

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 *и* этих тел после соударения соотношение (без док-ва):

$$P_1 \mathbb{X}_1 \pm P_2 \mathbb{X}_2 = (P_1 + P_2) \mathbb{X}$$

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 OXONIENSIS;

OPERUM

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.



O X O N I I.

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)

$$P_1 \mathcal{V}_1 \pm P_2 \mathcal{V}_2 = P_1 \mathcal{U}_1 \pm P_2 \mathcal{U}_2$$

(в символах современной механики)

Христиа́н Гюйгенс ван Зёйлихем (*Christiaan Huygensens* 1629 - 16



Христиа́н Гóйгенс - 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 «*твёрдыми*».

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).

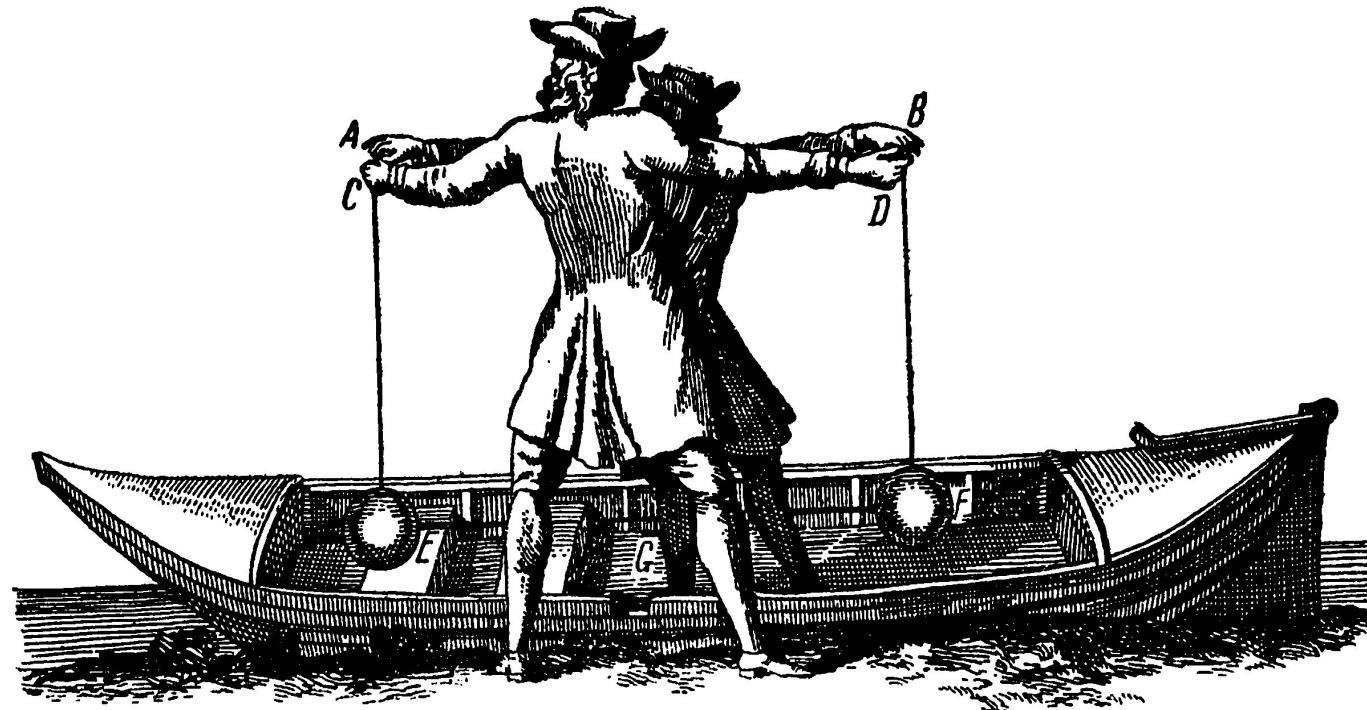
Х.Гюйгенс (1629-1695)

- 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 обменяются 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 описываются результаты многочисленных экспериментов на его установке, называемой **«ударной машиной»**.

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

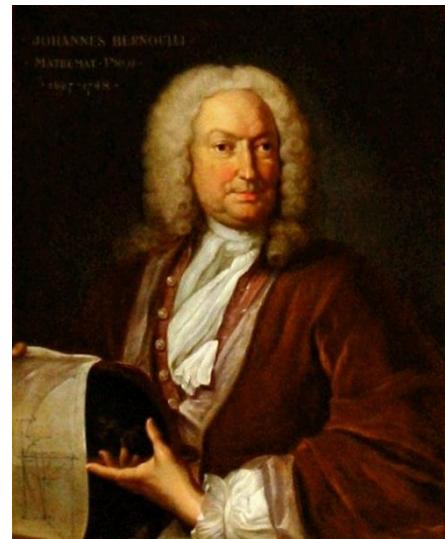


Теория соударений...

- 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.)

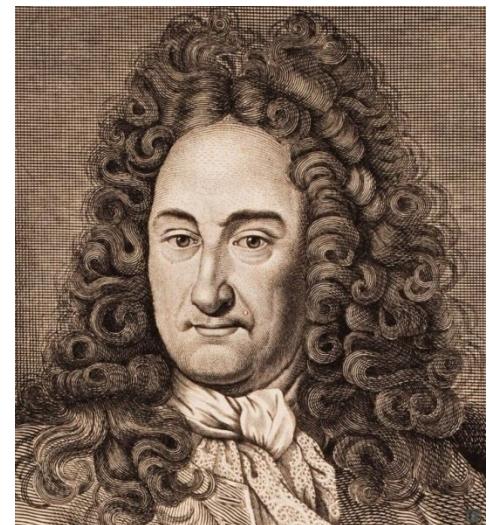
Теория соударений...

- 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 eruditorum*» 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 XVIIIв. 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:

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

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

Спор о мере движения

- «Механическое движение обладает двойкой 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)