

спецкурс

# Развитие механики в России

Доцент Чиненова Вера Николаевна

*v.chinenova@yandex.ru*

## Лекция 2

Работы по механике  
в Петербургской Академии наук  
(*продолжение*)

Труды Эйлера по механике точки и твердого тела

Механика в работах М. В. Ломоносова

Вначале членами ее были приглашенные из-за рубежа ученые: Я. Герман, Г.-Б. Бюльфингер, Д. Бернулли, Н. Бернулли, Хр. Гольдбах, Ф.-Х. Майер, Л. Эйлер и Г.-В. Крафт.

К началу 19 века группа академиков пополнилась такими фамилиями, как

Г.-В. Рихман, М.В. Ломоносов, Х.-Г. Кратценштейн, С.К. Котельников, С.Я. Румовский, М. Софронов, И.-Э. Цейгер, И.-А. Эйлер, В.-Л. Крафт, А.-И. Лексель, Н.И. Фус, М.Е. Головин, Я. Бернулли, Ф.-Т. Шуберт, А.К. Кононов, С.Е. Гурьев, В.И. Висковатов.

Почти все эти ученые занимались работами и в области механики.

- Был внесен значительный вклад в механику точки и твердого тела, гидро - и аэромеханику, в небесную механику, теорию упругости и сопротивление материалов, в теорию корабля и теорию машин. Так же распространялось механическое образование, которое преподавалось в гимназии и университете при Академии наук и в специальных учебных заведениях Петербурга.
- Число статей по механике, вышедших в академии до 1830 года составило 360, это без учета монографий и учебных руководств.
- Большая часть работ была написана Л. Эйлером и Д. Бернулли.

- Журналы Петербургской Академии «**Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae**» вызывали большой интерес у западноевропейских ученых.
- Наибольшее число мемуаров по механике приходится на долю Л. Эйлера – 155. За ним следовал Д. Бернулли – 35.

# Л.Эйлер (1707-1783)

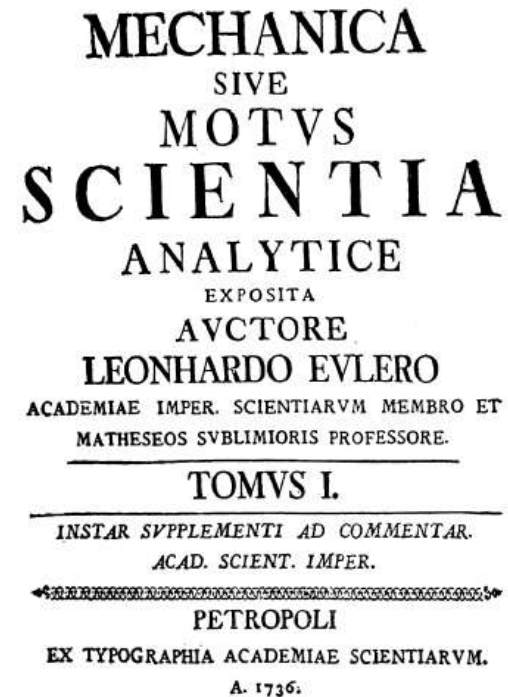


## Леонард Эйлер (1707-1783)

- 15 апреля 1707 г. родился Леонард Эйлер, получил высшее образование в Базеле (Швейцария). Учителя – И.Бернулли и Я.Герман, 1722 – звание бакалавра,
- 1723 –окончил факультет искусств, 1724-магистерская диссертация (сравнение натуральной философии Декарта и Ньютона), 1727-защита диссертации о распространении звука.
- 1727 – приглашение из Петербурга в АН (адъюнкт высшей математики, затем кафедра теоретической и экспериментальной физики).
- 1733-профессор и академик, глава кафедры высшей математики (1738-ослеп на правый глаз)
- 1741 – переезд в Берлин: директор физ-мат класса Академии наук (президент с 1759 по 1766). Стажировка у Эйлера русских ученых: С.Котельников, С. Румовский, М.Сафронов и др.
- 1766 – возвращение в Петербург (слепота)
- 18 сентября 1783 скончался. В Петербургском некрополе находится его могила и памятник, по соседству с местом погребения М.В. Ломоносова
- Количество публикаций - около 850 (20 томов больших монографий)

# Леонард Эйлер (1707-1783)

- **«Механика, или наука о движении, изложенная аналитически (1736) –** теория движения материальной точки.
- I т. - теория движения свободной материальной точки, не стесненной никакими материальными связями или преградами.
- II т. - теория движения материальной точки, стесненной некоторыми преградами и связями.





## Леонард Эйлер «Механика, или наука о движении, изложенная аналитически (1736)

- В основу динамики Эйлер полагает три закона:
- закон инерции,
- закон независимости действия сил и
- принцип ускоряющих сил (второй закон Ньютона).

## Леонард Эйлер «Механика, или наука о движении, изложенная аналитически (1736)

- **Сила** есть то усилие, которое переводит тело из состояния покоя в состояние движения или видоизменяет его движение (с.92).
- Две категории сил: «абсолютные силы» - силы, к-е определяются положением тела, а не состоянием его дв-я (напр., сила тяжести)
- «относительные силы» - к-е иначе действуют на тело, находящееся в покое, чем на тело движущееся (силы сопротивления дв-ю, напр., при дв-нии тел в жидкостях) (с.98)

## Леонард Эйлер «Механика, или наука о движении, изложенная аналитически»

- Важное значение при формулировке основных понятий и законов механики Эйлер придавал **непроницаемости**, или свойству окружающего мира, по которому **в одном и том же месте одновременно не могут находиться два или более материальных тела.**
- **Массу** он понимал как количество материи в теле, которое следует определять не по объему, а **по величине его инерции.**
- Понятию массы посвящена **теорема пропорциональности силы инерции тела количеству материи в нем.**

## Леонард Эйлер «Механика, или наука о движении»

- Принцип ускоряющих сил: «... приращение скорости прямо пропорционально действующей силе и пропорционально времени и обратно пропорционально силе инерции тела» (то есть массе тела) он записал в виде дифференциального уравнения прямолинейного движения точки:

$$dc = \frac{npdt}{A}$$

где  $c$  - скорость движения точки,  $p$  - действующая на точку сила,  $A$  - масса точки,  $t$  - время,  $n$  - коэффициент пропорциональности (с.125-126)

THEORIA MOTVS  
CORPORVM  
SOLIDORVM SEV RIGIDORVM

EX  
PRIMIS NOSTRAE COGNITIONIS PRINCIPIIS  
STABILITA  
ET AD OMNES MOTVS,  
QVI IN HVIVSMODI CORPORA CADERE POSSVNT,  
ACCOMMODATA.

AVCTORE  
LEONH. EVLERO  
ACADEMIAE REGIAE SCIENT. BORVSSICAE DIRECTORE  
ACADEMIAE IMPER. PETROPOL. SOCIO HONORARIO  
ET ACADEMIARVM SCIENT. REGIARVM PARISIENAE  
ET LONDINENSIS MEMBERO



ROSTOCHII et GRYPHISWALDIAE  
LITTERIS ET IMPENSIS A. F. RÖSE. MDCCLXV.

- В 1765 г. вышел в свет второй фундаментальный трактат Эйлера по аналитической динамике «Теория движения твердых или жестких тел, установленная на основных принципах нашего познания и приспособленная ко всяким движениям, которые могут иметь названные тела»

## Леонард Эйлер «Теория движения твердых или жестких тел»

- Три дифференциальных уравнения движения материальной точки массы  $A$  в проекциях на неподвижные декартовы оси координат:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{\lambda P}{A}; \quad \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{\lambda Q}{A}; \quad \frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{\lambda R}{A};$$

где  $x, y, z$  - координаты точки, отнесенные к неподвижной декартовой системе осей;  $A$  - масса точки,  $P, Q, R$  - проекции на те же оси результирующей силы, приложенной в данной точке,  $\lambda$  - коэффициент (с.401)

## Леонард Эйлер «Теория движения твердых или жестких тел»

- Замечая, что «**вся механика основывается на одном-единственном принципе**», Эйлер дает количественную формулировку этому важнейшему принципу динамики: «**Таким образом, приращение скорости, взятое по направлению действия силы, прямо пропорционально произведению действующей силы на промежуток времени и обратно пропорционально массе тельца**» (с.403)

## Леонард Эйлер «Теория движения твердых или жестких тел»

- Аксиома («новый принцип») о том, что принцип ускоряющих сил, или три дифференциальных уравнения движения материальной точки, справедлив и для мысленно выделенного элемента твердого тела или жидкости.
- **Модель сплошной среды** была введена Эйлером в 1750 г. в мемуаре «Открытие нового принципа механики»



## Леонард Эйлер «Теория движения твердых или жестких тел»

- Рассматривая произвольное движение свободного твердого тела, подверженного действию произвольных сил, Эйлер замечает, что это движение разлагается на **поступательное движение, соответствующее движению центра инерции тела, и вращательное движение вокруг некоторой оси, проходящей через центр инерции.**

## Леонард Эйлер «Теория движения твердых или жестких тел»

- **Задание движения твердого тела** заключается в задании: **1)** скорости движения центра инерции;
- **2)** направления, в котором движется центр инерции;
- **3)** проходящей через центр инерции мгновенной оси, вокруг которой тело вращается;
- **4)** угловой скорости вращения тела вокруг этой оси.
- Эти элементы вполне определяют движение твердого тела в данный момент времени.

## Леонард Эйлер

- Обширный цикл работ, начатый в 1748, Эйлер посвятил **математической физике: задачам о колебании струн, пластинок, мембраны и др.** Все эти исследования стимулировали развитие теории дифференциальных уравнений, приближённых методов анализа, специальных функций, дифференциальной геометрии и т.д. Многие чисто математические открытия Эйлера содержатся именно в этих его работах.

В своей «Механике» Эйлер пишет о силах механического взаимодействия между телами: *«Иные думают, что все эти*

## **Леонард Эйлер «Механика, или наука о движении»**

- В механику был введен **единообразный математический аппарат** решения задач динамики: **запись дифференциальных уравнений движения материального объекта, их интегрирование при известных начальных условиях.**
- Эйлером были получены и использованы **теорема изменения кинетической энергии точки**
- **теорема о кинетическом моменте системы.**

- В своей «Механике» Эйлер пишет о силах механического взаимодействия между телами: *«Иные думают, что все эти силы происходят от движения некой тонкой материи, другие же приписывают самим телам эту силу притяжения и отталкивания...»* [7, с.94]. При объяснении **тяготения** Эйлер стоит на отчетливо картезианской точке зрения.
- *«Представим себе, что два тела  $A$  и  $B$  находятся на большом расстоянии друг от друга и что в промежутке между ними совершенно нет никакой материи, и пусть вблизи тела  $A$  не существует ничего такого, что относилось бы к  $B$ ; тогда в первом теле ничего не изменилось бы, если бы второе тело совершенно исчезло. Из этого следует, что подобного рода испускание сил противоречит здравому смыслу»* [7, с.409-410].

- Аналогичных взглядов придерживалось большинство приглашенных в Россию академиков, считавших притяжение в смысле Ньютона «оккультным», скрытым качеством; эти скрытые качества составляют основу многих теорий у последователей схоластических школ перипатетиков, и борьба с этими воззрениями составляла одну из главных задач науки эпохи XV - XVII вв.
- Развитие теоретической механики в России началось в явно картезианском направлении. Видимо по этой причине в XVIII в. подавляющее большинство самостоятельно решенных русскими учеными задач относилось к статике, где силы взаимодействия тел возбуждаются непосредственным контактом и картезианская точка зрения согласуется с непосредственным опытом и имеет очевидные преимущества наглядности.

- В XVIII в. под руководством выдающихся архитекторов Василия Ивановича Баженова (1737—1799) и Матвея Федоровича Казакова (1733—1812) были построены крупнейшие общественные и частные здания. Так, например, в Москве Казаковым были построены здание сената в Кремле, старое здание Московского университета, Голицынская больница и Петровский дворец. Это своеобразие технического развития России определяло внимание к сопротивлению материалов и статике.





- Так как по проекту Петра I при Академии наук были созданы гимназия и университет, то естественно, что научное влияние Бернулли и Эйлера сказалось на дальнейшем развитии физико-математических наук в России.
- Первые русские ученые механики были главным образом последователями Эйлера. «Безошибочно можно сказать, что нынешнее преуспеяние математических наук в наших высших учебных заведениях много обязано Академии наук, так как Эйлер, умирая, оставил семь даровитых последователей, считавших за честь себе называться его учениками и бывших не только кабинетными учеными, но и лучшими наставниками в тогдашних учебных заведениях Петербурга».

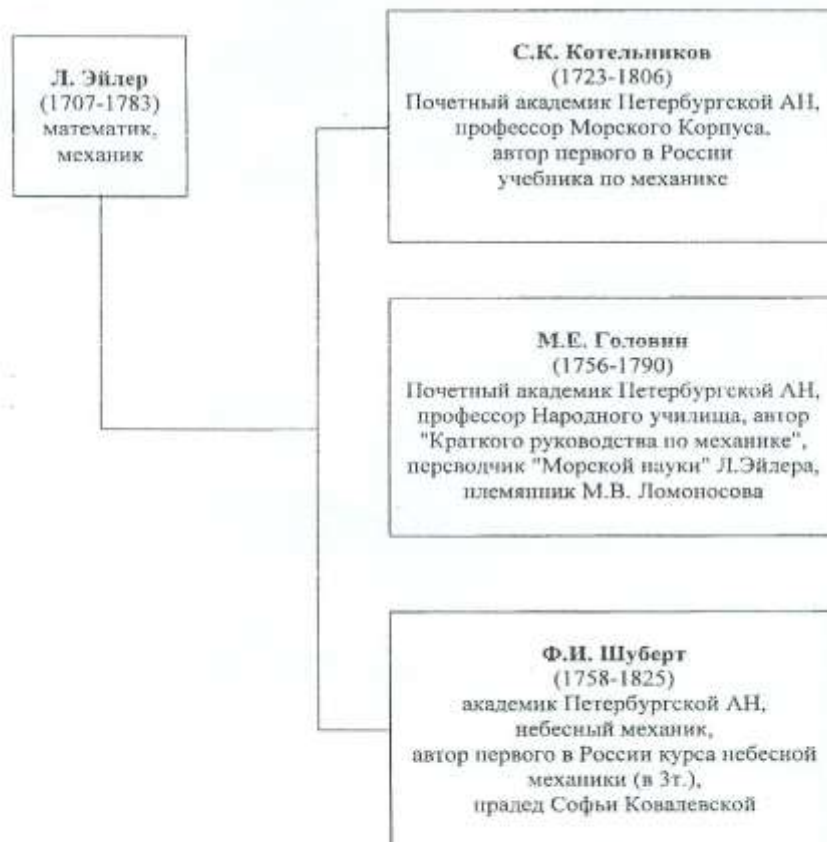
## Здание Двенадцати коллегий



## Развитие Петербургской школы классической механики в XIX столетии

Математическая школа Эйлера в России

Ученики Эйлера – механики  
(классическая и небесная механика)



## Михаил Васильевич Ломоносов (1711—1765)



- «Соединяя необыкновенную силу воли с необыкновенною силою понятия, Ломоносов обнял все отрасли просвещения. Жажда науки была сильнейшею страстью сей души, исполненной страстей. Историк, ритор, механик, минералог, художник и стихотворец, он все испытал и все проник» (А.С. Пушкин).

- Теоретическая механика в России разрабатывалась в XVIII столетии главным образом представителями математических наук. Московский университет, например, не имел самостоятельной кафедры по теоретической механике. Многие крупные ученые, после успеха «Динамики точки» Л. Эйлера рассматривали механику как часть математического анализа. Это вело к отрыву теоретической механики от эксперимента.
- Ломоносов был выдающимся естествоиспытателем, и он со всей силой выдвигает положение о необходимости сочетать теорию с практикой, «опираясь первую на эксперимент».
- М. В. Ломоносов требует исследования природы не только методами математики, но и изучения новых явлений, новых фактов, новых закономерностей в лабораториях, путем постановки точных и хорошо технически обставленных опытов.
- Ломоносов первый в истории естественных наук выдвигает вопрос о самостоятельной постановке в Академии наук больших научно-технических проблем, требующих математической строгости суждения и точности эксперимента.

- При изучении явлений природы Ломоносов выступает как последовательный материалист.
- Закон сохранения вещества при движении является, конечно, одним из фундаментальных законов механики.
- Перевод Ломоносовым «Экспериментальной физики» Христиана Вольфа содействовал установлению национальной научной терминологии. Такие, например, слова, как барометр, термометр, атмосфера, градус, были введены в «русский язык Ломоносовым. Он был последовательным атомистом и сторонником картезианских воззрений. Он считал, что объяснение частичных качеств всех тел нужно искать в нечувствительных физических частичках, составляющих тела природы.

- Притяжение, сила инерции, форма и движение этих частичек определяют общие интегральные свойства тел. Этим приемом Ломоносов стремился объяснить физическую природу силы тяжести и установить соотношение между массой и весом. Он считал, что утверждение Ньютона о равенстве отношения тяжестей тел отношению их масс имеет место только для тел однородных.
- Кинетические воззрения Ломоносова особенно ясно выявляются в его стремлении положить в основу объяснения «многих явлений природы декартовский **постулат о сохранении количества движения**». Наибольшее понимание и поддержку взгляды Ломоносова получили у Л. Эйлера, который и в частных письмах к Ломоносову, и в своих многочисленных научных исследованиях весьма сочувственно относился к кинетическому обоснованию теоретической механики.

- Ломоносов считает знание механики особенно полезным при изучении физики и химии.
- В трактате **«Элементах математической химии»** он пишет:  
*«Все изменения тел происходят механически. А потому изменения эти могут быть объяснены законами механики... Поэтому кто хочет глубже проникнуть в исследование химических истин, то должен необходимо изучать механику»*

Ломоносов первый из ученых естествоиспытателей в России стремился создать цельное учение о явлениях природы в их взаимосвязи. Механизм различных явлений объясняется, по Ломоносову, единой причиной — движением и взаимодействием «нечувствительных частичек», или корпускул.



- Ломоносов много поработал над повышением авторитета русской науки; он требует замещения вакантных должностей профессоров из среды русских ученых, он пропагандирует преподавание всех наук на русском языке.
- *«Нет таких мыслей, которые нельзя было бы точно передать на русском языке»*
- После работ М. В. Ломоносова общий уровень научных физико-математических исследований в России значительно повысился, русская наука вышла на мировую арену со своими творческими установками, со своим научным мировоззрением.

- М.В. Ломоносов и Л.Эйлер не были знакомы лично, т.к. когда Эйлер в июне 1741 г. уехал из Петербурга в Берлин, Ломоносов вернулся из командировки (стажировки), которую проходил в Германии.
- Для выдвижения Ломоносова на звание профессора, управляющий делами Академии И. Шумахер, направил две диссертации Ломоносова Эйлеру в Берлин в 1745г.
- Полученный отзыв показал, какого высокого мнения был Эйлер об этих работах: *«Все сии сочинения не токмо хороши, но и превосходны, ибо он изъясняет физические и химические материи, самые нужные и трудные, кои совсем не известны и невозможны были к истолкованию самым остроумным ученым людям, с таким основательством, что я совсем уверен в точности его доказательств. При сем случае я должен отдать справедливость г. Ломоносову, что он одарован самым счастливым остроумием для объяснения явлений физических и химических. Желать надобно, чтобы все прочие Академии были в состоянии показать такие изобретения, которые показал г.Ломоносов»*.

- На основании этого отзыва Ломоносов и был назначен профессором кафедры химии Петербургского университета в августе 1745 г. Позже Ломоносов в письме поблагодарил Эйлера за отзыв на его работы, это письмо и послужило началом их переписки. Переписка велась обычно через канцелярию академии наук. В 1737 г. Петербургская академия наук предложила Эйлеру составить научное руководство по строительству кораблей. Так началась многолетняя работа Эйлера над трактатом «*Scientia navalis*» или «Корабельная наука», который был опубликован на латыни в Санкт-Петербурге в 1749 г. в двух томах.

- Работая в Берлине, Эйлер в 1749 г. послал письмо президенту Петербургской академии наук графу К. Г. Разумовскому, в котором без математических выкладок излагал сущность своих результатов. Это письмо, как и трактат, было написано на латинском языке и предполагалось служить предисловием к трактату. Академическая канцелярия поручила выполнить русский перевод этого письма М. В. Ломоносову. Перевод Ломоносов осуществил весьма квалифицированно и точно.

- Остается удивляться, насколько доходчиво переводил Ломоносов сложнейшие положения механики, геометрии, тригонометрии. В противоположность введенному Ломоносовым и привившемуся впоследствии термину «устойчивость», неустойчивое состояние корабля или тела он назвал «падкостью».

В примечаниях к русскому переводу, опубликованному в XI томе Полного собрания сочинений М. В. Ломоносова, говорится, что дословный перевод слов «момент силы» Ломоносов заменил более понятным русскому читателю термином «важность силы к данной оси».