

М.И. Баранов

АНТОЛОГИЯ ВЫДАЮЩИХСЯ ДОСТИЖЕНИЙ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ. ЧАСТЬ 11: КЛАССИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Наведено короткий науково-історичний нарис про становлення і розвиток в період 17-20 сторіч класичної механіки, її наукові досягнення і їх прикладні застосування.

Приведен краткий научно-исторический очерк о становлении и развитии в период 17-20 столетий классической механики, ее научных достижениях и их прикладных приложениях.

*"Истинная и законная цель всех наук состоит в том, чтобы наделять жизнь человеческую новыми открытиями и благами".
Английский философ XVI–XVII веков
Френсис Бэкон (1561-1626 гг.)*

1. НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП ЗАРОЖДЕНИЯ И СТАНОВЛЕНИЯ МЕХАНИКИ

Имя великого древнегреческого механика, физика и математика Архимеда из Сиракуз (287-212 до н.э.) широко известно каждому просвященному человеку на нашей планете. Архимед (рис. 1) как ученый вошел в историю человечества благодаря, прежде всего, своим следующим выдающимся научным достижениям: **открытию принципа рычага, созданию учения о центре тяжести и открытию знаменитого закона Архимеда**, касающегося поведения физического тела, погруженного в жидкость [1,2]. Архимед был одним из крупнейших инженеров-механиков своего времени и конструкторов машин и механизмов различного применения. Он изобрел машину для орошения (поливки) сельскохозяйственных полей, грузоподъемные блоки и водоподъемный винт, которые нашли широкое практическое использование [1].



Рис. 1. Великий древнегреческий ученый Архимед (287-212 до н.э.) [3]

Он особенно успешно разрабатывал и строил оригинальные конструкции метательных машин военного назначения. В истории науки и техники считается, что именно Архимед стал тем первым крупным ученым, который много внимания и творческих сил отдавал решению актуальных военных задач своего времени. Им было введено новое понятие момента силы относительно прямой линии и плоскости. Он сформулировал правило сложения параллельных сил. Строительная и военная техника древнего мира выдвигала необходимость решения в области механики

(это понятие происходит от греческого слова "mēchanikē" – "построение машин" [4]) проблемных задач статики. Поведение этой техники, в основе построения которой лежала разработанная Архимедом элементарная теория механического рычага, было тесным образом связано с вопросами равновесия ее составных частей и подводило ее разработчиков и создателей к выработке понятия центра тяжести тела.

В сочинении (книге) Архимеда "*О равновесии плоских фигур*" содержатся основные законы механического рычага и способы определения центров тяжести для треугольников, трапеций, параллелограммов, параболических сегментов и других геометрических фигур. Для нас интересным является лаконичное по форме и емкое по содержанию определение центра тяжести тела, данное самим Архимедом [1]: "*Центром тяжести каждого тела является некоторая расположенная внутри его точка – такая, что если за нее мысленно подвесить тело, то оно остается в покое и сохраняет первоначальное положение*". Свой знаменитый закон Архимед изложил в книге "*О плавающих телах*", в которой он рассматривает не только условия плавания тел в жидкости, но и вопросы устойчивости равновесия плавающих тел различной геометрической формы [1]. Научный гений Архимеда проявился в этом сочинении и соответственно при решении им задач гидростатики с исключительной силой. Полученные им здесь научные результаты, заложившие основы гидростатики, получили свое дальнейшее развитие в работах таких известных ученых 17-го века как С. Стевина, Г. Галилея, Б. Паскаля и других. Теоретическое же доказательство его фундаментальных результатов в области гидростатики нашло свое место только лишь в 19-ом столетии в трудах известных механиков и математиков мира [1].

Во всемирной истории науки и техники принято считать, что великий итальянский ученый-мыслитель, инженер, изобретатель и художник Леонардо да Винчи (1452-1519 гг.) является предшественником Г. Галилея, И. Ньютона и других знаменитых основателей современного естествознания [1]. Л. да Винчи (рис. 2) одним из первых образованных людей начал борьбу против схоластического метода познания мира и бесплодных богословских дискуссий, противопоставляя им научное знание, основанное на опыте. В те далекие от нас годы средневековья он писал [1]: "*Мне кажется, что пусты и полны заблуждений те науки, которые не порождены опытом – отцом всякой достоверности и не завершаются в наглядном опыте*". Рассуждая о науках, он заключал [1]: "*Истинные науки те, которые опыт заставил пройти сквозь ощущения и наложил молчание на язык спорщиков*".



Рис. 2. Автопортрет великого итальянского ученого и изобретателя Леонардо да Винчи (1452-1519 гг.) [5]

Л. да Винчи убежденно придерживался в своих взглядах научного метода нового естествознания, основанного на опыте и математическом анализе. В связи с этим он писал [1]: "*Никакой достоверности нет в науках там, где нельзя приложить ни одной из математических наук, и в том, что не имеет связи с математикой*". Рассуждая о механике, он утверждал [1]: "*Механика – это рай математических наук, посредством нее достигают математического плода*". Изучая движение физических тел, Л. да Винчи считал, что [1]: "*Сила есть причина движения, а движение есть причина силы*". Это еще не открытие инерции и не формулировка закона инерции в теоретической механике. Но уже определенный шаг вперед к основным научным понятиям классической механики, как науки изучающей механическое движение и равновесие материальных тел под действием приложенных к ним сил. Он изучал механизм трения при движении тела и первым ввел понятие коэффициента трения. Им было открыто существование сопротивления окружающей среды и подъемной силы при быстром движении тела в воздушной среде [4]. Л. да Винчи принадлежит множество *технических изобретений*, значительно опережавших свое время. Это конструкции велосипеда, подводной лодки, вертолета и летательного аппарата, подражающего полету птиц. Среди его изобретений есть переносные мосты для армии, прожектора, скорострельное оружие и гидравлические машины. Его любимым изречением были следующие слова [5]: "*Кто знает все, тот может все!*".

Великий итальянский ученый-астроном, математик и механик Галилео Галилей (1564-1642 гг.) на основе изобретенной в 1608 году в Нидерландах зрительной трубы, создав с применением комбинации выпуклой и вогнутой оптических линз усовершенствованную подзорную трубу с 32-х кратным увеличением, наблюдал покрытую неровностями Луну и Млечный Путь, состоящий из множества неизвестных звезд. В 1610 году он *открыл спутники у Юпитера* и сделал важный шаг в защиту гелиоцентрической системы устройства мира, предложенной в 1530 году великим польским ученым Николаем Коперником (1473-1543 гг.). Г. Галилей (рис. 3) оказался первым ученым, использовавшим трубу в научных целях.

Он почти одновременно с нидерландским инженером и математиком Симоном Стевином (1548-1620 гг.), опубликовавшим классический труд "*Начала статики*", занимался вопросами статики и гидростатики. Г. Галилей установил *закон равновесия тел на наклонной плоскости* и восстановил в более простой

форме при помощи принципа возможных перемещений архимедовское доказательство закона механического рычага [1]. Подробному рассмотрению закона Архимеда и условий плавания тел в жидкости посвящено вышедшее в 1612 году сочинение Г. Галилея "*Рассуждение о телах, пребывающих в воде*" [1].

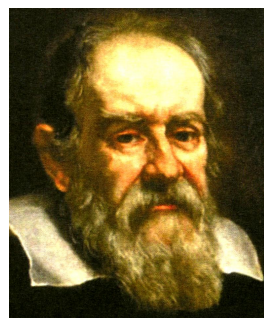


Рис. 3. Великий итальянский ученый Галилео Галилей (1564-1642 гг.) [5]

Дальнейшие эксперименты Г. Галилея продемонстрировали независимость скорости падения в воздухе физических тел одинаковой геометрической формы от их веса (массы). Результаты этих физических опытов и их математический анализ, выполненный Г. Галилеем, стали в то время научной основой в обосновании динамики физических тел и зарождающейся механики в целом. Открыв законы равноускоренного движения тел, Г. Галилей показал и взаимную независимость оказываемых на них силовых действий. Ему принадлежит честь открытия изохронности (одинаковости длительности) колебаний кругового маятника. Это позволило ему сконструировать часы с маятником (конструкцию своих часов он опубликовать не успел) [1]. Дальнейшее *изобретение* в Европе *маятниковых часов*, запатентованное в 1657 году известным нидерландским ученым Христианом Гюйгенсом (1629-1695 гг.), имело огромное для общества научно-практическое значение. В 1673 году Х. Гюйгенсом в сочинении "*Маятниковые часы*" была изложена теория физического маятника. Здесь он показал, что свойством изохронности обладает циклоида. Поэтому у Х. Гюйгенса маятник в отличие от галилеевского маятника был циклоидальным. Для нас интересной будет формула Х. Гюйгенса, выражающая период T_M колебаний циклоидального маятника (справедлива и для малых колебаний кругового маятника) [1]: $T_M = 2\pi(l_M \cdot g^{-1})^{1/2}$, где l_M – длина маятника; $g = 9,806 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения [6]. Здесь автор обращает внимание любознательного читателя на определенную общность этого выражения с формулой Томсона, определяющей период T_3 колебаний электрического тока в LC-цепи [6]: $T_3 = 2\pi(LC)^{1/2}$. Укажем и имя преемника Г. Галилея – известного итальянского ученого Эванджелиста Торричелли (1608-1647 гг.), впервые доказавшего существование атмосферного давления и получившего "торричеллиеву пустоту" (вакуум) [2]. Опыты Э. Торричелли привели к изобретению и созданию первого в мире барометра [1]. Отметим и известного французского физика и математика Блеза Паскаля (1623-1662 гг.), ставшего автором закона о всесторонней передаче давления в жидкости (*закон Паскаля*), *закона сообщающихся сосудов* и *теории гидравлического пресса*, нашедше-

го широкое применение в механике [1]. Им же был установлен факт о падении давления воздуха с увеличением высоты над поверхностью земли. Главный научный труд Г. Галилея "*Беседы о двух новых науках*", вышедший в свет в 1638 году и спасенный его автором от инквизиции, содержал основы динамики и способствовал дальнейшему выходу в свет в 1687 году знаменитых "*Математических начал натуральной философии*" великого английского ученого Исаака Ньютона (1642-1727 гг.), ставшего подлинным основоположником классической механики как самостоятельной научной дисциплины о движении и равновесии тел [1–3].

2. ОТКРЫТИЕ ПЕРВЫХ ЗАКОНОВ МЕХАНИКИ

Считается, что величайшие научные открытия в человеческом обществе совершаются чаще всего молодыми исследователями. Так произошло и с упомянутым нами выше И. Ньютоном, однако его многие эпохальные научные достижения увидели свет только после ряда десятилетий с момента их получения. Причины тому разные, но здесь следует отметить то одно обстоятельство, что стремление к открытию нового в науке и технике у И. Ньютона подчинялось, прежде всего, обстоятельному доказательству истинности им сделанного и совершенного в различных областях научно-технической сферы знаний [1,5]. Начнем с того, что И. Ньютон (рис. 4) независимо от выдающегося немецкого математика Готфрида Лейбница (1646-1716 гг.) разработал *дифференциальное* (до 1684 года) и *интегральное* (до 1686 года) *исчисления* [2]. Потребность в создании новой (высшей) математики, использующей переменные величины, была тогда в науке острой и насущной. Большую подготовительную работу для ее (новой математики) разработки и создания выполнили выдающиеся предшественники И. Ньютона – Иоганн Кеплер (1571-1630 гг.), Г. Галилей и Рене Декарт (1596-1650 гг.) [1,2].

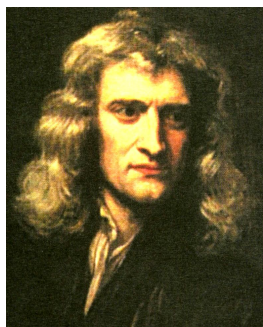


Рис. 4. Великий английский ученый Исаак Ньютон (1643-1727 гг.) [5]

Но в истории науки, как оказалось, только И. Ньютон и Г. Лейбниц разработали общий математический метод решения задач по проблемам квадратуры криволинейных площадей и поиска максимума и минимума функций. Оказалось, что методы И. Ньютона и Г. Лейбница по сути были идентичны и отличались друг от друга только обозначениями производных: например, у И. Ньютона вторая производная имела вид \ddot{y} (величины с "точками" наверху – сейчас они употребляются в физике для указания производных по времени), а у Г. Лейбница – y'' (величины со "штрихами" вверху – эти обозначения производных

оказались более удобными и сохранились до настоящего времени) [1]. Длившийся многие годы острый спор о приоритете в вопросе создания дифференциального и интегрального исчисления разделил математиков того времени на два непримиримых лагеря. Приверженцы одного из них защищали приоритет И. Ньютона, а сторонники другого – приоритет Г. Лейбница. Время как истинный "судья" во многих вопросах рассудило их – детальные непредвзятые исторические исследования показали, что оба этих знаменитых ученых к *великому научному открытию в области математики*, вкрай необходимому для описания динамических механических и электрических процессов в природе, пришли независимо друг от друга. Обобщив свои данные и результаты своих предшественников в области механики (Архимеда, Л. да Винчи, Г. Галилея и др.), И. Ньютон подготовил и издал в 1687 году свой большой печатный научный труд "*Математические начала натуральной философии*", содержащий основные понятия и аксиомы классической механики и практические приложения новых законов механики к теории движения тел под действием центральных сил. Здесь он впервые в науку о движении и равновесии физических тел ввел принципиально новые понятия, которыми пользуемся и мы поныне: *массы тела, количества движения, силы, ускорения и центробежной силы* [2].

В самом начале своего гигантского по объему и значимости для науки труда И. Ньютон дает определение "количеству материи" ("массы") в следующем простом и ясном виде [1]: "*Количество материи есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее*". И. Ньютон как и древнегреческий атомист Демокрит [1, 7] реальными считал атомы, молекулы и пустоту (вакуум), в которой находятся эти микрочастицы вещества. Количество однородных атомов и является, по его мнению, количеством материи. Чем больше ее (материи) объем и чем плотнее расположены атомы в этом объеме, тем больше будет и количество материи (масса вещества). Реально количество материи (массу вещества) он определял по весу тела (оно было пропорционально весу тела). Фундаментальному понятию количества материи (массы тела) И. Ньютон посвятил как анализ тысячелетней практики использования человечеством механических весов для измерения веса, количества вещества и соответственно массы вещества (правда, не зная математической зависимости между ними), так и свои обширные точные опыты в безвоздушных вертикальных трубках по констатации независимости ускорения g силы тяжести (свободного падения) от массы тела. Заметим, что еще Г. Галилей экспериментально показал, что все тела в отсутствие сопротивления воздуха падают на поверхность земли одинаково. Это дало возможность И. Ньютону обоснованно заключить, что масса m и вес P физического тела строго пропорциональны друг другу. В настоящее время в земных условиях мы пользуемся для их определения вытекающим из одного из установленных И. Ньютоном законов механики классическим соотношением вида: $P=m \cdot g$, где $g=9,806 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения тела [6]. Из этого простого для нас выражения (следует особо подчеркнуть то, что до И. Ньютона этой удивительно простой зависимости человечество просто не знало!) следует, что, например, вес P

величиной 1 кГс (внесистемная единица силы, эквивалентная 9,806 Н в международной системе СИ [6]) на земной поверхности соответствует массе m тела (количеству вещества) величиной 1 кг. Таким образом, для землян, находящихся на нашей планете, измеренный на весах любой конструкции вес P вещества количественно равен массе m этого вещества. В космических же условиях, когда практически отсутствует ускорение g свободного падения тела, масса m этого тела является физической реальностью и может быть измерена специальным образом, а его вес P принимает нулевое значение и соответственно теряет свой физический смысл. На взгляд автора, поставить перед мировым сообществом в 17-ом веке такую простую и в то же время фундаментальную научную задачу и решить ее мог только гениальный от природы человек. В этой связи очередным выдающимся научным достижением И. Ньютона следует считать введение им в науку **фундаментального понятия массы** физического тела. С помощью его (этого нового понятия) он дал точную и измеряемую основную физико-механическую характеристику материального объекта. И. Ньютон прекрасно понимал, что вес тела это результат воздействия на него силы тяготения Земли (в современном понимании он является результатом действия на массу тела гравитационного поля Земли). Поэтому он считал необходимым установить для физического тела внутренне присущую ему характеристику – **инерцию**. По этому вопросу он писал [1]: *"Врожденная сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Эта сила пропорциональна массе тела"*. Масса тела как мера инерции тела используется и в современных учебниках по физике, сопротивлению материалов и механике. Так что в условиях невесомости (например, в условиях космоса) массу тела можно измерить по силе его инерции. Следующим новым понятием, введенным И. Ньютоном в механику для описания динамики тел, является **фундаментальное понятие количества движения**. Он его определил как меру движения, пропорциональную массе и скорости физического тела [1]. И. Ньютон прекрасно знал векторный характер скорости тела и при практическом использовании своего определения количества движения всегда учитывал направление движения тела, формулируя для него правило параллелограмма скоростей. Потребности динамики поведения тел вынудили И. Ньютона ввести в науку важнейшее **понятие силы**. Он дает этому новому понятию следующее определение [1]: *"Сила – это действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения"*. Это действие может быть осуществлено не только при непосредственном контакте с телом, но и при наличии расстояния между телом и силовым центром. Поэтому действие, производимое силовым центром по отношению к телу и приводящее к его притяжению к нему или отталкиванию от него, И. Ньютон называет **центростремительной силой** [1]. Величина центростремительной силы определяется согласно его научным положениям интенсивностью силового центра (например, массой Земли или Солнца) и выражается через **ускорение**, получаемое

тем или иным телом от действия этого силового центра. Заметим, что в современной физике и механике широко используется рассмотренное и введенное И. Ньютоном понятие количества движения, только называемое сейчас для движущегося тела **"импульсом"**.

Следует обратить внимание читателя и на тот удивительный факт, что в разделе своих *"Математических начал натуральной философии"*, связанном с небесной механикой, И. Ньютон в 1687 году дает краткое описание динамике полета искусственного спутника (в его написании "спутничка") вокруг Земли [1]. И это фактически за 270 лет до запуска в бывшем СССР 4 октября 1957 года первого в мире искусственного спутника нашей планеты! Я как ученый-электрофизик не перестаю удивляться величию таланта и разума И. Ньютона! В этом капитальном научном труде-трехтомнике И. Ньютона, являющимся первым в истории науки систематизированным курсом теоретической и небесной механики, содержались и три знаменитых закона движения физического тела (**законы Ньютона**), включающие: закон инерции тела (**первый закон**), закон пропорциональности действующей силы ускорению и массе тела или основной закон динамики (**второй закон**) и закон равенства сил действия и противодействия для взаимодействующих тел (**третий закон**). Здесь же И. Ньютоном приведен открытый им фундаментальный **закон всемирного тяготения**, устанавливающий силу взаимного притяжения двух тел. Исходя из данного закона, он разработал теорию небесных тел, объясняющую во вселенной движение планет, их спутников, комет и других космических тел. Это позволило ему создать общую теорию всемирного тяготения, согласно которой все небесные тела, находящиеся друг от друга на огромных расстояниях, связаны между собой силами тяготения в единую систему. И. Ньютон строго математически показал, что из открытого им закона всемирного тяготения вытекают открытые еще до него выдающимся немецким ученым-астрономом и математиком И. Кеплером три закона движения планет Солнечной системы (первые два закона Кеплера касаются орбиты Марса, являющейся согласно им не кругом, а эллипсом, в одном из фокусов которого находится Солнце; третий закон Кеплера устанавливает, что отношение куба среднего расстояния от планеты до Солнца к квадрату периода ее обращения вокруг него является постоянной величиной [1]). Открытые законы механики дали возможность И. Ньютону объяснить движение Луны вокруг Земли и развить теорию, описывающую не чисто сферическую форму нашей планеты. В соответствии с этой его теорией получалось, что у своих северного и южного географических полюсов планета Земля "приплюснута" (сжата), а на экваторе – "вздута" (расширена). Кроме того, им на основе закона всемирного тяготения была разработана теория морских приливов и отливов на Земле. Им была определена плотность планет Солнечной системы. Оказалось, что самые близкие к Солнцу планеты отличаются своей наибольшей плотностью. Для наблюдения за планетами Солнечной системы в 1668 году он создал первый зеркальный (отражательный) телескоп-рефлектор оригинальной конструкции (рис. 5). В данном зеркальном телескопе (телескопе Ньютона), установленном на одной из башен Тринити-колледжа (рис. 6), с

которой И. Ньютон ночью проводил свои регулярные астрономические наблюдения, для исключения явления аберации и его влияния на качество изображения вместо стеклянной линзы было использовано вогнутое сферическое зеркало. Заметим, что сейчас этот вид телескопа широко используется в крупнейших обсерваториях мира. Отметим и то, что вначале своих физических исследований И. Ньютон солнечный свет считал потоком корпускул (частиц) и придерживался корпускулярной теории света (в физике она получила название корпускулярной теории света Ньютона). В своих более поздних исследованиях он не исключал и волновой природы дневного света. В 1675 году им была даже предпринята попытка создания компромиссной корпускулярно-волновой теории света. Говоря об оптике, необходимо указать и то, что именно И. Ньютон в 1666 году при помощи трехгранной стеклянной призмы впервые разложил белый свет на семь цветов (в световой спектр) и доказал тем самым сложность белого света (открыл новое в физике явление – *явление дисперсии света*). Им была открыта интерференция и дифракция света. Укажем здесь, что в 1701 году И. Ньютон изобрел пирометр для определения температуры нагретого тела.



Зеркальный телескоп, сконструированный и изготовленный Ньютоном

Рис. 5. Внешний вид уникального исторического экспоната зеркального телескопа, созданного И. Ньютоном [5]

Следует указать, что многие научные работы И. Ньютона из-за их резкой новизны, оригинальности и кажущейся сложности оставались непонятыми для его современников. По этой причине он подвергался ожесточенной критике своих коллег – математиков, физиков, механиков и астрономов. Тем не менее, в 1703 году И. Ньютон был избран Президентом Лондонского Королевского общества (Академии наук Англии), а 1705 году ее величество королева Великой Британии Анна возвела Исаака Ньютона – сына простолюдина (фермера) в рыцарское достоинство и соответственно в дворянское звание. Это был на тот момент первый случай в английской истории, когда высокое звание рыцаря было присвоено ученому за выдающиеся научные заслуги перед отечеством [5].

В истории науки и техники считается, что открытия, сделанные И. Ньютоном, что называется "носились в воздухе" и относились к актуальным научным проблемам того далекого от нас времени [1]. Над данными проблемами трудились многие ученые мира, приходя, в конце концов, к близким заключительным результатам. В этом тоже заключается одна из причин нежелания И. Ньютона оперативно печатать свои на-

учные труды, выход в свет которых почти для всех приводил к тяжелым спорам с другими учеными, в том числе и по вопросу их научного приоритета. Механика, математика, оптика и астрономия оказались в центре научных интересов и зачастую ожесточенных "сражений" великого по уму и по охвату решаемых научно-технических проблем И. Ньютона. Эти отрасли научных знаний уже созрели к тому времени для завершающих в них открытий и новых свершений. Всемирная история наук человеческого общества показала, что именно И. Ньютон и выполнил эту завершающую и присущую настоящему мастеру своего дела титаническую работу с исчерпывающей полнотой и научным блеском. Открытия и законы Ньютона стали основой высшей математики, классической физики, а также классической и небесной механики. Сделанные выдающиеся научные достижения этим великим английским ученым влились в прочный всемирный научно-технический фундамент указанных отраслей знаний и поныне служат нам на нашей планете для их дальнейшего развития и процветания.



Рис. 6. Внешний современный вид башни кембриджского Тринити-колледжа, с которой при помощи зеркального телескопа вел астрономические наблюдения И. Ньютон [5]

На основании открытых И. Ньютоном законов механики и закона всемирного тяготения он фактически создал новую физическую картину мира, базирующуюся на ньютоновской теории пространства и времени [2]. Пространство и время он считал абсолютными, о чем и постулировал в своих *"Математических началах натуральной философии"* [1]. С данным пониманием пространства и времени была связана и его (ньютоновская) "концепция дальнего действия", соответствующая мгновенной передаче любого действия от одного физического тела к другому на расстоянии через пустое пространство без помощи промежуточной среды и соответственно без материи. Отметим, что ньютоновская "концепция дальнего действия" весьма длительное время (до появления в 19-ом столетии экспериментальных и теоретических научных работ его выдающихся соотечественников-физиков М. Фарадея и Дж. Максвелла, о которых речь пойдет в последующем научно-историческом очерке, посвященном достижениям в классической электродинамике) господствовала в мировой науке.

Признавая гениальность И. Ньютона, потомки на его памятнике, установленном в Тринити-колледже

(напомним читателю, что английское слово "Тринити" переводится как "Троица"), высекли следующие величественные слова [5]: "Разумом он превосходил род человеческий". Отметим, что на надгробии И. Ньютона в Вестминстерском аббатстве (г. Лондон, Англия) имеется следующая надпись [3]: "Здесь покоится сэр Исаак Ньютон, дворянин, который почти божественным умом первый доказал с факелом математики движение планет, пути комет и приливы океанов. Пускай же смертные радуются, что существовало такое украшение рода человеческого". Укажем, что в честь великих научных заслуг Исаака Ньютона перед человечеством международной научной общественностью единица силы в системе СИ была названа "ньютоном" (сокращенно **Н**).

3. ПОСЛЕДУЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ МЕХАНИКИ

В 1736 году в г. Петербурге из печати в свет вышел известный двухтомник "Механики" или "Науки о движении, изложенной аналитически" (рис. 7) выдающегося немецкого (российского) механика и математика Леонарда Эйлера (1707-1783 гг.), являвшегося членом Петербургской Академии наук (позже она стала Российской Академией наук – РАН) [1].

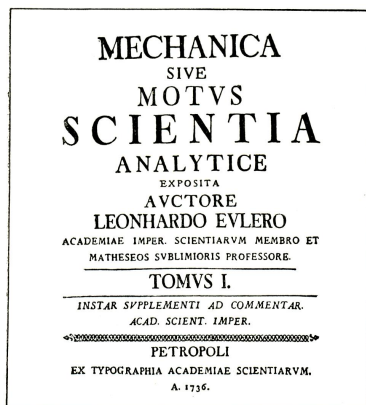


Рис. 7. Титульный лист "Механики" Л. Эйлера от 1736 г. [1]

В этом научном труде были впервые в дифференциальной форме записаны уравнения механики, а все инженерные расчеты механических конструкций проводились автором на языке математического анализа. Третий том "Механики" Л. Эйлера под названием "Теория движения твердых тел" был издан в 1765 году в г. Росток (Германия) [1]. В заключительном третьем томе "Механики" Л. Эйлер развил механику вращательного движения физического тела, введя при этом фундаментальное понятие "главных осей", проходящих через центр инерции тела и по отношению к которым момент его инерции имеет экстремальное значение. Л. Эйлер как большой ученый оставил глубокий научный "след" в механике и физике. Список научных трудов (сочинений) этого одаренного ученого-энциклопедиста содержит около 900 названий [1].

В 1738 году в г. Петербурге была напечатана знаменитая "Гидродинамика" выдающегося швейцарского (российского) математика и механика Даниила Бернулли (1700-1782 гг.), содержащая известное "уравнение Бернулли" для стационарного течения идеальной жидкости в поле консервативных сил [1,6]. Укажем, что в 1743 году из печати вышел "Трактат по динамике" выдающегося французского математика

и физика Жана Даламбера (1717-1783 гг.), в котором был сформулирован известный "**принцип Даламбера**" [1,2]. В 1788 году (фактически через 100 лет после опубликования И. Ньютоном своих "Математических начал натуральной философии") была издана "Аналитическая механика" выдающегося французского механика и математика Жозефа Лагранжа (1736-1813 гг.), в которой еще в большей степени, чем в указанном печатном труде Л. Эйлера, прослеживается эволюция математических методов классической механики [1]. Здесь необходимо отметить, что еще в 1717 году Иоганном Бернулли (1667-1748 гг.) в области механики (статики) был открыт важный принцип возможных перемещений (Ж. Лагранж называл его принципом виртуальных скоростей) [1]. Этот принцип привел к появлению в механике (динамике) нового **принципа наименьшего действия Мопертюи – Эйлера** (1740 год), восходящего еще к знаменитому принципу французского математика и физика Пьера Ферма (1601-1665 гг.) [2,6]. С учетом научных достижений своих известных предшественников в области классической механики Ж. Лагранж (рис. 8), основываясь на упомянутых принципах Даламбера и Мопертюи – Эйлера, построил в своем вышеуказанном сочинении законченную систему аналитической механики, имеющую не только большое научное значение для самой механики как отрасли знаний, изучающей перемещение в пространстве и равновесие материальных тел под действием приложенных к ним сил, но и выходящую по своей применимости за пределы теоретической и прикладной механики. В 1807 году в двухтомном труде "Курс лекций по натуральной философии и механическому искусству" известный английский ученый Томас Юнг (1773-1829 гг.) обобщил результаты своих расчетно-экспериментальных работ по деформации сдвига и ввел новую числовую характеристику упругости при растяжении и сжатии тел – так называемый **модуль Юнга**, широко используемый и поныне в сопротивлении материалов [6]. Роль высшей математики и ее научных методов в развитии механики огромна. Поэтому можно уверенно говорить о том, что современная классическая механика является научной дисциплиной, построенной на достаточно сложном математическом аппарате. Из этого положения студенты-старшекурсники технических университетов и молодые научные работники, трудящиеся в технических областях знаний, должны делать соответствующие выводы и активно заниматься самообразованием и повышением уровня своих знаний.

Согласно истории техники 1733 год ознаменовался изобретением английским инженером Джоном Уайяттом (1700-1766 гг.) первой прядильной машины [1]. Считается, что это выдающееся техническое изобретение послужило началом промышленного "переворота" в Англии. Такими фабрикам стали нужны универсальные двигатели, приводящие в механическое действие прядильные машины. В России над этим важным практическим вопросом стал трудиться известный русский механик Иван Иванович Ползунов (1728-1766 гг.) [1]. Этим умельцем-самородком была построена пароатмосферная машина непрерывного действия с автоматическим впуском и выпуском в ее рабочем органе водяного пара и инжeksiрованием (впрыскиванием) в ее соответствующие части холодной воды для образования разряжения (рис. 9). Уни-

версальный *паровой двигатель* с отделением рабочего цилиндра от водяного конденсатора и непрерывным механическим действием был создан выдающимся английским изобретателем-механиком Джеймсом Уаттом (1736-1819 гг.) [1]. Так на нашей планете наступила эра "водяного пара". Паровые двигатели, благодаря выдающимся техническим разработкам Дж. Уатта (рис. 10), стали массовым образом применяться не только на фабриках и заводах для обеспечения работы различных по назначению станков и механизмов, но и на транспорте – паровозах и пароходах для приведения в движение их механических частей. Роль статических и динамических расчетов рабочих элементов (узлов) при разработке этой техники и соответственно механики в целом существенно возросла.



Рис. 8. Выдающийся французский механик и математик Жозеф Лагранж (1736-1813 гг.)



Рис. 9. Макет паровой машины российского изобретателя-механика И.И. Ползунова (современный экспонат краеведческого музея г. Барнаула, Российская Федерация) [9]

Укажем здесь важное для практики научно-техническое достижение в области ламинарного течения жидкости с известной вязкостью по нашедшей широкое применение в промышленности и быту круглой трубе, определяющее при заданной разности давлений на концах трубы известной длины и величине ее радиуса объем жидкости, протекающий через поперечное

сечение данной трубы за единицу времени (*формула Пуазейля*, 1840 год) [6]. В этом ряду научных достижений 19-го столетия находится и определение силы внутреннего трения (силы вязкости) при ламинарном обтекании жидкостью движущегося в ней с заданной скоростью тела шарообразной формы (*закон Стокса*, 1851 год) [6]. До сих пор в механике жидкостей (газа) при оценке характера их течения (ламинарного или турбулентного) по трубопроводам различной формы специалисты пользуются такой безразмерной величиной как *число Рейнольдса* (1883 год), связывающее между собой вязкость, плотность и скорость потока жидкости (газа) и характерный поперечный размер обтекаемого этим потоком тела [6].

Применение еще первооткрывателем закона всемирного тяготения И. Ньютоном этого закона к описанию движения небесных тел и определению формы этих тел показало, что небесные тела должны иметь геометрическую фигуру, определяемую как вращением их масс вокруг своих осей, так и взаимным притяжением частиц данных масс тел по указанному закону. Согласно известной гипотезе каждая планета Солнечной системы и вероятно иных систем и галактик нашей необъятной вселенной первоначально находилась в жидком состоянии [1,8]. В этой связи задача о форме равновесия круговым образом вращающегося жидкого тела приобрела в небесной механике важное научное и мировоззренческое значение. Ранее нами было указано, что исследования И. Ньютона относительно формы вращающейся Земли показали, что под влиянием центробежных сил и сил притяжения ее вращающаяся жидкая масса должна принимать форму шара, сжатого у своих географических полюсов. Такая геометрическая фигура называется эллипсоидом вращения или эллипсоидом Маклорена, названным в честь шотландского ученого К. Маклорена, впервые математически доказавшего в середине 18-го века то, что эллипсоид вращения действительно является равновесной фигурой вращающегося жидкого тела [6, 8]. Долгое время ученые-механики считали эллипсоиды вращения единственными геометрическими фигурами равновесия вращающейся жидкости.

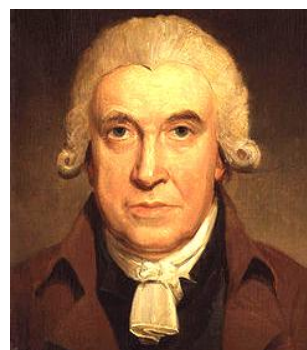


Рис. 10. Выдающийся английский изобретатель-механик Джеймс Уатт (1736-1819 гг.) [10]

В 1883 году выдающимся французским математиком и механиком Анри Пуанкаре (1854-1912 гг.) была опубликована серия статей о равновесии вращающейся жидкости, в которых этим ученым была рассмотрена *фундаментальная задача динамики* указанной нами *жидкости*, сводящаяся к сложному нелинейному интегральному уравнению. Следует за-

метить о том, что, несмотря на большие успехи современной математической физики, даже в настоящее время отсутствует общая теория аналитического решения подобных уравнений. Поэтому удивительными выглядят те научные успехи, которые были достигнуты А. Пуанкаре в г. Париже при рассмотрении этой передававшейся в течение полутора веков от одного поколения ученых к другому физико-математической задачи. Им теоретически были установлены новые фигуры равновесия вращающегося жидкого тела, отличающиеся от эллипсоидальных. Среди этих геометрических фигур были даже грушевидные, со временем распадающиеся на два неравных тела [8]. А. Пуанкаре понимал, что сделанные им выводы о фигурах равновесия вращающегося жидкого тела применительно к небесным телам справедливы лишь в случае устойчивости этих геометрических фигур. Только в этом механическом случае они могут сохраняться неограниченно долго. На то время оценка устойчивости механических систем базировалась исключительно на принципе Лагранжа, согласно которому устойчивое равновесие физического тела характеризуется наименьшей величиной его потенциальной энергии. **Принцип Лагранжа** оказался бессильным при решении проблемы устойчивости фигур равновесия вращающейся жидкости из-за невозможности учета влияния на нее (устойчивость) гироскопических сил, возникающих в такой жидкости. А. Пуанкаре вышел из этого сложного положения путем введения для каждой возможной фигуры равновесия вращающегося жидкого тела коэффициента устойчивости, принимающего некоторые численные значения. В случае, когда эти коэффициенты принимают положительные значения, условие устойчивости по Пуанкаре выполняется. При отрицательных же значениях введенных А. Пуанкаре коэффициентов устойчивости равновесные формы жидкого тела становятся неустойчивыми.

С 1882 года в далеком г. Петербурге независимо от А. Пуанкаре к решению задачи устойчивости эллипсоидальных форм равновесия вращающейся жидкости подключился молодой и в будущем выдающийся российский математик и механик Александр Михайлович Ляпунов (1857-1918 гг.) [8]. Полученные А.М. Ляпуновым (рис. 11) результаты при приближенном решении указанной задачи, защищенные им в 1885 году в своей магистерской диссертации "*Об устойчивости эллипсоидальных форм равновесия вращающейся жидкости*", оказались по существу аналогичными научным данным, полученными несколько позже в г. Париже упомянутым А. Пуанкаре. Интересно отметить, что с 1887 года А.М. Ляпунов начал преподавание аналитической механики в Харьковском практическом технологическом институте, ставшим впоследствии Харьковским электротехническим институтом (ХЭТИ, 1930 год) и позже Харьковским политехническим институтом (ХПИ, 1950 год) [11]. Отметим, что после избрания в 1901 году А.М. Ляпунова в РАН в механико-математических исследованиях нового академического рассматриваемая нами "вековая" проблемная задача динамики жидких тел вращения получила свое полное и точное решение [8]. До наступления этого времени в 1892 году А.М. Ляпуновым, работавшим на кафедре механики Харьковского университета, была успешно защищена в Московском университете им. М.В. Ломоносова доктор-

ская диссертация на тему "*Общая задача об устойчивости движения*". В данной научной работе был представлен общий метод для решения задач об устойчивости движущихся тел. Выдающейся научной заслугой А.М. Ляпунова является создание строгой **теории устойчивости равновесия и движения** механических систем, определяемых конечным числом параметров [12]. С математической стороны вопрос об устойчивости движения тела А.М. Ляпуновым был сведен к исследованию предельного поведения решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих динамику его движения, при стремлении соответствующих независимого переменного к бесконечности. Устойчивость движения тела (системы) определялась А.М. Ляпуновым по отношению к возмущениям начальных данных движения.



Рис. 11. Выдающийся российский математик и механик Александр Михайлович Ляпунов (1857-1918 гг.) [12]

Заметим, что до фундаментальных работ А.М. Ляпунова в области механики вопросы об устойчивости движения тел обычно решались по первому приближению, при котором отбрасывались все нелинейные члены соответствующих дифференциальных уравнений. Причём, при таком приближенном подходе учеными не выяснялась математическая законность подобной линеаризации уравнений движения физических тел. Следует указать, что докторская диссертация и последующие работы А.М. Ляпунова в рассматриваемой области механики содержали целый ряд фундаментальных математических результатов, касающихся теории обыкновенных дифференциальных уравнений как линейных, так и нелинейных [13].

Нашего внимания заслуживают важные достижения в области движения материальных тел с переменной массой, полученные известными российскими учеными-механиками Иваном Всеволодовичем Мещерским (1859-1935 гг.) и Константином Эдуардовичем Циолковским (1857-1935 гг.), ставшим "отцом" и первым теоретиком советской космонавтики. Это касается, прежде всего, формулировки И.В. Мещерским знаменитого уравнения для движения тела с изменяющейся в процессе его перемещения массой (**уравнение Мещерского**, 1894 год) и получения К.Э. Циолковским известной формулы, связывающей при прямолинейном движении тела с заданной скоростью без учета влияния внешних сил сопротивления его первоначальную и текущую массы (**формула Циолковского**, 1895 год) [6]. Следует заметить, что указанные теоретические разработки российских ученых-механиков 19-го столетия нашли свою практическую реализацию при создании и развитии в бывшем СССР ракетно-космической техники.

Здесь нельзя не упомянуть о важном достижении известного российского ученого-механика Николая Егоровича Жуковского (1847-1921 гг.), который в своем труде "*Курс теоретической механики*" представил аналитическую зависимость величины подъемной силы, действующей на равномерно движущееся в идеальной жидкости крыло бесконечного размаха и заданной длины, от циркуляции вектора скорости жидкости относительно крыла, плотности и скорости невозмущенного потока жидкости (*формула Жуковского*, 1904 год) [6, 14]. Данная формула Н.Е. Жуковского (рис. 12) легла в основу аэродинамического расчета летательных аппаратов и мирового самолетостроения. Выбором же профиля крыла самолета авиаконструкторы добивались получения для него наибольшей величины подъемной силы и наименьшей силы лобового сопротивления при полете самолета или иного аппарата в воздушном пространстве.



Рис. 12. Известный российский ученый-механик Николай Егорович Жуковский (1847-1921 гг.) [14]

Для полноты научно-технической "картины", раскрывающей плодотворную деятельность этого ученого-механика, укажем, что в 1876 году Н.Е. Жуковский защитил диссертацию на степень магистра прикладной механики по теме "*Кинематика жидкого тела*". В ней соискателем было изучено распределение скоростей частиц жидкости. Поэтому, по сути, эта работа являлась введением в гидромеханику. В 1882 году им была успешно защищена в Московском университете им. М.В. Ломоносова докторская диссертация "*О прочности движения*". С 1887 г. он стал штатным профессором Императорского московского технического училища (позднее это учебное заведение стало Московским высшим техническим училищем им. Н.Э. Баумана, а ныне – Московским государственным техническим университетом им. Н.Э. Баумана) по кафедре аналитической механики. С 1890 года проф. Н.Е. Жуковский начал заниматься теорией полета аппаратов тяжелее воздуха. В связи с этим он писал [14]: "*Человек не имеет крыльев и по отношению веса своего тела к весу мускулов в 72 раза слабее птицы. Но думаю, что он полетит, опираясь не на силу своих мускулов, а на силу своего разума*". Какие замечательные провидческие слова и мысли! Основные научные работы Н.Е. Жуковского посвящены гидроаэродинамике и механике полета самолетов. Однако он выполнил и ряд оригинальных исследований прочности элементов механических конструкций: решил важную задачу о распределении давления на резьбовых нарезках винта и гайки; изучил прочность велосипедного колеса; рассмотрел колебания и устойчи-

вость паровоза на рессорах; исследовал устойчивость элементов конструкций самолетов.

Большой научно-технический вклад в теорию и практику всемирной механики внес выдающийся российский ученый-математик, механик и инженер-кораблестроитель Алексей Николаевич Крылов (1863-1945 гг.). В 1890 году мировую известность приобрел научный труд А.Н. Крылова "*Теория качки корабля*", явившийся первым всеобъемлющим теоретическим трудом в этой области [14]. Здесь следует указать, что в 1898 году А.Н. Крылов (рис. 13) за данную теорию был награжден золотой медалью Британского общества корабельных инженеров. Причём, это был первый случай в истории данного авторитетного общества, когда подобной медали удостоивался иностранец.

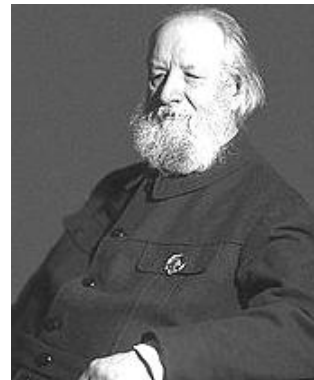


Рис. 13. Выдающийся российский математик, механик и кораблестроитель Алексей Николаевич Крылов (1863-1945 гг.) [14]

Продолжая работы в области кораблестроения, А.Н. Крылов создал теорию демпфирования (умирения) бортовой и килевой качки корабля. Он первый предложил гироскопическое демпфирование (успокоение) бортовой качки корабля, что сегодня является наиболее распространённым способом умирения его бортовой качки [14]. С 1900 года А.Н. Крылов деятельно трудился над вопросами плавучести корабля. Результаты этой работы стали классическими и до сих пор широко используются в мировом кораблестроении. В морском деле и сейчас широко используются его знаменитые *таблицы непотопляемости корабля* [14]. Отметим, что А.Н. Крылов знаменит своими работами по гидродинамике, в том числе и по теории движения корабля на мелководье. Он был первым, кто смог объяснить и рассчитать значительное увеличение гидродинамического сопротивления корабля при его плавании на небольших глубинах. Он разработал теорию единичных волн в области кораблестроения. Он решил основную задачу теории мостов, связанную с расчетом механических напряжений, вызываемых в тяжелой балке движущейся по ней безмассовой силой (1905 год). Выполнил на основе метода начальных параметров расчет балок на упругом основании (1930 год). Он изучил устойчивость сжатых стержней и показал, что точное дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня может быть проинтегрировано в эллиптических интегралах, которые табулированы с высокой точностью (1931 год). В области математики он достиг больших успехов в разработке проблемы собственных значений функций при вычислении коэффициентов характеристического полинома задан-

ной матрицы (этими работами в вычислительную математику было введено новое понятие – "*подпространство Крылова*", 1931 год). Вычислительный метод, основанный на подпространстве Крылова, находит применение и в современной практике при минимизации вычислительных затрат. В 1914 году Московский университет им. М.В. Ломоносова по представлению профессора Н.Е. Жуковского присудил А.Н. Крылову степень почетного доктора (*doctor honoris causa*) прикладной математики. Заметим, что именно А.Н. Крылов в 1915 году перевёл на русский язык трехтомник знаменитых "*Математических начал натуральной философии*" И. Ньютона, о кратком содержании которых, ставших основой теоретической механики, речь шла чуть выше. В 1916 году А.Н. Крылов был избран действительным членом РАН. В настоящее время РАН ежегодно присуждает прославившимся своими достижениями ученым премию имени академика А.Н. Крылова "*За выдающиеся работы по использованию вычислительной техники в решении задач механики и математической физики*".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя определенные краткие итоги рассмотренному в этой работе научно-историческому материалу, касающемуся истории становления и развития в мире классической механики в период 17-20 веков, следует отметить, что:

1. Ньютоновские законы динамики и закон всемирного тяготения в 17-ом столетии стали основой как классической механики, так и небесной механики, изучающих движение макроскопических тел.

2. Последующее после работ И. Ньютона теоретическое развитие классической механики многими выдающимися учеными-механиками, математиками и физиками мира привело к настоящему расцвету этой области знаний человечества, с проявлением практического применения научно-технических результатов которой мы сталкиваемся ежедневно и ежедневно как в нашем быту, так и на производстве при прямом и косвенном использовании нами разнообразных технических приспособлений и сооружений, машин и механизмов.

3. Не одно столетие потребовалось человечеству для того, чтобы убедиться в том, что законы классической механики не универсальны и что они нуждаются в уточнении для микроскопических тел, движущихся с большими скоростями. Данное уточнение привело к рождению в мировой науке новой отрасли знаний – волновой механики, описывающей квантованное вероятностное поведение и движение микроскопических тел (частиц) с до- и релятивистскими скоростями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцев П.С. Курс истории физики. – М.: Просвещение, 1974. – 312 с.
2. Храмов Ю.А. История физики. – Киев: Феникс, 2006. – 1176 с.
3. Скляренко В.М., Сыдро В.В. Открытия и изобретения. – Харьков: Веста, 2009. – 144 с.
4. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов. – М.: Русские словари, 2004. – 957 с.
5. Климов А.А. Большая книга знаний. – Харьков: Веста, 2010. – 160 с.
6. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский. – Киев: Наукова думка, 1989. – 864 с.
7. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в

науке и технике. Часть 1: Открытие периодического закона химических элементов // *Электротехника і електромеханіка*. – 2011. – №2. – С. 3-9.

8. Тяпкин А.А., Шибанов А.С. Пуанкаре / Серия "Жизнь замечательных людей". – М.: Молодая гвардия, 1979. – 415 с.
9. <http://www.barnaul-altai.ru/info/barnaul/people/polzunov.php>.
10. http://ru.wikipedia.org/wiki/Уатт,_Джеймс.
11. Неронова Е. Александр Михайлович Ляпунов / Газета "Політехник" №12 (2259) від 31.05.2007 р. (м. Харків), 2 с.
12. http://ru.wikipedia.org/wiki/Ляпунов,_Александр_Михайлович.
13. <http://ricolor.org/history/eng/tochn/Lyapunov/>.
14. http://ru.wikipedia.org/wiki/Крылов,_Алексей_Николаевич.

Bibliography (transliterated): 1. Kudryavcev P.S. Kurs istorii fiziki. – M.: Prosveschenie, 1974. – 312 s. 2. Hramov Yu.A. Istoriya fiziki. – Kiev: Feniks, 2006. – 1176 s. 3. Sklyarenko V.M., Syadro V.V. Otkrytiya i izobreteniya. – Har'kov: Vesta, 2009. – 144 s. 4. Bol'shoj illyustrirovannyj slovar' inostrannyh slov. - M.: Russkie slovari, 2004. - 957 s. 5. Klimov A.A. Bol'shaya kniga znaniy. – Har'kov: Vesta, 2010. – 160 s. 6. Kuz'michev V.E. Zakony i formuly fiziki / Otv. red. V.K. Tartakovskij. – Kiev: Naukova dumka, 1989. – 864 s. 7. Baranov M.I. Antologiya vydayuschihsia dostizhenij v nauke i tehnikе. Chast' 1: Otkrytie periodicheskogo zakona himicheskikh `elementov // Elektrotehnika i elektromehaniка. – 2011. – №2. – S. 3-9. 8. Tyapkin A.A., Shibanoв A.S. Puanкаre / Seriya "Zhizn' zamechatel'nyh lyudej". – M.: Molodaya gvardiya, 1979. – 415 s. 9. <http://www.barnaul-altai.ru/info/barnaul/people/polzunov.php>. 10. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Uatt>, Dzhejms. 11. Neronova E. Aleksandr Mihajlovich Lyapunov / Gazeta "Politehnik" №12 (2259) vid 31.05.2007 r. (m. Harkiv), 2 s. 12. http://ru.wikipedia.org/wiki/Lyapunov,_Aleksandr_Mihajlovich. 13. <http://ricolor.org/history/eng/tochn/Lyapunov/>. 14. http://ru.wikipedia.org/wiki/Krylov,_Aleksей_Nikolaevich.

Поступила 29.08.2011

Баранов Михаил Иванович, д.т.н., с.н.с.
НИПКИ "Молния"
Национальный технический университет
"Харьковский политехнический институт"
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47
тел. (057) 7076841, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

Baranov M.I.
An anthology of outstanding achievements in science and technology. Part 11: classical mechanics.

A brief scientific and historical essay on formation and development, in the period of the 17th through 20th centuries, of classical mechanics, its scientific achievements and their applications is given.

Key words – history, classical mechanics, achievements.