

Лекция 9

Теория соударений в XVII – XVIII вв.

Теория соударений...

- В картезианской физики: удар и контактное взаимодействие признавались единственной формой взаимодействия тел, частным случаем которого считалось давление жидкости и газа.
- Взаимодействие тел через пустоту картезианцы отрицали.

Теория соударений...

- **В 1668 г. Лондонское Королевское общество объявило конкурс на лучшее исследование по теории соударения тел. На конкурс были представлены сочинения двух английских ученых К. Рена (1632-1723) и Дж. Валлиса (1616-1703) и голландца Х. Гюйгенса (1629-1695).**

Джон Уоллис (Валлис) - John Wallis (1616-1703)



Английский священнослужитель и математик , которому присвоена номинальная большая заслуга в развитии исчисления бесконечно малых . Между 1643 и 1689 годами он служил главным криптографом в парламенте , а затем в королевском дворе.

Ему приписывают введение символа ∞ для представления концепции бесконечности .

Дж. Уоллис был современником Ньютона и одним из величайших интеллектуалов раннего возрождения математики.

Теория соударений...

- В 1668 г., **Уоллис** ограничился, не оговаривая этого, рассмотрением случаев **абсолютно неупругих ударов**. В качестве основной количественной характеристики он использовал здесь понятие **«момента»**: **произведение скорости тела на его вес**.

Теория соударений...

- Рассматривая два тела с весом P_1 и P_2 , движущиеся по одной прямой со скоростями V_1 и V_2 до соударения, Уоллис получает для общей скорости U этих тел после соударения соотношение (без док-ва):

$$P_1 \times V_1 \pm P_2 \times V_2 = (P_1 + P_2) \times U$$

Теория соударений...

- Вскоре вышел в свет **трехтомный трактат Уоллис «Механика или о движении»**, где имелась уже развернутая теория соударения тел; в основу этой теории им были положены четко сформулированные **законы инерции и неизменности** суммарной величины «силы движения» или «момента», т.е. по существу **количества движения**.
- Здесь Уоллис попытался ввести **различие между ударами абсолютно неупругим и абсолютно упругим**.

Johannis Wallisi, S S. Th. D.
GEOMETRIÆ PROFESSORIS
SAVILIANI in Celeberrimâ
Academia OXONIENSI;
OPERV
MATHEMATICORVM
Pars Prima.

Qua Continentur,

Oratio Inauguralis.

Mathesis Universalis; sive, Arithmeticum opus Integrum, tum Numerosam Arithmeticam tum Speciosam complectens.

Adversus Meibomii; de Proportionibus Dialogum,
Tractatus Elencticus.



OXONII,
Typis LEON. LICHFIELD Academiz Typographi,
Impensis THO. ROBINSON. Anno 1657.

Кристофер Рен- Christopher Wren (1632-1723)

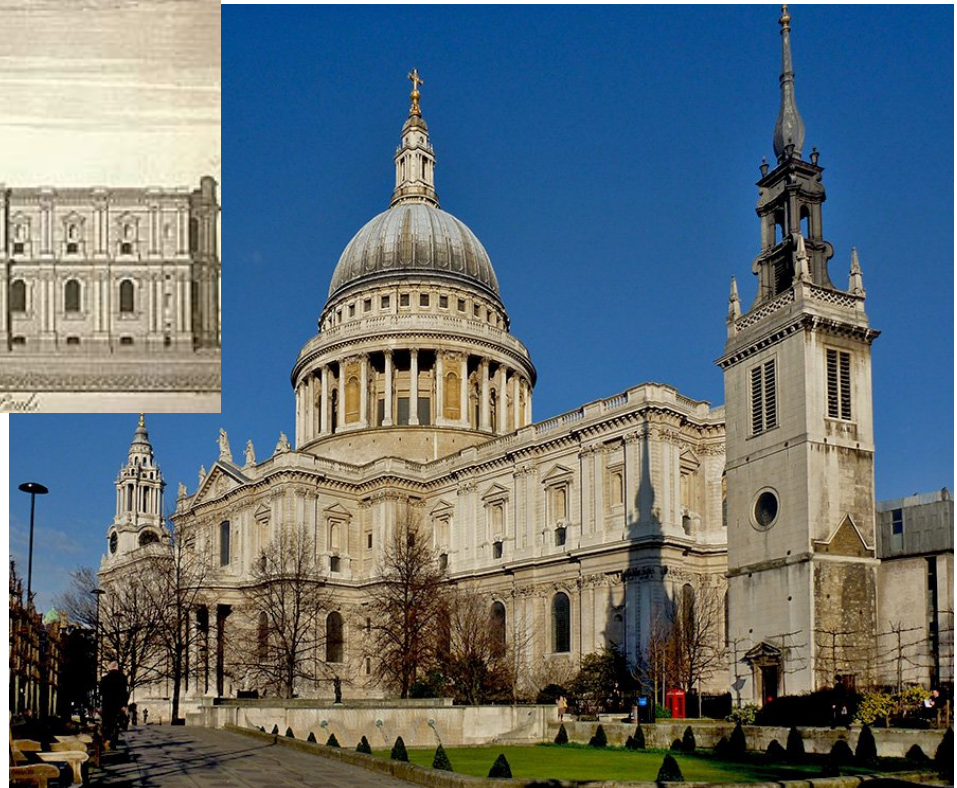


Сэр К. Рен — английский **архитектор** и математик, который перестроил центр Лондона после великого пожара 1666 года.

Профессор математики в Оксфорде и один из основателей и деятельных членов Лондонского королевского общества, занимался исследованиями и решениями многих вопросов математики и механики.

Создатель национального стиля английской архитектуры — т. н. **реновского классицизма**.

Собор Св. Павла в Лондоне



К. Рен (1632-1723)

- **К. Рен** в мемуаре, поданном на конкурс, изложил правила расчета соударения **упругого удара** (не дав этому явлению четкого определения)

$$P_1 \times V_1 \pm P_2 \times V_2 = P_1 \times U_1 \pm P_2 \times U_2$$

(в символах современной механики)

Христиа́н Гю́йгенс ван Зёйлихем
(*Christiaan Huygensens* [1629](#) - [16](#)



Христиа́н Гю́йгенс - голландский физик, механик, математик и астроном, Христиан Гюйгенс, был непосредственным преемником Галилея в науке. Лагранж говорил, что Гюйгенсу «было суждено усовершенствовать и развить важнейшие открытия Галилея».

Х.Гюйгенс (1629-1695)

- В 1669 г. Х.Гюйгенс представил свое предварительное сообщение о законах соударения Королевскому обществу.
- Мемуар Гюйгенса опубликовал парижский «Журнал ученых» (*Journal de Savants*)
Более обширное изложение того же исследования **Х. Гейгенса «О движении тел под влиянием удара»** было опубликовано посмертно в **1703г.**

- Гюйгенс предлагает способ определения скоростей тел после их соударения. Основной текст его трактата **«Теория удара твердых тел»** был закончен в 1652 году, но свойственное Гюйгенсу критическое отношение к своим трудам привело к тому, что трактат вышел только после смерти Гюйгенса.
- Правда, будучи в Англии в 1661 году, он демонстрировал опыты, подтверждающие его теорию удара. Секретарь Лондонского Королевского общества писал: «Был подвешен шар весом один фунт в виде маятника; когда он был отпущен, то по нему ударил другой шар, подвешенный точно так же, но только весом в полфунта; угол отклонения был сорок градусов, и Гюйгенс после небольшого алгебраического вычисления предсказал, каков будет результат, который оказался в точности соответствующим предсказанию».

Х.Гюйгенс (1629-1695)

- Мемуар Гюйгенса «О движении тел под влиянием удара» начинается с формулировок *трех основных гипотез*, к которым далее добавляется еще две.
- Четкого разграничения упругого и неупругого удара у Гюйгенса еще нет. Имея в виду по существу *упругие тела*, Гюйгенс называет их «твердыми».

Х.Гюйгенс (1629-1695)

- Первая гипотеза представляет собой **закон инерции.**
- Во второй утверждается, что после удара твердые тела равной величины обмениваются направлениями равных скоростей, не изменяя величины их. Таким образом, эту гипотезу можно считать **определением упругого удара тел.**

Х.Гюйгенс (1629-1695)

- **Гюйгенс ввел способ представления скоростей тела до и после удара с помощью тех высот, падая с которых тела получали бы такие же скорости.**
- **Эти высоты Гюйгенс, как и Галилей, полагал пропорциональными квадратам самих скоростей в конце падения, устанавливая по существу некоторую энергетическую закономерность.**

Х.Гюйгенс (1629-1695)

- Гюйгенс сформулировал следующее важное предложение: **при соударении двух тел сумма произведений их «величины» (массы) на квадрат их скорости остается неизменной до и после удара.**
- Тем самым Гюйгенс впервые устанавливал **закон сохранения кинетической энергии при ударе (предполагавшемся упругим).**

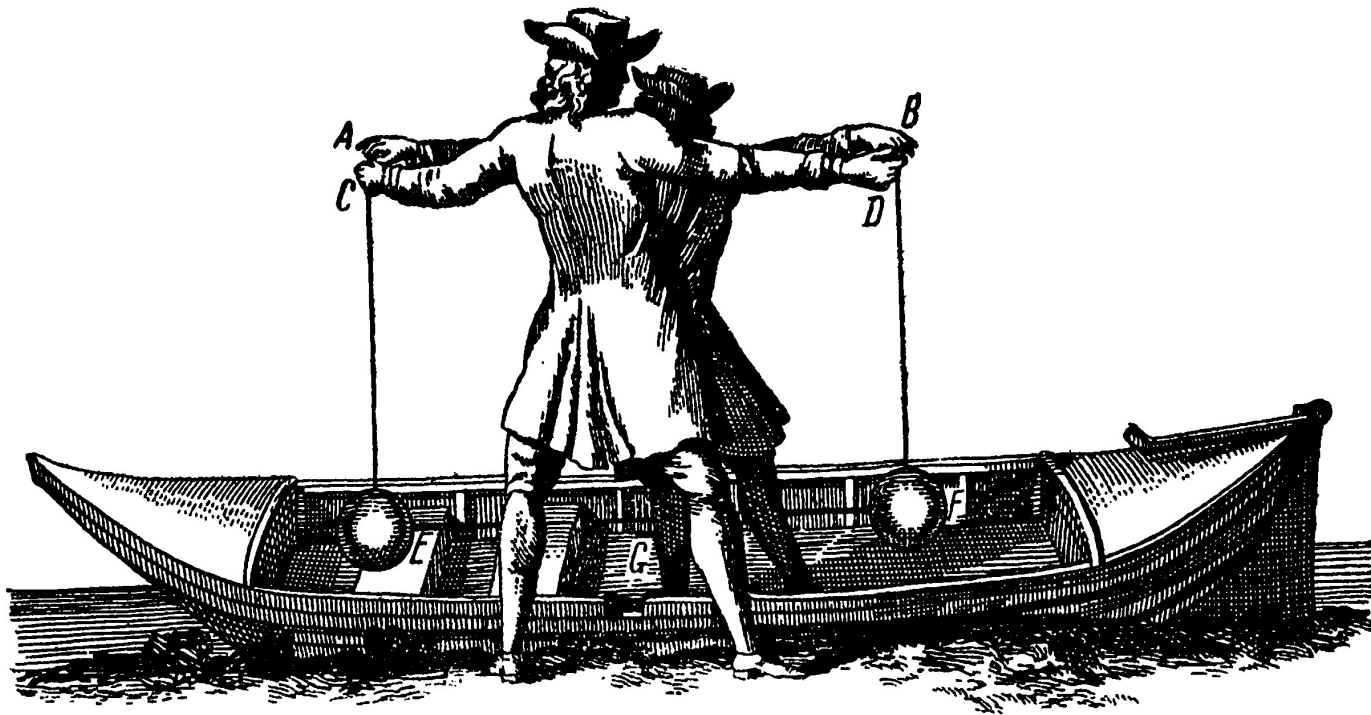
Х.Гюйгенс (1629-1695)

- Гюйгенс сформулировал еще одну гипотезу:
кинематический принцип относительности в применении к явлению соударению тел.
- «Два тела, соударяясь, даже в случае, если оба вместе участвуют еще в другом равномерном движении, для лица, также участвующего в общем движении, действуют друг на друга так, как будто бы этого общего движения не существовало».

Х.Гюйгенс (1629-1695)

- Пусть корабль или лодка движется прямолинейно и равномерно со скоростью u . Пассажир соударяет на нитях два «одинаковых» (по массе) шара, каждый из которых имеет скорость u , причем прямая скоростей соударения шаров совпадает с направлением движения корабля. Тогда по принципу относительности явление удара не зависит от движения корабля, шары обмениваются скоростями после удара; а абсолютные скорости шаров до удара будут: $2u$ и 0 , после удара: 0 и $2u$, т.е. шары с неравными (абсолютными) скоростями при упругом ударе обмениваются скоростями, если масса шаров одинакова.

О ДВИЖЕНИИ ТЕЛ
ПОД ВЛИЯНИЕМ
УДАРА



Исаак Ньютон (*Isaac Newton*) (1643-1727)



И.Ньютон (1643-1727)

- В 1664 г. **Ньютон** рассмотрел задачу о **неупругом ударе двух тел.**
- Ньютон в отличие от Декарта **сложение количеств движения точечного тела трактует алгебраически, а иногда с учетом их различных направлений (т.е. арифметически).**

И.Ньютон (1643-1727)

- «Коэффициент восстановления» при ударе.
- «В телах не вполне упругих скорость расхождения должна быть уменьшаема соответственно степени упругости. Эта степень упругости... вполне определенная и (как мне кажется) производит то, что тела расходятся с такой *относительной* скоростью, которая составляет постоянную долю *относительной* скорости их встречи».

И.Ньютон (1643-1727)

- Если обозначить коэффициент восстановления для удара двух тел через k , через u и v скорости тел до и после удара соответственно, то

$$k = \frac{|v_1 - v_2|}{|u_1 - u_2|}.$$

Эдм Мариотт (*Edme Mariotte*) (1620-1684)



- «**О столкновении или ударе тел**», где описывается результаты многочисленных экспериментов на его установке, называемой **«ударной машиной»**.

Под величиной тела Мариотт понимал **объем с некоторой телесностью или сгущением вещества**.

Теория соударений...

- Исследователи, которые обобщали материал **неупругих ударов**, неосознанно опирались на **закон сохранения количества движения**.
- Ученые, которые рассматривали удар более близкий к **абсолютно упругому** (абстрактный крайний случай), опирались на **закон сохранения энергии**.

(спор о мере движения в конце XVII в.)

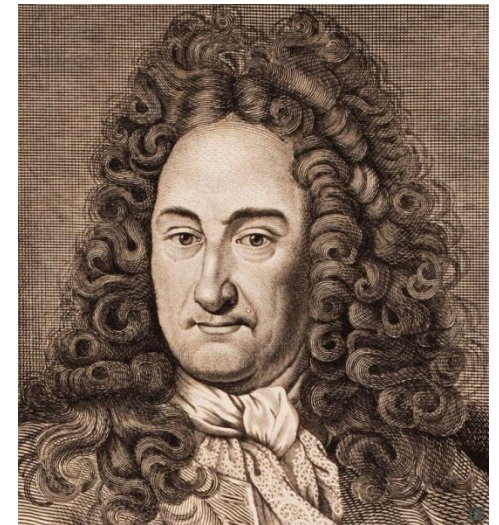
Теория соударений...

- Первую четкую формулировку абстракции **абсолютно упругого удара** (сохранение относительной скорости ударяющихся шаров до и после удара) дал **Иоганн Бернулли** (*Johann Bernoulli*) в 1727 г.



Спор о мере движения

- В 1686г. Г.В. Лейбниц (*Gottfried Wilhelm Leibniz*) поместил в «*Acta eruditum*» статью полемического характера «Краткое доказательство ошибки достопамятного Декарта и других касательно закона природы, благодаря которому бог желает сохранить всегда количество движения тем же».
- Этой статьей и было положено начало **спора о мере движения**



Спор о мере движения

- mv (по Декарту)
- mv^2 (по Лейбницу).
- И.Бернулли называет Лейбница первым, кто заметил это различие и ввел различие ``живых" и ``мертвых"

Спор о мере движения

- И. Бернулли считает важнейшей характеристикой **живую силу**, а закон **сохранения живых сил** он провозглашает незыблемым и первостепенным по важности законом природы

Спор о мере движения

- И. Бернулли дает более четкую формулировку **абсолютно упругого удара** двух тел:
«Если два совершенно упругих тела, конечной или бесконечной тугости, встречаются прямо, двигаясь друг против друга, то... их относительная скорость будет одна и та же как до, так и после удара».

Спор о мере движения

- В середине XVIII в. по этой проблеме высказался **Ж. Даламбер**, претендуя сказать в нем последнее слово: «Я считал ненужным вдаваться в рассмотрение нашумевшего вопроса о «живых силах». Этот вопрос, который уже тридцать лет разделяет геометров, заключается в следующем: **чему пропорциональна сила движущегося тела - произведению массы на скорость или произведению массы на квадрат скорости?**

Жан Лерон Д'Аламбёр (Даламбер)
Jean Le Rond D'Alembert (1717-1783)



Ж.Даламбер (1717-1783)

- Даламбер формально доказал сводимость друг к другу обеих механических характеристик mv и mv^2 . Рассматривается тело массой m , движущееся прямолинейно с мгновенной скоростью v по прямой, которое затормаживается силой F в течение времени t на расстоянии s . Сила может быть выражена двояко, замечает Даламбер:

$$F = \frac{d(mv)}{dt}$$

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{d(mv^2)}{ds}$$

Спор о мере движения

- **«Механическое движение обладает двоякой мерой движения: если механическое движение превращается в механическое же движение, то его мерой может быть количество движения или сила, измеряемая производной от количества движения по времени; если же механическое движение переходит в теплоту или другие виды движения, то его мерой должна служить энергия или работа. Эта последняя мера является более общей и универсальной». (Ф. Энгельс)**