ определения конечной скорости снаряда и скорости в любом месте траектории.