

222  
K71



А. А. КОСМОДЕМЬЯНСКИЙ  
\*  
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ  
МЕХАНИКА  
И СОВРЕМЕННАЯ  
ТЕХНИКА



22.2  
КУ

*Handwritten scribble*

А. А. КОСМОДЕМЬЯНСКИЙ

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ  
МЕХАНИКА  
И СОВРЕМЕННАЯ  
ТЕХНИКА**

**Фурхандорьинская  
ОБЛАСТНАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
им. Гоголя**

ADIB SOBIR TERMIZIY NOMIDAGI  
SURXONDARYO VILOYATI AXBOROT  
KUTUBXONA MARKAZI  
Katal. № 58771  
218.842 200 f.

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ПРОСВЕЩЕНИЕ“  
МОСКВА 1969

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Мне и доныне  
Хочется грызть  
Жаркой рябины  
Горькую кисть.

(М. Цветаева)

Эта книга написана для тех, кто преподает или хочет преподавать механику. В первую очередь мы имели в виду преподавателей механики и физики высшей школы, аспирантов, а также студентов старших курсов физико-математических факультетов педагогических институтов и университетов. По-видимому, некоторые главы будут полезными для учителей физики средней школы.

Книга тенденциозна. В ней целеустремленно пропагандируются творческие достижения основоположников теории реактивного движения И. В. Мещерского и К. Э. Циолковского, а также избранные работы нового научного поколения нашей страны, относящиеся к развитию этой теории. Автор уверен, что становление и обновление курса классической механики будет в значительной мере происходить на основе современного научно-технического прогресса авиации, ракетной техники и космонавтики.

Главное в этой книге посвящено поиску позитивных решений двух важнейших для преподавателей механики проблем:

а) Как надо модернизировать содержание курса теоретической механики в вузах, для того чтобы механика «шагала в ногу» с достижениями науки и техники XX в.? Иначе говоря: что нужно излагать в современном курсе механики?

б) Как надо преподавать курс механики в советской высшей школе?

Книга состоит из трех разделов. В первом разделе три главы: «Мысли о механике», «Теоретическая механика и развитие современной техники» и «Краткий исторический очерк развития механики». В этом разделе автор пытался рассмотреть основные задачи механики как науки о простейшей форме движения материальных тел, а также дать краткий обзор научных достижений современной механики тел переменной массы и ракетодинамики. Размышления над задачами, решение которых занимает умы исследователей 60-х годов XX в., позво-

ляют однозначно сделать вывод о необходимости критического пересмотра содержания традиционного курса механики и внесения в программу новых задач и методов, рожденных бурным развитием новых областей техники. В наши дни преподаватели механики не могут уйти от вопросов теории полета ракет, реактивных самолетов, искусственных спутников Земли и космических кораблей.

В главах 1 и 3 первого раздела обработан и представлен достаточно информативный материал для подготовки вступительной (вводной) лекции по теоретической механике. Лектор легко может отобрать для своей первой лекции то, что найдет наиболее интересным.

Второй раздел книги посвящен анализу трудной и важной научно-педагогической проблемы — как нужно преподавать теоретическую механику. Центральное место (главы 1 и 2) в этом разделе отведено рассмотрению педагогических воззрений и опыта преподавания механики профессоров Московского университета Николая Егоровича Жуковского и Андрея Петровича Минакова. Автор этой книги является горячим сторонником педагогической «системы» Минакова. Мы уверены, что *методические открытия и советы Минакова являются крупнейшим достижением педагогической мысли XX столетия.*

Являясь горячим сторонником педагогической системы незабвенного учителя, мы полагаем, что крупницы нашего собственного опыта преподавания являются лишь одной из иллюстраций прогрессивности системы Минакова.

Педагогические принципы А. П. Минакова следует, как мне кажется, пропагандировать еще и потому, что многие из моих воспитанников, окончивших Московский университет и Академию Жуковского (формирование которых проходило под значительным влиянием системы Минакова), оказались серьезными, глубокими и оригинальными исследователями, способными ставить и решать актуальные проблемы современной механики, а также успешно вести преподавание в высшей школе.

Научные и педагогические успехи моих учеников экспериментально подтверждают плодотворность основных положений педагогической системы Минакова и в какой-то мере оправдывают пребывание автора этих строк на планете Земля.

Развитию некоторых идей Минакова и фрагментарному изложению нашего опыта преподавания механики в вузах посвящена глава 3 второго раздела. В этой главе очень часто встречается «я» (а не «мы»), и автор просит не судить его сурово за столь необычную форму изложения научно-методических вопросов. Дело в том, что многие из высказываний, собранных здесь, столь интимны и так явственно окрашены индивидуальными убеждениями автора, что изложение от «я» делает педагогические рекомендации психологически менее категоричными и обязательными. Это как бы дружеская беседа автора и читателя.

Невысказанная щемящая грусть незримо присутствует на некоторых страницах этой выстраданной автором главы. В какой-то мере мы пытались строго и неллицеприятно проанализировать мечты о счастье молодого преподавателя вуза 30—50-х годов нашего XX в., и, конечно, все несделанное, неудавшееся, несбывшееся несколько мешало оптимистической манере изложения автора. Мы искренне призываем читателя отнестись к педагогическим высказываниям и рекомендациям автора этой книги максимально критически.

В третьем разделе кратко излагаются важнейшие научно-технические открытия и дается характеристика творческого стиля зачинателей новых разделов современной механики — К. Э. Циолковского и И. В. Мещерского.

Изложение проведено с минимальными математическими выкладками, и мы надеемся, что нам удалось строго и доступно рассказать о выдающихся достижениях этих ученых. Материалы этого раздела можно использовать не только преподавателям в соответствующих разделах курса, но и студентам — участникам научных кружков, а может быть и учащимся старших классов специальных математических школ.

Автору этой книги скоро исполнится шестьдесят лет. Он, говоря образно, уже вступил в полосу северных ноябрьских ветров, холодных и печальных. Ему хорошо известны и поэзия, и тяжкий труд профессии педагога высшей школы. И вот он думает, что самое главное в преподавании любой науки состоит в *единстве обучения и воспитания*, в строжайшей необходимости для педагога *первым* претворять в жизнь провозглашаемые лозунги. Хороший вузовский курс должен быть «окрашен» индивидуальностью педагога, а содержание любой лекции должно каждый раз являться радостным научным открытием лектора, передачей студенческой аудитории его внутренней правды. Нужно уважать своих слушателей и непрерывно совершенствовать культуру и технику преподавания. В педагогическом процессе нельзя «играть» положительного героя, не являясь им на самом деле. Студенческая аудитория выявляет обман быстро и точно. Однако если вы ищите новую тропинку (еще лучше — пролагаете новую дорогу) в данной науке и делаете это вследствие внутренних побуждений (вам нравится искать новое), то многие недостатки вашего характера будут вам прощаться. Для успеха преподавания в высшей школе необходимо быть настоящим ученым — *исследователем нового*. Преподающий *должен искать*, а его лучший удел — вкушать огненную горечь и усладу истины до самой последней встречи со студентами\*.

А. Космодемьянский

Москва, март 1968 г.

---

\* Прочтите стихотворение А. Блока «К музе».

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ  
МЕХАНИКА  
И РАЗВИТИЕ  
ТЕХНИКИ



## МЫСЛИ О МЕХАНИКЕ

Это научная поэма

(В. Гамильтон)

I. Все, что мы наблюдаем во внешнем мире, начиная с рождения, — это различные формы движения и взаимодействия материи. Среди многообразных форм движения материи *простейшей является механическая форма движения*. Механическое движение есть изменение положения (перемещение) материального тела по отношению к другим телам (по отношению к «материальному базису») с течением времени.

Движения материальных тел происходят в пространстве и во времени. Пространство и время неотделимы от движущейся материи, они являются объективными формами ее бытия.

При изучении механического движения обычно принимают во внимание только два важнейших качественных признака движущейся материи: ее *протяженность* (геометрическая форма материального тела) и *вещественность* (масса и ее распределение в данном геометрическом объеме). В преобладающем большинстве механических задач можно не учитывать влияния изменений других качественных признаков тела (например, его цвета, структуры, химического состава, оптических, тепловых, магнитных и других свойств) на закономерности изучаемого механического движения.

Так, изучая явление приливных волн, нет нужды рассматривать содержание йода в морской воде, так как незначительные изменения процентного содержания этого химического элемента в воде различных морей и океанов не оказывают заметного влияния на «механизм» явления приливных волн.

В этом конкретном случае механическая форма движения жидкости является доминирующей и определяющей, а законы теоретической механики позволяют объяснить сущность данного явления природы.

Необходимо иметь в виду, что даже для тех процессов движения материальных тел, в которых механическая форма движения является определяющей и доминирующей, мы в процессе теоретического изучения всегда должны для понимания закономерностей этой формы движения выделять изучаемые явления из всеобщей мировой связи и рассматривать их изолированно.

Объективно существующие в природе и технике изменяющиеся взаимозависимые движения различных тел предстают перед нами в задачах механики одно как причина, другое как следствие. *Теоретическая механика изучает механические движения в отношении их причин и следствий. «... Человеческое понятие причины и следствия всегда несколько упрощает объективную связь явлений природы, — пишет В. И. Ленин, — лишь приблизительно отражая ее, искусственно изолируя те или иные стороны одного единого мирового процесса»\**. (Подчеркнуто нами. — А. К.)

Теоретическая механика изучает главным образом вполне детерминированные процессы движения, и верной помощницей механики является высшая математика, которая «дает естествознанию возможность изображать математически не только *состояния*, но и *процессы*: движение» \*\*: Особо важное значение для механики имеют теория дифференциальных уравнений и вариационное исчисление.

Итак, механическое движение есть простейшая форма движения, представляющая изменение положения (места) материального тела в пространстве с течением времени. Изучение механических движений является первой, наиболее простой и логически естественной задачей науки. Теоретическая механика есть наука об общих законах этой простейшей формы движения реальных тел, ставящая своей главной задачей *познание количественных закономерностей* наблюдаемых в природе и «конструируемых» человеком механических движений.

2. Изучая процессы простейшей формы движения материальных тел в отношении их причин и следствий, механика выявляет научные основы конструирования и созидания самых разнообразных машин, приборов, механизмов. Развивающиеся потребности человеческого общества последовательно выдвигают на очередь в качестве неотложных научных проблем все новые и новые задачи изучения механического движения. Теоретическая механика в значительной степени выросла и растет сейчас на материалах исследований частных задач, выдвигаемых развитием техники. Это отчетливо видно из всей многовековой истории развития механики.

---

\* В. И. Ленин. Соч., изд. 4, т. 14. М., Госполитиздат, стр. 143.

\*\* Ф. Энгельс. Дialeктика природы. М., Госполитиздат, 1950, стр. 218.

Так, использование простейших машин (блоки, рычаги) при строительстве крупных зданий и стремление объяснить повседневно наблюдаемые явления механического движения привели в античное время к открытию закона рычага, определению центров тяжести тел простейших геометрических очертаний и созданию кинематики геоцентрической системы Птолемея. Развитие судоходства, военной техники и гражданского строительства в период со второй половины XV до конца XVIII в. способствовало открытию основных законов механического движения, и в этот период законы классической динамики твердых тел были сформулированы «раз и навсегда» (Энгельс). Развитие машиностроения в XIX в., обусловленное внедрением паровой машины, достижениями воздухоплавания и прогрессом железнодорожного транспорта, вызвало бурное развитие теории упругости, гидромеханики и аэромеханики. В XX в. в связи с прогрессом ракетной техники и овладением процессами преобразования внутриядерной энергии быстро развиваются новые разделы механики тел переменной массы (специальная теория относительности, ракетодинамика и др.).

Математические методы исследования играют весьма большую роль при изучении явлений механического движения. Однако *механика не есть прикладная математика*. Переход от реальных конструкций, опытов, наблюдений различных процессов механического движения к созданию абстрактных общих методов и решению дифференциальных уравнений, подчиненных лишь правилам математических умозаключений, есть *только одна* из сторон научного исследования в задачах механики. Исследователи называют этот первый шаг умением поставить (формулировать) задачу. Вторая сторона, обязательная для научного исследования по механике, включает возвращение от абстракции к опыту, от решения дифференциальных уравнений к проверке этих решений на практике, от теории к эксперименту, анализу реально протекающих процессов механического движения. Фактически каждый исследователь продельвает эти переходы от эксперимента к теории и от теории к непосредственному, опытному познанию явлений много-много раз.

Основная цель механики — *открытие, познание и практическое применение общих законов механического движения* — ставит ее в ряд естественных наук. *Механика — часть физики*. Научное изучение механического движения требует после процесса познания в непосредственно наблюдаемых явлениях умения выделить особо самое существенное, самое главное, доминирующее и для его исследования использовать все имеющиеся в распоряжении методы, не упуская, однако, из виду всю сложность целого, всю многогранность реального процесса. Научные абстракции и методы не искажают, а *отражают главное в реальных явлениях движения*, позволяя более глубоко и с качественной, и с количественной стороны познать определяющие стороны этих процессов. Добытые *путем*

*теории* выводы во многих задачах механики проверяются общественной практикой, обогащаются ею, все глубже и полнее отображая процессы явлений движения, вскрывая их сущность\*.

Изучение новых явлений в природе, объяснение закономерностей в новых разделах техники способствуют не только росту объема знаний, но и *совершенствованию логического мастерства*, являясь основным источником создания адекватных «сущности вещей» законов, понятий и определений. Так развиваются все естественные науки, давая человечеству могущественные методы в борьбе за овладение процессами природы. Вытекающая отсюда действенность этих научных дисциплин есть самое великое и ценное во всей истории мировой культуры.

При новых изысканиях и открытиях, при новых изобретениях и усовершенствованиях люди находят себе надежную опору в законах механики. *Логическое совершенство механики оценивается прежде всего тем, насколько теоретические выводы помогают понимать наблюдаемые процессы, предсказывать и указывать закономерности новых явлений.*

**3.** Механика близка к математике по двум основным причинам. Методы математики — рабочий инструмент механики; результаты, добываемые механикой, очень часто представляют собой благодарный материал для математических обобщений.

Хорошо известно из истории науки, что из простейших задач механики развились многие весьма содержательные математические дисциплины. Так, задача о форме кривой наискорейшего ската в однородном поле силы тяжести (задача о брахистохроне) привела к созданию вариационного исчисления, а затем и функционального анализа. Обобщения основных понятий механики (момента силы, работы силы, напряжения, деформации) составляют, в сущности, реальное основание векторного и тензорного анализа. Мы думаем, что конкретные задачи механики и физики обогащали математику идейным содержанием и оттачивали ее логические построения *не меньше*, чем абстрактные, предельно формализованные исследования в чисто внутренних областях математики. Абстрактные исследования содержательны и эвристичны при условии, что в их основе лежат (или предугаданы) некоторые количественные закономерности объективно существующих форм движения материи.

История науки показывает, что внутренние количественные закономерности новых реальных явлений природы и техники, подвергающиеся систематическому изучению, не всегда могут быть адекватно переданы закономерностями уже известных математических алгоритмов и операций, рожденных, быть может, другими реальными связями и отношения-

---

\* Великий В. Гёте говорил: «Всякое созерцание переходит в наблюдение, всякое наблюдение — в соображение, всякое соображение — в установление взаимной связи, и можно сказать, таким образом, что всякий раз, когда мы внимательно всматриваемся в мир, мы теоретизируем».

ми. Поэтому изучение явлений путем постановки опытов является в теоретической механике началом многих наиболее прогрессивных теорий.

Теоретическая механика есть научная основа важнейших разделов современной техники. Знание законов механики необходимо для понимания широкого класса явлений природы и формирования материалистического мировоззрения. Изучение движения неотделимо от идей развития. Диалектическую природу многих процессов природы можно научиться хорошо понимать, начав воспитание своего мышления с более простых явлений механического движения. Само собой разумеется, что изучение природы любого движения, понимаемого в применении к материи как изменение вообще, исторически «должно было исходить от низших простейших форм его и должно было научиться понимать их прежде...»\*, чем пытаться объяснить высшие и более сложные формы движения. Но историческое, очищенное от случайного, есть логическое, в самом строгом смысле этого слова, знание во всем объеме его развития, как говорил Гегель. Поэтому изучение механики в процессе умственного развития современной молодежи и необходимо, и логически неизбежно. Ф. Энгельс подчеркивает, что механическое движение не исчерпывает природы более сложных (высших) форм движения, но оно неотделимо от них. Поэтому и в высших формах движения материи (например, в физике, химии, биологии) исследование проявлений механического движения может приводить к открытиям первостепенной важности.

Развитие техники в наши дни показывает, что соединение рациональных механических конструкций с электронной аппаратурой приводит к росту могущества человека, помогая автоматизировать трудоемкие процессы и фантастически увеличивать производительность умственного и физического труда. Глубоко прав был великий Галилей, говоря: «Кто не знаком с законами движения, тот не может познать природы».

4. Знание законов теоретической механики, отражающих объективно существующие взаимосвязи и взаимообусловленность механических движений позволяет научно предвидеть ход процессов механических движений в новых задачах, возникающих при развитии человеческого общества, при развитии науки и техники.

Одной из важнейших сторон подлинной науки является именно возможность предвидения. В современной инженерной практике стадии эскизного и технического проектирования по существу и демонстрируют эту действительную силу научного мышления. Раз открытый закон механического движения неизменно и вполне определенно проявляет себя в самых разнообразных частных задачах. Например, можно наблюдать, рассчитать и затем экспериментально проверить справедливость закона площадей и в движении шаров центробежного регулятора, и в движении

---

\* Ф. Энгельс. Диалектика природы. М., Госполитиздат, 1950, стр. 44.

искусственного спутника Земли, и в движении гимнаста, делающего сальто-мортале, и в движении планет солнечной системы. Эта великая общность законов механического движения, начиная от движения снежинки, увлекаемой ветром по безбрежной приуральской степи, до движения солнечной системы и звездных миров, наполняет механику чудесным ароматом подлинного романтизма, позволяя наглядно постигать могущество человеческого разума, *приучая не только видеть мир, но и понимать его.*

История развития теоретической механики дает нам многочисленные примеры того, как на основе познанных объективных законов механического движения можно уверенно делать выводы о причинах и характеристиках вновь открываемых движений. «Это показывает, — писал Ф. Энгельс, — что законы мышления и законы природы необходимо согласуются между собою, если только они правильно познаны»\*. Хорошо известен случай, когда отклонения наблюдаемых на небесном своде положений планеты Уран от теоретически вычисленных были объяснены известным французским астрономом Леверье (1811—1877) возмущающим действием силы притяжения от новой, еще неизвестной планеты. Пользуясь законами механики, Леверье определил орбиту этой неизвестной планеты и указал ее место на небесной сфере для определенного момента времени. Астрономы-наблюдатели, на основании вычислений, обследовали более тщательно указанный теоретически небольшой участок небесной сферы и открыли новую планету солнечной системы, получившую название «Нептун»\*\*.

На основе законов механики производятся определения орбит (траекторий) искусственных спутников Земли столь точно, что координаты спутника на небесной сфере на несколько дней (несколько недель, месяцев и даже лет в зависимости от высоты орбиты) вперед сообщаются наблюдательным пунктам всего земного шара и эти предсказания выполняются безукоризненно.

При помощи расчетов, основанных на законах классической механики и аэромеханики, в конструкторских бюро авиационных заводов устанавливают геометрические формы новых самолетов и определяют их летные характеристики (скорости полета на различных высотах, дальности и продолжительности полета при заданных запасах топлива, практические предельные высоты полета, устойчивость, способность к исполнению предначеченного маневра и др.) с большой точностью.

\* Цит. по кн.: Б. М. Кедров. Энгельс и естествознание. М., Госполитиздат, 1947, стр. 87.

\*\* Ф. Энгельс пишет в «Диалектике природы»: «Менделеев, применив бесспорно гегелевский закон о переходе количества в качество, совершил научный подвиг, который смело можно поставить рядом с открытием Леверье, вычислившего орбиту еще неизвестной планеты — Нептуна».

Законы механики позволяют предвычислять траектории, скорости и дальности полета артиллерийских снарядов, баллистических ракет дальнего действия, беспилотных самолетов. Всюду, где инженеру приходится иметь дело с механическим движением, теоретическая механика *дает надежную, проверенную практикой основу* для правильного познания количественных закономерностей различных конкретных движений.

При проектировании и строительстве новых сооружений (мостов, плотин, самолетов, ракет, зданий) на основании колоссального предшествующего опыта специалисты настолько уверены в справедливости законов механики, что все вытекающие из расчетов выводы считают *абсолютно верными*. Если в ряде случаев и получаются расхождения теории с практикой, то всегда при последующем строгом и тщательном анализе они объясняются или неточностью исходных данных, или арифметическими ошибками счета. Классическая механика — наиболее совершенная из всего цикла естественных наук. Крупнейшие инженеры — авторы оригинальных проектов — с нескрываемой гордостью рассказывали мне, что по традиционному правилу главный инженер-строитель и руководитель проекта железнодорожного моста встают под мост, когда первый поезд проходит по нему во время государственных испытаний. Создатели моста полностью уверены в осуществленной конструкции, спроектированной на базе законов механики. *Законы механики — подлинное руководство к безошибочному действию в современной технической практике.*

Эвристическая ценность законов механики несомненна. *Механика направляет творческую интуицию ученых и инженеров, давая им в краткой и ясной форме итог колоссального опыта человечества.*

Миллионы и миллиарды частных случаев механического движения охватываются по существу несколькими простыми законами большой общности и безграничных потенциальных возможностей. Выработанные в процессе исторического развития механики основные понятия и определения, открытые и строго сформулированные законы позволяют познавать механические движения адекватно их сущности, с полным учетом своеобразия и специфичности изучаемых явлений. Если исследователь владеет законами механического движения, то он способен понять *любой* частный случай движения, сделав его подвластным человеческому разуму.

5. Развитие современной науки и техники указывает на все возрастающее значение механики. Увеличение объема и совершенствование качества расчетов, предшествующих исполнению, постройке реальных объектов, идут в наши дни главным образом в направлении учета детерминированных процессов, определяемых системами дифференциальных уравнений. Можно указать вполне сформировавшиеся и только начинающиеся области научно-технического развития, в которых добрая половина доминирующих закономерностей определяется законами механического движения, и, следовательно, дифференциальные уравнения этих

процессов есть уравнения динамики. Овладение общими законами механического движения обогащает исследователя любой области науки и техники *плодотворными и могущественными методами научного познания динамических процессов*, помогая раскрывать истинные закономерности («суть» дела) широких классов явлений природы и техники. Посмотрите, например, на содержание современных учебников и монографий по динамике аэропланов, теории космических полетов, гидравлическим расчетам водопроводов, теории стрельбы и бомбометания, теории корабля, теории автоматического регулирования и многих-многих других, и вам будет ясно, что на законах механического движения покоится от 60 до 99% реального профессионального содержания этих научных дисциплин.

Исследования, проведенные в последние десятилетия в теории потенциала, теории нелинейных колебаний, теории волновых процессов, теории систем с обратными связями, кибернетике, бионике и различных областях применения электронных счетных машин, неоспоримо *выявляют более глубокое значение общих закономерностей механического движения для современного технического прогресса*. Стоит указать, что вариационные принципы механики и методология отыскания универсальных динамических характеристик (мер) сложных процессов являются в наши дни *исходными методологическими положениями* в ряде важнейших разделов современной теоретической физики и их познавательное (эвристическое) значение уже переросло формальные границы простейшей формы движения. Мы с удовлетворением наблюдаем, как надлежащая оценка механических форм движения в физиологических процессах живого организма приводит к нетривиальным открытиям\*, недоступным догматическим глашатаям невероятной сложности (а по существу—непознаваемости) «специфики живого». Глубоко был прав гениальный М. В. Ломоносов, который советовал при изучении явлений природы широко использовать арсенал методов и средств, добытых *всей наукой*. Он писал, например, что химик обязан «выспрашивать у осторожной и догадливой геометрии, советоваться с точною и замысловатую механикою, выведывать через проницательную оптику».

Механики, вероятно, прочтут с удовольствием следующее высказывание знаменитого русского физиолога И. П. Павлова: «Как часть природы каждый животный организм представляет собой сложную обособленную систему, внутренние силы которой каждый момент, покуда она существует, как таковая, уравниваются с внешними силами окружающей среды. Чем сложнее организм, тем тоньше, многочисленнее и разнообразнее элементы уравнивания. ...Таким образом, вся жизнь

---

\* См.: А. С. Залманов. Тайная мудрость человеческого организма. М., «Наука», 1966.

от простейших до сложнейших организмов, включая, конечно, и человека, есть длинный ряд все усложняющихся до высочайшей степени уравновешиваний внешней среды. *Придет время — пусть отдаленное, — когда математический анализ, опираясь на естественнонаучный, охватит величественными формулами уравнений все эти уравновешивания, включая в них, наконец, и самого себя*\*.

Павловский оптимизм, основанный на экспериментальных фактах изучения высшей нервной деятельности животных и человека, позволяет нам сделать логически строгий вывод о необычайном богатстве научной проблематики для будущих поколений механиков. Ведь механическое движение сопутствует всем высшим формам движения, и часто изучение какого-либо процесса *требует совместного рассмотрения закономерностей различных форм движения*. Так, например, изучение пограничного слоя газа на обтекаемой (омываемой) поверхности головной части межконтинентальной баллистической ракеты требует, кроме уравнений динамики и уравнения сохранения массы, учета *тепловых* процессов (т. е. рассмотрения законов термодинамики) и привлечения закономерностей *химической кинетики*\*\*.

Несомненно ошибаются те ученые, которые говорят о полной законченности строительства «храма» науки — механики. Ведь новые проблемы и рождают новые методы исследования. Достаточно указать, что исследование движение тел переменной массы привело И. В. Мещерского и К. Э. Циолковского к новым уравнениям динамики, а проблема движения тел со скоростями, сравнимыми со скоростью света, явилась стимулом к созданию специальной теории относительности.

Теоретическая механика является одной из наук о природе.

Вся современная техника, включая и атомную, неотделима от механических форм движения и опирается на использование этих форм. Механика — научная база развития важнейших областей промышленности XX в.

Предмет исследования механики вечен в спонтанном круговороте материи\*\*\* и *безграничен* в своем объеме. Все исполнительные механизмы в орудиях труда, разнообразных машинах и автоматах действуют в полном соответствии с законами механики. В этой науке идут рука об руку.

---

\* И. П. Павлов. Естествознание и мозг. Речь, произнесенная на общем собрании XII съезда естествоиспытателей и врачей в Москве 28 декабря 1909 г. (Подчеркнуто нами. — А. К.)

\*\* В приведенном примере механика ответственна за выдачу рекомендаций инженеру. Можно привести большое число проблем, требующих «содружества наук», но где механика только помогает понять некоторые из сторон процесса. Эти задачи не менее интересны для развития методов механики.

\*\*\* См.: Ф. Энгельс. Диалектика природы. М., Госполитиздат, 1950, стр. 18. Энгельс пишет: «Воц вечный круговорот... в котором ничто не вечно, кроме вечно изменяющейся, вечно движущейся материи и законов ее движения и изменения».

интеллектуальное вдохновение и безупречно строгий математический анализ, помогающие человечеству *не только объяснять мир, но и целенаправленно изменять его.*

6. Развитие теоретической механики в нашей стране нельзя отделить от формирования научных и педагогических кадров этой науки, от интеллектуального климата в исследовательских и учебных организациях. Нам кажется, что весьма важной обязанностью преподавателей механики является *выявление и воспитание талантливой научной смены, смелой и энергичной, способной пролагать новые пути творческих исканий.* В нашей стране, к сожалению, опубликовано очень мало работ, посвященных психологии научного творчества, и поэтому выяснение пригодности данного индивидуума для научной работы отдано, по существу, интуиции и «здоровому смыслу» преподающих (или руководящих). Между тем черты творческой личности можно выявлять научно, и необходимо тренировать у воспитателей более острый и точный «глаз», предохраняющий при отборе будущих ученых от очевидных ошибок. Как в течение всей жизни интеллигентный человек учится «видеть мир», «слушать музыку», понимать «равнодушную» природу, так и ученые-механики *должны непрерывно совершенствовать методы диагностики и подготовки научной смены.* Мы приведем здесь интересные эмпирические выводы американского исследователя Бернис Эйдусон\*, характеризующие мышление и восприятие мира у способного исследователя. Группа видных ученых США, согласившихся принять участие в обследовании Б. Эйдусон, состояла из 40 докторов наук (двое из них были лауреатами Нобелевской премии). Возраст их — от 28 до 65 лет.

Вот некоторые интеллектуальные, эмоциональные и мотивационные качества ученого, выявленные этими специально поставленными экспериментами:

сильная эмоциональная склонность к интеллектуальной деятельности;

независимость мышления и действия (ученый не любит подражать другим);

препятствия и положения, порождающие опасения, служат ему вызовом;

любопытность;

фантазия;

широкая гамма эмоциональных реакций внутри интеллектуальной структуры;

---

\* См.: Bernice T. Eiduson. Scientists: Their Psychological World. (Foreword by Harrison Brown.) Basic Books. New York, 1962 (см., например, стр. 122, 123). Отметим, что в 50-х и 60-х годах по проблеме психологии научного творчества в США опубликовано более тысячи статей и монографий.

в достижениях своих целей не руководствуется идеалами «отцов»; обладает способностью к перестройке и реорганизации привычных понятий;

побуждением к исследованию служит для него желание овладеть силами природы и истолковать их;

он восприимчив к настроению и чувствам других;

повышенная чувствительность к своему внутреннему миру, своим нуждам, желаниям, стремлениям;

он ценит труд прежде всего как средство выражения своей личности;

принимая реальность, он видит ее иначе, чем другие;

имеет большую склонность к чувственным удовольствиям.

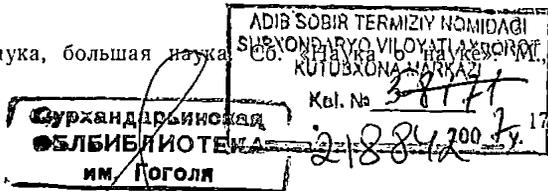
Один из обследуемых высказал глубокую правду о внутреннем мире настоящего ученого: «Есть один фактор, существенный в развитии ученого: удовлетворение от достижения, о котором знаешь, что это — достижение».

Американскими исследователями установлено\*, что с 1910 по 1960 г. число научных работников в США увеличивалось по экспоненциальному закону с периодом удвоения, равным 12,5 лет; таким образом, за 50 лет число научных работников увеличилось в  $2^4 = 16$  раз. Расходы на научные исследования (учитывая сложность современного экспериментального оборудования) растут пропорционально квадрату числа научных работников и, как показывает статистика, за 50 лет возросли в  $16^2 = 256$  раз. Эти расходы достигли в 1960 г.  $\sim 2\%$  национального дохода США. Предельно допустимые расходы на науку, выдерживаемые государством, определяются в пределах от 6 до 8% национального дохода. Таким образом, подбор научных кадров приобретает значение крупнейшей экономической национальной проблемы.

Многие в наши дни начинают понимать, что чисто количественный подход к формированию научной смены без учета творческого потенциала будущих исследователей может привести в ближайшие два-три десятилетия к экономической неэффективности научных исследований в ряде областей научно-технического прогресса и для государства будет выгоднее и разумнее покупать открытия, нежели кормить «дивизии» бесплодных личностей, безответственно включенных в несвойственную им сферу интеллектуального труда.

7. Изучение механики неизбежно для очень широкого спектра профессий XX столетия. Этот спектр расширяется на наших глазах, так как познание и практическое использование механических форм движения является существенным элементом современного прогресса. *Механика — живая, быстро развивающаяся научная дисциплина; она предлагает ис-*

\* См.: Д. Прайс. Малая наука, большая наука. «Прогресс», 1966.



следователям неисчерпаемую актуальную проблематику для самостоятельного творчества. *Механика — могущественная наука.* Преобразование природы планеты Земля, осуществленные человечеством при помощи теоретической и прикладной механики только в XX в., сопоставимы с геологическими изменениями, производимыми силами природы в течение тысячелетий.

Коллективы механиков нашей страны *обязаны* пробуждать творческие силы советской молодежи, воспитывать смелость и настойчивость в поисках нового, неизвестного. Ни в природе, ни в технике нет таких сил, которые могли бы противоборствовать способностям человеческого ума открывать законы, создавать теории, познавать истинную сущность явлений. Уверенность в могуществе познающего разума и глубокое удовлетворение, сопровождающее даже небольшое самостоятельное движение вперед, создают неистребимые элементы человеческого счастья. Настоящий человек — новатор по своей внутренней природе. Нет в этом мире ничего более великого и благородного, чем созидание. Надо уважать и ценить открытия предшествующих поколений и смело идти дальше. Работа интеллекта неотделима от стремлений человеческого сердца, формирования характера исследователя. Скепсис и безразличие — плохие спутники творческой личности.

Выдающийся знаток человека, один из крупнейших философов Германии XIX в. — Людвиг Фейербах писал: «Каковы отличительные признаки истинно человеческого в человеке? *Разум, воля и сердце.* Совершенный человек обладает силой мышления, силой воли и силой чувства. Сила мышления есть свет познания, сила воли — энергия характера, сила чувства — любовь. Разум, любовь и сила воли — это совершенства. В воле, мышлении и чувстве заключается *высшая, абсолютная сущность* человека, как такового, и цель его существования. Человек существует, чтобы познавать, любить и хотеть»\*.

Мы думаем, что наиглавнейшей задачей преподавателя механики в высшей школе является развитие такой системы обучения и воспитания, которая направляла бы все «высшие абсолютные совершенства» студента как человека на целеустремленные творческие искания нового.

---

\* Л. Фейербах, Избранные философские произведения, т. II. М., Госполитиздат, 1955, стр. 31, 32.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА И РАЗВИТИЕ НОВЫХ ОБЛАСТЕЙ ТЕХНИКИ \*

Сближение теории с практикой дает самые благоприятные результаты, и не одна только практика от этого выигрывает; сами науки развиваются под влиянием ее: она открывает им новые предметы для исследования или новые стороны в предметах, давно известных. ...Она предлагает вопросы, существенно новые для науки, и таким образом *вызывает на изыскание совершенно новых методов*. Если теория много выигрывает от новых приложений старой методы или от новых развитий ее, то она *еще более приобретает открытием новых методов*, и в этом случае науки находят себе верного руководителя в практике.

(П. Л. Чебышев. Собр. соч., т. V, стр. 150)

**1.** Теоретическая механика есть научная основа важнейших направлений развития современной техники. Потребности и нужды человеческого общества последовательно выдвигают в качестве актуальных и неотложных проблем исследования все новые и новые явления механического движения. Теоретическая механика в значительной степени формировалась и растет сейчас на материалах изучения конкретных частных задач, появление которых обусловлено развитием техники. Это отчетливо видно из всей многовековой истории развития механики.

Можно напомнить, что практическое применение простейших машин (блоки, рычаги, полиспасты) в античное время при строительстве крупных зданий в Греции, Риме и Египте привлекло внимание ученых и в результате были разработаны методы определения центров тяжести тел простой геометрической формы и сформулирован закон равновесия рычага. Развитие мореплавания, военной техники и гражданского строительства в XV—XVIII вв. способствовало открытию основных законов механического движения и появлению фундаментальных трудов по динамике твердого тела и небесной механике.

Прогресс машиностроения в XIX в, обусловленный внедрением в промышленность и транспорт паровых машин, вызвал бурное развитие

---

\* Обработанная и дополненная стенограмма доклада, сделанного автором 3/II 1966 г. на заседании пленума научно-методического совета по теоретической механике в Москве. (Глава написана по открытым советским и иностранным источникам.)

как теоретической механики, так и близких к ней прикладных наук: сопротивления материалов, динамики механизмов, теории упругости и гидромеханики.

Основная цель этой главы состоит в том, чтобы рассмотреть *источники роста теоретической механики как фундаментальной науки*, сосредоточив главное внимание на взаимодействиях механики с техническими потребностями общества, обусловленными развитием современной авиации и ракетной техники. Мы приведем достаточно фактов, доказывающих, что свежесть и новизна современной научной проблематики в теоретической механике вызваны к жизни коренными изменениями в технике —этом наиболее подвижном элементе производительных сил человеческого общества. Новые научные открытия и достижения должны находить свое отражение и в преподавании курса теоретической механики, обновляя и пополняя содержание этой дисциплины. Известно, что в сложившейся системе инженерного образования нашей страны механика отнесена к «базовым» дисциплинам; на основе познания студентами законов механического движения становится продуктивнее и глубже понимание конкретных технических открытий и практических приемов промышленного производства. Механика есть неотъемлемый элемент развития и науки, и промышленности.

Увеличение объема многих разделов механики благодаря успешной исследовательской работе больших коллективов ученых и инженеров, открытие новых, ранее неизвестных закономерностей механического движения требуют критического рассмотрения существующих программ по курсу теоретической механики. В дальнейшем мы обсудим некоторые практические предложения по педагогическим проблемам, тесно связанным и закономерно вытекающим из происходящего в наши дни обновления содержания классической механики.

2. Если проследить развитие теоретической механики в крупном плане, начиная с эпохи Возрождения, то можно указать *два главных и определяющих источника роста механики как науки*.

Во-первых, это нужды развивающегося человеческого общества; в XX в. они обусловлены преимущественно развитием техники. Поступательное прогрессивное развитие современной техники является мощным стимулом научного развития вообще, а механики в особенности. Вероятно, вполне уместно напомнить здесь мысль Ф. Энгельса, высказанную им в письме к Гейнцу Штаркенбургу в январе 1894 г.: «Если, как Вы утверждаете, техника в значительной степени зависит от состояния науки, то в гораздо большей мере наука зависит от *состояния и потребностей* техники. Если у общества появляется техническая потребность, то она продвигает науку вперед больше, чем десяток университетов»\*.

\* К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. XXIX. М., Госполитиздат, 1946, стр. 283.

Анализируя работы советских ученых-механиков, можно утверждать, что среди них нет разногласий относительно доминирующего значения потребностей техники в прогрессивном развитии механики. Влияние техники настолько «весомо, грубо, зримо», что доказательства очевидны всем. Укажем, что тесную связь теории с практикой, науки с производством можно отчетливо проследить по многим выдающимся произведениям ученых нашей страны как генеральную линию развития передовой русской механики. Мы напомним только о научных трудах и научной школе Н. Е. Жуковского — «отца русской авиации», произведшего в конце XIX в. на основе новых научных открытий радикальное преобразование содержания и методов преподавания теоретической механики в технической высшей школе нашей страны.

Законы и методы теоретической механики — подлинное руководство к безошибочному действию в современной технической практике. Механика направляет творческие искания современных ученых и инженеров, давая им в чеканной и ясной форме итог колоссального опыта всего человечества. Но рост новой техники обуславливает и новую научную проблематику. На взаимодействиях науки механики с некоторыми областями современной техники мы и фиксируем главное внимание.

Вторым источником роста механики как фундаментальной науки является спонтанное развитие человеческой мысли, абстрагирующая способность познающего разума. Потребность создавать и открывать новое есть неистребимое качество настоящего человека. Нет в этом мире ничего более великого и благородного, чем созидание. Часто об этом субъективном источнике развития и прогресса механики говорят, что он обусловлен *логикой развития самой науки*. В нашей научной и педагогической литературе по механике мы очень редко говорим об этом источнике научного прогресса, и многим он представляется малозначимым и несущественным. Приведем некоторые высказывания о важности и самостоятельности теоретического мышления, заимствованные из книги Н. Бурбаки (псевдоним коллектива современных французских математиков), посвященной истории математики\*: «... то, что между экспериментальными явлениями и математическими структурами существует тесная связь, — это, как кажется, было совершенно неожиданным образом подтверждено недавними открытиями физики». Но «перед тем, как началось революционное развитие современной физики, было потрачено немало труда *из-за желания во что бы то ни стало заставить математику рождаться из экспериментальных истин*»\*. В наши дни установлено, что многие закономерности микромира (например, взаимодействия элементарных частиц) существенно отличаются от закономерностей макромира и «для познания закономерностей макромира понадобились такие

\* См.: Н. Бурбаки. Очерки по истории математики. М., Изд-во иностр. лит., 1963, стр. 258. (Подчеркнуто нами. — А. К.)

разделы математики, которые *наверное* не были изобретены с целью приложения к экспериментальным наукам» и, конечно, не обусловлены достижениями экспериментальной физики XX в. Думаю, со мной согласятся многие, если я выскажу утверждение, что геометрию Лобачевского, теорию функций комплексного переменного, вариационные принципы механики, интегральные инварианты для канонических уравнений Гамильтона, открытие планеты «Нептун» и многое другое нельзя доказательно обусловить развитием техники или научного эксперимента. Исследовательская работа в высших сферах абстракций *не менее важна для развития науки и становления новых научных методов*. Ф. Энгельс указывает в своей знаменитой работе «Людвиг Фейербах и конец классической немецкой философии», что раз возникнув научные теории «обладают независимым развитием и подчиняются только своим собственным законам»\*. Анализируя в этой главе только первый источник роста механики как науки, прошу понять меня правильно. Я считаю второй источник развития теоретической механики *очень важным* и часто определяющим неожиданно быстрый научный прогресс. Напомню еще глубокую мысль Дж. Томсона, который писал, что «открытия в прикладных науках ведут к эволюции, открытия в теории — к революции».

3. Примеры, показывающие плодотворные взаимодействия современной промышленности и теоретической механики, будут нами заимствоваться из авиационной и ракетной техники. Эти области современного технического прогресса позволяют достаточно убедительно показать *обновление научной проблематики в крупных, определяющих разделах современной теоретической механики*.

Мы современники величайшей научно-технической революции. Овладение процессами высвобождения ядерной энергии, создание сверхзвуковых скоростных самолетов, ракет дальнего действия и космических кораблей необычайно ускорили научно-технический прогресс. Пробуждены и организованы такие силы промышленности и науки, о которых даже и не мечтали в предшествующие периоды развития человеческого общества. Мы свидетели и участники грандиозной перестройки в технике, научном эксперименте и научном мышлении. В современной научно-технической и научно-популярной литературе XX в. часто называют: «век ракетной техники», «космическая эра», «ракетно-атомная эпоха» и т. п.

Развитие новой техники привело к сильной концентрации в этой сфере современной жизни материальных и духовных ресурсов человеческого общества. В ряде крупнейших стран мира эту концентрацию можно проследить по бюджетным ассигнованиям.

---

\* К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 21. М., Госполитиздат, 1961, стр. 313.

Для иллюстрации приведем здесь некоторые данные о росте бюджета США на освоение космического пространства:

в 1955 г. эти расходы США составили всего...	59,9	млн. долларов		
в 1957 г. было израсходовано	178,9	»	»	
в 1959 г. »	759,2	»	»	
в 1961 г. »	1 808,2	»	»	
в 1962 г. »	3 294,8	»	»	
в 1963 г. »	5 434,5	»	»	
в 1964 г. »	6 861,4	»	»	
в 1965 г. »	6 991	»	»	
По утвержденному бюджету на 1967 г. около	7 000	»	»	

Освоение космического пространства — это большая комплексная проблема, и указанные выше ассигнования идут, конечно, в разные области науки и промышленности. Львиную долю поглощает ракетная техника (мощные ракеты-носители) и системы управления полетом. Так, например, в 1964 г. на работы по инерциальным системам управления полетом и инерциальной навигации в США было израсходовано более 1,5 млрд. долларов\*.

Американская авиационно-ракетная промышленность является в наши дни самой крупной отраслью промышленности США. В ней занято (данные 1966 г.) 1 266 000 человек (из них ученых и инженеров 215 000, т. е. 17%)\*\*.

Развитие и современные масштабы ракетной техники можно наглядно представить по военной классификации ракет, принятой в США. В этой классификации изделия (объекты) ракетной техники различаются по месту (положению) старта ракеты — оружия нападения или защиты — и месту (положению) цели, которую должна поразить ракета. Так, например, ракета класса «воздух—воздух» стартует с летящего самолета-носителя (или вертолета) и поражает цель (подвижную или неподвижную), находящуюся в воздушном пространстве; ракета класса «воздух—земля» стартует с летящего самолета и поражает цель — подвижную или неподвижную — на земле. В американских справочниках в настоящее время отмечаются следующие откристиллизовавшиеся классы ракетного оружия\*\*\*.

\* См.: R. C. Dunkan, A. S. Gunnerson. Inertial Guidance, Navigation and Control Systems, „Journal of Spacecraft and Rockets“, 1964, No. 6.

\*\* По последним данным журнала „Aviation Week and Space Technology“, Vol. 87, 1967, No. 12, в июне 1967 г. — 1 390 000 человек, из них ученых и инженеров 17%, производственных рабочих 54% и техников 7%.

\*\*\* См.: „Handbook of Astronautical Engineering“. Editor-in-chief — H. H. Koelle, McGraw-Hill, New York, 1961. Классификации ракет посвящена глава 23 этого справочника, стр. 14—66.

I	II
«Земля — земля»	«Корабль — земля»
«Земля — корабль»	«Корабль — корабль»
«Земля — подводная лодка»	«Корабль — подводная лодка»
«Земля — воздух»	«Корабль — воздух»
«Земля — космос»	«Корабль — космос»
III	IV
«Подводная лодка — земля»	«Воздух — земля»
«Подводная лодка — корабль»	«Воздух — воздух»
«Подводная лодка — подводная лодка»	«Воздух — корабль»
«Подводная лодка — воздух»	«Воздух — подводная лодка»
«Подводная лодка — космос»	«Воздух — космос»
V	
«Космос — земля»	
«Космос — воздух»	
«Космос — космос»	
«Космос — подводная лодка»	
«Космос — корабль»	

Таким образом, насчитывается  $5 \times 5 = 25$  классов боевых ракет. Не все они продвинуты и развиты в одинаковой мере, но некоторые, как, например, класс «земля—земля», насчитывают более десятка объектов вооружения, начиная с пороховых ракет малой дальности (до 10 км) и кончая глобальными ракетами на жидком топливе с дальностью полета более 20 000 км.

Приведенная классификация ракет дает возможность понять, сколь обширна эта область современной техники и как много материальных и духовных сил человеческого общества привлечено к формированию указанного направления технического прогресса.

Хочется указать, что развитие авиационной техники также ускоренно идет вперед. Если за 20-летний период с 1925 по 1945 г. максимальные скорости самолетов-рекордистов увеличились почти в 2 раза, то за такой же период с 1945 по 1965 г. максимальные скорости возросли более чем в 3 раза. В настоящее время, когда человек стоит на пороге овладения пилотируемыми космическими аппаратами, имеющими скорость, несколько превосходящую вторую космическую скорость, становится ясным, что ни ракеты, ни космические корабли не могут заменить самолета для транспортных и военных задач, имеющего свою специфику как в процессе разработки, так и при испытаниях и эксплуатации. Скорости военных и пассажирских самолетов растут и будут расти. По-видимому, в конце этого пятилетия (к 1970 г.) будут созданы пассажирские самолеты со скоростями полета до 1 км/сек. Эта скорость *прево-*

*сходит скорости артиллерийских снарядов* массовых артиллерийских систем периода второй мировой войны. Прогресс авиационной техники требует новых открытий в области аэродинамики и термодинамики, создания новых конструкционных материалов и совершенствования авиационных двигателей. Революционные преобразования должна пережить динамика самолетов. Для гиперзвуковых скоростей полета (превосходящих в 4—8 раз скорость звука) особое значение приобретают прямоточные воздушно-реактивные двигатели.

В научно-технических исследованиях по околокосмическим скоростям полета большой цикл работ посвящен проблеме создания пилотируемого орбитального самолета.

Следует отметить, что характерной особенностью в развитии перспективных летательных аппаратов является стремление конструкторов обеспечить стационарные полеты человека (пилота) во всех областях атмосферы и космического пространства. Современные серийные самолеты уже надежно освоили полеты до высот 20—25 км; космические корабли-спутники Земли обеспечивают многодневные полеты на высотах более 170—190 км. С уменьшением высоты круговой орбиты до 170 км время существования спутника резко уменьшается. Вычисления и наблюдения показывают, что при реальных значениях поперечной нагрузки ( $G/S$ ), где  $G$  — вес спутника, а  $S$  — площадь его мидела, искусственный спутник Земли на высотах, меньших 170 км, не может пролететь без двигателя даже один виток и входит в плотные слои атмосферы, а затем приземляется\*.

Стационарные длительные полеты самолетов на высотах, превышающих 30 км, возможны для современных аэродинамических компоновок лишь при скоростях, превышающих 1000 м/сек. При таких скоростях полета температуры поверхности самолета становятся значительными (более 350—450°C), что сильно усложняет создание надежно работающих конструкций. Можно определить целесообразное сочетание высот и скоростей полета, при которых температуры поверхности самолета будут допустимыми. Завоевание диапазона высот от 20—25 до 170—190 км осуществляется в современной технике и «снизу» — созданием самолетов гиперзвуковой авиации, и «сверху» — созданием орбитальных самолетов, выводимых на заданную круговую орбиту при помощи ракет-носителей или самолетов-носителей. На высотах до 90—100 км и скоростях

---

\* Высота 170 км до некоторой степени условна. Время существования спутника определяется значениями плотности атмосферы в области перигея орбиты. Экспериментально доказано, что плотность верхних слоев (170—250 км) атмосферы увеличивается в 1,5—3 раза в годы максимумов солнечных пятен; экспериментально выявлены также сезонные и суточные изменения плотности верхних слоев атмосферы. См. «Исследования космического пространства». «Труды всесоюзной конференции по физике космического пространства», разд. I «Верхняя атмосфера земли». М., «Наука», 1965, стр. 11—123.

полета около первой космической (равной примерно  $8 \text{ км/сек}$ ) величина аэродинамической подъемной силы еще имеет существенное значение при определении законов движения, и для орбитального самолета, совершающего полет по окружности — концентричной дуге большого круга земного шара — вес равен сумме центробежной силы и подъемной силы.

Для высот от 110 до 170—190 км аэродинамическая подъемная сила становится пренебрежительно малой, и эта область околоземного пространства будет, по-видимому, осваиваться летательными аппаратами типа сателлоидов Эрике\*.

4. Развивающаяся ракетная и авиационная техника являются носителями наиболее передовых тенденций современного научно-технического прогресса, и влияние этих областей на развитие науки огромно. Теоретическая механика — научный фундамент для многих прогрессивных решений в авиации и ракетостроении. Проверенные многовековой практикой человеческого общества научные методы и результаты теоретической механики находят широкое поле новых интересных приложений. Но благодаря взаимодействию с новой техникой и ее запросами преобразуется и сама фундаментальная наука. В ней развиваются новые разделы, создаются новые теории, совершенствуются и обогащаются устоявшиеся привычные методы исследования.

Какие же разделы классической теоретической механики существенно развились и обновились под воздействием запросов ракетной и авиационной техники?

Мы отметим здесь следующие\*\*:

Механика тел переменной массы;

Механика относительного движения;

Механика гироскопов;

Малые колебания и теория устойчивости;

Вариационные задачи механики и развитие теории оптимальных процессов;

Динамика космического полета (космонавтика, астронавтика);

Механика специальной теории относительности.

Мы попробуем в конспективной форме охарактеризовать те новшества, которые стали явлю в этих разделах современной механики.

Большое количество ссылок на оригинальные статьи и монографии, которые мы даем, имеет целью помочь читателю найти дорогу к более

---

\* См.: К. А. Ehricke. Space Flight. Vol. II. Dynamics. USA, Princeton, 1962. Теория движения сателлоидов рассмотрена в главе 7 этой книги (стр. 614—656); см. также К. Эрике. Сателлоид. „Об искусственном спутнике Земли“. М., Оборонгиз 1959.

\*\* Мы ограничиваемся только теми разделами, которые в той или иной степени входят в сферу интересов современных курсов теоретической механики, читаемых в советских вузах и втузах. Развитие авиационной и ракетной техники существенно влияет, конечно, на весь цикл механических дисциплин.

детальным обзорам и фундаментальным монографиям по указанным разделам теоретической механики.

5. Начало механики тел переменной массы можно датировать появлением замечательной работы И. В. Мещерского «Динамика точки переменной массы», изданной в Петербурге в 1897 г. и являвшейся магистерской диссертацией Мещерского\*. В 1898 г. уравнение прямолинейного движения точки переменной массы было независимо получено К. Э. Циолковским, который, исходя из этого уравнения, разработал достаточно подробную теорию прямолинейных движений ракет\*\*. Позднее, в 1929 г. Циолковский предложил математическую теорию многоступенчатых ракет и выявил оптимальное распределение масс последовательных ступеней при минимальном стартовом весе многоступенчатой ракеты\*\*\*, несущей заданный полезный груз.

В настоящее время (40—60-е годы XX в.) механика тел переменной массы стала рабочим аппаратом инженеров конструкторских бюро, создающих ракеты различных классов и назначений. Уравнения Мещерского необходимы для исследования законов движения любой ракеты на активном (с работающим двигателем) участке ее полета. Следует указать, что для современных одноступенчатых ракет с большими дальностями полета (более 1000 км) уменьшение относительной массы ракеты на активном участке может достигать 8—12 раз и, конечно, дать точное описание движения такого объекта с помощью второго закона Ньютона нельзя. Ракетная техника «утвердила» уравнения Мещерского в качестве исходных и определяющих движение, а второй закон Ньютона стал относиться к одному из частных случаев механического движения, когда масса сохраняется постоянной.

Для некоторых классов ракет (зенитные управляемые ракеты, предназначенные для поражения вражеских самолетов, ракеты для систем противоракетной обороны) активный участок полета составляет 80—100% всей траектории от старта до поражения цели, и, следовательно

---

\* Оригинальные исследования И. В. Мещерского по механике тел переменной массы были переизданы. См.: И. В. Мещерский. Работы по механике тел переменной массы. М.—Л., Гостехиздат, 1952.

\*\* См.: К. Э. Циолковский. Исследование мировых пространств реактивными приборами. Собр. соч., т. II. М., Изд-во АН СССР, 1954, стр. 79—99.

\*\*\* Там же, стр. 298—326.

\*\*\*\* См.: А. А. Космодемьянский. О максимальной продолжительности горизонтального полета самолета с ракетным двигателем. «Вестник Московского университета» № 4. Серия I, «Математика и механика», 1965, стр. 67—77.

См. также сборник статей иностранных авторов (Гиббса, Лаудена, Миеле, Тзяна, Эванса и др.), опубликованный Оборонгизом под названием «Исследование оптимальных режимов движения ракет». М., 1959. В этом сборнике имеется достаточно подробная библиография работ, изданных за рубежом до 1958 г. Научный редактор сборника И. Н. Садовский.

но, для специалистов, работающих в этих областях ракетной техники, механика тел переменной массы имеет доминирующее значение.

Для ракет класса «воздух — земля» (часто называемых самолетами-снарядами) широкое применение нашли ракетные двигатели. Теория движения самолета с ракетным двигателем есть новая глава механики тел переменной массы, в которой исследуются процессы реактивного движения при существенном влиянии аэродинамической подъемной силы: Нестационарность движения самолета-снаряда и существенное изменение его массы во время движения требуют фундаментальных дополнений к динамике самолета, основы которой при  $V = \text{const}$  и  $M = \text{const}$  были заложены еще Н. Е. Жуковским\*. Динамика орбитального самолета с ракетным двигателем интенсивно разрабатывается в последние 4—5 лет\*\*.

Изучение движения зенитных управляемых ракет, наводимых на цель тем или иным методом наведения, приводит к весьма интересным задачам динамики точки переменной массы при *дополнительных условиях, налагаемых на величину и направление скорости центра масс ракеты*. Как правило, эти дополнительные условия включают производные по времени от параметров (координат), характеризующих движение, и являются *неинтегрируемыми*. Таким образом, из ракетодинамики в классическую механику пришли новые, весьма актуальные задачи динамики с *неголономными связями*. Из методов наведения можно указать хорошо известный всем преподавателям механики метод погони (метод «собачьей» кривой), когда прямая, по которой направлен вектор скорости центра масс ракеты, должна в любой момент времени пересекать точечную цель. Эта задача легко решается, если цель движется прямолинейно и равномерно, а скорость ракеты постоянно по величине; но для случая движения с переменной массой и переменной по величине скоростью ракеты с учетом возможного маневрирования цели решения получаются лишь численным интегрированием\*\*\*.

Развитие ракетных двигателей привело к созданию нового класса этих двигателей, называемых в современной литературе электрореактивными двигателями. Качество ракетного двигателя существенно зависит от величины удельного импульса или удельной тяги  $I_s = \frac{V_r}{g}$ .

\* См.: Н. Е. Жуковский. Динамика аэропланов в элементарном изложении. Собр. соч., т. IV. М.—Л., Гостехиздат, 1949, стр. 207—270; его же. Аэродинамический расчет аэропланов, стр. 317—337.

\*\* См., например: А. А. Космодемьянский. Вариационные задачи динамики орбитальных самолетов. «Вестник Московского университета» № 4. Серия 1, «Математика и механика», 1963.

\*\*\* См.: А. С. Локк. Управление снарядами. М.—Л., Гостехиздат, 1957, стр. 483—517.

Эта книга (перевод с английского) первая из серии «Основы проектирования управляемых снарядов».

( $I_s$  — удельный импульс,  $V_r$  — скорость частиц на срезе сопла двигателя,  $g$  — ускорение силы тяжести).

Для ракетных двигателей на химическом топливе наибольшие значения удельного импульса получаются для фторводородных смесей и достигают значений  $I_s = 450—470$  кг/кг/сек\*.

Современные экспериментальные электрореактивные двигатели имеют значения  $I_s \geq 5000$  кг/кг/сек, но «сухой» вес таких двигателей (вес двигателя на 1 кг развиваемой тяги) пока еще очень велик, и реальное значение могут иметь электрореактивные двигатели с тягой порядка 1—2 кг. При такой малой тяге ускорение многотонных космических кораблей будет порядка нескольких мм/сек<sup>2</sup> (иногда долей миллиметра в сек<sup>2</sup>). Возможной областью применения электрореактивных двигателей является разгон космического корабля, выведенного на орбиту искусственного спутника планеты, от первой местной космической скорости до местной параболической или гиперболической скорости.

Траекторией разгона будет спиралевидная кривая, охватывающая центр данной планеты. Динамика разгона космического корабля двигателем малой тяги — новая глава современной ракетодинамики. Если допустить, что в процессе разгона масса корабля не меняется, а сила тяги направлена по касательной к спиралевидной траектории, то задача становится доступной для анализа, основные переменные вычисляются аналитически, и эту задачу можно использовать в преподавании курса теоретической механики. Более точные постановки этой задачи в центре внимания современных исследователей\*\*.

Интересный класс задач механики связан с изучением проблемы входа искусственного спутника Земли или космического корабля в плотные слои атмосферы. Эти задачи были впервые изучены и теоретически, и практически в СССР в связи с запусками в 1960—1961 гг. пяти советских космических кораблей-спутников, предшествовавших героическому полету Ю. А. Гагарина.

Из наблюдений за сгорающими в атмосфере метеорами («падающие звезды») известно, что их траектории мало отличаются от прямых линий и, следовательно, влияние силы тяжести на закон движения метеора пренебрежимо мало по сравнению с силой аэродинамического сопротивления. При такой схематизации мы приходим к простой задаче динамики точки. Если принять экспоненциальный закон изменения плот-

---

\* См.: G. Goldbaum, J. Douglass. Design of Versatile Liquid-Fluorine/Liquid-Hydrogen Upper Stage. "Journal of Spacecraft and Rockets", vol. 2, July-August, 1965, No. 4.

\*\* См.: Д. Е. Охотимский. Исследование движения в центральном поле под действием постоянного касательного ускорения. «Космические исследования», т. II, вып. 6, 1964; Г. Б. Ефимов, Д. Е. Охотимский. Об оптимальном разгоне космического аппарата в центральном поле «Космические исследования», 1965, т. III, вып. 6, 1965.

ности атмосферы и постоянство аэродинамического коэффициента сопротивления, то мы получаем простую, решаемую в квадратурах задачу, исследование которой позволяет разъяснить любознательным студентам многие вопросы «входа» объектов в атмосферу Земли (в частности, рассчитать максимальную перегрузку и определить законы изменения высоты и скорости объекта).

Более точные уравнения «входа» можно исследовать методами численного интегрирования. Изучение законов движения «входа» космических аппаратов, не имеющих подъемной силы, методами численного анализа получается достаточно простым и доступным к внедрению в преподавание курса классической механики для большой группы вузов нашей страны.

Круг проблем существенно расширяется, если рассматривать «вход» в плотные слои атмосферы летательных аппаратов с переменной массой (с работающими тормозными двигателями). Можно указать хорошие монографии, дающие полное представление об этом интересном круге задач современной механики\*.

Как известно, основные результаты (законы, теоремы, следствия) классической механики получаются из различных модификаций и преобразований второго закона Ньютона. В частности, уравнения Лагранжа в обобщенных координатах и канонические уравнения Гамильтона являются естественными обобщениями закона движения Ньютона на механические системы с геометрическими связями.

Если в качестве основного уравнения динамики точки принять уравнение Мещерского, то сравнительно просто можно получить аналоги уравнений Лагранжа и Гамильтона для тел переменной массы. Важной задачей современной аналитической механики тел переменной массы является развитие и обобщение теории первых интегралов на те случаи, когда кинетический потенциал и функция Гамильтона *явно зависят* от времени.

6. Развитие авиационной и ракетной техники выдвинуло ряд новых задач теории относительного движения и теории гироскопов. В наших современных курсах механики и сборниках задач по теоретической механике подавляющее большинство рекомендуемых примеров рассматривается в предположении, что Земля неподвижна и системы координат, связанные с Землей, можно считать инерциальными. Полеты межконтинентальных баллистических ракет, полеты искусственных спутников, полеты к Луне, полеты к планетам солнечной системы тре-

---

\* См.: W. H. T. Loh. Dynamics and Thermodynamics of Planetary Entry. Prentice-Hall, New Jersey 1963; В. А. Ярошевский. Приближенный расчет траекторий входа в атмосферу. «Космические исследования», т. II, вып. 4 и 5, 1964. В конце этой статьи В. А. Ярошевский дает список основных работ по проблеме «входа».

буют более широкого взгляда на явления механического движения. Гироскопические устройства на летательных аппаратах (гироскоп, гироскопизированные платформы, автопилоты) находятся, как правило, в условиях, когда точки подвеса гироскопов совершают неинерциальные движения и механические задачи существенно усложняются.

В наши дни нужно приучить студентов к рассмотрению движений космических кораблей и других объектов в солнечной системе, приучить к более свободному пользованию различными системами отсчета. Так, например, при изучении движения космического корабля к Луне в ряде случаев приходится пользоваться системой координат, связанной с Солнцем, системой координат, связанной с центром Земли и вращающейся вместе с линией, соединяющей центры Земли и Луны, системой, находящейся в центре масс системы «Земля—Луна», системой, связанной с центром масс Луны, и др. \*. Траектории и законы движения объектов претерпевают существенные изменения в различных системах отсчета, и нужна перестройка мышления и воспитание свободы пространственных представлений для отчетливого понимания этого нового комплекса задач механического движения.

Вероятно, целесообразно подчеркивать в современных курсах механики, что закон тяготения Ньютона в его классической формулировке справедлив для гравитирующих материальных точек. Для планеты Земля учет истинной формы Земли и реального распределения масс геоида приводит к более сложному выражению гравитационного потенциала и как следствие к дополнительным силам, вызывающим эволюцию орбит близких спутников Земли. Определение траекторий «тени» или «трассы» спутника на поверхности Земли является интересной задачей кинематики относительного движения.

Для метеорологических, геодезических, навигационных спутников Земли и планет важной задачей является искусственная ориентация этих спутников по отношению к поверхности Земли (или планеты). Ди-

---

\* Теория полетов к Луне изложена достаточно подробно в монографии: В. А. Егоров. Пространственная задача достижения Луны. М., «Наука», 1965.

В. А. Егоров является признанным авторитетом в этой области космонавтики. Первая фундаментальная работа В. А. Егорова «О некоторых задачах динамики полета к Луне» была опубликована в журнале «Успехи физических наук», т. 63, вып. 1-а, 1957.

Хорошее изложение основных проблем и задач теории полетов к Луне можно также найти в книге «Космическая техника», вышедшей в 1964 г. в издательстве «Наука», стр. 123—145.

Учитывая, что обсуждение пилотируемого полета к Луне является одним из живо трепещущих вопросов современности, мы обращаем внимание читателей на книгу «Manned Lunar Flight», изданную американским Астронавтическим обществом в 1963 г. в серии «Advances in the Astronautical Sciences», vol. 10, где обсуждаются различные аспекты полета человека к Луне.

намика спутника в его движении относительно центра масс в центральном (ньютоновском) поле сил развилась в большой раздел современной механики\*.

Из классических работ по небесной механике известно, что при движении твердого тела по круговой орбите в центральном поле сил существуют устойчивые положения относительного равновесия. Эти положения устойчивого равновесия соответствуют некоторым относительным ориентациям твердого тела (например, искусственного спутника), когда его главные центральные оси инерции совпадают с осями орбитальной системы координат (радиус-вектор центра масс, трансверсаль и бинормаль к орбите). Если искусственный спутник Земли сориентировать около положения устойчивого (относительного) равновесия, то это положение может сохраняться сколь угодно долго. Моменты, обусловленные полем гравитационных сил, будут в этом случае стабилизирующими моментами (что обусловлено градиентом гравитационного поля), и мы приходим к идее ориентации спутника без расходования энергии и рабочего тела. Для эллиптических орбит с малыми эксцентриситетами относительное «устойчивое равновесие тела почти всегда переходит в устойчивое колебательное движение с малой амплитудой и периодом, равным периоду обращения по орбите. Эти колебания можно рассматривать как погрешности ориентации, которые могут быть рассчитаны и учтены\*\*.

Это представляет весьма важную задачу современной механики.

Движение твердого тела около неподвижной точки является классической проблемой теоретической механики, но известные случаи Эйлера, Лагранжа и Ковалевской исследованы при весьма существенных ограничениях, налагаемых на действующие силы. Практическая гироскопия наших дней потребовала развития теории движения гироскопа при наличии сил сухого и гидродинамического трения, потребовала учета масс и моментов инерции механизмов подвески, вычисления реальных уходов осей симметрии гироскопов и создания теории сложных гироскопических систем. Мы сошлемся на монографию академика А. Ю. Ишлинского\*\*\*, содержание которой в значительной мере обусловлено новыми задачами гироскопии в связи с разработкой систем управления движущихся объектов (ракет, самолетов, судов и т. п.).

Отметим, что современные гироскопические системы являются шедеврами механического искусства и мастерства и имеют чувствительно-

---

\* См.: В. В. Белецкий. Движение искусственного спутника относительно центра масс. М., «Наука», 1965.

\*\* В. А. Златоусов, Д. Е. Охоцимский, В. А. Сарычев, А. П. Торжевский. Исследования колебаний спутника в плоскости эллиптической орбиты. «Космические исследования», т. II, вып. 5, 1964.

\*\*\* См.: А. Ю. Ишлинский. Механика гироскопических систем. М., Изд-во АН СССР, 1963.

сти и точности сравнимые с чувствительностями и точностями электронных систем. Технология производства гиросприборов, по-видимому, одна из самых совершенных и прецизионных в технической жизни XX в.

7. Существенное развитие новых методов исследования произошло в теории устойчивости механических систем и в теории малых колебаний. Эти новые методы в значительной мере обусловлены развитием беспилотных летательных аппаратов. Кратко суть дела можно пояснить следующим образом. Современные системы управления полетом являются системами электромеханическими. Исполнительные органы систем управления — системы механические, органы, анализирующие обстановку полета, вырабатывающие команды управления и передающие их на соответствующие приемные устройства, — системы электрорадиотехнические. Работа системы управления может быть описана системой дифференциальных уравнений (для практически интересных случаев — системой нелинейных уравнений). Функционирование системы управления существенным образом зависит от «собственных» свойств этой системы и от возмущающих сил или потока информации, подаваемого на входные устройства данной системы. Поток информации в современных системах управления часто представляется в виде функций с бесконечно большим числом точек разрыва или в виде «случайных» функций, аналитическое задание которых сопряжено со значительным своеобразием математического аппарата и радикальной перестройкой научного мышления (от детерминированных процессов к пониманию вероятностных процессов). Реальные системы управления должны быть устойчивы при объективно существующих потоках информации, приходящих на «вход» системы. Поэтому исследования устойчивости систем, характеризующихся нелинейными системами дифференциальных уравнений, приобрели в наши дни первостепенное значение. Выяснилось, что наиболее эвристичным методом исследования нелинейных проблем устойчивости является метод Ляпунова и за последние 20—25 лет развитию новых аспектов этого метода посвящена обширная литература\*. Так как многие механизмы (элементы), входящие в систему управления полетом, характеризуются дифференциальными уравнениями лишь приближенно, а природа многих возмущающих и демпфирующих сил в ряде задач остается невыясненной (а иногда и непонятой в спешке созидания новых объектов), при исследовании реальных систем управления получили широкое развитие *методы моделирования*, причем некоторые части системы характе-

\* См.: Н. Н. Красовский. Некоторые задачи устойчивости движения. М., Физматгиз, 1959; В. В. Немыцкий. Некоторые современные проблемы качественной теории обыкновенных дифференциальных уравнений. «Успехи математических наук», т. XX, вып. 4, 1965.

Интересные инженерные рассуждения чувствительности динамических систем и их устойчивости по Ляпунову содержатся в книге: R. Tomovic (Belgrad). Sensitivity Analysis of Dynamic Systems. McGraw-Hill, New York, 1964.

ризируются дифференциальными уравнениями и «набираются» на электронных вычислительных машинах, а трудно описываемые математические элементы (механизмы) системы *подключаются к общей моделирующей системе в реальном исполнении*. Таким приемом, в частности, подбираются параметры реальных автопилотов, применяемых для управления полетом самолетов-снарядов или зенитных управляемых ракет.

К сожалению, этот большой цикл идей не находит отражения в педагогическом процессе (в курсах механики) наших вузов. Почему-то предполагается, что эти идеи должны излагаться в курсах по автоматическому управлению, технической кибернетике или даже радиотехнике. А в курсах теоретической механики по установившейся традиции при изложении теории малых колебаний на «вход» системы «подаются» или  $\sin(\omega t)$ , или  $\cos(\omega t)$  и почти никогда (даже в радиотехнических вузах) не хватает времени на рассмотрение реальных правых частей при исследовании дифференциального уравнения вынужденных колебаний. Более того, вопросам статики твердого тела или центроидам в теории плоскопараллельного движения в кинематике уделяется больше времени и внимания, чем животрепещущим вопросам динамики. Я думаю, что именно поэтому число часов, отводимых на курс теоретической механики, урезается из года в год во многих «немеханических» вузах. Можно привести в качестве поучительного примера современное положение теории малых колебаний в книге профессора Массачузетского технологического института R. Halfman'a\*. Соответствующая глава называется «Сигналы и их передача». Вот содержание отдельных параграфов: § 1. Характеристики сигналов; § 2. Непериодические и случайные сигналы; § 3. Передача через линейную систему; § 4. Передача через нелинейную систему. Изложение максимально приближено к современной технической практике (радиотехнической специальности), и, конечно, такая модификация изложения классической теории вынужденных колебаний с одной степенью свободы *приобщает студента к современному научному мышлению* и способствует лучшему и более глубокому усвоению специальных радиотехнических курсов.

8. Развитие ракетной и авиационной техники выдвинуло в качестве первоочередной проблемы научных изысканий разработку теории оптимальных процессов. Нам представляется, что это *наиболее интересная и наиболее многообещающая область развития современных методов теоретической механики*\*\*.

Изучая движение материальных тел под действием сил, можно выделить весьма важный класс задач динамики, характерных тем, что не-

\* См. Robert L. Halfman. Dynamics. Vol. II. Systems, Variational Methods, and Relativity Massachusetts, USA, 1962, pp. 355-391.

\*\* Козьма Прутков в своих афоризмах пишет: «Специалист подобен флюсу: полностью его односторонняя». § 8 отражает научные интересы автора.

которые из действующих на объект сил могут быть запрограммированы и реализованы в процессе движения человеком-пилотом (или автопилотом). Часть сил, приложенных к движущемуся объекту, конечно, определена (детерминирована) природой, а часть может изменяться в широких пределах по некоторым законам, заложенным в конструкции летательного аппарата. Так, при изучении движения ракеты в поле тяготения Земли гравитационная сила вполне детерминирована (она в первом приближении подчиняется закону тяготения Ньютона), а *реактивная сила может изменяться и регулироваться как по величине, так и по направлению*. Каждому закону регулирования реактивной силы будет соответствовать некоторый закон движения ракеты. В современной ракетодинамике и динамике самолета такие задачи часто называют задачами с управляющими (или свободными) функциями. Если управляющие функции все заданы и, следовательно, сделаны определенными все действующие силы, то мы будем иметь дело с обычной задачей теоретической механики: найти закон движения объекта, если действующие на него силы известны. Но выбор (задание) свободных функций можно подчинить некоторым достаточно общим и широким *условиям оптимальности* (экстремальности) и производить определение динамических характеристик для этих классов оптимальных движений. Метод проб или сравнений, лежащий в основе классических вариационных принципов, применим и здесь, но варьируется выбор управляющих функций, а не траекторий в пространстве конфигураций\*. Задачи такого рода имеют большой практический интерес в динамике полета ракет и самолетов, а также в теории автоматического регулирования.

Для исследования оптимальных движений механических систем со свободными (или управляющими, регулируемые) функциями имеются мощные математические методы, составляющие в наши дни основу вариационного исчисления или, более широко, функционального анализа. Создание реальной конструкции (ракеты, самолета, автопилота) тесно связано с изучением экстремальных свойств функций многих переменных и функционалов. Мудрый Леонард Эйлер писал в одной из своих работ: «...так как все явления природы следуют какому-нибудь закону! максимуму или минимуму, то нет никакого сомнения, что и для кривых линий, которые описывают брошенные тела, если на них действуют какие-нибудь силы, имеет место какое-то свойство максимума или минимума»\*\*. Анализ содержания научных статей по динамике полета,

---

\* Если рассматривать «траектории» системы в фазовом пространстве, то процедура варьирования аналогична выбору траектории сравнения в пространстве конфигураций.

\*\* Л. Эйлер. Метод нахождения кривых линий, обладающих свойствами максимума либо минимума. М.—Л., ОНТИ, 1934, стр. 573, 574. Первое издание этой работы появилось в 1744 г. в Женеве.

опубликованных за последние 20—25 лет, убеждает нас в том, что методы вариационного исчисления не только позволяют выделять из бесконечного разнообразия возможных движений, определяемых дифференциальными уравнениями механики, более узкие классы движений, для которых некоторые (обычно интегральные) характеристики будут оптимальными; в ряде случаев они дают возможность детального аналитического исследования, так как для экстремальных режимов уравнения движения интегрируются в конечном виде. Опорные аналитические решения для оптимальных движений можно находить во многих трудных задачах, когда системы исходных уравнений являются нелинейными. Как эмпирический факт можно отметить, что для классов оптимальных движений нелинейные дифференциальные уравнения становятся более податливыми и в большом числе задач допускают интеграцию в квадратурах. Мы уверены в том, что семейства аналитических решений нелинейных уравнений механики в конечном виде внутренне тесно связаны с условиями оптимальности и в задачах динамики ракет и самолетов играют роль невозмущенных движений, аналогичных кеплеровым движениям в задачах небесной механики\*.

Развитие теории оптимизации ярко подчеркивает могущество и большое практическое значение классических методов вариационного исчисления, особенно методов Майера и Больца.

Применение методов вариационного исчисления к важнейшим задачам техники привело к обогащению содержания этих методов. Некоторые из полученных результатов оказались совершенно неожиданными и эмпирически трудно доказуемыми. Так, например, были открыты оптимальные «пунктирные» режимы изменения силы тяги ракетного двигателя, т. е. такие режимы, когда экстремалами задачи оказались весьма своеобразные разрывные функции\*\*.

Считая применение методов вариационного исчисления к задачам нелинейной механики эвристически весьма ценным, мы для ясности и доказательности предыдущих утверждений рассмотрим здесь кратко решение одной из актуальных задач динамики самолета.

Пусть самолет с ракетным двигателем движется горизонтально и пусть подъемная сила и лобовое сопротивление пропорциональны квадрату скорости. Допуская, что при выгорании топлива центр масс самолета не смещается относительно корпуса фюзеляжа, мы можем написать дифференциальные уравнения движения в проекциях на касатель-

---

\* Большое число конкретных задач ракетодинамики и динамики самолета с ракетным двигателем рассмотрено во второй части нашей книги «Курс теоретической механики». М., «Просвещение», 1966. См. также сборник работ иностранных авторов «Методы оптимизации с приложением к механике космического полета». М., «Наука», 1965.

\*\* См.: В. Ф. Кротов. Об оптимальном режиме горизонтального полета самолета. Сборник трудов МВТУ им. Баумана, № 104. М., Оборонгиз, 1961.

ную и нормаль к траектории (на горизонталь и вертикаль) в следующем виде\*:

$$M \frac{dv}{dt} = -\frac{dM}{dt} \cdot V_r - \frac{1}{2} C_x \rho S v^2, \quad (1)$$

$$0 = -Mg + \frac{1}{2} C_y \rho S v^2. \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2)  $M$  — масса самолета в данный момент времени,  $v$  — скорость центра масс самолета,  $V_r$  — эффективная относительная скорость продуктов горения на срезе сопла двигателя,  $C_x$  — коэффициент лобового сопротивления, равный  $C_{x0} + b C_y^2$  ( $C_{x0}$ ,  $b$  — постоянные величины),  $C_y$  — коэффициент подъемной силы,  $\rho$  — плотность воздуха,  $S$  — площадь крыла самолета. Полагая  $M = M_0 f$ , где  $M_0$  — масса самолета в момент выхода его на данную горизонталь, и зная, что для летных углов атаки  $C_y = k\alpha$ , где  $k = \text{const}$ ,  $\alpha$  — угол атаки, уравнения (1) и (2) можно написать в виде:

$$f \frac{dv}{dt} = -\frac{df}{dt} \cdot V_r - \left( \frac{C_{x0} \rho S}{2M_0} \right) v^2 - \frac{b C_y^2}{2M_0} \rho S v^2. \quad (3)$$

$$k\alpha = C_y = \frac{2M_0 f g}{\rho S v^2}. \quad (4)$$

Так как

$$\frac{df}{dt} = \frac{df}{dv} \cdot \frac{dv}{dt} = f' \frac{dv}{dt},$$

то, полагая

$$\frac{C_{x0} \rho S}{2M_0} = A, \quad \frac{2M_0 g^2 b}{\rho S} = B,$$

можно получить из (3) и (4) следующее нелинейное дифференциальное уравнение для функции  $v$ :

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{Av^2 + B \frac{f^2}{v^2}}{(f + f'V_r)}. \quad (5)$$

В уравнении (5)  $f=f(v)$  есть свободная или управляющая функция. Каждому закону изменения массы, т. е. каждой функции  $f(v)$ , будет соответствовать вполне определенный закон движения самолета. Из (5) легко находим:

$$dt = -\frac{(f + f'V_r) v^2 dv}{Av^4 + Bf^2}. \quad (6)$$

$$dL = v dt = -\frac{(f + f'V_r) v^3 dv}{Av^4 + Bf^2}. \quad (7)$$

\* См.: А. А. Космодемьянский. Динамика космического полета, вып. I. М., Изд-во ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1964, стр. 120—143.

Пусть в начальный момент (в момент выхода самолета на горизонтальную прямолинейную траекторию)  $M=M_0$ ,  $f=1$ ,  $v=v_0$ , а в конце активного участка полета  $M=M_E$ ,  $f=f_E < 1$ ,  $v=v_E$ . Время полета  $T$  на активном участке и пройденный за это время путь  $L$  можно записать в виде следующих функционалов:

$$T = \int_{v_E}^{v_0} \frac{(f + f'V_r) v^2 dv}{Av^4 + Bf^2}, \quad (8)$$

$$L = \int_{v_E}^{v_0} \frac{(f + f'V_r) v^3 dv}{Av^4 + Bf^2}. \quad (9)$$

Исходя из (8) и (9), можно формулировать различные вариационные задачи динамики полета самолета с ракетным двигателем. Мы рассмотрим только одну из них.

Среди класса функций  $f=f(v)$  найти такую функцию, которая дает максимум времени полета (максимальную продолжительность) при заданном запасе топлива без каких-либо ограничений на путь  $L$ . Из структуры формулы (8) видно, что формулированная задача есть простейшая задача вариационного исчисления. Если положить

$$F = \frac{(f + f'V_r) v^2}{Av^4 + Bf^2} = F(f, f', v),$$

то необходимое условие экстремума  $T$  (экстремума интеграла (8)) можно написать в виде:

$$\frac{d}{dv} \frac{\partial F}{\partial f'} - \frac{\partial F}{\partial f} = 0.$$

Простые вычисления дают нам уравнение экстремали в форме:

$$f = \sqrt{\frac{A}{B}} \cdot v^2. \quad (10)$$

Зная (10) и обращаясь к (6) и (7), можно найти простыми квадратурами все основные характеристики оптимального движения. Оказывается, что

$$T_{\max} = \frac{K_{\max}}{g} \left[ v_0 (1 - \sqrt{f_E}) + 2V_r \ln \frac{1}{\sqrt{f_E}} \right], \quad (11)$$

$$L_{\text{(при } t=T_{\max})} = \frac{K_{\max}}{g} \left[ \frac{v_0^2}{2} (1 - f_E) + 2v_0 V_r (1 - \sqrt{f_E}) \right], \quad (12)$$

где  $K_{\max} = \left( \frac{C_y}{C_x} \right)_{\max}$  есть максимальное качество самолета.

Заметим, что если в уравнении (3) функцию  $f$  задать в простейшей форме, положив  $f=1-\beta t$  (что соответствует ракетному двигателю с постоянной тягой), то уравнение (3) не интегрируется и закон движения можно найти лишь приемами численного интегрирования. Для оптимального движения результат весьма просто находится через элементарные функции. Мы отметим некоторую аналогию (11) с хорошо известной формулой Циолковского, которую запишем в виде:

$$v_{\max} = v_0 + V_r \ln \frac{M_0}{M_E} = v_0 + V_r \ln \frac{1}{f_E}. \quad (13)$$

Введем в рассмотрение некоторое характерное для данной ракеты и поля силы тяжести время:

$$t_{\max} = \frac{v_{\max}}{g} = \frac{V_r}{g} \left[ \frac{v_0}{V_r} + \ln \frac{1}{f_E} \right] = I_s \left[ \varphi_0 + \ln \frac{1}{f_E} \right], \quad (14)$$

где  $I_s = \frac{V_r}{g}$  есть удельный импульс ракетного двигателя,

$\varphi_0 = \frac{v_0}{V_r}$ , а  $f_E$  — относительная масса ракеты без топлива.

Формула Циолковского (13) или (14) выявляет *максимальные возможности реактивного способа сообщения движения в свободном пространстве* (или в поле силы тяжести при мгновенном сгорании имеющегося запаса топлива).

Если вынести  $V_r$ , то формулу (11) можно написать в виде:

$$T_{\max} = K_{\max} I_s \left[ \varphi_0 (1 - \sqrt{f_E}) + \ln \frac{1}{f_E} \right], \quad (15)$$

где для краткости положено

$$\varphi_0 = \frac{v_0}{V_r}.$$

Первое слагаемое в квадратных скобках формулы (15) учитывает нестационарность оптимального движения, второе слагаемое такое же, как и в формуле Циолковского (14).

Сравнение формул (14) и (15) показывает, что *самолет является более совершенным приемником реактивного импульса, чем ракета*, так как в формуле (15) перед  $\ln \frac{1}{f_E}$  имеется множитель  $K_{\sigma} = I_s K_{\max}$ , который для реальных конструкций всегда больше множителя  $I_s$ , так как обычно  $K_{\max} > 5$ . Коэффициент  $K_{\sigma}$ , учитывающий как совершенство аэродинамической компоновки самолета, так и совершенство ракетного двигателя, мы предлагаем назвать коэффициентом совершенства летательного аппарата. При полетах вблизи Земли (летательные аппараты на воздушной подушке) численное значение максимального качества существенно возрастает, и, по-видимому, создание самолетов с больши-

ми  $K\sigma$  имеет серьезную перспективу. У самолетов с воздушно-реактивными двигателями значение  $K\sigma$  будет почти на порядок выше.

Развитие теории полета многоступенчатых ракет в свободном пространстве и в однородном поле тяготения, а также исследования, проведенные в последние 15—20 лет по теории стационарных движений самолетов с воздушно-реактивными двигателями, привели к интересным задачам динамики полета, тесно связанным с изучением экстремумов функций многих переменных. Можно констатировать, что *экстремальные задачи, опирающиеся на исследование экстремумов функций и функционалов, уже вторглись в проблематику современной классической механики.*

Преподаватели механики советской высшей школы, желающие оживить традиционный материал классического курса динамики и найти новые, актуальные для нашей страны проблемы для творческих размышлений, должны *обратить особое внимание на оптимальные режимы полета аэропланов и ракет*, так как здесь, по нашему мнению, располагается новая безграничная область («новая страна») плодотворной деятельности инженеров и ученых\*.

9. Бурный рост ракетных исследований космического пространства, успешные запуски космических кораблей к Луне и некоторым внутренним планетам солнечной системы, блестящие полеты наших советских героев-космонавтов по орбитам искусственных спутников Земли привели к возникновению и необычайно интенсивному изучению новых задач механики, составляющих предмет широкой научной дисциплины, которую целесообразно назвать «Динамика космического полета» или, более обще, «Космонавтика»\*\*.

В динамике космического полета можно отчетливо проследить плодотворные взаимодействия техники и ряда фундаментальных и прикладных наук. Особенно следует подчеркнуть широкое использование методов и результатов небесной механики для решения задач динамики в гравитационных полях Солнца и планет солнечной системы. Так, теория

---

\* Очень широкий класс задач механики полета, сводящихся к исследованию экстремумов функций многих переменных, можно найти в книге: А. Миеле. Механика полета, т. I. М., «Наука», 1965.

Ряд изопериметрических задач динамики полета, рассмотрен в нашей работе «Некоторые вариационные задачи теоретической ракетодинамики». «Труды ВВИА им. Н. Е. Жуковского», вып. 990, 1963.

\*\* По аналогии с термином «аэронавтика», применяемым в науке о движении летательных аппаратов в воздушном пространстве. Распространенные в США термины «астродинамика» или «астронавтика» являются менее удачными, так как «определение науки, изучающей движение в межпланетном пространстве, должно дать понятие о среде, в которой происходит движение (космос), но не об одной из возможных его целей». Эта аргументация принадлежит известному популяризатору идей космонавтики А. Штернфельду. См. его книгу «Введение в космонавтику». М.—Л., ОНТИ, 1937.

кеплеровых движений, теория возмущений орбит, исследование движений в оскулирующих элементах (метод Лагранжа) перешли из небесной механики в динамику космического полета с относительно небольшими изменениями и дополнениями. Но в ряде задач (например, теория движения искусственных спутников Земли) в динамике космического полета пришлось создавать и разрабатывать совершенно новые методы исследования. Эти новшества вызываются дополнительными силами, которые в классических задачах небесной механики не играли существенной роли. Так, при движении спутников Земли на высотах до 500—700 км аэродинамические силы, обусловленные наличием атмосферы, оказывают влияние на законы движения и приводят к постепенному изменению (эволюции) орбит спутников. Изучение этих эволюций требует знания строения атмосферы на больших высотах и знания законов аэродинамического сопротивления при полете с первой космической скоростью в весьма разреженной среде. Развитие космонавтики обусловило быстрый прогресс и аэродинамики, и метеорологии.

Результирующая гравитационная сила, действующая на спутник со стороны масс планеты Земля, оказывается отличной от силы, получаемой из закона Ньютона для притягивающихся точек, и нецентральной. В ряде случаев оказывается необходимым учитывать и местные аномалии гравитационного поля Земли, обусловленные неравномерным распределением масс в различных слоях Земли. Отличие реальной притягивающей силы геоида от силы в законе тяготения Ньютона для точечных гравитирующих масс хотя и невелико, но с течением времени также вызывает изменение орбит искусственных спутников Земли.

При более точных исследованиях законов движения спутников Земли приходится учитывать гравитационные силы, обусловленные Солнцем, планетами солнечной системы и Луной. Для искусственных спутников типа американского «Эхо» (представляющего собой шар из весьма легкой синтетической ткани) имеет существенное значение световое давление, и эволюции орбит таких спутников оказываются весьма сложными для анализа.

Все перечисленные новые (для классической небесной механики) дополнительные силы привели к созданию новой науки; влияние методов этой науки начинает проникать в классическую небесную механику\* и в преподавание теоретической механики\*\*. Для желающих понять объем современных исследований по теории движения искусственных спутников Земли мы рекомендуем монографию П. Е. Эльясберга. Автор этой монографии справедливо подчеркивает, что в противоположность академической созерцательности классической небесной механики «тео-

\* См.: Т. Штерн. Введение в небесную механику. М., «Мир», 1964.

\*\* См.: W. T. Thomson. Introduction to Space Dynamics. New York, 1961.

рия полета искусственных космических объектов — активная инженерная наука, предназначенная для решения следующих основных задач:

- выбор оптимальных орбит;
- определение существующих орбит;
- расчет корректур, изменяющих орбиту»\*.

В связи с расширением программ космических полетов и созданием специализированных искусственных спутников Земли перед динамикой космического полета ставится в качестве основной задачи *проектирование орбит* или, точнее, программирование траекторий полета.

Поясним задачу проектирования на примере полета космической станции, которая должна мягко сесть на поверхность Луны (безударное прилуние). В данном случае, учитывая географические условия старта, доступные для Советского Союза, всю траекторию полета целесообразно разделить на следующие участки:

активный участок полета ракеты-носителя вместе с космической станцией; эта часть траектории выбирается так, чтобы обеспечить вывод на нужную промежуточную орбиту — орбиту искусственного спутника Земли. На этом участке желательно так запрограммировать изменения величины и направления реактивной силы, чтобы при данном стартовом весе вывести на промежуточную орбиту максимальный груз;

участок полета по орбите искусственного спутника Земли;

участок разгона с промежуточной орбиты на запрограммированную заранее (по условиям обеспечения длительных наблюдений) траекторию свободного полета. «Любое направление вектора скорости получается надлежащим выбором двух моментов времени: выбором времени запуска на промежуточную орбиту спутника, что дает как бы прицеливание по азимуту . . . и выбором времени старта с орбиты спутника, что дает как бы прицеливание по углу места за счет того, что уход с орбиты спутника происходит в таком месте, где движение по орбите имеет нужное направление\*\*»;

участок коррекции траектории свободного полета. Может случиться, что точности исполнения программы на участке разгона окажутся недостаточными и траектория свободного полета не будет пересекать поверхность Луны. В этом случае траекторию надо «исправить» включением в каком-то месте и на какое-то время корректирующего реактивного двигателя. При выборе траектории свободного полета мы должны отдать предпочтение таким траекториям, «которые допускают возможно более простое и экономное исправление». Одновременно возникает задача оптимизации коррекции, т. е. такого выбора орбиты (траектории) и такого

---

\* П. Е. Эльясберг. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. М., «Наука», 1965.

\*\*Г. Н. Дубошин, Д. Е. Охотимский. Некоторые проблемы астродинамики и небесной механики. «Космические исследования», т. I, вып. 2, 1963, стр. 205, 206.

размещения на ней точек коррекции, при котором исполнение коррекции требовало бы минимального «суммарного импульса и минимального дополнительного веса на борту космической станции» \*;

участок торможения при подлете к поверхности Луны.

Программа изменения тяги тормозного двигателя должна обеспечить такие законы уменьшения скорости космической станции, при реализации которых в момент прилунения скорость станции была бы равна нулю (или достаточно мало отличалась от нуля). Здесь опять возникают задачи оптимизации тяги реактивного двигателя, обеспечивающего прилунение при минимальном расходе топлива.

Если учесть, что на участке разгона от промежуточной спутниковой орбиты, участках коррекции траектории свободного полета и участках торможения при подходе к поверхности Луны необходима принудительная ориентация и стабилизация летательного аппарата, то можно представить, сколь сложным является разумное (оптимальное) воплощение спроектированных траекторий космических полетов и какие интересные задачи науки и техники «пришли» из космонавтики в современную механику.

**10.** Остановимся кратко на некоторых проблемах, связанных с преподаванием теоретической механики в советской высшей школе. Прогресс науки и увеличение объема знаний естественно приводят к изменениям в содержании читаемых курсов и методов преподавания.

Мы рассмотрим сначала один важный методологический вопрос, касающийся современных представлений о пространстве и времени и отражении этих представлений в курсах теоретической механики. Достаточно хорошо известно, что в учебниках по механике, опубликованных в нашей стране, как правило, во введении и историческом очерке развития механики имеется пересказ положений диалектического материализма о том, что «пространство и время суть основные формы существования движущейся материи». Но обычно, переходя к изложению фактического материала классической механики и «забывая» о сказанном ранее, совершенно формально и аксиоматически устанавливают абсолютно неподвижную систему осей координат и вводят понятие об универсальном времени, ритм которого не зависит от движения материального базиса (или «наблюдателя»). Воздав в начале курса должное диалектико-материалистическому пониманию природы и критиковав метафизичность понятий абсолютного пространства и времени, в последующих главах и разделах курса при изложении определений, аксиом, теорем и следствий из них, т. е. *при построении здания научной дисциплины, считают вполне разумным ограничиться ньютоновским пониманием пространства и времени* («пространство абсолютно, однородно и

---

\* Г. Н. Дубошин, Д. Е. Охотимский. Некоторые проблемы аэродинамики и небесной механики. «Космические исследования», т. 1, вып. 2, 1963, стр. 205, 206.

изотропно», «время универсально и арифметизируемо»). Параллельно с курсом теоретической механики, а иногда несколько раньше, в курсах социально-экономических кафедр обычно в резко осуждающем тоне рассказывается о «метафизическом учении Ньютона о пространстве и времени», об «ограниченности мышления этого «индуктивного осла», который провозгласил в своей консервативной и отсталой философии чуждый исследователям природы лозунг: «гипотез я не выдвигаю».

Внимательный студент, естественно, задает вопросы о том, как может «отсталая» классическая механика Ньютона *быть отличным руководством к безошибочным действиям в современной технической жизни* или как это «метафизические представления об абсолютном пространстве, времени и движении» не входят в явные противоречия с диалектикой реальных процессов механического движения, наблюдаемых и используемых человеком и в природе, и в технике.

Суть дела состоит в том, что понятия пространства и времени являются исторически развивающимися понятиями и ньютоновское учение о пространстве и времени есть *весьма хорошее (гениальное!) первое приближение* к реальным пространству и времени. «Мир есть движущаяся материя, — пишет В. И. Ленин, — и законы движения этой материи отражает механика по отношению к медленным движениям...»\*.

Так как при изучении теоретической механики и физики студенты, разбирая конкретные примеры и применяя общие законы, начинают понимать диалектическую природу материи и движения, мы, преподаватели классической механики, *обязаны строго научно и доказательно рассказывать студентам и о втором приближении*, данном в специальной теории относительности Эйнштейна. В современных курсах теоретической механики нужно выделять 4—5 часов лекций на изложение преобразований Лоренца и основ кинематики реальных движений материальных объектов со скоростями, сравнимыми со скоростью света. Хотя со времени опубликования работы А. Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел» прошло более 60 лет, в вузовском преподавании (в подавляющем большинстве вузов), к сожалению, о специальной теории относительности произносятся общие бездоказательные фразы, вносящие лишь туман в развивающийся интеллект учащихся и не показывающие на фактическом материале, что релятивистская механика — более могущественная научная теория. Нам приходилось в течение ряда лет читать лекции о специальной теории относительности и в университете, и в инженерном вузе. Интерес к этим лекциям, которые читались в конце курса классической механики, всегда был повышенным, и ясно ощущалась заинтересованность всей аудитории: много хороших вопросов лектору, просьбы указать дополнительную литературу-

---

\* В. И. Ленин. Соч., изд. 4, т. 14. М., Госполитиздат, стр. 268. («Медленным» по отношению к скорости света.)

матики, которые читал Н. Е. Жуковский в Московском техническом училище в конце XIX и начале XX столетия, слишком громоздки для немеханических специальностей в наши дни, а новые вопросы, необходимые для этих профессий, мы, механики, по разным мотивам не включаем в программы теоретической механики. Содержание и методы преподавания курса механики в вузах не должны сильно отставать от содержания и методов исследования новых задач механики, выдвигаемых развитием науки и техники. Новые идеи, новое содержание, новые методы исследования должны внедряться в практику преподавания, а программы курса теоретической механики должны в известной мере отражать *специфику научных методов тех специальностей, которые представлены в данном вузе.*

Теоретическая механика не застывшая и окостеневшая таблица умножения, а живая, многогранная, развивающаяся наука, в которой какие-то разделы стареют и уходят в историю, а обусловленные техническими потребностями современного человеческого общества — новые разделы — быстро совершенствуются и владеют умами ученых, инженеров и учащихся. Автор этой книги убежден, что для многих вузов и втузов раздел «Статика» должен излагаться в 2—3 двухчасовых лекциях, должны быть показаны решения 4—5 типовых задач на равновесие твердого тела и для любознательных указана дополнительная литература — и это все. Динамические закономерности — вот что нужно знать современному инженеру, и *надо терпеливо перестраивать научное мышление и научные вкусы и у преподающих классическую механику.*

Одно из возражений, которое часто приводится в дискуссиях и спорах о программах современного курса теоретической механики, состоит в том, что развитие интеллекта в какой-то мере повторяет историю цивилизации, а поэтому выбрасывание кусков, глав и разделов курса, читавшихся и обдумывавшихся в свое время корифеями механики XVIII—XIX вв., не дает ничего хорошего: ни прочных знаний, ни оладения методом, ни качества научного мышления. Эта аргументация хороша для античного периода развития науки, когда настоящий инженер или ученый должны были знать весь объем содержания широкого круга дисциплин (в идеале, так как знал Аристотель). Вероятно, для специалиста по вариационному исчислению не будут лишними теория чисел или теория кватернионов, но для этого специалиста разумнее изучить глубоко новые идеи вариационного исчисления (скажем, достаточные условия абсолютного минимума) и те методы высшего анализа, которые *формируют профессионала с глубоким пониманием особенностей своей узкой специальности.* И «часы» надо отдать не теории чисел и кватернионам, а тем разделам математики, которые определяют глубокое понимание сути современного состояния данной области знания. Скажем прямо, многим «немеханическим» специаль-

ностям совершенно не подходят наши «рекомендованные» программы по сокращенному курсу теоретической механики, так как эти программы получены вычеркиванием наиболее интересных разделов из полного «классического» курса механики. Мы обязаны критически (зная специфику данного вуза) рассмотреть содержание и направленность всего курса механики и поработать (создать) такие варианты новых программ, в которых из классического наследия удержано то, что жизненно необходимо для будущего профессионала (инженера или ученого).

Очень важно подчеркнуть, что без усвоения методов механики не может быть современного инженерного и университетского образования. Такой категорический вывод следует из того общеизвестного факта, что *в современной технической жизни механическая форма движения все еще остается доминирующей*\*. В этой главе мы привели разнообразные примеры плодотворных взаимодействий развивающейся науки — механики и авиационно-ракетной техники. Мы убеждены, что глубокое понимание высших форм движения материального мира (акустика, теплота, магнетизм, электрические и световые явления) невозможно без знания механики. Все известные нам курсы теоретической физики (и в нашей стране, и за рубежом) убедительно подтверждают этот вывод. Более того, научное воспитание, подготавливающее молодежь к пониманию закономерностей любых процессов природы и техники, надо начинать с изучения процессов механического движения, как более простых, доступных духовным очам каждого исследователя.

Методы аналогий при изучении более сложных форм движения материи, например при изучении акустики, электродинамики, теории потенциала, многих явлений радиофизики, теряют и в наглядности, и в богатстве содержания, если исключить из этих разделов механические явления. Обширные области современной техники опираются на закономерности механической формы движения.

Следует обратить внимание еще на одну важную особенность современного научного развития. Кроме наук, изучающих реально существующие формы движения в технике, природе и обществе, возникают и совершенствуются науки, охватывающие *единым методом исследования* различные формы движения. Так, например, теория колебаний, теория волн, теория потенциала, теория систем с обратными связями, кибернетика представляют науки, объединяющие весьма разнородный материал именно методами исследования. Мы утверждаем, что в этих науках

---

\* Видный французский физик-теоретик Жан Пьер Ви ж е пишет: «Чтобы преодолеть классическую механику, надо сначала понять ее подлинное величие и ее историческое значение. Вся современная промышленность, включая и атомную, действует еще на этой основе». См. журнал «Вопросы философии», 1962, № 10.

невозможно без потери содержательности и доказательности исключить из рассмотрения механические явления и методы их исследования, созданные в теоретической механике многовековой работой выдающихся умов человечества\*.

Рассмотрение единым методом явлений, относящихся к различным формам движения материи, важно и с методологической точки зрения, так как единый метод свидетельствует о *единстве природы* и дает возможность узкому специалисту отчетливо и по существу понимать широкий мир явлений современного естествознания. В. И. Ленин писал в работе «Материализм и эмпириокритицизм»: «Единство природы обнаруживается в «поразительной аналогичности» дифференциальных уравнений, относящихся к разным областям явлений».

Но приведенные соображения не означают, что все созданное в теоретической механике одинаково важно для современной техники. Многие интересные факты, результаты, теории, созданные в механике в течение многих веков, имеют в наши дни только историческое значение, и коллективы механиков советской высшей школы должны решительно исключать их из программ читаемых курсов\*\*. В обширном арсенале достижений теоретической механики можно подобрать интересный материал для многих вариантов программ, учитывающих специфику профессионального труда будущих специалистов, подготавливаемых данным вузом. И такое обновление преподавания механики следует делать незамедлительно, ибо в противном случае ученые и инженеры, читающие специальные курсы, сами включают в свои программы все наиболее ценное из классической механики, а курс теоретической механики, построенный по старинке, тихо умрет в данном вузе.

Нам кажется, что весьма важным для поисков новых путей жизни теоретической механики в высшей школе нашей страны является издание «экспериментальных» курсов механики, читаемых для студентов различных специальностей. Содержание, компоновка и «сквозная идея» этих экспериментальных курсов могут существенно отличаться от программ, утвержденных Министерством высшего образования. Может быть, научно-методическому совету по теоретической механике, который знает и квалификацию, и возможности многих преподавателей кафедр теоретической механики нашей страны, следует поручать в плановом порядке создание новых курсов механики, более полезных для той или другой

---

\* Рекомендуем вниманию читателей интересную книгу: С. W. Meggitt. Optimization Theory and the Design of Feedback Control Systems, McGraw-Hill, New York, 1964, в которой показаны хорошие примеры могущества методов вариационного исчисления для систем с обратной связью.

\*\* Я бы мог в качестве примеров указать на графостатику, теорию параллельных сил, теорию винтов, учение о центроидах и уравнения Лагранжа с неопределенными множителями для механических систем с голономными связями.

группы специальностей, чем старые, привычные курсы. Для того чтобы перестраиваться, надо искать, и лучше такие поиски вести организованно, учитывая реальный уровень подготовки педагогических кадров советской высшей школы.

Важнейшим звеном в повышении роли и значения теоретической механики в высшем техническом образовании является *личная научная работа преподавателей механики* и как ее следствие чтение факультативных курсов по различным разделам современной механики. *Нужно всеми мерами поощрять чтение факультативных курсов.* Два поощрительных мероприятия мы хотим назвать. Как известно, подготовка факультативного курса требует и большого труда, и значительного времени; целесообразно при учете занятости преподавателя учебной работой в случае, когда он читает факультативный курс, вводить «весовой» коэффициент к фактическому времени исполнения этих лекций. Мы думаем, что если факультативный курс читается первый раз, то коэффициент должен быть равен 4 или даже 5. Если факультативный курс успешно читается более 3 раз, нужно обеспечить возможность публикации такого курса.

Для того чтобы наладить более систематическое и высококвалифицированное ознакомление преподавателей механики с современными научными проблемами и новыми методами исследования, *необходимо издавать монографии-обзоры, написанные знатоками дела.* К сожалению, в советских научно-технических журналах очень редко публикуются обзоры, написанные ведущими учеными страны, и еще реже можно встретить статьи, в которых формулируются наиболее важные и животрепещущие проблемы современного научного прогресса в том или другом разделе механики. Нам хотелось бы формулировать два предложения для издателей научно-технической литературы.

а) Как известно, в подавляющем большинстве наших научно-технических журналов не выплачивается гонорар авторам статей. Целесообразно при составлении редакционных годовых планов определять некоторое число обзоров по важнейшим проблемам механики, которые заказываются редколлегией и за которые редакция обязуется платить гонорар, причем достаточно высокий. Хотелось сказать о практике редакций двух американских журналов "AIAA Journal" и "Journal of Spacecraft and Rockets", которые систематически, почти в каждом номере публикуют научные статьи-обзоры под рубрикой "Survey Paper". Вот некоторые названия таких статей:

Методы управления космическими кораблями на участках входа в атмосферу;

Инерциальные системы управления и навигации;

Эффекты от циклических нагрузок на зернистую структуру твердых ракетных топлив;

Последние достижения гиперзвуковой аэродинамики;  
Горение металлов;  
Строение атмосфер планет (Земля, Марс, Венера);  
Моделирование геофизических явлений в лаборатории;  
Радиационные опасности в солнечной системе.

б) При издании стабильных учебников наши издательства привыкли к «космическим» тиражам, и издание монографий или специальных курсов, *профессионально очень важных* для сравнительно узкого круга читателей, тиражом порядка 2—3 тыс. экземпляров, считается коммерчески невыгодным, часто убыточным. Я думаю, что в масштабе страны, *имея в виду соиздание потенциальных интеллектуальных богатств*, будет разумно повысить продажную цену на литературу монографическую и узкоспециальную, но не закрывать ей дорогу руками малокомпетентных людей, которые «не ведают, что творят».

Хорошая монография — это точка зрения специалиста. И если я, преподаватель механики в N-ском вузе, лишен возможности послушать этого специалиста, когда он читает факультативный курс, то монография — очень хорошая замена личным контактам и значение такой научной литературы для молодых ученых громадно. Все возрастающий поток журнальных научно-технических статей еще с одной стороны показывает необходимость издания монографий и узкоспециальных курсов по новым проблемам механики.

**II.** Хотелось бы поставить на обсуждение преподавателей вузов вопрос о содержании практических занятий по теоретической механике и выборе лабораторных работ по механике (в тех вузах, где такие лаборатории организованы). Нам кажется целесообразным, учитывая практику современной научно-технической жизни, проводить практические занятия по двум основным направлениям. Во-первых, это привычные и хорошо известные наборы сравнительно простых и типичных примеров из сборника И. В. Мещерского, приучающие *ставить, решать и исследовать* легко интегрируемые задачи механического движения. Это *важная и обязательная для формирования научно-инженерного мышления* часть содержания практических занятий по курсу теоретической механики.

Но мы в реальном преподавании часто только задачами из «Мещерского» и ограничиваемся, а этого в 60-х годах XX в. уже недостаточно. В практике современной технической жизни интегрируемые (через известные функции) задачи — исключение. Программы высшей школы по теоретической механике в наши дни *должны включать методы исследования неинтегрируемых аналитически задач механического движения*. Исследование нелинейных задач можно разумно проводить и методами численного интегрирования. Развитие средств вычислительной техники позволяет достаточно быстро решать сложные и трудные задачи нели-

нейной механики. Внедрение численных методов — это требование времени, требование реальной технической жизни, и обходить эти методы при изучении динамических задач нельзя. Именно на задачах динамики весьма эффективно выявляется мощь современных электронно-вычислительных машин. В тех вузах, где таких машин еще нет, можно пользоваться клавишными машинами или логарифмической линейкой и счетами. Важно в процессе преподавания механики не ссылаться на результаты машинных вычислений, а *учить этим вычислениям* на специально подобранных задачах из новых разделов современной науки и техники. *Синтез аналитических и вычислительных методов* — вот что характерно при исследованиях и разработках эскизных и технических проектов, в которых решаются современные динамические проблемы.

Особенно целесообразно организовать решение нелинейных задач динамики в лабораторном практикуме. Если в вузе есть вычислительные машины, то решаемые в практикуме задачи могут быть первым шагом к самостоятельной научной работе. Нам кажется, что оснащение практикума по *теоретической* механике приборами и устройствами, позволяющими определять экспериментально моменты инерции, ускорение силы тяжести, резонансные частоты и т. п., удаляет механику в XIX, а иногда и XVIII в. Это не способствует развитию творческой любознательности студенчества, так как экспериментальные установки указанного типа учащиеся видели и изучали в средней школе или в физическом практикуме вуза. *Практическое овладение методами численного интегрирования трудных нелинейных задач динамики и умение анализировать полученные численные результаты* — вот основной стержень при организации лабораторных работ по курсу теоретической механики.

Автор этой главы достаточно критически относится к увлеченности многих преподавателей и инженеров-исследователей *только численными методами* изучения процессов движения. В современном вузовском преподавании аналитические методы в сочетании с глубоким анализом физической сущности проблем играют колоссальную роль. Вычислительная машина должна быть помощником исследователя, но не должна управлять им. Как справедливо указывает в одной из статей Р. Беллман, «машина не может привести к развитию новых методов решения сложных проблем»\*. Поэтому в вузовском преподавании при подготовке молодых исследователей — будущего науки нашей страны — *необходима разумная система пробуждения и совершенствования творческого интеллекта учащихся* в сочетании (сообразуясь) с возможностями современных электронно-вычислительных машин. Не видеть успехов машинной математики в наши дни нельзя, и весь коллектив совет-

---

\* Р. Беллман. Вычислительные машины и принятие решений. «Зарубежная радиоэлектроника», 1964, № 1, стр. 50—55.

ских механиков обязан сформировать такую методику преподавания механики, которая закладывала бы правильные основы развития разума искателей нового, с тем чтобы *обеспечить в беге времени интеллектуальное превосходство наших исследователей*, формирующихся в вузах первой в мире социалистической державы.

Мы убеждены, что в ближайшие 10—15 лет будут созданы весьма компактные электронно-вычислительные машины с автоматами программирования и расшифровки, причем стоимость этих машин будет такова, что многие кафедры механики и даже отдельные ученые будут в состоянии их приобретать и эксплуатировать. Вероятно, ученые-механики еще в XX столетии будут прибегать к услугам вычислительной машины столь же обычно, как ученые XIX столетия прибегали к логарифмической линейке. Внедрение вычислительных машин в повседневную творческую работу *радикально повысит производительность научного труда* и, по-видимому, *изменит также методы исследования*. Правильно и увлекательно пишет видный американский биофизик Дж. Платт\* о том, что в быстрорастущих областях современной науки (к ним относятся в первую очередь молекулярная биология и физика высоких энергий) «применяется и пропагандируется определенный метод научного исследования», который «следует назвать методом строгих выводов». Этот метод «состоит в регулярном и последовательном осуществлении при решении каждой научной проблемы следующих шагов:

- Выдвижение альтернативных гипотез;
- Выбор решающего эксперимента\*\* (или нескольких экспериментов) с альтернативно возможными исходами, каждый из которых должен как можно более убедительно устранить одну или несколько гипотез;
- Проведение эксперимента таким образом, чтобы получить ясный результат.

В случае неудачи:

- Повторное проведение всей этой процедуры, выдвижение новых, побочных гипотез и гипотез, вытекающих из уже имеющихся данных, для того чтобы уточнить остающиеся возможности, и так далее».

Мы уверены, что соединение интеллектуальной изобретательности человеческого ума, прошедшего хорошую аналитическую школу, с необычайным быстродействием электронных вычислительных машин, позволяющих в считанные минуты проверить возникшую гипотезу или догадку, приведет к качественно новым успехам теоретической механики.

---

\* См.: Дж. Платт (США). Метод строгих выводов. «Вопросы философии», 1965, № 9, стр. 83—94.

\*\* В механике это математический эксперимент, т. е. расчет или серия расчетов, исходящих из данной системы (или систем) дифференциальных уравнений (альтернативная» стилизация реального процесса).

◆

Не оторвался ли автор от «грешной земли», от реально происходящих процессов обучения студентов в нашей стране? Знает ли он, что многие преподаватели механики страшно перегружены учебной работой. собраниями, заседаниями и многими-многими общественными делами?

Мы думаем, что, обсуждая проблемы совершенствования высшего образования, неправильно ориентироваться на плохо успевающего студента и загруженного до предела «текучкой» преподавателя.

Советскому Союзу — нашему великому социалистическому государству, пролагающему пути в новый мир, нужны и сегодня, и в будущем высококвалифицированные специалисты, *умеющие делать живое дело лучше, чем это делают в наиболее развитых капиталистических странах.* Мы выпускаем ежегодно большую армию граждан с дипломами о законченном высшем образовании, и, вероятно, все хорошо понимают, что центральной проблемой нашей высшей школы является *повышение профессионального уровня молодых специалистов, повышение качества их научно-технического мышления.* А формирование совершенно определенных — *эвристических* — качеств мышления зависит от поиска и творчества всего коллектива советских механиков. Уместно напомнить здесь одну мысль Микель Анджело, который правильно сказал, что «тот, кто идет за другими, никогда не опередит их».

◆

«Гений живет в среде народа, как искра в кремне», — пишет Стендаль. Талантливость и одаренность народа — это потенциальные богатства страны. Высвобождение этих потенциальных богатств для созидательной работы существенным образом зависит от состава учителей молодежи. Преподаватель должен помочь одаренному юноше найти свое истинное призвание и отшлифовать те грани его таланта, которые откроют для него широкую дорогу профессионального творчества. Мы, преподаватели высшей школы, обязаны находить такие методы образования и воспитания, которые затрагивают творческие стороны интеллекта молодых людей нашей страны, с тем чтобы искры народного таланта и гения реализовались в больших делах новых научных и технических открытий.

## КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ \*

Исторические заслуги судятся не по тому, чего *не дали* исторические деятели сравнительно с современными требованиями, а по тому, что они *дали нового* сравнительно со своими предшественниками.

(В. И. Ленин)

Механика — одна из самых древних наук. Она возникла и развивалась под влиянием запросов общественной практики, а также благодаря любознательности человеческого разума. Еще в доисторические времена люди создавали жилища, различные орудия труда и произведения искусства. Охотники хорошо знали из непосредственного опыта о геометрических формах траекторий брошенного камня или стрелы, выпущенной из лука; интуитивно они понимали и закономерности относительного движения. Многие законы механического движения и равновесия материальных тел познавались человечеством путем многократных повторений, чисто экспериментально. Этот общественно-исторический опыт, передаваемый от поколения к поколению, и был тем исходным материалом, на анализе которого развивалась механика как наука. Возникновение и развитие механики было тесно связано с производством, с потребностями и нуждами человеческого общества. «На известной ступени

\* Обычно в технических вузах на вводную лекцию в курсе теоретической механики планируется всего 1 академический час (45 или 50 минут). Поэтому реализация материала исторического очерка должна предусматриваться в наиболее подходящих местах в течение всего времени, отводимого курсу механики в учебном плане. Так, например, об Архимеде целесообразно рассказать в статике (когда формулируется закон рычага или определяются центры тяжести однородных тел), а о Даламбере — в динамике (когда формулируется принцип Даламбера) и т. д. По нашему опыту, первая лекция должна быть посвящена главным образом рассказу о могуществе механики и ее значении для современного научно-технического прогресса. Нам удалось в вводной лекции кратко охарактеризовать влияние исследований Аристотеля, Галилея, Ньютона, Эйлера, Жуковского, Мещерского, Циолковского и Эйнштейна на ход исторического развития знаний о механической форме движения.

развития земледелия, — пишет Энгельс, — и в известных странах (поднимание воды для орошения в Египте), а в особенности вместе с возникновением городов, крупных построек и развитием ремесла, развивалась и *механика*. Вскоре она становится необходимой также для *судоходства и военного дела*»\*.

Первые дошедшие до наших дней рукописи и научные сообщения в области механики принадлежат античным ученым Греции и Египта. Древнейшие папирусы и книги, в которых сохранились исследования некоторых простейших задач механики, относятся главным образом к различным задачам статики, т. е. *учению о равновесии*. В первую очередь здесь нужно назвать сочинения выдающегося философа древней Греции Аристотеля (384—322 до н. э.), который ввел в научный обиход название *механика*\*\* для широкой области человеческого знания, в которой изучаются простейшие движения материальных тел, наблюдаемые в природе и создаваемые человеком при его деятельности.

Аристотель родился в греческой колонии Стагира во Фракии в 384 г. до н. э. Отец его был врачом македонского царя. В 367 г. до н. э. Аристотель поселился в Афинах, где получил философское образование в Академии известного в Греции философа-идеалиста Платона. В 343 г. до н. э. Аристотель был приглашен воспитателем Александра Македонского — впоследствии знаменитого полководца древнего мира\*\*\*. Свою философскую школу, получившую название школы перипатетиков\*\*\*\*, Аристотель основал в 335 г. до н. э. в Афинах. Некоторые философские положения Аристотеля не утратили своего значения до настоящего времени. Энгельс писал: «Древние греческие философы были все прирожденными стихийными диалектиками, и Аристотель, самая универсальная голова среди них, исследовал уже все существенные формы диалектического мышления». Но в области механики эти широкие универсальные законы человеческого мышления не получили в работах Аристотеля плодотворного отражения.

В своих философских и естественнонаучных трудах Аристотель пытался исследовать различные механические и астрономические проблемы. Он пользовался при рассмотрении конкретных, наблюдаемых челове-

\* Ф. Энгельс. Диалектика природы. М., Госполитиздат, 1950, стр. 145.

\*\* От греческого слова *μηχανή*, что значит «ухищрение», «машина». Ньютон пишет в предисловии к первому изданию «Principia»: «Древние рассматривали механику двояко: как *рациональную* (умозрительную), развиваемую точными доказательствами, и как *практическую*. К практической механике относятся все ремесла и производства, именуемые механическими, от которых получила свое название и самая механика».

\*\*\* Александр Македонский говорил: «Я что Аристотеля наравне со своим отцом, так как если я отцу обязан жизнью, то Аристотелю обязан всем, что дает ей цену».

\*\*\*\* От греческого *περιπατητικός* буквально «любитель прогулок». Аристотель имел обыкновение вести философские беседы во время прогулок.

ком явлений дедуктивным методом, привлекая механику лишь для иллюстрации весьма широких общефилософских положений.

Многие рассуждения Аристотеля о явлениях механического движения наивны, запутаны, непоследовательны. Исходя из общих аксиоматических положений, он часто делал ложные заключения о закономерностях конкретных явлений. Пренебрежение экспериментом и ряд выводов, основанных на непосредственном созерцании видимых процессов движения тел без последующего количественного анализа, привели Аристотеля к результатам, не подтверждающимся научно поставленным опытом.

Так, например, Аристотель считал, что вблизи поверхности земли тяжелые тела падают быстрее, а легкие медленнее, даже если не принимать во внимание силу сопротивления воздуха. Сравнивая теоретические скорости падения тяжелого тела данной формы в воздухе и воде, он утверждал, что скорость в воде будет во столько раз меньше, во сколько раз плотность воды больше плотности воздуха. Классифицируя механические движения, Аристотель делил их на прямолинейные и криволинейные. Криволинейные движения, по Аристотелю, являются более совершенными. Самой совершенной кривой у древних геометров считалась окружность. Аристотель заключает, что планеты, будучи созданием совершеннейшего существа — бога, обязаны двигаться по самым совершенным траекториям, т. е. по окружностям. Аристотель считал, что для поддержания прямолинейного и равномерного движения материального тела необходимо приложение постоянной силы. В природе не может существовать пустоты, учил Аристотель, так же как и действия на расстоянии.

При рассмотрении проблемы рычага Аристотель, по-видимому, высказал правильную догадку об условиях равновесия рычага с неравными плечами, хотя и здесь в его пояснениях много наивной восторженности перед реально наблюдаемыми фактами и мало конкретного строго научного анализа.

Ученики Аристотеля, пересказывая в книге «Механические проблемы» мысли своего учителя, писали о рычаге: «К такого рода удивительным вещам относятся те случаи, когда меньшее берет верх над большим, когда вещь легковесная сама по себе приводит в движение большие тяжести, и все то, что мы называем *механикой*. Самым выдающимся из всех вопросов механики является вопрос о рычаге. На первый взгляд кажется нелепым, чтобы большая тяжесть приводилась в движение малой силой... Первоначальная причина всех подобных явлений — круг. ...В самом деле, все то, что наблюдается на весах, приводится к кругу, все, что наблюдается в рычаге, приводится к весам, а все, что вообще относится к механическому движению, сводится к рычагу».

К правильным догадкам Аристотеля относится содержание теоремы о сложении скоростей и утверждение, что воздух имеет вес.

Полагая, что мир идей является более совершенным, чем мир вещей, и считая эксперимент делом рабов, последователи Аристотеля не обращали большого внимания на явное несогласие многих теоретических выводов Аристотеля с простейшими корректно поставленными опытами.

Научные основы учения о равновесии были заложены гениальным Архимедом (287—212 гг. до н. э.), который первым из ученых начал успешно применять строгие математические методы к исследованию проблем механики.

Вдумчивый наблюдатель природы, знаток античной техники, глубокий мыслитель и изобретатель Архимед был «человеком сверхъестественной проницательности, которому мы обязаны в зародыше большей частью открытий, развитие которых покрыло славой переживаемую нами эпоху»\*.

В своем сочинении о равновесии плоских фигур и о центре тяжести Архимед открыл закон равновесия рычага и установил основные принципы статики твердого тела.

В теории рычага Архимед исходит из следующих допущений (постулатов), которые он считает само собой понятными:

1. Равные грузы, приложенные к равным плечам рычага, уравновешиваются.

2. Равные грузы, приложенные к неравным плечам рычага, не находятся в равновесии. Груз, приложенный к более длинному плечу, падает вниз.

3. Если грузы, подвешенные на каких-нибудь плечах рычага, находятся в равновесии, то, если к одному из грузов что-либо добавить равновесие нарушится и груз, к которому прибавлено, будет падать вниз.

4. Точно так же, если от одного груза отнять что-либо, то равновесие нарушится и груз, от которого не было отнято, падает вниз.

Из этих вполне согласующихся с опытом («очевидных») аксиоматических положений Архимед получил условие равновесия рычага. *Любые (соизмеримые или несоизмеримые) грузы находятся в равновесии, когда плечи рычага обратно пропорциональны грузам\*\*.*

Этой формулировкой условия равновесия рычага мы пользуемся в статике до сих пор. Доказательства, данные Архимедом, видоизменялись в дальнейшем различными авторами, но, как справедливо заметил Лагранж, эти авторы, нарушив простоту доказательства Архимеда, почти ничего не выиграли с точки зрения точности.

\* По словам английского ученого J. Wallis'a (1616—1703), автора известного курса механики «Mechanica» (три части которого изданы в Лондоне в 1669—1671 гг.).

\*\* Формулировка закона равновесия рычага дана в дошедшем до нас сочинении Архимеда «О равновесии плоских фигур».

Архимед нашел строгими геометрическими рассуждениями положения центров тяжести параллелограмма, треугольника, трапеции и даже, применяя так называемый метод «исчерпывания», определил центр тяжести параболического сегмента и центр тяжести части площади параболы, заключенной между двумя параллельными прямыми. Исследования Архимеда были предметом гордости его сограждан, вызывая изумление и восхищение всех ученых. Так, Плутарх говорит: «Во всей геометрии нет теорем более трудных и глубоких, чем теоремы Архимеда, и, несмотря на это, они доказаны очень просто и весьма ясно. По моему мнению, невозможно найти доказательства какого бы то ни было из предложений Архимеда, но, прочитавши доказательство, данное им, нам кажется, что мы сами дали бы это доказательство — так оно просто и легко». Архимед впервые математически корректно определил боковую поверхность прямого цилиндра и прямого кругового конуса, а также дал формулы для вычисления поверхности и объема шара. Его геометрическое построение стороны вписанного в круг семиугольника до наших дней вызывает восхищение математиков всех стран.

Архимед заложил основы науки о равновесии жидкостей — гидростатики. «За Архимедом сохранилась репутация одного из самых удивительных гениев, которые когда-либо посвящали себя математике. Ни один из геометров древности не сделал таких многочисленных и важных открытий», — говорит Лагранж.

По характеристике историка Плутарха, Архимед был фанатично одержим математикой: «Эта сирена всегда была с ним, и ее непрерывные чары заставляли его забывать о пище; он совершенно не заботился о себе, а когда его нередко заставляли идти в баню и умащаться маслом, он чертил на золе геометрические фигуры и рисовал их пальцем на своем умащенном теле, будучи одержим великим вдохновением и поистине являясь пленником муз».

Архимеду принадлежит большое число технических изобретений, в том числе простейшей водоподъемной машины (архимедова винта), которая нашла применение в Египте для осушения залитых водой культурных земель. Он проявил себя и как военный инженер при защите своего родного города Сиракузы (Сицилия). Архимед понимал могущество и великое значение для человечества точного и систематического научного исследования, и ему приписывают гордые слова: «Дайте мне место, на которое я мог бы встать, и я сдвину Землю».

Архимед погиб от меча римского солдата во время резни, устроенной римлянами при захвате Сиракуз. Предание гласит, что Архимед, погруженный в рассмотрение геометрических фигур, сказал подошедшему к нему солдату: «Человек, не трогай моих чертежей». Солдат, усмотрев в этих словах оскорбление могущества победите-

лей, отрубил ему голову, и кровь Архимеда обагрила его последний научный труд.

Известный астроном древности Птолемей (II. в. н. э.) \* в своей работе «Великое математическое построение астрономии в XIII книгах» («Альмагест») разработал *геоцентрическую* систему мира, в которой видимые движения небесного свода и планет объяснял, исходя из предположения, что Земля неподвижна и находится в центре вселенной. Весь небесный свод делает полный оборот вокруг Земли за 24 часа, и звезды участвуют только в суточном движении, сохраняя свое относительное расположение неизменным; планеты, кроме того, движутся и на небесной сфере, изменяя свое положение относительно звезд. Законы видимых движений планет были установлены Птолемеем настолько совершенно, что стало возможным предвычисление их положений относительно сферы неподвижных звезд.

Однако теория строения вселенной, созданная Птолемеем, была ошибочной; она привела к необычайно сложным и искусственным схемам движения планет и в ряде случаев не могла полностью объяснить их видимых перемещений относительно звезд. Особенно большие несоответствия вычислений и наблюдений получались при предсказаниях солнечных и лунных затмений, сделанных на много лет вперед.

Птолемей не придерживался строго методологии Аристотеля и проводил планомерные опыты над преломлением света. Физиологооптические наблюдения Птолемея не потеряли своего интереса до настоящего времени. Найденные им углы преломления света при переходе из воздуха в воду, из воздуха в стекло и из воды в стекло были весьма точны для своего времени. Птолемей замечательно соединял в себе строгого математика и тонкого экспериментатора.

В эпоху средних веков развитие всех наук, а также и механики сильно замедлилось. Более того, в эту эпоху были уничтожены и разрушены ценнейшие памятники науки, техники и искусства древних. Религиозные изуверы стирали с лица Земли все завоевания науки и культуры. Большинство ученых этого периода слепо придерживалось схоластического метода Аристотеля в области механики, считая безусловно правильными все положения, содержащиеся в сочинениях этого ученого. Геоцентрическая система мира Птолемея была канонизирована. Выступления против этой системы мира и основных положений философии Аристотеля считались нарушением основ священного писания, и исследователи, решавшиеся сделать это, объявлялись еретиками. «Поповщина убила в Аристотеле живое и увековечила мертвое», — писал Ленин. Мертвая, бессодержательная схоластика за-

---

\* Есть сведения, что Птолемей (Klaudius Ptolemeus) жил и работал в Александрии с 127 по 141 или 151 г. По арабским преданиям, умер в возрасте 78 лет.

полнила страницы многих трактатов. Ставились нелепые проблемы, а точное, истинное знание преследовалось и хирело\*. Большое число работ по механике в средневековье было посвящено отысканию перпетуум мобиле, т. е. вечного двигателя, работающего без получения энергии извне. Эти работы в своем большинстве мало способствовали развитию механики. «Христианское средневековье не оставило науке ничего», — говорит Ф. Энгельс в «Диалектике природы».

Интенсивное развитие механики началось в эпоху Возрождения, с первых десятилетий XV в., в Италии, а затем и в других странах. В эту эпоху особенно большой прогресс в развитии механики был достигнут благодаря работам Леонардо да Винчи (1452—1519), Коперника (1473—1543) и Галилея (1564—1642).

Знаменитый итальянский художник, математик, механик и инженер Леонардо да Винчи занимался исследованиями по теории механизмов (им построен эллиптический токарный станок), изучал трение в машинах, исследовал движение воды в трубах и движение тел по наклонной плоскости. Он первым познал чрезвычайную важность нового понятия механики — момента силы относительно точки. Исследуя равновесие сил, действующих на блок, Леонардо да Винчи установил, что роль плеча силы играет длина перпендикуляра, опущенного из неподвижной точки блока на направление веревки, несущей груз. Равновесие блока возможно только в том случае, если произведения сил на длины соответствующих перпендикуляров будут равны; иначе говоря, равновесие блока возможно только при условии, что сумма статических моментов сил относительно точки привеса блока будет равна нулю.

Революционный переворот в воззрениях на строение вселенной был произведен польским ученым Николаем Коперником (1473—1543), который, как образно написано на его памятнике в Варшаве, «остановил Солнце и сдвинул Землю». Новая *гелиоцентрическая* система мира объясняла движение планет, исходя из того, что Солнце является неподвижным центром, около которого по окружностям совершают движение все планеты. Вот подлинные слова Коперника, взятые из его бессмертного произведения: «То, что нам представляется как движение Солнца, происходит не от его движения, а от движения Земли и ее сферы, вместе с которой мы обращаемся вокруг Солнца, как любая другая планета. Так, Земля имеет больше, чем одно движение. Видимые простые и попятные движения планет происходят не в силу их движения, но движения Земли. Таким образом, одно

---

\* Идеологию средневековья хорошо выразил один из последователей Магомета, говоря: «Если науки учат тому, что написано в коране, они излишни; если они учат другому, они безбожны и преступны».

движение Земли достаточно для объяснения и столь многих видимых неравенств на небе».\*

В работе Коперника была вскрыта главная особенность движений планет и даны расчеты, относящиеся к предсказаниям солнечных и лунных затмений; объяснения возвратных видимых движений Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна относительно сферы неподвижных звезд приобрели ясность, отчетливость и простоту. Коперник ясно понимал кинематику относительного движения тел в пространстве. Он писал: «Всякое воспринимаемое изменение положения происходит вследствие движения либо наблюдаемого предмета, либо наблюдателя, либо вследствие движения того и другого, если, конечно, они различны между собой; ибо когда наблюдаемый предмет и наблюдатель движутся одинаковым образом и в одном направлении, то не замечается никакого движения между наблюдаемым предметом и наблюдателем».

Подлинно научная теория Коперника позволила получить ряд важных практических результатов: увеличить точность астрономических таблиц, провести реформу календаря (введение нового стиля) и более строго определить продолжительность года.

Система Коперника способствовала более глубокому пониманию теории относительного движения тел и, несомненно, ускорила открытие основных динамических законов классической механики.

Убежденным приверженцем учения Коперника был знаменитый ученый эпохи Возрождения, один из любимых героев К. Маркса, немецкий астроном Иоганн Кеплер (1571—1630), который завершил своим открытием трех законов движения планет создание научной кинематики солнечной системы. До работ Коперника и Кеплера в астрономии господствовали два догматических утверждения древних ученых:

Земля находится в покое и является центром вселенной;

все планеты по воле творца движутся с постоянной скоростью по окружностям как наиболее совершенным из всех геометрических кривых.

Коперник разрушил первый предрассудок, доказав, что планеты движутся вокруг Солнца, а не вокруг Земли. Кеплер дал неопровержимые доказательства того, что все планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце.

Борьба передовых ученых, механиков и астрономов против обветшалой системы Птолемея, начатая Коперником, продолжалась более 250 лет. Особенно важную роль в этой борьбе сыграли корифеи науки: Галилей и Ломоносов.

---

\* Цитируется по статье Н. И. Идельсона «Жизнь и творчество Коперника», опубликованной в сборнике «Николай Коперник». М., Изд-во АН СССР, 1947.

Работы гениального итальянского ученого Галилео Галилея (1564—1642) имели фундаментальное значение для развития динамики.

*Динамика как наука была основана Галилеем, который открыл многие весьма существенные свойства равноускоренных и равнозамедленных движений.* Основания этой новой науки были изложены Галилеем в книге под названием «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению»\*. В главе III, посвященной динамике, Галилей пишет: «Мы создаем новую науку, предмет которой является чрезвычайно старым. В природе нет ничего древнее движения, но именно относительно него философами написано весьма мало значительного. Поэтому я многократно изучал на опыте его особенности, вполне этого заслуживающие, но до сего времени либо неизвестные, либо недоказанные. Так, например, говорят, что естественное движение падающего тела есть движение ускоренное. Однако, в какой мере нарастает ускорение, до сих пор не было указано; насколько я знаю, никто еще не доказал, что пространства, проходимые падающим телом в одинаковые промежутки времени, относятся между собой как последовательные нечетные числа. Было замечено также, что бросаемые тела или снаряды описывают некоторую кривую линию, но того, что эта линия является параболой, никто не указал».

До Галилея силы, действующие на тела, рассматривали только в состоянии равновесия тел и измеряли действие сил статическими методами (рычаг, весы). Галилей указал, что *сила есть причина изменения скорости*, и тем самым установил динамический метод сравнения действия сил. Исследования Галилея в области механики важны не только теми результатами, которые ему удалось получить, но и последовательным введением в механику экспериментального метода.

Так, например, закон изохронности колебаний маятника при малых углах отклонения, законы движения точки по наклонной плоскости были исследованы Галилеем путем тщательно поставленных опытов.

*Благодаря работам Галилея развитие механики прочно связывается с запросами техники, и научный эксперимент планомерно вводится как плодотворный метод исследования явлений механического движения.* Галилей в своих беседах прямо говорит, что наблюдения над работой «первых» мастеров в венецианском арсенале и беседы с ними помогли ему разобраться в «причинах явлений не только изумительных, но и казавшихся сперва совершенно невероятными». Многие положения механики Аристотеля были Галилеем или уточнены (как например, закон о сложении движений), или весьма остроумно опро-

\* Г. Г а л и л е й. Соч., т. I. М.—Л., ГТТИ, 1938.

вергнуты чисто логическими рассуждениями (опровержение путем постановки опытов считалось в то время недостаточным). Мы приводим здесь для характеристики стиля изложения научных вопросов доказательство Галилея, опровергающее положение Аристотеля о том, что тяжелые тела вблизи поверхности земли падают быстрее, а легкие медленнее. Рассуждения приводятся в форме беседы между последователем Галилея (Сальвиати) и Аристотеля (Симпличио).

Сальвиати: Без дальнейших опытов путем краткого, но убедительного рассуждения мы можем ясно показать неправильность утверждения, будто тела более тяжелые движутся быстрее, нежели более легкие, подразумевая тела из одного и того же вещества, т. е. такие, о которых говорит Аристотель. В самом деле, скажите мне, Синьор Симпличио, признаете ли Вы, что каждому падающему телу присуща от природы определенная скорость, увеличить или уменьшить которую возможно только путем введения новой силы или препятствия?

Симпличио: Я не сомневаюсь в том, что одно и то же тело в одной и той же среде имеет постоянную скорость, определенную природой, которая не может увеличиваться иначе, как от приложения новой силы, или уменьшится иначе, как от препятствия, замедляющего движение.

Сальвиати: Таким образом, если мы имеем два падающих тела, естественные скорости которых различны, и соединим движущееся быстрее с движущимся медленнее, то ясно, что движение тела, падающего быстрее, несколько задержится, а движение другого несколько ускорится. Вы не возражаете против такого положения?

Симпличио: Думаю, что это вполне правильно.

Сальвиати: Но если это так и если вместе с тем верно, что большой камень движется, скажем, со скоростью в восемь локтей, тогда как другой, меньший, — со скоростью в четыре локтя, то, соединяя их вместе, мы должны получить скорость, меньшую восьми локтей; однако два камня, соединенные вместе, составляют тело, большее первоначального, которое имело скорость в восемь локтей; следовательно, выходит, что более тяжелое движется с меньшей скоростью, чем более легкое, а это противно Вашему предположению. Вы видите теперь, как из положения, что более тяжелые тела движутся с большей скоростью, чем легкие, я мог вывести заключение, что более тяжелые тела движутся менее быстро».

Явления равноускоренного падения тел на Земле наблюдались многочисленными учеными до Галилея, но никто из них не смог открыть истинных причин и правильных законов, объясняющих эти повседневные явления. Лагранж замечает по этому поводу, что «нужен был необыкновенный гений, чтобы открыть законы природы в таких явлениях,

которые всегда пребывали перед глазами, но объяснение которых тем не менее всегда ускользало от изысканий философов».

Итак, Галилей был зачинателем современной динамики. Законы инерции и независимого действия сил Галилей отчетливо понимал в их современной форме\*.

Галилей был выдающимся астрономом-наблюдателем и горячим сторонником гелиоцентрического мировоззрения. Радикально усовершенствовав телескоп, Галилей открыл фазы Венеры, четырех спутников Юпитера, пятна на Солнце. Основные астрономические исследования были изложены Галилеем в его известной работе «Звездный вестник», изданной в 1610 г. Он вел настойчивую, последовательно материалистическую борьбу против схоластики Аристотеля, обветшалой системы Птолемея, антинаучных канонов католической церкви. Характерным для Галилея является применение точных законов математики и механики к объяснению наблюдаемых явлений природы. В письме к одному из своих противников, приверженцу схоластических формулировок «обожествленного» Аристотеля, он писал: «Если философия — это то, что содержится в книгах Аристотеля, то ваша милость была бы, вероятно, величайшим философом на свете, ибо вы владеете всеми цитатами из него, держа их наготове. Я же думаю, что книга философии — это то, что всегда раскрыто перед глазами; но так как эта книга написана иными буквами, чем буквы нашего алфавита, то она не может быть прочитана всеми. Буквами этой книги являются треугольники, круги, шары, конусы, пирамиды и другие математические фигуры, очень пригодные для чтения ее». Галилей относится к числу великих мужей науки, «которые умели ломать старое и создавать новое, несмотря ни на какие препятствия, вопреки всему».

Работы Галилея были продолжены и развиты Гюйгенсом (1629—1695), который разработал теорию колебаний физического маят-

---

\* Вот некоторые из формулировок Галилея:

«Степень скорости, обнаруживаемая телом, нерушимо лежит в самой его природе, в то время как причины ускорения или замедления являются внешними; это можно заметить лишь на горизонтальной плоскости, ибо при движении по наклонной плоскости вниз наблюдается ускорение, а при движении вверх — замедление. Отсюда следует, что движение по горизонтали является неизменным, ибо если оно остается само себе равным, то оно ничем не ослабляется, не замедляется и не ускоряется» (Соч., т. I, стр. 372).

«Когда тело движется по горизонтальной плоскости, не встречая никакого сопротивления движению, то движение его является равномерным и продолжалось бы бесконечно, если бы плоскость простиралась в пространстве без конца» (Соч., т. I, стр. 417, 418).

«Движение в поперечном направлении остается всегда равномерным, а естественное падение сохраняет свою особенность нарастания пропорционально квадрату времени, и такие движения и скорости слагаются, но не мешают и не препятствуют друг другу» (Соч., т. I, стр. 427). (Подчеркнуто нами. — А. К.)

ника и установил законы действия центробежных сил. Распространение теории ускоренных и замедленных движений одной точки (поступательного движения тела) на случай вращательного движения тела представляет значительный шаг вперед.

Гюйгенс ввел в механику понятие о моменте инерции тела относительно оси и определил так называемый «центр качаний» физического маятника. При определении центра качаний физического маятника Гюйгенс исходил из следующего принципа: «Система весомых тел, движущихся под влиянием силы тяготения, не может двигаться так, чтобы общий центр тяжести тел поднялся выше первоначального положения». Гюйгенс проявил себя и как инженер-изобретатель. Он создал конструкцию маятниковых часов, изобрел балансир—регулятор хода карманных часов, построил лучшие астрономические трубы того времени и первый ясно увидел кольцо планеты Сатурн.

В 1690 г. Гюйгенс опубликовал исследование «Трактат о свете», в котором была изложена *волновая теория света* и рассмотрены интересные задачи о распространении света. В этой книге, касаясь философских вопросов, Гюйгенс пропагандировал механистическое мировоззрение. Он писал: «В истинной философии причину всех естественных явлений постигают при помощи соображений механического характера. По моему мнению, так и следует поступать; в противном случае приходится отказываться от всякой надежды когда-либо и что-нибудь понять в физике».

Труды Гюйгенса по механике явились продолжением исследований Галилея и были широко использованы Ньютоном, который считал основную работу Гюйгенса «Маятниковые часы» превосходной.

Завершение построения основ современной механики медленных (по сравнению со скоростью света) движений было сделано великим английским математиком и механиком И. Ньютоном (1643—1727), который в своей книге «Математические принципы натуральной философии» дал вполне строгую и достаточно полную систему законов классической механики. Ньютон определяет рациональную механику как *учение о движениях, производимых какими бы то ни было силами, и о силах, требуемых для производства каких бы то ни было движений*.

Ньютону принадлежит открытие двух важнейших законов механики: закона действия и противодействия и закона всемирного тяготения. Закон равенства действия и противодействия позволяет изучать движения механических систем точек и исследовать наиболее естественным методом законы несвободных движений. Закон всемирного тяготения расширил границы приложений механики и дал научную основу для обработки астрономических наблюдений и теоретических расчетов движений небесных тел.

Основной закон механики (второй закон Ньютона) был сформулирован Ньютоном в отличие от работ предшествующих ученых в *диффе-*

ренициальной форме. Это позволило рассмотреть многочисленные задачи, где движение определяется *переменными* силами. Механические задачи, решенные Галилеем, превратились после исследований Ньютона в очень простые частные случаи.

Ньютоном был сформулирован закон параллелограмма сил и закон сложения движений. Ньютон говорит, что при силах совокупных тело описывает диагональ параллелограмма в то же самое время, как его стороны — при раздельных.

Ньютон первым обратил внимание на различие понятий массы инертной и массы весомой, предвосхитив своими опытами в этом направлении основной постулат общей теории относительности.

Кроме строгой формулировки основных законов механики, Ньютоном было дано решение весьма большого числа частных задач механики и астрономии. Вместе с Лейбницем Ньютон является основоположником анализа бесконечно малых, преимущества применений которого к исследованию новых проблем механики выявляются в беге времени все полнее и определеннее.

Систематическое применение методов анализа бесконечно малых к изложению курса механики было проведено впервые со всей последовательностью великим математиком и механиком Леонардом Эйлером (1707—1783), который большую часть своей творческой жизни провел в Петербурге, будучи членом Российской Академии наук.

Применение в механике геометрического метода Евклида требовало большого искусства, и решение каждой новой задачи представляло значительные трудности. Аналитический метод во многих случаях облегчает получение исходных уравнений движения и позволяет провести решение кратчайшим и простейшим путем.

На заре развития дифференциального и интегрального исчисления Эйлер первым оценил величайшее могущество нового математического метода для задач теоретической механики. Теория обыкновенных дифференциальных уравнений есть вполне адекватный аппарат для познания сущности большого класса механических движений. Именно поэтому Эйлеру в своих работах удалось раздвинуть границы механики до пределов, о которых в те годы ученые даже и не мечтали. Достоинства аналитического метода изложения были подтверждены рядом крупнейших оригинальных научных открытий Эйлера: разработкой теории несвободного движения точки, созданием теории движения твердого тела, созданием основных методов изучения гидромеханики идеальной жидкости, точными расчетами баллистических траекторий в сопротивляющейся среде. Многие научные результаты Эйлера вошли в современные курсы теоретической механики. Стихийная творческая сила этого ученого, его одержимость научными изысканиями, его напряженный, не прекращающийся до последнего дня жизни труд являются непревзой-

денными во всей истории науки. Эйлер написал более 750 научных работ.

Большое влияние на развитие теоретической механики в России оказал гениальный русский ученый, поэт, философ и инженер М. В. Ломоносов (1711—1765). Его ярко выраженный последовательный материализм, настойчивая и страстная борьба за честь и процветание русской науки, найденные им конкретные результаты в области изучения механических движений открыли новую страницу научных изысканий в нашей стране.

«Соединяя необыкновенную силу воли с необыкновенною силою понятия, Ломоносов обнял все отрасли просвещения. Жажда науки была сильнейшею страстию сей души, исполненной страстей. Историк, ритор, механик, химик, минералог, художник и стихотворец, он все испытал и все проник: первый углубляется в историю отечества, утверждает правила общественного языка его, дает законы и образцы классического красноречия, с несчастным Рихманом предугадывает открытия Франклина, учреждает фабрику, сам сооружает махины, дарит художества мозаическими произведениями и наконец открывает нам истинные источники нашего поэтического языка»\*.

Для теоретической механики имеет принципиальное значение открытый Ломоносовым фундаментальный закон природы — закон *сохранения вещества*. Первая формулировка этого закона была дана Ломоносовым в письме к Л. Эйлеру от 5 июля 1748 г. Ломоносов пишет: «Все изменения, совершающиеся в природе, происходят таким образом, что сколько к чему прибавилось, столько же отнимается от другого. Так, сколько к одному телу прибавится вещества, столько же отнимется от другого... Этот закон природы является настолько всеобщим, что простирается и на правила движения: тело, возбуждающее толчком к движению другое, столько же теряет своего движения, сколько отдает этого движения другому телу»\*\*. Известные в современной аэромеханике и гидромеханике уравнения непрерывности (или сплошности) представляют не что иное, как закон Ломоносова для механических движений жидкости или газа.

Ломоносов хорошо понимал, что изменение механического движения происходит за счет активной передачи движения от одного тела к другому. Его трактовка понятия силы близка к современной.

Ломоносов разрабатывал в ряде своих трудов проблему соотношения массы весомой и массы инертной. Он писал: «Но я считаю невозможным приложить теорему о пропорциональности массы и веса к мель-

---

\* А. С. Пушкин. Полн. соб. соч., т. 5. Библиотека «Огонек». М., «Правда», 1954, стр. 18.

\*\* М. В. Ломоносов. Избранные философские произведения. М., Госполитиздат, 1950, стр. 160.

чайшим единицам тел природы, если мы не хотим все время ошибаться». По Ломоносову, объяснение основных качественных признаков тел нужно искать в нечувствительных физических частичках (атомах), составляющих тела природы. Притяжение, сила инерции, форма и движение этих частичек определяют общие, интегральные свойства тел. Главную задачу науки Ломоносов видел в том, чтобы объяснять многообразие явлений и законов природы из движения и взаимодействия мельчайших частиц материи.

Ломоносов со всей своей страстностью отстаивал необходимость тесной связи теории с практикой, требуя «опирать первую на эксперимент». «Ныне ученые люди, а особливо испытатели натуральных вещей, мало взирают на родившиеся в одной голове вымыслы и пустые речи, но более утверждают на достоверном искусстве. Главнейшая часть натуральной науки — физика — ныне уже только на одном оном свое основание имеет. Мысленные рассуждения произведены бывают из надежных и много раз повторенных опытов»\*.

*Эту неразрывность теории и практики, науки и производства можно отчетливо проследить по всем выдающимся произведениям ученых нашей страны как генеральную линию передовой русской механики.*

Развитие результатов Эйлера в области динамики твердого тела было проведено в дальнейшем главным образом русскими учеными\*\*. Знаменитая русская женщина-математик С. В. Ковалевская (1850—1891) обнаружила новый случай интегрируемости уравнений Эйлера в динамической задаче о движении твердого тела около неподвижной точки. В своей работе Ковалевская задается целью отыскать такие классы движений тяжелого твердого тела, для которых проекции мгновенной угловой скорости на подвижные оси выражаются в виде некоторых функций времени, имеющих особые точки только в форме полюсов первого порядка. Этим путем она нашла решение новой труднейшей задачи о движении несимметричного гироскопа, и ее работа вызвала появление обширной литературы как в нашей стране, так и за границей.

Приложениями теории движения твердого тела около неподвижной точки к задаче баллистики продолговатого вращающегося снаряда много занимался русский ученый и военный инженер Н. В. Майевский (1823—1892). Он создал научные основы механики продолговатого снаряда. Результаты Майевского в области баллистики являются классическими, составляя славу и гордость русской артиллерийской науки.

---

\* М. В. Ломоносов. Избранные философские произведения. М., Госполитиздат, 1950, стр. 126.

\*\* См., например, одну из новых обзорных работ по динамике твердого тела: E. Leimanis. Some Recent Advances in the Dynamics of Rigid Bodies and Celestial Mechanics, „Dynamics and Nonlinear Mechanics“, New York, 1958.

При решении различных частных задач о движении системы тел, связанных рычагами или нитями, т. е. несвободных механических систем, непосредственное использование законов Ньютона было достаточно трудным. Требовались всегда особая проницательность и остроумие для определения всех сил, которые в каждом частном случае должны быть приняты во внимание. Это, говорит Лагранж, придавало указанным задачам большую привлекательность и побуждало ученых к соревнованию.

В 1743 г. французский энциклопедист и математик Даламбер (1717—1783) предложил прямой и общий метод решения задач динамики, который называют теперь принципом Даламбера. С помощью этого принципа можно сравнительно просто составить уравнения для любой задачи движения несвободной механической системы и, следовательно, трудности рассмотрения механических задач в значительной степени свести к трудностям интегрирования дифференциальных уравнений. В тех же случаях, когда нужно найти ускорения системы тел, задача сводится к решению системы алгебраических уравнений и, следовательно, решается легко хорошо известными приемами.

Аналитический метод решения основных задач механики достиг весьма широких обобщений в научных изысканиях крупнейшего французского ученого Лагранжа (1736—1813). В книге Лагранжа «Аналитическая механика» все основные результаты получены на основе одного общего метода, называемого принципом виртуальных (возможных) перемещений. В предисловии к этой книге, опубликованной первым изданием в 1788 г., Лагранж пишет: «В этой работе отсутствуют какие бы то ни было чертежи. Излагаемые мной методы не требуют ни построений, ни геометрических или механических рассуждений; они требуют только алгебраических операций, подчиненных планомерному и однообразному ходу. Все, любящие анализ, с удовольствием убедятся в том, что механика становится новой отраслью анализа, и будут мне благодарны за то, что этим путем я расширил область его применения».

Принцип возможных перемещений, положенный Лагранжем в основу механики, оказался одним из наиболее общих и плодотворных методов исследования механического движения и равновесия материальных тел, однако механика, являющаяся наукой о природе, не стала отраслью математического анализа. Задачи, относящиеся к теории упругости, теории пластичности, гидро- и аэромеханике, т. е. к механике деформируемых тел, в большом числе случаев получают ясное решение, если из необходимых уравнений классической механики твердого тела взять те, которые получаются методом возможных перемещений. «И вообще, мне кажется, можно сказать наперед, что все общие принципы, которые еще могли бы быть открыты в учении о равновесии, представили бы собой не что иное, как тот же самый принцип возможных перемещений,



лагаются в ряды по целым положительным степеням последних и уничтожаются, когда все эти величины делаются нулями.

Задача состоит в том, чтобы узнать, можно ли начальные значения функций  $x_n$ , не делая их нулями, выбрать настолько малыми, чтобы во все время, следующее за начальным моментом, функции эти оставались численно меньшими некоторых заранее данных, отличных от нуля, но сколь угодно малых пределов\*.

В тех случаях, когда уравнения (1) интегрируются, решение поставленной задачи сравнительно просто. Суть дела состоит здесь в том, чтобы ответить на вопрос, устойчива или неустойчива механическая система независимо от выполнимости интеграции системы (1). До работ А. М. Ляпунова решение задачи об устойчивости механических систем, движение которых определено уравнениями (1), заменялось исследованием системы уравнений первого приближения, т. е. таких уравнений, когда в разложениях функций  $X_1, X_2, \dots, X_n$  в окрестности  $x_1=0, x_2=0, \dots, x_n=0$  отбрасываются все члены выше первого измерения относительно величин  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Ляпунов дал совершенно строгое решение задачи и указал те случаи, в которых первое приближение действительно решает вопрос об устойчивости; он также развил методы, которые позволяют решать его в некоторых из тех случаев, когда по первому приближению нельзя судить об устойчивости.

Предложенные Ляпуновым методы оказались столь мощными и плодотворными, что в настоящее время большинство работ по теории устойчивости посвящено или развитию этих методов, или их приложению к практическим задачам.

Ряд методов в теории устойчивости движения, развитых Раусом Жуковским и другими авторами для систем первого приближения, получил в работах Ляпунова математически строгое обоснование и определение границ применения.

Одновременно с развитием аналитических методов в XIX столетии начали усовершенствоваться и геометрические методы исследования задач механики. Так, вышедшая в 1804 г. книга французского механика и геометра Пуансо (1777—1859) «Элементы статики» изложена наглядным геометрическим методом.

Пользуясь геометрическими построениями, Пуансо находит все основные свойства рассматриваемых механических движений. Особенно удачным было применение геометрического метода к задаче о движении твердого тела около неподвижной точки в том случае, когда момент внешних сил относительно этой точки равен нулю. Эта задача была решена аналитическим методом еще Эйлером, но геометрическая интер-

---

\* А. М. Ляпунов. Общая задача об устойчивости движения. М.—Л., 1936, стр. 4.

претация, данная Пуансо, позволила представить это сложное движение так ясно, что исследование решения в эллиптических функциях стало почти излишним.

Особенно много работал над развитием геометрических методов в различных областях теоретической и технической механики знаменитый профессор Московского университета Н. Е. Жуковский (1847—1921). В своих работах и статьях он неоднократно говорит о том, что механика должна в одинаковой мере опираться на анализ и геометрию, заимствуя у них то, что более подходит к существу задачи. Представители аналитического метода, стремясь возможно шире ставить рассматриваемые вопросы, часто игнорируют геометрическую и механическую трактовку реальных задач природы, вызывая этим непреодолимые аналитические трудности, часто не оправдываемые физической сущностью проблемы.

Наглядная геометрическая интерпретация задач механики рекомендовалась Н. Е. Жуковским и для преподавания. «Ум изучающих, — пишет Н. Е. Жуковский, — весьма часто склонен к формальному пониманию. Я из своего педагогического опыта знаю, как часто запоминаются формулы без усвоения стоящих за ними образцов».

Н. Е. Жуковский сделал ряд выдающихся открытий в различных отделах механики. Он разработал методы изучения движения тел с полостями, наполненными жидкостью, исследовал сложное явление гидравлического удара в водопроводных трубах и расширил возможности решения задач гидроаэродинамики методами струйной теории сопротивления. Важные открытия сделаны Жуковским по теории регулирования хода машин, теории механизмов и теории устойчивости движения.

Н. Е. Жуковский — создатель новой науки — аэромеханики, являющейся теоретической основой авиационной техники. Ряд важных принципов теоретической аэромеханики был установлен в выдающихся трудах Жуковского. Он доказал основную теорему о подъемной силе крыла, сформулировал гипотезу для подсчета циркуляции скорости около профиля крыла с острой задней кромкой, предложил серии теоретических профилей крыльев и разработал вихревую теорию гребного винта (пропеллера). Основные методы аэродинамического эксперимента и первые конструкции аэродинамических труб в нашей стране были созданы под непосредственным руководством Н. Е. Жуковского. Он первым указал на применения теоретической и экспериментальной аэродинамики к задачам расчета летных характеристик самолета. Аэродинамический расчет и динамика самолета как самостоятельные научные дисциплины были начаты работами Жуковского. В. И. Ленин назвал Жуковского отцом русской авиации.

Жуковский произвел подлинную революцию в преподавании теоретической механики в высшей школе нашей страны. Созданные им учеб-

ники по механике являются золотым фондом русской научной литературы. По инициативе Н. Е. Жуковского в 1920 г. на базе авиационного техникума был создан первый в нашей стране Институт инженеров Красного Воздушного Флота. Первым ректором этого института был Н. Е. Жуковский. В 1922 г. институт был преобразован в Военно-воздушную академию имени проф. Н. Е. Жуковского.

Работы Н. Е. Жуковского по аэродинамике были развиты трудами выдающегося русского механика академика С. А. Чаплыгина (1869—1942). Отлично владея методами математического анализа и будучи аналитиком по складу своего творческого мышления, Чаплыгин предугадал в ряде работ последующее развитие технической аэродинамики. Ему принадлежат замечательные исследования по теории механизированного крыла (крыла с предкрылком, крыла со щитком), актуальность которых выяснилась лет через 15—20 после их опубликования. Еще в 1903 г. Чаплыгин создал метод изучения движения газов при больших дозвуковых скоростях, заложив основы плодотворного исследования широкого класса задач аэродинамики больших скоростей. В научно-технической литературе эта работа получила всеобщее признание лишь в 1935 г. Чаплыгин развил теорию профиля крыла самолета, указав на плодотворность применения к этим задачам методов теории функций комплексного переменного. Он является зачинателем нового раздела аэродинамики — теории крыла при ускоренных и замедленных движениях. Чаплыгин разработал оригинальную теорию решетчатого (или разрезного) крыла, нашедшую сейчас широкие применения в расчетах турбомашин.

В конце XIX и начале XX в. началась интенсивная разработка нового раздела теоретической механики, посвященного движению тел, масса которых изменяется с течением времени. Основные результаты в этом направлении получены русскими учеными профессором Ленинградского политехнического института И. В. Мещерским (1859—1935) и выдающимся деятелем науки К. Э. Циолковским (1857—1935).

Работы Мещерского, посвященные теории движения точки переменной массы, имели в виду главным образом астрономические приложения. Мещерский первый в 1897 г. получил основное дифференциальное уравнение движения точки переменной массы и рассмотрел ряд интересных частных задач. Законы изменения массы, которые Мещерский ввел при исследовании задач небесной механики, известны в астрономической литературе как «законы Мещерского». При условии постоянства массы из уравнения Мещерского вытекает второй закон Ньютона. В 1904 г. Мещерский получил основные уравнения и решил ряд задач динамики точки переменной массы для случаев одновременного присоединения и отделения частиц. Работы Мещерского являются научной основой для изучения движения ракет, реактивных самолё-

тов, метеоритов, комет и других тел переменной массы. Мещерский был выдающимся педагогом русской высшей технической школы. Особое значение он придавал задачам с конкретным техническим содержанием. Составленный им сборник задач по теоретической механике выдержал 30 изданий (1967 г.) и до настоящего времени является настольной книгой студентов вузов и университетов.

К. Э. Циолковский разработал теорию прямолинейных движений ракет. Он первый рассмотрел движение ракеты в среде без сил тяжести и сил сопротивления, выявив количественно, что может дать реактивный принцип сообщения движения. Полученная им формула для определения скорости ракеты получила в настоящее время мировое признание. Циолковский разработал теорию полета составных ракет, или ракетных поездов, угадав, что имеется оптимальное соотношение весов между отдельными ступенями составной ракеты, позволяющее достигнуть максимальной скорости. В 1929 г. Циолковский разработал теорию реактивных аэропланов, где утверждал, что «за эрой аэропланов винтовых будет следовать эра аэропланов реактивных или аэропланов стратосферы». Кроме теоретических исследований, Циолковский дал основные конструктивные очертания жидкостных ракет дальнего действия, выступив в этой области техники пионером новых идей первостепенной важности. Он является основоположником теории межпланетных путешествий\*.

Принципиальное значение для дальнейшего развития механики тел переменной массы имеют исследования А. Эйнштейна (1879—1955) — создателя теории относительности. В работе «К электродинамике движущихся тел», опубликованной в *Annalen der Physik* в 1905 г., Эйнштейн устанавливает законы движения тел со скоростями, сравнимыми со скоростью света. Исходными для построения механики относительности являются два закона природы, получившие экспериментальное подтверждение в самых различных явлениях движения. Эти законы были сформулированы Эйнштейном в следующем виде:

1. «Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к которой из двух координатных систем, находящихся относительно друг друга в равномерном поступательном движении, эти изменения состояния относятся».

2. «Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определенной скоростью  $C$  независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом».

Первый закон распространяет принцип относительности классической механики — принцип Галилея — на широкий класс физических

---

\* Динамика ракет и динамика космического полета — быстро развивающиеся научные дисциплины. Мы даем в разделе III более детальную характеристику научных исследований И. В. Мещерского и К. Э. Циолковского.

явлений. Второй закон устанавливает постоянство скорости света независимо от скорости движения источника света.

Последовательный анализ принципиальных понятий механики на основе принятых постулатов приводит к установлению взаимосвязи пространства, времени и движущейся материи. Масса движущегося тела оказывается переменной, зависящей от скорости движения. Таким образом, в конце XIX и начале XX столетия были сделаны весьма существенные дополнения к механике тел постоянной массы и XX в. в развитии механики характерен бурным ростом открытий в области движений тел переменной массы.

Развитию теоретической механики в России способствовали работы П. Л. Чебышева (1821—1894), внесшего существенный вклад в теорию механизмов и машин, Н. П. Петрова (1836—1920), разработавшего теорию гидродинамического трения в подшипниках скольжения, и И. А. Вышнеградского (1831—1895), создавшего теорию регулирования хода машин.

Фундаментальное значение для развития механики корабля имеют работы академика А. Н. Крылова (1863—1945). Он создал теорию килевой качки корабля на волнах, которая стала в настоящее время общепринятой. Крылов провел важные исследования для военно-морского флота, указав на новый способ бронирования линкоров и разработав вопросы живучести и непотопляемости боевых кораблей. Основные принципы распределения водонепроницаемых переборок на корабле и методы выравнивания крена путем затопления отсеков были разработаны Крыловым со всей тщательностью и на 20 лет раньше аналогичных работ за границей. Выдающиеся исследования были проведены Крыловым по баллистике вращающегося снаряда, теории колебаний, приближенным вычислениям и уравнениям математической физики.

Вся научная и практическая деятельность А. Н. Крылова утверждает новое, прогрессивное понимание связи теории с практикой. Очень часто ученые-механики, получая в результате теоретических исследований некоторые выводы, стремятся проверить их путем постановки эксперимента в лабораториях. Такие эксперименты обычно подготавливают и проводят сами ученые, создатели теорий, совместно со своими учениками. Стремление сравнивать выводы теории с данными опытов последовательно осуществлялось в русской механике в трудах Майевского, Петрова и Жуковского. Но Крылов идет в своих работах дальше. Он проверяет полученные теоретические результаты на практических делах заводов, полигонов, верфей. Он ученый нового типа, рожденный бурным развитием промышленности России в конце XIX и начале XX в. Этот ученый должен не только создавать новое на бумаге, доказав всей неотразимостью математической логики, прямых и косвенных экспери-

ментов его реальную осуществимость, но и разумной организацией работы *больших коллективов* претворить его в жизнь. Ученый — творец нового, инженер-экспериментатор, организатор и руководитель современных опытно-конструкторских изысканий, умеющий поставить живое дело, — вот ученый стиля А. Н. Крылова.

Крылов учился не только по классическим сочинениям великих механиков и математиков, которые он знал превосходно; он учился и у большого числа рабочих, техников, практиков-инженеров, которые по причине их превосходства в понимании реальной техники называются лучшими *мастерами* своего дела. Нужно видеть и знать противоречивую, многоликую жизнь техники, чтобы замечать и устанавливать общие законы механики, лежащие в основе ее многих современных разделов. Только пристальное изучение живого дела создает в человеческом мозгу настоящий материал для размышлений.



Великая Октябрьская социалистическая революция произвела коренные преобразования не только в политическом и экономическом укладах России; она совершенно изменила социальный смысл русской науки и дала невиданный размах научному творчеству. Наука стала на путь широкого активного участия в технических преобразованиях страны.

Для всей отечественной науки, писал академик С. И. Вавилов, Октябрьская революция положила начало совершенно новой эпохе, главная особенность которой состояла в том, что наука становилась важнейшим государственным и народным делом.

Победа социализма означает глубочайший революционный переворот в культурной жизни нашей Родины. Колоссальный рост научных сил при Советской власти потребовал радикального изменения организации научных изысканий. Маленькие лаборатории, карликовые институты развертываются в мощные исследовательские организации с большими коллективами ученых, инженеров и техников. Были пробуждены и организованы такие материальные и духовные силы народа, о которых даже не могли мечтать в предшествующие периоды истории России. Только новая организация научной деятельности после Октябрьской революции создала почву для формирования больших научных школ и оригинальных направлений в исследовательской работе. Целеустремленность крупных коллективов ученых в работе над важнейшими проблемами народного хозяйства страны необычайно ускоряет научно-технический прогресс. Характерной особенностью советской науки является сознательное следование принципам диалектического материализма. Энгельс пишет в «Диалектике природы», что «диалектика рассматривается как наука о наиболее общих законах *всякого*

движения. Это означает, что ее законы должны иметь силу как для движения в природе и человеческой истории, так и для движения мышления». Благодаря знанию общих законов диалектики исследование законов конкретных наук значительно облегчается, что также ускоряет развитие и прогресс науки. Материалистическая диалектика — такой же необходимый научный аппарат исследователя-механика, как и высший анализ или математическая логика.

В советский период, сначала под руководством Н. Е. Жуковского, а затем под руководством С. А. Чаплыгина, сформировалась советская научная школа по аэродинамике. Учеными этой школы были выполнены первоклассные исследования по аэродинамике больших скоростей, устойчивости движения самолетов, теории крыла, теории неустановившегося движения и теории лобового сопротивления.

Не менее важные и принципиальные исследования ведут в настоящее время многочисленные советские ученые в области гидромеханики, теории упругости, теории пластичности, в области механики тел переменной массы и динамики космического полета; разрабатываются также принципиальные вопросы общей теории устойчивости, теории колебаний, общей и прикладной теории гироскопов, теории механизмов и машин, аэромеханики гиперзвуковых скоростей и других разделов механики\*.

Научные школы, созданные в нашей стране, успешно развивают глубокие исследования передовых ученых дореволюционной России и Запада, внося новые оригинальные идеи в развитие всех направлений современной теоретической механики.

---

\* Подробный обзор научных исследований советских механиков можно найти в юбилейном издании «Механика в СССР за 50 лет». М., Изд-во АН СССР, 1967.

## О ПЕДАГОГИЧЕСКОМ НАСЛЕДСТВЕ Н. Е. ЖУКОВСКОГО

Достойны ли мы своих наследий?

(И. А. Бунин)

1. Николай Егорович Жуковский вел преподавание в высшей школе нашей страны (Московский университет и Московское высшее техническое училище) в течение 50 лет. Созданные им учебники, учебные пособия и монографии являются золотым фондом русской научно-учебной литературы. Жуковским были написаны:

Теоретические основы воздухоплавания — первый учебник по аэродинамике в нашей стране;

Курсы теоретической механики для студентов технического училища и университета;

Специальный курс «Динамика твердого тела»;

Лекции по гидродинамике;

Динамика аэропланов;

Аэродинамический расчет аэропланов и Теория регулирования хода машин.

Изучая написанные Жуковским учебники, собирая его отдельные высказывания во вопросам обучения, а также анализируя воспоминания многочисленных учеников, где часто приводятся мысли Жуковского по вопросам преподавания и стиля научных изысканий, мы отметим здесь только наиболее важное из педагогического наследства великого русского ученого.

Жуковский считал великой честью для себя вести преподавание механики в двух крупнейших высших школах нашей страны — Московском университете и Московском высшем техническом училище. Он почти без перерывов ежегодно читал курс механики в МВТУ с 1874 г. и в МГУ с



*Николай Егорович  
Жуковский*  
(1847—1921)

1886 г. Преподавание было для Жуковского не столько обязанностью, сколько любимым делом. В отличие от некоторых самовлюбленных ученых, считающих преподавание делом второго сорта (первый сорт — это «творчество»), *Жуковский считал научное воспитание студенчества одной из наиболее важных задач ученого.* Педагогические воззрения Жуковского нельзя отделить от его исследовательской работы, его научного стиля. Он утверждал и в своих исследованиях, и популярных речах, что механик должен:

- решать реальные задачи механики;
- изучать вещи в самих себе;
- брать основания для теории из опыта и наблюдений;
- составлять интегрируемые уравнения;
- равноправно опираться на анализ и геометрию, заимствуя от них то, что наиболее подходит к существу задачи.

Николай Егорович считал механику могущественной наукой. В подготовленной им актовой речи на тему «Старая механика в новой физике», произнесенной 3 марта 1918 г. в Московском математическом обществе, утверждает: «К концу прошлого века механика, идущая по своему победоносному пути в разрешении различных проблем естествознания, достигает своего апогея. Блестящие успехи астрономии и небесной механики, многочисленные приложения в области физики и химии, уста-

новление всеобъемлющего принципа сохранения энергии и успехи колебательной теории света утверждают ту мысль, что всякое физическое явление может считаться тогда вполне объясненным, когда оно получает полное механическое толкование».

Придавая весьма важное значение геометрическим интерпретациям и моделированию, Жуковский писал: «Если могут быть споры о самостоятельной роли геометрии при решении недоступных до сих пор задач динамики, то ее высокое значение в преподавании механики не подлежит сомнению. Ум изучающих весьма часто склонен к формальному пониманию. Я из своего педагогического опыта знаю, как часто запоминаются формулы без усвоения стоящих за ними образов. Как это ни кажется странным, но одним из затрудняющих вопросов является иногда вопрос о значении той или другой буквы в бойко написанной формуле.

В этом отношении *геометрическое толкование, предпочтение геометрического доказательства аналитическому всегда приносят пользу.*

Если формулы и подстановки некоторыми из изучающих легко запоминаются, то так же скоро они исчезают бесследно из памяти; но раз усвоенные геометрические образы, рисующие картину рассматриваемого явления, надолго западают в голову и живут в воображении изучающего» \*.

Геометрические рассмотрения задач механики должны быть ясными и простыми и должны «всегда близко прилегать к рассматриваемой задаче, *стремясь к изучению вещей в самих себе*».

Большое значение для преподавания теоретической механики представляют простые, четко исполненные модели, подчеркивающие суть какого-либо закона механики. Николай Егорович считал, что «моделирование стоит рядом с геометрическим толкованием и представляет еще высшую степень наглядности».

Жуковский произвел подлинную революцию в построении и изложении курса механики русской высшей школы. Вместо изложения теоретической механики в стиле аналитической механики Лагранжа он вводит в механику векторный метод, развивает элементарную статику, исследует методы решения разнообразных конкретных практических задач.

«Николай Егорович старался выбирать такие задачи, чтобы математический анализ был возможно прост и на первый план выступала механическая суть»,— пишет академик Л. С. Лейбензон — ученик Жуковского.

Разделяя известное высказывание И. Ньютона о том, что «в механике примеры учат не меньше, чем правила», Жуковский вел ежегодно практические занятия со студентами и сам принимал зачеты, требуя, чтобы в специальных тетрадях были представлены подробные решения

---

\* Н. Е. Жуковский. Полн. собр. соч. т. IX. М.—Л., ОНТИ, 1937, стр. 158.

методически тщательно подобранных задач. Николай Егорович считал, что лектор должен обязательно руководить практическими занятиями по механике, чтобы иметь возможность проверить усвоение студентами предмета и обеспечить опытное руководство на начальной стадии обучения.

Выдающимся произведением по теоретической механике является курс Николая Егоровича для студентов МВТУ. Курс начинается с раздела «Статика», изложенного элементарно геометрическим методом. В курсе представлено большое число конкретных технических задач. Разбору механической сути дела уделяется главное внимание. Особенно детально изложена глава о центрах тяжести и «Графостатика» — на эти разделы отведено более четырех печатных листов. Из кинематических вопросов наибольшее внимание уделено определению скоростей и ускорений точки, определению скоростей и ускорений точек тела при вращательном и плоскопараллельном движениях и добавочному (или кориолисову) ускорению. Очень интересен методически раздел, посвященный сложению движений твердого тела, иллюстрированный ясными, убедительными примерами. Механические модели заполняют страницы этой главы кинематики. Любителям «общности и строгости» следует рекомендовать эту главу курса для тщательного анализа, ибо опыт преподавания показывает, что от приведения «пространственной системы скользящих векторов к простейшему виду» и разбора правил сложения моторов (кинематических винтов) у студентов технической высшей школы почти не остается познаний закономерностей механического движения. Усложненная математическая форма съедает здесь физическое содержание понятий и теорем.

Жуковский подчеркивал в своих лекциях и выступлениях на научных съездах, что «механика развивалась как глубокомысленными трудами аналитиков, так и остроумными исследованиями геометров. При этом часто бывало, что сложные аналитические формулы освещались и представлялись в ясной наглядной форме *благодаря удачным геометрическим представлениям*. Такие интерпретации захватывали задачу во всей ее полноте и раскрывали многие свойства ее, не замеченные при аналитическом исследовании. Так было с решением задачи о движении твердого тела около его центра тяжести: решение сперва было получено Эйлером аналитическим путем, но оставалось затерянным среди массы формул и только благодаря простым и наглядным интерпретациям Пуансо предстало перед глазами ученых со всей ясностью»\*.

В динамике основное содержание курса Жуковского посвящено изучению теории удара, основным теоремам механики и простейшим движениям твердого тела.

---

\* Н. Е. Жуковский. Полн. собр. соч. т. IX. М. — Л., ОНТИ, 1937, стр. 313.

Следует отметить, что Николай Егорович отрицательно относился к многочисленным попыткам модифицировать основные законы динамики, данные Ньютоном. Он согласен с Томсоном и Тэтом, что «всякая такая попытка оканчивалась полной неудачей», и в своей речи «Ньютон — основатель теоретической механики» весьма критически излагает модные в те годы трактовки основных законов механического движения в работах Э. Маха. В наши дни мы можем встретить утверждения, что первый закон движения (закон инерции) излишен и полностью содержится во втором законе Ньютона. Жуковский пишет: «Что касается закона инерции, то *его следует ставить отдельно* для того, чтобы указать, что причина изменения количества движения не заключается в самой материальной точке»\*. Та же мысль высказывалась неоднократно и на лекциях по механике. «Этот закон (первый закон Ньютона) вытекает из того положения, что источник всякого изменения движения находится всегда вне тела и что причина какого-либо движения не должна быть заключена внутри этого тела»\*\*.

С формально математической стороны формулировка первого закона также необходима и имеет самостоятельное значение. Достаточно напомнить строгие определения современной математики для интервала и отрезка. Распространение второго закона Ньютона на точку, где равнодействующая приложенных сил равна нулю, *требует добавочной аксиомы*. Если первый закон формулирован независимо, то второй ему не противоречит, выигрывая в логической строгости и точности. По существу, и сила получает определение через первый закон Ньютона как причина, обуславливающая изменение скорости по величине и направлению.

Приведем здесь еще определение массы, которое дает Жуковский в своих лекциях (и в университете и техническом училище): «массою тела называется количество материи, в нем заключающееся», а в виде теоремы высказывает следующее утверждение: «За меру массы материальной точки можно принять отношение силы к ускорению, которое сообщает сила материальной точке»\*\*\*.

Николай Егорович подчеркивал опытное происхождение аксиом механики. Он пишет во введении к университетскому курсу динамики точки: «С первого взгляда кажется, что механика не нуждается в опытных началах, что ее основания вполне умоглядны, но это происходит от нашей привычки к механическим законам. Древние ученые от Аристотеля до Галилея имели смутное представление о законах движения,

---

\* Н. Е. Жуковский. Полн. собр. соч., т. IX. М.—Л., ОНТИ, 1937, стр. 268.

\*\* Н. Е. Жуковский. Полн. собр. соч. Лекции, вып. 3. М., Оборонгиз, 1939, стр. 286.

\*\*\* Н. Е. Жуковский. Полн. собр. соч. Лекции, вып. 3. М., Оборонгиз, М., 1939, стр. 291.

например о законе инерции. Аристотель, например, не знал об инерции, считая, что тело с прекращением действия силы прекращает свое движение, и только Галилей впервые опытным путем дошел до правильных взглядов на движение. Вообще основные начала динамики были раскрыты только долгим путем наблюдений над происходящими в природе движениями»\*.

Университетский курс теоретической механики Жуковский начинает с кинематики. Он пишет: «Механика есть наука о движении и равновесии физических тел. В зависимости от того, с какой точки зрения рассматриваются в ней эти вопросы, она делится на три части: кинематику, статику и динамику.

В кинематике рассматривается движение тел с геометрической стороны, не обращая внимания на причины, производящие движение, т. е. силы. В статике рассматривается частный случай движения — равновесие, и исследуются вопросы о замене одних сил другими, эквивалентными им. В динамике рассматривается движение физических тел, причем обращается внимание на силы, его производящие, и на влияние на движение количества материи (массы) рассматриваемых тел»\*\*.

Изложение кинематики ведется геометрическим методом; аналитическое исследование движений твердого тела дается в конце кинематики и ему уделено всего 18 страниц из 139, посвященных разделу «Кинематика».

В университетском курсе механики Жуковского статике уделено скромное место. Графостатика не излагается совсем. Парадоксально много места уделено главе «Центр тяжести» (34 стр.), в которой детально рассмотрено большое число примеров, причем ряд из них решается и графически, и аналитически.

В динамике точки большое внимание уделяется движению в сопротивляющейся среде при квадратичном законе сопротивления и движению в центральном гравитационном поле, подчиняющемся закону Ньютона. Хочется обратить внимание преподавателей на «задачу Ньютона», формулированную Жуковским в следующем виде: «Определить центральную силу, которую нужно прибавить к силе притяжения Солнца для того, чтобы орбита планеты, не меняя своего вида, вращалась вокруг Солнца» (Лекции, вып. 5, стр. 395—397): Эта задача весьма полезна при объяснениях эволюции орбит искусственных спутников Земли.

Изложение принципа возможных перемещений проводится в разделе «Аналитическая статика» для общего случая неударяющих связей, и в этом же разделе исследуется равновесие нитяного многоугольника и равновесие гибкой нити.

---

\* Н. Е. Жуковский. Полн. собр. соч. Лекции, вып. 5. М., Оборонгиз, 1939, стр. 273.

\*\* Там же, стр. 9.

Интересно отметить, что при изложении основных теорем динамики точки и системы *на первое место поставлена теорема об изменении кинетической энергии*. Детально излагается теория удара.

В специальном курсе «Динамика твердого тела» особо тщательно рассмотрен случай Эйлера — Пуансо с весьма полным исследованием полюсов и герполоидий.

Н. Е. Жуковский систематически внедрял векторный метод изложения механики. В настоящее время этот метод стал общепринятым, несмотря на ряд скептических замечаний некоторых крупных ученых.

Основные преимущества векторного метода изложения курса механики следующие:

а) векторные представления адекватно передают суть многих понятий механики;

б) достигается наглядность и геометрическая ясность изложения;

в) достигается разумный синтез геометрического и аналитического методов;

г) сокращаются малосодержательные алгебраические преобразования, которые иногда создают у студентов иллюзию понимания сути дела;

д) упрощаются выкладки при рассмотрении сложных движений материальных тел;

е) многие формулы приобретают инвариантный характер по отношению к различным системам отсчета.

Развитие педагогических идей Жуковского в области теоретической механики должно, как нам кажется, идти по линии разумного внедрения в изложение векторных методов.

Жуковский считал целесообразным для повышения качества обучения в высшей школе широкое развитие лекций. Общеизвестно его высказывание, что «по силе впечатления лекционный способ стоит выше других приемов преподавания и ничем не заменим, вместе с тем этот способ есть и самый экономный по времени».

Заметим, что последовательно излагаемый курс лекций дает не только фактический материал, который будет спрашиваться на экзаменах, а нечто гораздо более важное: *основы современного научного мышления*. Конечно, если на процесс высшего образования смотреть как на совокупность подлежащих сдаче экзаменов, то, очевидно, самостоятельная работа студента по учебнику с некоторой помощью «консультантов-репетиторов» полностью решает дело. Однако весь опыт развития высшей школы и в нашей стране, и за границей (разными прямыми и косвенными путями) свидетельствует о том, что слушание лекций выдающихся профессоров имеет какое-то особо ценное значение.

Что это действительно так, многие знают из непосредственных наблюдений над реальной жизнью современной высшей школы. Можно со-

брать в библиотеке какого-либо института лучшие учебники по механике, написанные как в нашей стране, так и за границей, можно организовать великолепный кабинет с набором механических моделей и кинофицировать лекции, но если в этом институте нет творчески работающего механика, хозяина этого раздела науки, то курс механики будет сдаваться на экзаменах и забываться скорее, чем об этом обычно думают. Многие в студенческие и аспирантские годы, а иногда и в пожилом возрасте нередко спешат на лекцию без всяких понуждений, ибо они знают, что могут получить то, что *не написано (и не будет написано)* ни в одной книге.

В лекциях перед слушателями раскрывается *лаборатория научного мышления*, показывается историческое становление научной истины; выявляются качество мышления лектора и его воззрения на идеалы науки и цель научного исследования. Только на лекциях можно понять сущность руководящих идей той или иной научной школы. Только на лекциях можно услышать оценки новых научных методов исследования и ясно понять, что внес в сокровищницу мировой научной мысли сам читающий лекции, насколько близок ему и плодотворен процесс созидания новых интеллектуальных ценностей. Все эти моменты кажутся нам необычайно важными, если иметь в виду привлечение к творческой деятельности нашей учащейся молодежи.

Мы, думаем, что важнейшую роль в хороших лекциях играет эмоционально-психологическая сторона изложения, пробуждающая у слушателей интерес к научному исследованию. Если лектор остается холодным и бесстрастным, рассказывая о самых великих достижениях данной науки, то аудитория, особенно молодая, теряет интерес и любовь к предмету, посещая лекции лишь в дисциплинарном порядке. Лектор должен вносить в умы слушателей тот романтизм и энтузиазм творчества, без которых не может формироваться строитель коммунистического общества. Мы убеждены, что истинно великого нельзя ни в какой области совершить без великого воодушевления.

Вот характеристика лекций К. А. Тимирязева, данная студентами-биологами Московского университета, характеристика искренняя и верно отмечающая главные качества хороших лекций: «Благодарим Вас за ту силу, с которой Вы обрисовали перед нами *задачи и значение науки*, за ту ясность, с которой Вы излагали нам ее содержание. Благодарим Вас за то *дивное чувство любви к науке и веры в нее*, которое Вы пробуждали и воспитывали в нас. Благодарим Вас за ту вдохновенную мощь, которая звучит во всем, что мы слышали от Вас, за тот *подъем, энергий, желание работать*, которые мы уносили с собой с Ваших лекций»\*.

---

\* «Вестник высшей школы», 1951, № 11, стр. 54.

К такому идеалу лекционного преподавания был очень близок Н. Е. Жуковский.

Многим воспитателям научной смены стоит задуматься над высказываниями Альберта Эйнштейна, который писал в своей творческой автобиографии: «В сущности почти чудо, что современные методы обучения еще не совсем удушили святую любознательность, ибо это нежное растение требует наряду с поощрением, прежде всего, свободы, — без нее оно неизбежно погибает. Большая ошибка думать, что чувство долга и принуждение могут способствовать находить радость в том, чтобы смотреть и искать»\*.

Изданная в 1912 г. книга Жуковского «Теоретические основы воздухоплавания» получила широкое распространение и мировое признание. Построение этой книги имеет весьма важное методическое значение для ряда кафедр вузов нашей страны, создающих учебники по новым разделам современной авиационной и ракетной техники.

В своей книге Николай Егорович, тщательно анализируя опытный материал, подводит читателя к правильным теоретическим обобщениям. Мы укажем здесь основные экспериментальные исследования, тщательно и всесторонне рассмотренные Жуковским в его книге:

опыты над прямым ударом потока воздуха;

сопротивление шара;

сопротивление моделей;

аэродинамические спектры;

сопротивление и центр парусности плоских пластинок;

опытные исследования поддерживающих планов аэропланов: Бреге, Антуанет, Блерио, Фарман, Анрио и Ньюпора;

опытные данные по гребным винтам;

попытки построить винт с постоянной скоростью за винтом, принимаемая во внимание подсосывающий эффект лопастей (работы Г. Х. Сабина и Б. Н. Юрьева).

При формулировке основных положений аэрогидромеханики Жуковский придает принципиальное значение научно поставленным экспериментам. Он неоднократно цитирует в своих работах следующую мысль Д. И. Менделеева, которая в конце XIX и начале XX в. звучала как боевая программа развития передовой русской науки. «Нужен действительно, — пишет Менделеев, — и будет решать дело разумный и твердый опыт, а молодое и неопытное умственное построение пойдет на поводу в ту и другую стороны, пока приученное опытом к верной дороге само не станет везти за собой или на себе всю сущность опытного знания, как обученная на поводу лошадь повезет куда следует».

Жуковский стоял у истоков современной аэродинамики, и он глубоко понимал, что невозможно создать строгую теорию, не зная из опыта

\* «Успехи физических наук», т. IX, вып. 1, 1956, стр. 77.

главных особенностей изучаемых явлений. «Опыт, — говорил Жуковский, позволяет наблюдателю узнать характер изучаемого движения и *облегчает мысли, постановку правильного теоретического анализа задачи*. (Подчеркнуто нами. — А. К.).

Для творческого стиля Николая Егоровича характерно привлечение столь обширного экспериментального материала, для того чтобы можно было выявить некоторые широкие и общие свойства изучаемого механического движения, а затем создать строгую математическую теорию. Теория идеальной жидкости, разработанная трудами корифеев механики: Эйлера, Лагранжа, Гельмгольца, Кирхгофа, не отвергается, *а дополняется гипотезами, кардинально изменяющими математическое оформление теоретических рассмотрений*. Возникает новая постановка задачи, более близкая кинематически к реальным течениям воздуха или жидкости, и отсюда результаты динамических расчетов оказываются в хорошем согласии с опытными данными. Весьма глубокие и сильные абстракции, такие, как присоединенный вихрь профиля крыла, гипотеза Жуковского о картине течения для профилей с острыми задними кромками, вихревая схема работы воздушного винта (пропеллера) — *вершины творческих взлетов Николая Егоровича*, подтверждающие плодотворность его нового подхода к построению теории. Мы считаем уместным напомнить здесь известное высказывание В. И. Ленина, который утверждал: «Мышление, восходя от конкретного к абстрактному, не отходит, — если оно *правильное*... от истины, а подходит к ней. Абстракция *матери*, закона природы, абстракция *стоимости* и т. д., одним словом, *все* научные (правильные, серьезные, не вздорные) абстракции отражают природу глубже, вернее, *полнее*. От живого созерцания к абстрактному мышлению *и от него к практике* — таков диалектический путь познания истины, познания объективной реальности»\*.

Жуковский смело дает в своей книге место работам своих учеников. В теоретических основах воздухоплавания изложены результаты опытов и теоретических построений учеников Николая Егоровича, тогда студентов — Сабинина, Юрьева, Соколова, Морошкина, Лукьянова и др.

2. Очень поучительным в педагогической деятельности Н. Е. Жуковского является его пристальное внимание к самостоятельно размышляющим студентам и плодотворное руководство студенческими научными кружками. Особенно большой размах имела работа воздухоплавательного кружка МВТУ, созданного по инициативе Жуковского в 1908/09 учебном году. Работа кружка шла по двум направлениям: теоретическому и практическому. Кружок занимался созданием библиотеки по воздухоплаванию, вел широкую научно-реферативную работу и организовал переводы иностранных сочинений по авиации и воздухоплаванию. Кру-

---

\* В. И. Ленин. Соч., изд. 4, т. 38. М., Госполитиздат, стр. 161.

жок решил постронть в МВТУ аэродинамическую лабораторию. Для организации строительства лаборатории были созданы подкомиссии: лабораторная и строительная. Уже в 1909 г. кружок имел планеры, на которых летали члены кружка. Силами кружковцев были построены две аэродинамические трубы: круглая диаметром 1 м и прямоугольная с рабочей частью  $1,5 \times 0,3$  кв. м. Постройкой труб руководил А. Н. Туполев. Все делалось силами членов кружка при активном и повседневном руководстве Жуковского. Из членов этого кружка выросли хороши известные в XX в. деятели советской авиационной науки и техники: А. Н. Туполев, В. П. Ветчинкин, Г. Х. Сабинин, К. А. Ушаков, Б. С. Стечкин, А. А. Архангельский, Б. Н. Юрьев, Г. Н. Мусиньянц и многие другие. Об этой важной стороне деятельности Николая Егоровича один из его учеников (Г. Х. Сабинин) писал: «...нас привлекало какое-то особое обаяние его личности, нас заражала его глубочайшая заинтересованность в любимой им науке, которой он посвятил всю свою жизнь, привлекала его необыкновенная простота в обращении с молодежью,— совершенно не чувствовалось разницы между маститым ученым и юным студентом».

Н. Е. Жуковский был научным руководителем большого числа теоретических и экспериментальных работ, выполнявшихся студентами старших курсов под его руководством. Приведем здесь некоторые высказывания из воспоминаний учеников, характеризующих до известной степени педагогические воззрения Жуковского.

«Когда его близкие ученики, имевшие счастье личного с ним общения, беседовали с ним по поводу того или иного вопроса, он *никогда не пытался воздействовать на них своим авторитетом*, с полным интересом вникая во всякие суждения. Бывало, что начинающий на ученом поприще ученик обращался за советом, предполагая посвятить некоторую долю своего внимания задаче, которая очень его интересовала, иногда задача была слишком трудной и, может быть, даже недоступной. Николай Егорович никогда не позволял себе сказать, что задача неисполнима; он говорил: «Я пробовал заниматься этим вопросом, но у меня ничего не вышло; попробуйте вы, может быть, у вас выйдет». *Он глубоко верил, что среди его учеников могут быть и такие, которые окажутся в силах решить вопросы, им не решенные*. (Из речи С. А. Чаплыгина.)

«Я вспоминаю бесконечные дискуссии, которые мы вели по поводу этого парадокса. Нередко принимал участие в этих дискуссиях и сам Николай Егорович, когда заходил в аэродинамическую лабораторию кружка. *Н. Е. Жуковский спорил с нами как совершенно равный, не давая нас своим научным авторитетом*». (Из воспоминаний Г. Х. Сабинина.)

«Самые молодые студенты запросто обращались с вопросами к Николаю Егоровичу, когда он проходил по коридорам училища». (Из воспоминаний Г. Н. Мусиньянца.)

«Несмотря на отсутствие ораторского искусства и высокий, почти дискантовый голос лектора, вся аудитория с напряженным вниманием жадно ловила каждое его слово. Этого Николай Егорович достигал умелой постановкой вопроса, логичностью его изложения, своей исключительной эрудицией. Разрешая один вопрос, он выдвигал новый, заинтересовывая пытливую молодежь кажущейся неразрешимостью его. Но знание и логика были на стороне ученого, и как светлели лица студентов, когда мелок Николая Егоровича решал на доске казавшееся неразрешимым». (Из воспоминаний Б. И. Россинского.)

«Николай Егорович всегда ставил любого из нас в положение, равное с ним, и это подчеркнутое равенство невольно поднимало каждого из нас в собственных глазах, вызывало инициативу и создавало громадный интерес к работе». (Из воспоминаний А. А. Архангельского.)

«Мы с наивностью молодости ставили ему вопросы, на которые еще не было ответа на земле, а он со спокойной мудростью отвечал: «Подумаю». И естественно, что человек, которому можно было поставить такие вопросы, в наших глазах был единственным; как же было не тянуться к нему, не идти с ним вместе и не стараться участвовать в решении этих новых задач». (Из воспоминаний А. Н. Туполева.)

«Как профессор высшей школы, Николай Егорович с самого начала своей педагогической деятельности был новатором по введению геометрически наглядного метода преподавания взамен господствовавшего до него метода чисто аналитического, где все основные теоремы механики получались из уравнений, а на физическую картину явления почти не обращалось внимания». (Из статьи В. П. Ветчинкина.)

«Приступив к преподаванию механики в университете, Н. Е. Жуковский перестроил его на основе своего опыта преподавания в техническом училище. Он выбросил из курса аналитический мусор своих предшественников и основал преподавание механики на тех простых принципах, которые он почерпнул у Галилея, Ньютона, Гюйгенса и Пуансо. Его курс механики был настолько прост и понятен студентам, что получил распространение по всей России. И только изучив по литографированным запискам курс Н. Е. Жуковского, студенты приступали к изучению трудных курсов своих профессоров». (Из книги Л. С. Лейбензона.)

Н. Е. Жуковский смело выдвигал своих талантливых учеников на самостоятельную работу, на самостоятельные творческие искания. Так, например, студенту А. Н. Туполеву было поручено проектирование и строительство аэродинамических труб в МВТУ — дело в те годы абсолютно новое и неизвестное. Студенту Г. Н. Мусиньянцу было поручено ведение лабораторных занятий на молодой аэродинамической специальности, а годом позже ему было передано чтение лекций по аэродинамическому расчету самолетов. Студент В. П. Ветчинкин стенографировал и обработал курс лекций по теоретическим основам воздухоплавания.

Жуковский быстро направлял в печать интересные студенческие работы и излагал результаты студенческих сочинений в своих курсах. Так вошла в литературу «манера Сабинина» по снятию спектров течений около воздушного винта. Так получили известность работы Лукьянова, Бухгольца, Морошкина, Юрьева и многих других.

Жуковский был близок со своими учениками и вне стен высшей школы. Вместе с молодежью маститый ученый ходил в кино «Колизей» (около Чистых прудов). На квартире ученого в Мыльниковом переулке собирались студенты и университета, и технического училища. На этих беседах в простой, непринужденной атмосфере обсуждались все те же вопросы, которые составляли главный жизненный интерес Николая Егоровича — вопросы развития любимой его науки — механики.

Великая Октябрьская социалистическая революция открыла двери университетов, вузов и втузов широким кругам нашей молодежи. Делу воспитания новых кадров придано важнейшее государственное значение. Бурно развивается советская наука, и объем материала, излагаемого студентам, растет весьма быстро. Нарождаются и развиваются новые научно-технические дисциплины. Все это настойчиво требует совершенствования методов обучения и воспитания в высшей школе.

Вопросы научно-технического образования и воспитания творчески мыслящих ученых и инженеров приобретают все более актуальное значение в наши дни, что обусловлено необычайно быстрым развитием науки и техники, а также ростом количества людей, занятых научными исследованиями и инженерной деятельностью.

Бурный количественный рост научных кадров и профессорско-преподавательского персонала советской высшей школы настоятельно подчеркивает, что для укрепления научного потенциала страны чрезвычайно важно повышение творческих (эвристических) качеств молодых людей, подготовляемых в вузах для науки и промышленности. Внимательным наставником молодежи ясна необходимость выработки научно обоснованных рекомендаций по отбору молодежи в вузы и выявления (диагностики) в вузах той прослойки студенчества, из которой можно подготовить кадры высшей квалификации (высокого творческого потенциала).

Мы убеждены, что методы массового производства здесь не применимы, а опыт работы Николая Егоровича со студентами воздухоплавательного кружка МВТУ, который дал России выдающихся ученых и инженеров, заслуживает тщательного изучения и распространения.

Педагогические приемы и методы великого русского механика — «инженера высшего ранга», как называли Жуковского его ученики, должны получить более широкую известность среди преподавателей высшей школы нашей страны.

## АНДРЕЙ ПЕТРОВИЧ МИНАКОВ

(его жизнь и педагогические воззрения)  
(1893—1954)

Я не ушел от романтики и никогда от нее не уйду — от очистительного ее огня, порыва к человечности и душевной щедрости, от постоянного ее непокоя. Романтическая настроенность не позволяет человеку быть лживым, невежественным, трусливым и жестоким. В романтике заключена облагораживающая сила.

(К. Паустовский)

## I. ВВЕДЕНИЕ

Мы, современники и ученики профессора Андрея Петровича Минакова, свидетели очень грустной исторической несправедливости. Педагогическое наследство этого талантливое ученого-механика начинает уже на наших глазах становиться безымянным. Необычайную стойкость и верность оригиналу обнаруживают лишь некоторые занимательные рассказы, которые вводились Минаковым в курс механики для «освежения» и «подогревания» уставшей студенческой аудитории. Верные, глубокие, классически ясные мысли Минакова о процессах обучения и воспитания советского студенчества, о методах преподавания теоретической механики в высшей школе постепенно утрачивают свою определенность и забываются, исчезая в «снегу времен, в дали веков»\*.

Следует подчеркнуть, что основные мысли о воспитании и обучении в высшей школе хотя и высказывались многократно Андреем Петровичем перед самыми различными аудиториями, но в обработанном систематизированном виде нигде не публиковались. Устные воспоминания многих поклонников его педагогической системы, передаваясь «сказителями» и «ашугами» многонациональной советской студенческой семьи, видоизменяются, дополняются и искажаются вольно или невольно. В последнее десятилетие, особенно после успешного запуска 3 октября 1957 г. первого советского искусственного спутника Земли, в научно-технических журналах за рубежом стали появляться в большом числе статьи по вопросам научного воспитания и образования. Некоторые ав-

\* Слова А. Блока.

*Андрей Петрович  
Минаков*  
(1893—1954)



торы (Д. Пойа — США, Э. Джонс — Англия) высказывают отдельные мысли, весьма близкие к воззрениям А. П. Минакова. Мне стало обидно до боли, что педагогическое наследство Минакова в нашей стране почти не разрабатывается и в беге бурных «ракетно-ядерных событий» XX в. легко совсем забыть мысли и дела этого человека, которые, как мы думаем, представляют *крупное достижение русской педагогической науки*.

Главная цель этого раздела нашей работы — показать на тщательно отобранном и проверенном материале, что Минаков был *талантливым педагогом высшей школы нашей страны, проницательным ученым-механиком и выдающимся воспитателем советской молодежи*. Мысли Андрея Петровича о воспитании и обучении, отчеканенные в емких отрывистых фразах, должны жить долгие годы, способствуя росту коммунистической культуры нашего общества, росту умных и более совершенных людей будущего.



Великий гуманизм сердца, нравственная чистота и праздничная эмоциональность высказываний — характерные особенности лекций А. П. Минакова. Он был ученым и воспитателем, наставником и другом студен-

чества. У него цвела в сердце неистребимая любовь к молодежи. В трудные моменты жизни к нему шли многие с уверенностью на сочувствие и понимание. Он был знатоком «русской пленительной речи», умевшим изложить самые трудные, самые абстрактные разделы аналитической механики ясно, строго, всегда столь выпукло и осязательно, что вы не только понимали основные научные результаты вашим умом, но и чувствовали их всем существом, как великие завоевания интеллектуальной культуры человечества. Минаков всегда давал место голосу чувств в любом научном вопросе. Раскрывая перед студентами становление научной истины, он *умело включал в творческий процесс всего человека*: и его разум, и волю, и сердце. Он не читал лекцию, а *совершал* ее вместе с аудиторией, чувствуя жизнь аудитории, отлично понимая всю тонкость и напряженность процесса восприятия нового.

У него были крупные узловые руки скульптора, он владел убедительным пластичным жестом, и я хорошо помню, как на одной из лекций по кинематике твердого тела он в свободном пространстве строил геометрические линии кончиками пальцев столь отчетливо и зримо, что при дальнейшем оформлении чертежа на классной доске вы испытывали истинное наслаждение открывателя-геометра, который уже воспроизвел это целесообразное сплетение линий в своем воображении.

Трудно назвать другого профессора высшей школы, который умел бы так естественно и непринужденно, как это делал Минаков, заставить вас быть *соучастником исканий научной истины*. При изучении законов динамики равнопеременного движения вы *открывали* вместе с Галилеем и Минаковым удивительный мир простых и всеобщих закономерностей; вы вместе с Лагранжем и Минаковым *восходили* по горным каменистым тропам к величайшим абстракциям принципа возможных перемещений; Корнолис и Минаков *разъясняли* вам глубокие тайны взаимодействий механических движений. Минаков умел показать и умел заставить вас по-настоящему пережить трудный и радостный процесс становления нового закона механического движения. Он замечательно учил *догадке, изобретению, открытию*. Великие механики прошлого всегда присутствовали на его лекциях как живые люди с их страстями и устремлениями, с их великой интеллектуальной силой и нелепыми, смешными увлечениями; они спорили и сомневались как ваши современники, с которыми нужно сегодня познавать и изменять сложный, многогранный мир науки и техники.

Минаков радовался самостоятельным открытиям своих учеников так, как будто он сделал их сам. Я теперь совершенно убежден в том, что никто из профессоров Московского университета не пропагандировал открытия окончивших механико-математический факультет успешнее, чем Андрей Петрович. В его черновых набросках к вводным и заключительным лекциям и в Московском университете, и в Академии

Жуковского, и в Текстильном институте часто можно встретить фамилии А. Ю. Ишлинского \*, А. А. Ильюшина \*\*, Х. А. Рахматулина \*\*\* и других механиков университета еще в те годы, когда эти ученые делали только первые шаги в науке. Ему всегда хотелось перед молодой студенческой аудиторией на близких, доходчивых, живых примерах подчеркнуть потенциальные богатства социалистической культуры, *показать талантливость и пронизательность мышления советской научной молодежи*, воспитанников нового общественного строя.

Черновые записи и отдельные заметки, оставшиеся в бумагах Андрея Петровича, раскрывают его лабораторию систематической, упорной работы над основными произведениями классиков марксизма. Особенно внимательно он изучал методы интеллектуального труда Маркса и Ленина. В своей статье «Цена времени» он писал, что *«лучшие примеры продуктивности и высокой культуры умственного труда дает нам жизнь величайших корифеев науки и вождей трудящихся масс...»* \*\*\*\*.

Многим известно, что Минаков любил оставаться с классиками диалектического метода наедине, тщательно обдумывая их мысли и своеобразно затем преломляя эти мысли в преподавании теоретической механики.

Он прошел артистическую школу у знаменитого режиссера и основателя Московского художественного театра, требовательного, великого педагога К. С. Станиславского. Подлинные и достоверные материалы, относящиеся к этому периоду жизни Андрея Петровича, не сохранились, и, по-видимому, только с некоторым приближением к истине можно объяснить, почему Минаков, избравший своей специализацией теоретическую механику, настойчиво в течение ряда лет изучал тайны мастерства драматического артиста. Надо сказать, что он владел этим мастерством легко и непринужденно. Как оригинальный большой талант, он читал прозу и стихи столь естественно, столь обаятельно, столь неповторимо, что вы забывали об артистической технике, не видели этой техники, будучи захвачены внутренней правдой, «главным нервом» излагаемого произведения.

Я, например, понял мятущегося поэта Сергея Есенина, слушая чтение Минаковым знаменитого стихотворения «Черный человек», лучше, чем из многочисленных критических статей литературоведов и воспоминаний современников Есенина.

В последнее десятилетие его жизни мы встречались еженедельно в Военно-воздушной инженерной академии имени проф. Н. Е. Жуковского, и он врезался в память своей немного сутуловатой, усталой фигурой с

---

\* Действительный член АН СССР (по разделу «Механика»).

\*\* Член-корреспондент АН СССР (по разделу «Механика»).

\*\*\* Действительный член АН УзбССР (по разделу «Механика»).

\*\*\*\* А. П. Минаков. Цена времени. «Советское студенчество», 1947, № 4, стр. 5, 6.

лицом крестьянина, с мощными глубокими морщинами и приветливой улыбкой на лице. Но Минаков вне аудитории, в перерыв, был мало похож на Минакова, читающего лекцию. На лекции он был чародей, волшебник, *начинатель и открыватель нового*: это был настоящий учитель молодежи в самом великом и романтическом значении этого слова — умный, страстный, любящий науку и нашу Родину. Он не раз говорил, что преподавание в советской школе и сам педагог (его личность!) *должны в максимальной степени соответствовать эпохе, быть ей «по росту»*. Трудно назвать другого советского ученого, который умел бы так волнующе и захватывающе учить познавать и искать новое в многоликих условиях радостей и трудностей созидания первого социалистического общества.

Я благословляю судьбу за то, что в течение более четверти века — в лучшие годы жизни — мне пришлось сначала учиться у Минакова, а затем работать вместе с ним по различным разделам могущественной науки нашего времени — *механики*, которой он отдал многогранный и блистательный талант.

Особенно крупный вклад сделал Андрей Петрович Минаков в разработку методики преподавания теоретической механики в высшей школе; по существу, *он заложил основные принципы этой методики*. Многие ученики Минакова помнят, что свои лекции по методике преподавания механики он всегда начинал с главных требований к преподавателю. Минаков говорил, что преподаватель высшей школы должен быть *ученым, философом, артистом, воспитателем и Человеком*. Сам Андрей Петрович в лучших чертах своего интеллекта и характера запечатлел для механиков-универсантов и всех своих учеников эти высокие качества советского педагога.

«Учитесь преподавать у Минакова», — говорили многие выдающиеся механики Московского университета. Эта истина становится с годами все более бесспорной и всеобщей; она подтверждается многолетним опытом работы воспитанников Андрея Петровича, преподающих по его системе в советских университетах и вузах.

В непринужденных беседах с учениками Минакова легко заметить, что конспекты его лекций о методике преподавания механики бережно сохраняются и как драгоценные воспоминания о лучших днях студенческой жизни, и как ежедневное настольное руководство для преподающих. «Преподавание не ремесло, не профессия, а *образ жизни*», — учил Минаков.

Своей вдохновенной работой со студенчеством, своим мастерством и артистизмом изложения механики, своим присутствием, своей «гражданственно-человеческой личностью» он вторгался в духовный мир своих учеников, сотрудников по кафедре, коллег по работе, и многие-многие стремились быть похожими на него.



вызванная возмущение прогрессивной профессуры. Ректор университета А. А. Мануйлов и проректоры П. А. Минаков и М. А. Мензбир подали заявление *об освобождении их от административных обязанностей*. Министр просвещения Кассо 1/II 1911 г. издал указ *об увольнении указанных лиц от должностей профессоров университета*. Несмотря на сочувствие почти всей профессуры, ходатайства медицинского и юридического факультетов, Петр Андреевич был лишен возможности продолжать работу в Московском университете.

В дальнейшем ему удалось создать кафедру судебной медицины на Высших женских курсах в Москве, но научно-исследовательскую работу в течение ряда лет Петру Андреевичу пришлось вести в одной из комнат своей квартиры. Как прогрессивный и глубоко принципиальный деятель русской науки, П. А. Минаков в 1913 г. выступил в печати с разоблачением антинаучной, продажной экспертизы судебных медиков Косоротова, Сикорского и других по делу Бейлиса\*.

Уход П. А. Минакова из университета в 1911 г. тяжело переживался всей семьей. На университет было наложено семейное «вето». Экспериментальная научная работа по проблемам судебной медицины в малоприспособленной комнате, кислоты и реактивы в колбах и пробирках, кости черепов преступников и самоубийц, подвергавшиеся исследованию\*\*, наложили специфический отпечаток на жизнь семьи и общую обстановку в квартире. В конце 20-х годов, когда я начал бывать в старом доме на Смоленском бульваре, в минуты откровенных бесед Андрей Петрович рассказывал неоднократно, что черепа преступников и самоубийц, которые он видел ежедневно в домашней лаборатории судебной медицины, порождали у него в те годы «немую жуткость» и восхищенные твердостью и принципиальностью своего отца.

В 1904 г. Андрей Петрович поступил в Московскую имени Григория Шелопутина гимназию, которую окончил в 1911 г. с золотой медалью. Двери Московского университета были для него, по единодушному решению семьи, закрыты.

---

\* Судебный процесс еврея Бейлиса был спровоцирован царским правительством. Бейлис клеветнически обвинялся в убийстве христианского мальчика якобы с ритуальной целью. Царское правительство организовало судебно-медицинскую лжеэкспертизу. М. Горький и В. Короленко возглавили в те годы борьбу с антисемитской политикой царизма.

\*\* П. А. Минакову принадлежит работа «Патологоанатомические особенности черепа у самоубийц».

Андрею Петровичу Минакову выпала честь читать первую лекцию на механико-математическом факультете в новом здании университета на Ленинских горах 1 сентября 1953 г. Характеризуя условия научной работы крупнейших ученых царской России, Андрей Петрович говорил: «Работать в России было негде, величайшие открытия делались на частных квартирах, в каморках, в подвалах. ...Как сейчас, помню нашу квартиру, уставленную всюду банками с соляной кислотой, а в них черепа... (отец работал в области судебной медицины)».

Отец, мечтавший дать сыну наилучшее медицинское образование, направил его учиться в Париж (в Сорбонну), где Андрей Петрович в осеннем семестре 1911/12 учебного года прослушал курсы физики, химии, зоологии и ботаники.

В январе 1912 г. он вернулся из Парижа в Москву в связи с болезнью уха (нужно было провести сложную операцию среднего уха). Осенью 1912 г. Андрей Петрович поступил в Московский коммерческий институт на техническое отделение, где прослушал лекции и выполнил экспериментальные и практические работы за все 4 курса по лабораторному и педагогическому циклам.

Андрей Петрович писал в одном из сохранившихся вариантов автобиографии: «В 1912 году поступил на техническое отделение Московского коммерческого института, не желая поступать в Московский университет, откуда в 1911 году мой отец был уволен министром Кассо»\*.

В Коммерческом институте Минаков начал вести исследовательскую работу в физической лаборатории под руководством профессоров А. А. Эйхенвальда и Н. Е. Успенского, изучая рентгеновские лучи, и написал первую научную работу (в соавторстве с А. Таль) «О форме интерференционных максимумов рентгеновских лучей». Эта работа была опубликована в известном русском научном журнале\*\*. Во время первой мировой войны, параллельно с занятиями в Коммерческом институте, Минаков работал рентгенологом в различных госпиталях, а в 1916—1917 гг. заведовал в Киеве рентгеновским кабинетом в 1-м госпитале Красного Креста, где написал вторую научную работу «О ранней диагностике газовой гангрены при помощи рентгеновских лучей»\*\*\*. Однако специальность врача не импонировала внутренним стремлениям Андрея Петровича; он систематически и все с большим увлечением занимался механикой и физикой. В автобиографии, написанной в апреле 1922 г., Минаков отмечает, что «желая получить более полную математическую подготовку для дальнейшей специализации по этим предметам, поступил в 1917 г. на математическое отделение физико-математического факультета Московского университета, которое и окончил по циклу «Механика».

Несколькими месяцами ранее его отец П. А. Минаков также вернулся в университет, и семейное «вето» с alma mater было снято. Экзамены по ряду предметов, сданные в Коммерческом институте, были перезачтены, а по основным дисциплинам, составляющим и поныне гор-

---

\* Архив Московского университета. Дело № 213. Автобиография написана рукой Андрея Петровича. (Подчеркнуто нами. — А. К.)

\*\* См.: А. Минаков и А. Таль. О форме интерференционных максимумов рентгеновских лучей. ЖРФХО, физическое отд., т. XVII, вып. 9, 1915.

\*\*\* Работа напечатана в № 14 «Врачебно-санитарных известий Красного Креста Юго-западного фронта» от 25 июня 1917 г.

дость Московского университета (аналитическая геометрия, математический анализ, высшая алгебра, теория вероятностей, дифференциальные уравнения, теоретическая механика, дифференциальная геометрия), Минаков учился у выдающихся профессоров физико-математического факультета. Так, в сохранившейся зачетной книжке (№ 25, выданной в 1917 г.) можно видеть, что Андрей Петрович сдавал экзамены по различным разделам механики Н. Е. Жуковскому и С. А. Чаплыгину; дифференциальные уравнения, вариационное исчисление и дифференциальную геометрию — Д. Ф. Егорову, высшую алгебру — Н. Н. Лузину, дифференциальное исчисление и теорию вероятностей — Л. К. Лахтину, аналитическую геометрию — А. А. Власову. Все указанные экзамены сданы с высшей оценкой — «весьма удовлетворительно».

Самостоятельную исследовательскую работу по теоретической механике Андрей Петрович начал на третьем курсе университета под руководством С. А. Чаплыгина. Написал, пользуясь русской, немецкой, французской и английской литературой\*, конспект лекций по гидравлике и сопоставлению материалов. В качестве дипломной работы им было представлено сочинение «О колебании маятника с подвижной точкой подвеса»; эта работа выполнялась также под руководством Чаплыгина.

Московский университет Минаков окончил в январе 1922 г. и был оставлен научным сотрудником при кафедре теоретической механики физико-математического факультета; в 1923 г. был зачислен преподавателем механики Московского университета, где и работал непрерывно до последних дней жизни. Одновременно Андрей Петрович начал преподавание механики в Московском текстильном институте.

Студенческие годы А. П. Минакова в Московском университете совпали с первыми годами Великой Октябрьской социалистической революции и были весьма трудными для русской высшей школы. Здания университета не отапливались; многие из профессоров не вели, по существу, никаких занятий, да и вести их было не с кем. Профессорская комната на третьем этаже нового здания университета на Моховой часто превращалась в дискуссионный клуб по проблемам внешней и внутренней политики молодого Советского государства. Было холодно и голодно. Продовольственные пайки были мизерны, да и выдавались нерегулярно. Городской транспорт не работал. Профессора и доценты ходили на лекции в университет пешком. Старикам этот уклад жизни был весьма тягостен, хотя многие из них показывали примеры безупречной дисциплины труда (например, по началу лекций проф. Л. К. Лахтина проверяли часы и студенты, и обслуживающий персонал). Андрей Петрович рассказывал, что нередко он был *единственным слушателем* на лекциях и практических занятиях по теоретической механике у С. А. Чаплыгина.

---

\* А. П. Минаков хорошо владел французским и немецким языками, а также читал по специальности на английском, итальянском и латыни.

Вот несколько сохранившихся заметок А. П. Минакова с характеристиками тех лет: «1917 г. Отец возвращен в университет. Жуковский возникает из дыма «буржук» на рабфаке\*. Я единственный слушатель у С. А. Чаплыгина и А. И. Некрасова. С. А. Чаплыгин читает в снегу лекции».

На третьем курсе университета Андрей Петрович познакомился, а затем подружился с приват-доцентом физико-математического факультета, впоследствии известным профессором университета, Николаем Николаевичем Бухгольцем, который читал в те годы факультативные лекции по «математической теории упругости» и вел практические занятия по теоретической механике. После окончания университета А. П. Минаков в соавторстве с Н. Н. Бухгольцем и И. М. Воронковым начал работать над созданием задачника по курсу теоретической механики. Первое издание этого задачника вышло в свет в 1925 г.; задачник обобщал опыт преподавания механики для студентов Московского университета\*\*.

В 1930 г. А. П. Минаков был утвержден профессором и заведующим кафедрой теоретической механики Московского текстильного института. В течение долгих лет плодотворной деятельности на этой кафедре Андрей Петрович создал оригинальный курс механики и организовал хороший коллектив ученых и преподавателей. Кроме того, в 20-е годы эпизодически он вел лекционные курсы и практические занятия по механике в Московском институте народного хозяйства имени Г. В. Плеханова, Московском электротехникуме и Московском нефтяном институте.

Андрей Петрович любил студенческую аудиторию, и в течение всей своей преподавательской деятельности он с величайшим вниманием изучал интересы молодежи, ее увлечения, ее мечтания. Он — тонкий психолог, чуткий ко всему новому — по этим систематическим наблюдениям ставил «диагноз» состояния студенческой аудитории и по нему в значительной степени определял руководящую идею читаемого курса («сверхзадачу», как сказал бы К. С. Станиславский). Минаков с удовольствием посещал студенческие собрания, вечера самодеятельности и, нам кажется, с большим желанием и большой ответственностью выступал на этих вечерах как артист-исполнитель.

Участие в заседаниях учёного совета Текстильного института и внимательный анализ ряда научно-технических дискуссий по прядильному делу, а также изучение мировой литературы по этой проблеме откristаллизовали для Андрея Петровича к 1925 г. большой и своеобразный класс задач механики, которыми он занимался всю свою последующую жизнь.

\* Первый рабочий факультет (рабфак) был открыт 2/II 1919 г. в Москве. Вдохнителем идеи организации рабфаков был известный историк М. Н. Покровский.

\*\* См.: Н. Н. Бухгольц, И. М. Воронков, А. П. Минаков. Сборник задач по теоретической механике. М.—Л., Госиздат, 1925. В 1940 г. вышло третье издание этой книги.

Этот класс задач обычно выделяется в теоретической механике в специальный раздел «Динамика и статика нити». Связь этого раздела механики с техническими проблемами прядения очевидна. Может быть, стоит здесь указать, что в декабре 1951 г. А. П. Минаков был назначен председателем секции мотки комиссии по научно-техническим проблемам текстильной промышленности. *Его авторитет по вопросам динамики нити в послевоенные годы был в нашей стране общепризнанным.*

В течение ряда лет он являлся консультантом Научно-исследовательского института текстильной промышленности и комиссии по прядению в отделении технических наук Академии наук СССР.

Начиная с 1927 г. Андрей Петрович систематически публиковал научные статьи по различным научным и техническим аспектам динамики и статики нити. В 1941 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Основы механики нити». Защита состоялась на заседании ученого совета Московского текстильного института 30/VI 1941 г. В ноябре 1942 г. А. П. Минаков был утвержден Высшей аттестационной комиссией в ученой степени доктора технических наук\*. С декабря 1943 г. он член технического совета Министерства текстильной промышленности. Указом Президиума Верховного Совета СССР от 16 октября 1951 г. А. П. Минаков «за выслугу лет и безупречную работу» был награжден орденом Ленина.

3

### ОСНОВЫ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ А. П. МИНАКОВА

Затруднения не в вопросе что нужно сделать, но как сделать. А это вопрос педагогической техники.

(А. Макаренко)

Андрей Петрович Минаков был своеобразным и неповторимым лектором высшей школы, обаятельным, человечным, умным. Он поражал молодые студенческие сердца неожиданно, как молния. Все лучшее выплывало из глубин вашей души, и вы становились соучастником великих открытий. Вы умножали богатства вашего интеллекта с каждой прочитанной лекцией, все время чувствуя теплоту большого человеческого сердца вашего учителя. Неожиданные сравнения раскрывали вам глаза на мир удивительных явлений механического движения, которые «всегда стояли перед глазами философов», но истинную дорогу к познанию которых начал пролагать впервые Галилей. Заставить вас сосредоточиться, возбудить любознательность вашего ума, иногда заданного «бронзы многопудьем» великих предшественников, уметь заро-

---

\* Диплом доктора наук ТН № 00610 выдан 3/III 1946 г.

нить в вас искру творчества, пусть в небольшом, пусть пока на одной из многочисленных тропок науки — все это умел делать профессор Минаков. Вот почему после любой только что закончившейся лекции Андрея Петровича вы уже мечтали о следующей, вам хотелось, чтобы скорее бежали дни и чтобы в очередной вторник вы опять стали сотоварищем Андрея Петровича в увлекательном путешествии к вершинам науки.

К сожалению, он мало написал о своих педагогических исканиях, о той педагогической технике, которой он владел мастерски и элементы которой были его *внутренней правдой*. Официально — это две небольшие статьи в журналах «Вестник высшей школы» («О творческом методе преподавания», 1946, № 5—6) и «Советское студенчество» («Цена времени», 1947, № 4). Сохранились студенческие конспекты лекций по его курсу «Методика преподавания теоретической механики» и некоторые варианты программы «Методика преподавания технических дисциплин», этот курс А. П. Минаков читал в Военно-воздушной инженерной академии имени Н. Е. Жуковского.

Родственники А. П. Минакова любезно предоставили в наше распоряжение его черновые наброски отдельных мыслей о преподавании механики; это, как правило, краткие емкие записи к вступительным лекциям по основному курсу теоретической механики. Главная цель данного раздела этой главы состоит в том, чтобы на основе анализа собранных отрывочных материалов попытаться воссоздать *систему Минакова*, его педагогическое «кредо»\*.



1. А. П. Минаков различал две стороны педагогического процесса: *учебную* и *воспитательную*. Процесс обучения — это процесс воздействия на интеллект учащегося. Процесс воспитания — это процесс воздействия на волю, эмоции, эстетическое чувство и мораль учащегося. Он писал: «Воспитывающее действие педагогического процесса на учащегося складывается из двух моментов: с одной стороны, педагог может по-разному развивать *интеллект* своего слушателя, меняя соответствующим образом метод преподавания; с другой стороны, педагогический процесс в целом налагает заметную печать на формирующуюся *личность учащегося* и на его отношение к данному предмету»\*\*.

Минаков неоднократно отмечал, что педагог, преподающий одну из точных естественных наук (например, механику), может ставить перед собой и решать различные задачи. Преподающий может, например,

---

\* Ряд ценных материалов (записи лекций Минакова и формулировки его отдельных высказываний) предоставили мне ученики Минакова: доценты И. П. Кунце, И. А. Тюлина, А. С. Петров и ассистент Л. Д. Попкова. Пользуюсь случаем еще раз поблагодарить их за предоставленные в мое распоряжение материалы.

\*\* А. П. Минаков. О творческом методе в преподавании. «Вестник высшей школы», 1946, № 5—6, стр. 19.

ограничиться требованием, чтобы его слушатели *твердо запомнили* ряд формул, и будет добиваться формального знания аксиом, многочисленных теорем и уравнений, их доказательств и выводов и т. п. Преподающий может захотеть, чтобы учащиеся прежде всего *поняли содержание данной науки* (или какого-либо раздела данной науки). И наконец, педагог может *стремиться побудить и развить* в своих учениках *способность и вкус к самостоятельному мышлению*, к освоению идей и методов, составляющих фундамент данной науки, освоению творческому, позволяющему *открывать новые соотношения и взаимосвязи, формулировать новые закономерности* в данной науке.

Многолетние педагогические искания Минакова были направлены на создание таких приемов, такой техники преподавания, которые *будили бы творческую любознательность учащегося*. Нам кажется, что он владел этой техникой, а его частые огорчения своими правилами преподавания исходили, по-видимому, от практических трудностей воплотить в ясной и однозначной терминологии основные законы этой техники.

Возбудить интерес к самостоятельному творчеству, самостоятельным размышлениям можно лишь при одновременном воздействии на ум и эмоции учащегося. Это хорошо знал Минаков. Поэтому он считал, что педагогическое воздействие на учащегося должно быть построено так, чтобы непрерывно *развивать правильное научное мышление и раскрывать эмоциональный процесс научного творчества*.

Энгельс писал, что «законы мышления и законы природы необходимо согласуются между собою, если только они *правильно* познаны». *Правильное* научное мышление — это познание объективных законов природы адекватно их сущности, это вполне сознательное применение этих объективных законов в интересах прогрессивного развития человеческого общества. В. И. Ленин указывал, что «мышление, восходя от конкретного к абстрактному, не отходит — если оно *правильное*... от истины, а подходит к ней» (Соч., т. 38, стр. 161).

В течение многих лет преподавания теоретической механики и самостоятельных научных исследований Андрей Петрович пытался формулировать *основные черты правильного научного мышления*. В сохранившихся вариантах программ любимого им курса «Методика преподавания теоретической механики» он указывает эти черты правильного научного мышления в следующих формулировках:

«Умение наблюдать явления и собирать факты»;

«Умение проникать в сущность изучаемого явления и благодаря этому связывать воедино различные, на первый взгляд, процессы; другими словами — умение находить «стержень» рассматриваемых явлений, их «главный нерв»;

«Умение построить рабочую гипотезу относительно взаимосвязи рассматриваемых явлений и их звеньев (элементов)»;

«Умение обобщать, расширять и углублять мысли и понятия»;  
... «Умение поставить научный эксперимент и извлечь из него правильные выводы»;

«Умение мыслить аналогиями и моделировать (отсюда необходимость широты научного кругозора)»; «Умение фантазировать научно».

2. Как же педагог должен развивать эти черты или элементы *правильного* научного мышления? Какова техника преподавания, ставящего целью *разбудить силы ума* для создания новых интеллектуальных ценностей?

По Минакову, процесс *воспитания творческого восприятия* фактов, понятий, гипотез, теорий данной науки (он имел в виду главным образом механику) должен идти по трем руслам, трем направлениям.

Во-первых, лектор теоретической механики обязан сообщать систематически, в течение всего курса, *элементы теории познания вообще и диалектико-материалистической философии в особенности*. Такие «вкрапления» вопросов теории познания в заранее обдуманных местах курса механики, подкрепляемые яркими фактами становления и развития теорий данной конкретной науки, способствуют выработке у учащихся *современного прогрессивного научного мышления*. В черновых записках Минакова, в частности в его конспективных набросках планов лекций в университете, неоднократно цитируются известные строки Ф. Энгельса из книги «Диалектика природы»: «Какую бы позу ни принимали естествоиспытатели, над ними властвует философия. Вопрос лишь в том, желают ли они, чтобы над ними властвовала какая-нибудь скверная модная философия, или же они желают руководствоваться *такой формой теоретического мышления*, которая основывается на знакомстве с *историей мышления* и с ее достижениями»\* (Подчеркнуто нами.—А. К.). «Освобожденная от мистицизма *диалектика становится абсолютной необходимостью естествознания*, покинувшего ту область, где достаточны были неподвижные категории, представляющие собою как бы низшую математику логики...»\*\* (Подчеркнуто нами.—А. К.).

Весьма важно подчеркнуть, что *развитие диалектического мышления у студенчества* проводилось Минаковым на *исторических фактах развития механики*, на тщательном и всестороннем анализе крупнейших ее открытий, подробном рассмотрении исторической обстановки при возникновении новых крупных идей. Минаков хорошо знал, что «наука о мышлении, как и всякая другая наука, есть историческая наука, наука об историческом развитии человеческого мышления. А это имеет важное значение также и для *практического применения мышления к эмпирическим областям*»\*\*\* («Подчеркнуто нами.—А. К.). И поэтому в лекциях Ми-

\* Ф. Энгельс. Диалектика природы. М., Госполитиздат, 1955, стр. 165.

\*\* Там же, стр. 160.

\*\*\* Там же, стр. 22.

накова процессы принципиальных исторических открытий механики. И процессы становления диалектико-материалистического мышления были неотделимы друг от друга.

Во-вторых, лектор теоретической механики, показывая *историческое развитие главных понятий и идей механики*, должен все время подчеркивать значение эксперимента и общественно-исторической практики человечества в формировании этих понятий. «Практика человека, миллиарды раз повторяясь, закрепляется в сознании человека фигурами логики»\*, — писал В. И. Ленин.

Минаков считал, что только *после того*, как студентам будут хотя бы кратко рассказаны истоки зарождения и эволюция какого-либо понятия механики, аксиомы, теоремы, принципа и когда, проследив за извилистым путем становления человеческой мысли, искавшей истину, «они всем своим существом почувствуют необходимость, важность и увлекательную трудность таких поисков, когда они очаруются виртуозностью и силой мысли классиков науки, только тогда должно приступить к математическому оформлению развернутой перед ними идеи». Этот переход к математике и должен, таким образом, быть естественным завершением всего хода изложенной мысли (идеи), его конденсированным и адекватным отображением. «Обратный порядок, по нашему мнению, недопустим; а между тем в преподавании в вузах нередко начинают именно с математического оформления некоторого понятия, теоремы и т. п., совершенно забывая о физической сущности, генезисе их. Такой путь, понятно, порождает вреднейший формализм знаний, непрочность их и ведет к полному отсутствию у студентов чувства конкретного и интереса к предмету»\*\*.

При чтении лекций в университете Минаков любил детально рассказывать о *принципиальных экспериментах, лежащих в основании механики*. Так, например, он увлекательно восстанавливал перед слушателями обстановку и подчеркивал значение экспериментов Ньютона с маятниками, позволивших утвердить важнейший постулат классической механики о равенстве массы весомой и массы инертной; он воспроизводил с большой тщательностью картину опытов Бесселя (1828 г.) и Этвеша (1896 г.), которые с гораздо большей точностью подтвердили указанный постулат Ньютона и дали тем самым экспериментальное обоснование для построения общей теории относительности Эйнштейном\*\*\*. Минаков с большим сочувствием цитировал известного французского механика Поля Пэнлевэ, который писал в своей монографии «Аксиомы механики»:

\* В. И. Ленин. Соч., изд. 4, т. 38. М., Госполитиздат, 1947, стр. 209.

\*\* А. П. Минаков. О творческом методе в преподавании. «Вестник высшей школы», 1946, 5—6, стр. 21, 22.

\*\*\* В опытах Этвеша, Пекара и Фекете (1909—1910 гг.) точность была доведена до  $E \cdot 10^{-9}$  и никакой разницы весомой и инертной массы обнаружено не было.

«Надо дать возможность учащимся *прикоснуться к самым истокам экспериментальных методов* и тех искуснейших приемов, которые изобретали великие исследователи; приемов и методов, чрезвычайно конкретных и *гораздо более убедительных и плодотворных*, нежели все теоремы и правила, находящиеся в наших руководствах»\*.

Таким образом, показ исторического становления понятия, теоремы, принципа, разъяснение экспериментальных обоснований аксиом является, по Минакову, *важнейшим элементом в преподавании механики* и в общем процессе «передачи культуры от поколения поколению и построения новой культуры».

В третьих, преподаватель теоретической механики обязан (и это необходимо для успеха дела) в течение *всего курса* сообщать *сведения о жизни и методах работы крупных ученых-механиков*, подчеркивая своеобразие манеры их научных исканий и выявляя их отношение к науке. Биографии, писал Минаков, должны содержать «показ одержимости исследованием» и «показ простоты человечности ученого».

Эмоциональному рассказу о чувствах и делах творцов теоретической механики А. П. Минаков придавал первостепенное значение. В сохранившихся черновых записях мы находим следующие мысли: «Почему, например, не рассказать молодежи, что заика Тарталья (думая об обороне своей родины) писал герцогу Урбинскому, когда Сулейман великий собирался напасть на Адриатику и на Венецию: «Так как я вижу, что волк подкрадывается к нашему стаду и что все наши пастухи готовятся к защите, то мне представляется предосудительным скрывать далее эти вещи (речь идет о законах движения снаряда, которые нашел Тарталья) и потому я решил ознакомить с ними каждого истинного гражданина, чтобы каждый был лучше вооружен как для нападения, так и для защиты».

«Мы полагаем, что студентам весьма интересно узнать, — пишет Минаков, — почему и как зародилась та великая идея, которая привела Галилея к формуле  $S = \frac{1}{2}gt^2$ , формуле, которую все пишут, но не понимают как следует, не чувствуют ее глубины, ее волнующего значения».

«Почему не рассказать о некоторых способах рассуждения членов «могучей кучки»: великого Лейбница, обоих Бернулли и других; о нежном, застенчивом и несчастном подкидыше — великом Даламбере; о речи Газенфраца (учитель Лавуазье), произнесенной 5 июня в 1793 году в Конvente, куда он привел Монжа, Лапласа, Лагранжа, Фурье и др., как первых ученых, пожелавших помочь революционной Франции, — речи, в которой он прекрасно формулировал мысль о значении науки для обороны страны...»

«Почему не рассказать студентам о фанатическом служении нау-

---

\* Painlevé Les Axiomes de la Mécanique (examen critique), Paris, 1922.

ке Франсуа Араго, который во время экспедиции по измерению длины земного меридиана, предпринятой Францией, пережил почти сказочные приключения и в Испании и в Африке, и все это ради того, чтобы доставить Французской Академии наук возможно точные цифровые данные»\*.

Минаков подчеркивал, что нужно тщательно изучать эпохи развития человеческого общества и биографии ученых, так как нельзя на лекциях давать только «эпизоды», т. е. готовые «рецепты».

3. Воспитанию эмоций, воли, эстетики и морали студенчества Минаков придавал не меньшее значение, чем воспитанию правильного научного мышления. Здесь Минаков придавал особое значение лекциям. Главная мысль Андрея Петровича формулируется так: «В процессе чтения лекции необходимо максимальное полезное взаимодействие между профессором и студентом, т. е. наибольшее и наилучшее восприятие учащимися излагаемого материала и *наибольшая отдача себя педагогом*». К профессору высшей школы Минаков предъявлял самые суровые (и, мы думаем, справедливые) требования. Он правильно говорил и писал, что *в процессе обучения слагается отношение студента к данной науке*. У одних данная наука вызовет ненависть, отвращение, у других — нелюбовь, безразличие, у третьих — интерес, любовь и, наконец, у некоторых — страсть, одержимость. «Ответственность лежит почти исключительно на педагоге, так как, вне всякого сомнения, любой изучаемый слушателем предмет навсегда, *на всю жизнь* ассоциируется в его сознании с лицом, обучавшим его *этому предмету!*»\*\*.

В черновых записях Минакова есть следующие мысли: «Если профессор не только ученый, но и педагог (два русла!), то ставлю вопрос: — о высоте его научного уровня (знания, мышление, интеллект);

— о его человеческо-гражданственной личности (политическая и философская грамотность, воля, эмоции, эстетические убеждения, напор — страстность — одержимость);

— сверх того: человечность, мастерство, виртуозность».

Хороший лектор высшей школы должен быть *не только ученым, но и педагогом*, и Минаков требует от профессора не только «высоту научного мышления и широту знаний», но и «высоту его человеческо-гражданственной личности». Виртуозность изложения немыслима, по Минакову, без овладения профессиональными навыками артиста.

Вопросы поведения преподавателя перед студенческой аудиторией и совершенствования его внешней техники находятся в нашей высшей школе в полном забвении. Многие считают, что профессор вуза и не должен отвлекаться на эти ничтожные пустячки, так как он рожден для

\* А. А. Космодемьянский. Андрей Петрович Минаков. М., Изд-во ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1963, стр. 50, 51.

\*\* А. П. Минаков. О творческом методе в преподавании. «Вестник высшей школы», 1946, № 5, стр. 22.

«высшего». Существует неписанный закон, согласно которому большого, настоящего ученого, знатока своего дела *обязаны* слушать, затаив дыхание, все присутствующие на лекции. И пусть этот большой ученый говорит, проглатывая слова и куски фраз, пусть он говорит несвязно, нелогично и настолько тихо, что студенты, сидящие в третьем ряду, его не слышат; пусть он мгновенно стирает только что написанную формулу, выводу которой были посвящены полчаса предыдущих преобразований, пусть чертеж переделывается три-четыре раза, изменяясь в масштабе и основных контурах, — все это несущественно. Он талант, а может быть, и гений! Он творит по канонам своей органической природы, и не мешайте ему рассуждениями об общеобязательных нормах (или, говоря резко, о нормах культуры) профессора — он несет божественный дар «прозрения», и поэтому ему все дозволено.

Минаков понимал великое значение техники преподавания и учил овладевать этой техникой, руководствуясь открытиями Станиславского. «*Не существует педагогического процесса*, — говорил Андрей Петрович, — *который не требовал бы виртуозности внешней техники*» и «не существует окончательной меры для полноты этой виртуозности». Вероятно, будет целесообразно привести здесь слова Станиславского, адресованные «гениям» драматических театров: «Пусть объяснят мне, почему скрипач, играющий в оркестре первую или десятую скрипку, должен ежедневно, целыми часами, делать экзерсисы? Почему танцор ежедневно работает над каждым мускулом своего тела? Почему художник, скульптор ежедневно пишет и лепит и пропущенный без работы день считает безвозвратно погибшим, а драматическому артисту можно ничего не делать, проводить день в кофейнях, среди милых дам, а по вечерам надеяться на подавание свыше и на протекцию Аполлона?»\*.

Минаков требовал от преподавателя высшей школы гармонического единства его внутреннего содержания, его одаренности и действия с внешней техникой поведения перед студентами во время свершения лекции. Отсюда легко понять основные *пять требований («пятерица»* Минакова), которыми и должен руководствоваться лектор. Эти требования не были нигде напечатаны, но они записаны сотнями его слушателей: «Профессор советской высшей школы, — говорил Минаков, — должен быть:

Ученым,

Философом,

Артистом,

Воспитателем,

Человеком»\*\*.

---

\* К. С. Станиславский. Собр. соч., т. I. М., «Искусство», 1954, стр. 403.

\*\* В записках Минакова (в материалах к лекции для преподавателей в Московском инженерно-строительном институте 10/IX 1953 г.) есть следующие формулировки: «Про-

Лекцию нужно читать («совершать», говорил Минаков) при активном участии аудитории, «вместе с аудиторией, а не перед нею», *«переживая каждый раз при изложении давно известного лектору материала всю свежесть и новизну его первого восприятия»*. Профессор «должен любить свой предмет, свою работу и свою аудиторию и гореть перед нею живым пламенем научной страстности» \*.

Минаков подчеркивал, что *личность студента не может формироваться сама по себе, без участия другой личности*. «Книга бездушна, и на ее страницах мысль заключена в тесное неизменное выражение. Лекция же — это жизнь, она похожа на свершающееся перед вами действие, и лектор *должен пользоваться всеми данными*, пока он не почувствует, что в мысли слушателей проникла та идея, которую он хотел в них запечатлеть» \*\*.

Приведем пример воздействия на эмоции учащихся во время одной из вступительных лекций А. П. Минакова по курсу теоретической механики, прочитанной в Московском текстильном институте.

«Вы ждете от меня вводной лекции? ...Но лучше будет, если я объясню вам, как я понимаю, как я чувствую, *зачем я пришел к вам*..

...Я пришел к вам, чтобы развернуть перед вами перспективы огромной радости, внутреннего света и тепла *творческого научного труда*, чтобы воспитать из вас настоящих людей, патриотов — строителей честной трудовой жизни человечества... Я хочу раскатать вас на огненный размах и оградить вас от болота низменных тревог, забот и разъедающей плесени... Я хочу ориентировать вас на интересы и *тревоги-волнения высшего ранга, на великие идеи коммунизма, честности, труда*.

...Я пришел и буду ходить к вам, чтобы отдать вам все, что есть *самого лучшего, самого прекрасного в моей науке, и все, что есть самого хорошего, самого честного и святого во мне самом* \*\*\*.

И дальше, как бы видя своих слушателей уже окончившими Текстильный институт, Минаков пишет: «Надо выпустить не только знающего специалиста, но *мыслящего, трудолюбивого, бескорыстного, любящего свой труд, верящего в себя и Родину, ...а не морального калеку, набитого формулами, которых он боится, не понимает, ненавидит, ... хитрского, темного, нечистоплотного, который будет ползти в ту-склом полумраке маленьких интересиков и интрижек*».

---

профессор высшей школы должен быть: Ученым, философом — историком науки, Мастером — виртуозом своего дела, Воспитателем, Человеком-гражданином».

\* А. С. Макаренко писал: «Я уверен в совершенно беспредельном могуществе воспитательного воздействия. Я уверен, что если человек плохо воспитан, то в этом исключительно виноваты *воспитатели*» («О воспитании молодежи», 1951, стр. 138).

\*\* Это мысль французского ученого и врача Ф. Видаля (1862—1929), открывшего возбудителя брюшного тифа. А. П. Минаков часто цитировал эту мысль и устно, и в печати.

\*\*\* Цитата из сохранившихся черновых записей А. П. Минакова.

1, вспоминая многие задушевные беседы с Андреем Петровичем, что его требование о проявлении истинно человеческого в человеке — лекторе теоретической механики — очень созвучно следующему высказыванию гениального Александра Блока: «Человек сохраняет свое достоинство тогда, когда душа его напряжена и взволнована. *Человеку надо быть беспокойным и требовательным к себе самому и к окружающим.*»

Это не значит, что человек должен каждую минуту трепыхаться и нервничать. Нет, он должен быть внешне спокоен и тверд. Но под этим спокойствием и твердостью, как под броней, *должно гореть духовное беспокойство*; это беспокойство, это волнение и делают его человеком; такой человек не замурован в четырех стенах, он *близок к природе и чуток к жизни.*

Есть в человеке проклятое рабское свойство: когда он становится чересчур сытым, довольным, слишком обеспеченным материально, тогда он теряет свое внутреннее волнение, свой духовный огонь. Тогда он становится *сытым и душевно тупым, самодовольным.* Нет в нем достоинства, грош ему цена, если душа его, созданная для волнений и радости, также сыта и тупа, как тело».

Мы думаем, что профессиональная деятельность преподавателя высшей школы не должна выжигать напряженность и взволнованность его души. Нравственная и интеллектуальная взволнованность — вот главное в преподавателе-Человеке.

4. Как же рекомендовал Минаков осуществлять практически указанные задачи воспитания интеллекта, задачи воспитания эмоций, воли, эстетики и морали учащегося? Здесь мы подходим к вопросам *искусства и техники преподавания*, т. е. наименее изученным вопросам мастерства профессионального труда педагога.

А. П. Мицаков подробно анализировал и вопросы содержания курса (что читать), и вопросы практического осуществления лекции (как читать, или вопросы режиссуры лекции). К сожалению, подлинных записей Минакова сохранилось очень мало, и здесь мы вынуждены были исходить из студенческих записок лекций Минакова по курсу «Методика преподавания теоретической механики», записок, не всегда точно передающих оттенки мыслей Андрея Петровича \*. Вследствие этого рекомендации весьма кратки и неполны.

При подготовке преподавателем или профессором *нового курса лекций* нужно начинать с подбора и обработки материала. Минаков рекомендовал лектору такую последовательность действий:

---

\* Автор этой книги трижды слушал курс методики у А. П. Минакова. Сохранившиеся записки лекций не воспроизводят той поразительной творческой атмосферы, которую создавал Минаков. В большинстве случаев очарование лекций было так сильно, что я не мог писать ничего.

осмысливание основных разделов курса;  
собрание материала для всего курса и для отдельных его звеньев;  
изучение общественных условий возникновения и развития данной науки, а также биографий ее творцов;  
подбор иллюстрационных примеров, обдумывание демонстрационных опытов, собрание приборов и фотографий;  
выбор трактовки содержания курса, т. е. проводимой идеи («сверхзадачи», по Станиславскому);  
компоновка материала (композиция), наброски, варианты;  
рассуждения (логические построения) и доказательства основных теорем, положений, принципов;  
рассмотрение и выбор математических средств (анализ, геометрия, вариационное исчисление, векторы, тензоры);  
составление плана курса по лекциям;  
написание текста каждой лекции.

Нам хочется на основе сохранившихся записей и воспоминаний подчеркнуть особое значение, придававшееся Минаковым выбору *трактовки содержания*, т. е. основной идее («сверхзадаче», как сказал бы Станиславский), проводимой лектором в читаемом курсе. Этой центральной идее, ее многогранному отображению и внедрению в умы слушателей *должен быть подчинен весь материал курса*\*. Для лектора теоретической механики Минаков приводил следующие примеры «сверхзадач»:

«душа механики — это практическое применение ее открытий»;  
«неограниченное могущество человеческой мысли»;  
«во всякой дисциплине точного естествознания науки столько, сколько в ней математики»;

«теоретическая механика есть научная основа современной техники»:  
Установление трактовки содержания есть важнейшая идеологическая задача курса, тесно связывающая проблему воспитания интеллекта с проблемой воспитания человека. Этот выбор целиком в руках лектора, и «сверхзадачу» невозможно внедрить в программу против желания лектора, это *идейно-политическая сторона преподавания*, и она целиком определяется составом профессуры и преподавателей, их «человечески-гражданственным уровнем». В. И. Ленин писал слушателям партийной школы на острове Капри: «Во всякой школе самое важное — идейно-политическое направление лекций. Чем определяется это направление? Всецело и исключительно *составом лекторов*. Вы прекрасно понимаете, что всякий «контроль», всякое «руководство», всякие «программы», «уставы» и проч., все это — звук пустой по отношению к составу лекторов. Никакой контроль, никакие программы и проч. абсолютно

\* К. С. Станиславский писал: «В нашем творчестве и его технике выбор сверхзадачи является чрезвычайно важным моментом, дающим смысл и направление всей работе».

не в состоянии изменить того направления занятий, которое определяется составом лекторов»\*.

Как же нужно осуществлять («совершать») лекцию?

Мы конспективно перечислим те вопросы, которые Андрей Петрович считал необходимым принять во внимание при осуществлении лекции:

вход в аудиторию, начальное воздействие педагога на себя («творческое самочувствие», по Станиславскому) и на слушателей с целью установления рабочего творческого контакта;

изложение материала лекции как процесс взаимодействия лектора и слушателей («становление лекции»);

методы воздействия на аудиторию: язык и стиль лекции, зрительные воздействия (чертеж, письмо на доске, жесты, мимика), слуховые воздействия (тембр, высота, громкость; интонации, дикция, паузы), грамотность речи, воздействие на воображение и эмоции;

поведение лектора, когда он сделал ошибку или забыл дальнейший ход рассуждений;

ответы лектора на устные и письменные вопросы;

изложение на лекции скучных и трудных разделов курса;

«освежение» и «подогревание» аудитории. Сюда же — психологическое воздействие (примеры: задумавшийся на лекции Николай Егорович Жуковский, нервно швыряющий в доску мел Анри Пуанкаре, когда стало ясным, что предложенное им доказательство теоремы некорректно).

Минаков акцентировал громадное значение *духовной подготовки профессора к данной лекции*. Здесь он опять учил по системе Станиславского и требовал после выхода лектора из дома «сужения его сознания» и «духовного туалета».

Известная аналогия душевного состояния лектора-механика, читающего сто первый раз приведение и равновесие плоской системы сил, и артиста, сто первый раз играющего, например, роль барона в пьесе «На дне» Горького, по-видимому, имеется, и нам кажется разумным привести здесь следующее суждение К. С. Станиславского:

*«Как уберечь роль от перерождения, от духовного омертвения, от самодержавия актерской набитой привычки и внешней приученности? Нужна какая-то духовная подготовка перед началом творчества, каждый раз, при каждом повторении его. Необходим не только телесный, но, главным образом, и духовный туалет перед спектаклем. Нужно, прежде чем творить, уметь войти в ту духовную атмосферу, в которой только и возможно творческое таинство».*

Андрей Петрович придавал существенное значение общей культуре лектора, его знаниям в соседних с механикой областях, его знаниям пси-

---

\* В. И. Ленин. Соч., изд. 4, т. 15. М., Госполитиздат, стр. 435.

хологии творческого труда, его умению чувствовать аудиторию. В самом деле, если лектор делает грамматические ошибки в общеизвестных словах, то неуспех его курса, если хотите, провал, почти предreshен. Если вы вместо «снабжение предприятий» говорите «снабжение», то курса политической экономии у вас наверняка не выйдет. Будет обязанность у студентов отсидеть лекцию из-за страха перед деканом или критикой общественных организаций, будет сохраняться ваша обязанность читать лекции, ибо вы поставлены в расписание занятий, но не будет настоящего вузовского курса лекций.

Минаков требовал от всех преподавателей своей кафедры, чтобы они, готовясь к занятиям, точно знали все чертежи и рисунки к лекциям, их размеры и расположение в тетради слушателя. Чертеж должен возникать на доске *однозначным и «чистовым»*; лектору легко стереть мел на доске, но что должен делать студент, записывающий содержание лекции современной шариковой ручкой?

Начинающий чтение лекций должен многократно репетировать трудные главы курса и не стыдиться этого. «Хорошо готовиться к лекции, хорошо ее читать = уважать своих слушателей и науку».

5. Приведем здесь перечень указаний Андрея Петровича лектору после «духовного туалета»:

вход в аудиторию;

дать время и себе, и «им»; себе, чтобы проанализировать состояние аудитории и «войти в роль», «им» — почувствовать необходимость этой лекции;

напомнить, на чем остановились;

объяснить, о чем будет речь;

озаглавить;

рассказать физическую суть и качественно описать явление;

предупредить о расположении чертежей;

не загоразивать доску;

диктовать, смотря на руки и карандаши слушателей.

Минаков учил, что процесс преподавания нельзя рассматривать независимо от процесса воспитания. Эти два воздействия всегда слиты в одно. Поэтому преподавание и сам педагог (его личность!) должны по возможности *соответствовать эпохе, быть на уровне ее прогрессивных требований*\*. А для этого педагог должен повысить требования к себе. Он должен любить, уважать своего слушателя-воспитанника, должен хотеть помочь своему младшему товарищу, другу и спутнику в грандиозном, славном походе советской науки. Педагог должен верить в силу и правоту своего дела. Он «обязан» быть строгим прежде всего к себе, и

\* А. С. Макаренко писал о себе и своих товарищах: «Мы, новые работники просвещения, хотящие воплотить требования, *предъявленные к нам нашей эпохой и революцией* в живом, настоящем деле».

не только как к педагогу, но прежде всего как к человеку. Потому что «все видит и все знает о нас молодежь, с которой мы общаемся, и за каждый аморальный штрих нашей жизни мы обязаны держать ответ и перед молодежью, и перед Родиной». Преподавание не ремесло, не профессия, а образ жизни = показ жизнью, учил Минаков.

О формировании личности профессора и его обаянии Андрей Петрович много думал, и в одной из программ по курсу методики преподавания технических дисциплин (подписанной 30/XII 1951 г.) он намечает следующие вопросы, подлежащие анализу: «Роль личности и поведение педагога: его эрудиция, отношение к своей работе, долгу перед государством, его моральный и житейский облик. Авторитет и личный пример педагога; «обаяние» педагога. Ответственность педагога за свой образ жизни».

Мы уверены, что эмоциональная сторона преподавания играет весьма существенную роль, пробуждая у слушателей интерес и любовь к научному исследованию. Если лектор остается холодным и бесстрастным при изложении самых великих и могущественных достижений своей науки, то аудитория; особенно-молодая, теряет интерес и любовь к предмету и студенты посещают лекции в дисциплинарном-порядке.

Лектор должен вносить в умы слушателей романтизм и энтузиазм творчества, без которых не может формироваться строитель коммунистического общества. Мы убеждены, что истинно великого нельзя совершить без великого воодушевления. Лекции в студенческой жизни занимают не более 10—15% учебного времени, но этого достаточно, чтобы оставить в тайниках памяти неизгладимые следы. Воспоминания о любимых профессорах сохраняются на всю жизнь; мысли, западающие в глубины сознания, делаются, помимо нашего желания, как бы нашим убеждением, нашим «кредо». *Воспитывающее действие педагогического процесса и личности педагога нельзя подменить ничем*, подчеркивает Минаков.

«Надо пламенеть на своем деле, надо гореть Павловской страстью\*. Нести надо в аудиторию не только знание, но прежде всего огромный потенциал мысли, творчества, воли; надо зажечь солнце служения своему народу, чтобы в его лучах начали набухать и распускаться молодые и нежные цветы. И не о выполнении «нормы педнагрузки» должны мы говорить, а о ношении сана и отдании всего себя священной миссии педагога-воспитателя. А если мне скажут, что не откликнется на твое пламенение, не пойдет за тобою молодежь, то, не давая им кончить, скажу

---

\* Напомним, что И. П. Павлов (1849—1936) писал в своем известном письме молодежи: «Помните, что наука требует от человека всей его жизни. И если у вас было бы две жизни, то и их бы не хватило вам. Большого напряжения и великой страсти требует наука от человека. Будьте страстны в вашей работе и в ваших исканиях». И. П. Павлов. Избр. произв. М., Госполитиздат, 1951, стр. 51.

я в ответ: «Ложь. Вспомните Максима Горького, который чудную мысль когда-то подарил нам: «В каждой душе человеческой есть колокольчик. И не звенит он, пока не сумеет кто-нибудь затронуть его. Так найдем же этот колокольчик, сумеем затронуть его: Пора!»\*.

Чтобы затронуть колокольчик студенческой души, Минаков был всегда внимателен к общему строю вузовской жизни, зная и замечая все мелочи, от которых иногда может зависеть судьба лекции. Он мог задержать начало лекции, если видел, что студенты не успели получить стипендию и у кассы шумная очередь; он носил с собой в портфеле хороший, мягкий мел и писал на доске крупными жирными буквами, думая о тех, кто сидел на «Камчатке»; он всегда трогательно и умело поздравлял курс с наступающими революционными праздниками, и все студенты видели в нем заботливого, любящего, человеческого товарища; когда он вел практические занятия, то ему было известно буквально все о всех и он ронял иногда задумчиво: «Петров и Сергеева были вчера в театре и, конечно, механику не смотрели»; «Емельянов всю ночь читал стихи, и мы его спрашивать сегодня не будем» и т. д. и т. п. Как часто в современном вузовском преподавании не хватает таких простых минаковских слов!

*Вопросы режиссуры лекции* находились в центре педагогических исканий Минакова. Найденные решения были неожиданны и оригинальны. В ответах на проблему, «как это сделать», он был наиболее близок к решениям и рекомендациям Станиславского. Здесь он считал самым важным «проблему правды», ибо «в правду поверишь ты сам, а значит, будешь убедителен, и слушатель тебе поверит». Лектор обязан *не сыграть* (как артист-ремесленник) эту правду, а сделать *ее частью себя*, поверить в нее\* и донести до слушателя естественно и непринужденно. Вот отрывки из записей Минакова:

«Они — барометр, они дьявольски чутки»;

«Если ты не искренен, если талмуд...

...погибло все»;

«*Не верю*» Станиславского. Нет контакта с аудиторией. Это «страшный момент»;

«Мало таланта — нужна техника» (Станиславский).

---

\* Из сохранившихся записей А. П. Минакова. Хочется сказать, что каждое поколение, каждая эпоха имеют свои любимые поэтические образы. Современник Горького — А. Блок писал: «Иль можешь лучше, не прощая, *будить мои колокола*, чтобы распутица ночная от родины не увела». Современник Горького — С. Рахманинов создал для оркестра, хора и солистов поэму «Колокола». По-видимому, звучание прогрессирующей русской революции ассоциировалось у проницательных русских людей начала XX в. с тревожным звучанием колоколов.

\* «Правда неотделима от веры, а вера — от правды», — писал Станиславский.

Содержание и исполнение лекции должны учитывать состояние аудитории. «Авторство неразрывно с режиссурой и исполнением». Минаков пишет: «Я — автор должен дать разнообразные варианты-наборы, чтобы: я — лектор мог выбрать вариант под «настроение». Поэтому надо думать (при компоновке материала лекции) об «эмоциональной кривой аудитории». Отсюда стиль лекции, ее научная и эмоциональная окраска. При чтении курса методики преподавания механики Минаков обычно демонстрировал самые различные стили изложения. Эти демонстрации — невоспроизводимы. Их многогранность, естественность и простота были ярким проявлением таланта Андрея Петровича. Вот краткая черновая запись Минакова о стилях. Она выглядит так: «Стили»:

— Прелесть размышления;  
— Давайте пофилософствуем (Равномерное движение — время);  
— Представьте себе (Умирающий Коперник; кинолента: приведение пространственной системы сил);

— В сущности, не ясно все это... ( $\vec{F} = m\vec{a}$ );

— Смотрите, казалось тупик, а ... (центральная теорема статики о «переносе» силы);

— Юмористически-бытовой («жила-была сила», «биография движущейся точки», «висит на веревке белье» (веревочный многоугольник);

— Внезапность («во-четыренадцатых», ибо предшествующую лекцию закончил «во-тринадцатых»);

— Бурно;

— Диалог (диалог с Пуансо, диалог с Галилеем)».

«Сюда же (к стилям) — степень математизации. Процесс познания идет так:

а) анализ явления (теоретический и экспериментальный);

б) фиксация соотношений (взаимосвязи) при помощи уравнений;

в) формальные преобразования (наихудшая часть!);

г) вскрытие физической сущности концевой формулы и нахождение «простейших» путей к тому же результату;

...Сюда же: соотношение между теорией и практикой (Тимирязев о Пастере, Жуковский об Остроградском, Ляпунов о Чебышеве)\*.

Минаков говорил, что в каждом стиле «своя правда», и здесь, по его убеждению, чтение лекции педагогом близко подходит к исполнению роли артистом Художественного театра (театра Станиславского). Это тем более, что «внутри» не всегда налицо и нужна «правдивая техника, которую нелегко найти». «Чем больше талант и тоньше творчество, тем больше разработки и техники он требует». Одна сторона техники — заставить работать подсознание. Вторая — умение не мешать подсознанию, когда оно заработает, писал Станиславский.

\* См. стр. 147—148 этой книги.

Самый большой враг творчества — равнодушие, безразличие, отчужденность. Минаков всегда подчеркивал, что «равнодушному никогда не открывается научная истина». Поэтому воспитание творцов нового требует от преподавателя показа «радости научных исканий» и умения «будить мысль».



### СИСТЕМА А. П. МИНАКОВА В РЕАЛЬНОМ ПЕДАГОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Сознание того, что чудесное было рядом с нами, приходит слишком поздно.

(А. Блок)

- Здесь мы приводим высказывания А. П. Минакова, разъясняющие отдельные моменты его педагогической системы. В большинстве случаев это подлинные (и по форме, и по идейному содержанию) мысли Андрея Петровича, записанные его рукой или взятые из опубликованных работ. Однако мы решили привести также ряд методических находок и открытий Минакова, используя сохранившиеся студенческие записи его лекций о методике преподавания теоретической механики. Здесь, безусловно, соответствуют Минакову основные идеи, но стилистическое оформление является не вполне точным. Автор будет весьма признателен всем, кто мог бы дополнить настоящими минаковскими примерами эту часть работы.

Мы надеемся, что приводимые ниже материалы покажут некоторые стороны системы Минакова в действии, в реальном педагогическом процессе.



Он писал: «История науки раскрывает генезис и эволюцию основных ее понятий, идей и законов, благодаря чему они могут быть поняты и освоены гораздо естественней, глубже и поэтому прочнее. Такие фундаментальные понятия механики, как сила, свойство инерции материи, масса, сила инерции и т. п., не могут быть поняты и освоены сколь-нибудь удовлетворительно без представления об их эволюции. Точно так же важно для успешного усвоения изложить историю таких понятий, как, например, момент силы относительно точки, вектор ускорения, работа силы, моменты инерции твердого тела и т. п., или, наконец, такого

важного понятия, как «сила движущегося тела», понятия, из анализа которого и выросла, в сущности, наша классическая динамика»\*.



«Наш педагогический опыт показывает, что живой, яркий показ образцов таких корифеев мировой науки, как Галилей, Кеплер, Лагранж, Даламбер, И. Бернулли, Араго, Кориолис, Лавуазье и др., помогает не только раскрыть перед студентами *методику и технику* научных исследований, но и вдохнуть в наших слушателей тот научный пафос, то страстное отношение к науке, которым горели эти великие ученые»\*.



Минаков любил повторять слова В. И. Ленина: «Максимум марксизма = максимум популярности и простоты».



Сохранилась краткая запись Андрея Петровича со следующей характеристикой одного из важных пунктов системы Минакова: «Мой центральный пункт:

Лекция (обучение) = взаимодействие;

Лекция становится в творческом единении.

Поэтому: — Надо всесторонне использовать слушателя, чтобы обучить — воспитать его. Ведь он человек.

— Надо всесторонне отдать себя».

«...Итак, вот мои требования к преподавателю высшей школы:

Ученость — эрудиция;

Развитость научного мышления;

Страстность актера — показ радости познания;

Человечность (с большой буквы);

Вера — любовь в нашу молодежь.

Для успеха преподавания профессор должен:

— любить, уважать студента, хотеть помочь;

— верить в свой предмет и свои принципы;

— быть строгим к себе;

— работать над собой как педагогом;

— работать над собой как над человеком».



Он учил: «Типовую задачу решать самому. Не гнаться за количеством задач. Главное — заинтересовать, заставить полюбить предмет. При решении: *сначала механика*, затем математика; сначала алгебраи-

---

\* А. П. Минаков. О творческом методе в преподавании. «Вестник высшей школы», 1946, № 5—6, стр. 21.

ческий ответ — затем число. Некоторые задачи обязательно решать несколькими способами. Обращать внимание на размерность слагаемых в формуле, учить проверять правильность решения задач, анализируя размерности. Учить анализировать алгебраический ответ задачи»\*.



Минаков считал важнейшими правилами преподавателя, ведущего практические занятия по курсу механики, следующие:

«Показать, что все задачи по механике вполне по силам студенту».

«Ликвидировать задачебоязнь».

«Сначала мысль = понимание, а затем математическое оформление решения задачи».

В беседе с молодыми преподавателями университета о типовых задачах, сводящихся к рассмотрению систем сходящихся сил в статике, он говорил: *«Надо учить механике, а не решению косоугольных треугольников».*



В его курсе механики было много методических находок и открытий. Но в подлинно минаковском стиле изложения их сохранилось очень мало. В сохранившихся черновиках мы нашли только «математический скелет» раздела «Кинематика». По нашим записям лекций Минакова трудно восстановить «плодовитое раздумье, вразумительную речь» учителя. Следует, однако, привести один из примеров.

Большинство механиков-инженеров по опыту практической работы знает, что область применения теоремы об изменении кинетической энергии является более обширной, нежели область применения теоремы об изменении количества движения. Во многих учебниках по механике приводятся слова Энгельса. «...механическое движение действительно обладает двойкой мерой. ...Если имеющееся уже налицо механическое движение переносится таким образом, что оно сохраняется в качестве механического движения, то оно передается согласно формуле о произведении массы на скорость. Если же оно передается таким образом, что оно исчезает в качестве механического движения, воскресая снова в форме потенциальной энергии, теплоты, электричества и т. д., если, одним словом, оно превращается в какую-нибудь другую форму движения, то количество этой новой формы движения пропорционально произведению первоначально двигавшейся массы на квадрат скорости»\*\*.

По нашему мнению, только Минакову удалось дать логически безупречную трактовку большого могущества теоремы об изменении ки-

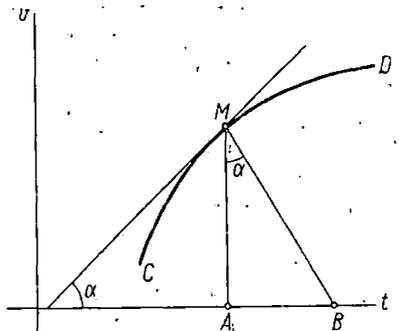
\* В. П. Лишевский. Некоторые вопросы методики преподавания статики. М., изд-во Московского текстильного института, 1957, стр. 8.

\*\* Ф. Энгельс. Диалектика природы. М., Госполитиздат, 1955, стр. 69.

нетической энергии. Рассмотрим простейший случай прямолинейного движения точки  $M$ , и пусть масса точки равна 1. Пусть закон изменения количества движения задан в виде кривой  $CMD$  (рис. 1). Легко понять, что

$$\frac{d}{dt}(mv) = \frac{d}{dt}(v) = \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол наклона касательной к кривой  $CMD$  в точке  $M$ . Таким образом; изменение количества движения точки будет одинаковым для всех кривых, получаемых переносом  $CMD$  параллельно самой себе. Теорема о количестве движения точки учитывает только *изменяемость величины* количества движения, но не принимает во *внимание, какова эта величина в данный момент времени*. Минаков говорил обычно, что теорема о количестве движения схватывает изменяемость процесса, но не учитывает интенсивности процесса. Вычислим отрезок  $AB$  (длину субнормали).



Будем иметь:

$$AB = AM \operatorname{tg} \alpha = mv \frac{d}{dt}(mv) = v \frac{d}{dt}(v) = \frac{d}{dt}\left(\frac{v^2}{2}\right).$$

Следовательно, если мы желаем учесть одновременно, т. е. в единой мере движения, и интенсивность процесса (величину  $AM = mv$ ), и изменяемость (текучесть) процесса (т. е.  $\frac{d}{dt}(mv) = \operatorname{tg} \alpha$ ), то мы должны рассматривать изменение *кинетической энергии точки* или величины, ей пропорциональной (при  $m \neq 1$ ). Из этих рассуждений видно, что *изменение кинетической энергии более полно характеризует* процесс механического движения. Минаков говорил, что  $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$  гораздо более универсальная мера движения, нежели  $(mv)$ , так как эта мера «учитывает, что есть в данный момент, и то, как процесс разворачивается во времени». Вся механика Лагранжа изложена под девизом: «Да здравствует кинетическая энергия».



В последнее десятилетие своей жизни (по-видимому, с 1946/47 учебного года) Андрей Петрович много занимался вопросом о мерах механического движения. Он считал, что «всю динамику нужно излагать под знаком поисков универсальной меры механического движения, а не как науку об интегрировании дифференциальных уравнений».

А. П. Минаков хорошо знал философские работы классиков марксизма. Он пытался трактовать основные понятия теоретической механики с позиций материалистической диалектики. Мы нашли у него следующие записи к вступительной лекции по кинематике. Он начинает с цитаты из работы К. Маркса «К критике политической экономии» (Партиздат, 1935, стр. 41): «Как количественное бытие движения есть время, точно так же количественное бытие труда есть рабочее время»\*. (Подчеркнуто Минаковым.) Далее он пишет: «Движение, как и сила, есть проявление взаимодействия двух материальных тел. Движение состоит в изменении взаимного вектор-расстояния между двумя точками. Поэтому безразлично, о движении которого из тел (точек) говорить. Если ввести третье тело, то появляется возможность определить: движется ли первая точка, вторая, или та и другая. Таким образом, понятие движения относительно. Пояснение: Ночь, вы на плоту (плавающему по реке); вдали виден движущийся огонек (больше ничего не видно). Что здесь движется? Что угодно. Наступает рассвет, появляется берег (третье тело), и вы устанавливаете истину».

«Так как взаимодействие = изменение, то движение протекает во времени. Движение есть изменение взаимного вектора расстояния двух тел во времени, или: вектор-взаиморасстояния, являющегося функцией времени  $f(\vec{t})$ ; т. е.  $\vec{r} = f(\vec{t})$ ».



Из стенограммы лекции Минакова в Московском текстильном институте: «Я уже в кинематике говорю об ускорении, как о силе, потому что я всегда очень боюсь формализма в рассуждениях об ускорении; здесь настолько мало ощутима физическая сущность, что слушатель может воспринять все очень формально, а если я буду говорить о силе, то вы будете ощущать ускорение».



Он говорил на одной из лекций по методике преподавания курса теоретической механики: «Основное содержание университетского курса — учение о механическом взаимодействии. Статика — учение о взаимодействиях (контактных, преимущественно), как таковых. Кинематика — учение об изменениях механического состояния. Динамика — учение об изменениях механического состояния, как результат взаимодействий».



А. П. Минаков особенно любил подчеркнуть при выводе теоремы Кориолиса, что одна половина кориолисова ускорения (равная  $\vec{\omega} \times \vec{v}_{отн}$ ),

\* Аристотель говорил: «Время есть число движения». См.: А. Н. Крылов. Мысли и материалы о преподавании механики. М., Изд-во АН СССР, 1943, стр. 9.

обусловлена влиянием переносного движения на относительную скорость (благодаря наличию  $\vec{\omega}$  вектор  $\vec{v}_{\text{отн}}$  дополнительно изменяет свое направление), а вторая половина ( $\vec{\omega} \times \vec{v}_{\text{отн}}$ ) обусловлена влиянием относительного движения на переносное (благодаря  $\vec{v}_{\text{отн}}$  точка переходит в область других переносных скоростей). Ход рассуждений был примерно следующий. Скорость конца вектора скорости есть ускорение. Дополнительная скорость конца  $\vec{v}_{\text{отн}}$  обусловлена наличием  $\vec{\omega}$ . Вектор дополнительного ускорения будет  $\vec{W}_1 = \vec{\omega} \times \vec{v}_{\text{отн}}$ , так как добавочный (благодаря наличию  $\vec{\omega}$ ) поворот вектора  $\vec{v}_{\text{отн}}$  обусловлен вращением подвижного пространства с угловой скоростью  $\vec{\omega}$ .

Если относительное положение движущейся точки (например, относительно базиса, имеющего начало отсчета в какой-либо точке вектора  $\vec{\omega}$ ) в момент  $t_1$  задано вектором  $\vec{r}_1$ , то ее скорость  $\vec{v}_1 = \vec{\omega} \times \vec{r}_1$ . В момент  $t_2 = t_1 + \Delta t$  благодаря относительной скорости положение точки изменится и ее скорость будет равна:  $\vec{v}_2 = \vec{\omega} \times (\vec{r}_1 + \Delta \vec{r}_{\text{отн}})$ . Дополнительное ускорение будет равно:

$$\vec{w}_2 = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} = \vec{\omega} \times \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}_{\text{отн}}}{\Delta t} = \vec{\omega} \times \vec{v}_{\text{отн}}.$$

Следовательно, полное добавочное (кориолисово) ускорение будет:

$$\vec{w}_{\text{кор}} = \vec{w}_1 + \vec{w}_2 = 2(\vec{\omega} \times \vec{v}_{\text{отн}}).$$



Он знал, а иногда импровизировал образные запоминающиеся сравнения. Так, рассказывая студентам в первый раз о понятии момента силы относительно точки и действия силы на рычаг, он вспоминал, что Галилей арифметическую величину момента силы называл греческим словом «ρωλη» (ропé), что означало «вес (значение) человека в обществе». Улыбаясь, Минаков рисовал большую силу с малым плечом и маленькую силу с весьма большим плечом и говорил: «Вот, видите, что значит иметь большое плечо (или «большую руку»): сила-то комариная, а вертит рычаг посильнее «гения», потому что у комариной силы великое «ρωλη».



Он учил: «Механические воздействия между материальными телами количественно измеряются или силой, или моментом пары сил. Как нельзя свести поступательное движение к вращательному (это два прос-

тейших, несводимых друг к другу движения), так сила и пара сил есть несводимые друг к другу меры механических взаимодействий».



Из его записей к вводной лекции в университете: «Мера движения = материализация движения» «Материализация силы = точка приложения». «Силы нельзя складывать». «Факт: одна сила никогда не дает чистого вращения». «Крах гипотезы абсолютно твердого тела = статически неопределимые задачи». «Торжество кинетической энергии: принцип наименьшего действия  $\Delta \int 2T dt = 0$ ».



Минаков придавал большое значение рассмотрению аналогий при решении различных задач механики. Так, в курсе механики, который он читал в университете, всегда подчеркивались следующие аналогии:

а) Прямолинейное равноускоренное движение материальной точки и равноускоренное вращение твердого тела около неподвижной оси.

Элементы аналогии:

Расстояние  $s$  и  $\varphi$  — угол поворота;

Линейная скорость  $v$  и  $\omega$  — угловая скорость;

Линейное ускорение  $a$  и  $\varepsilon$  — угловое ускорение;

Масса  $M$  и  $I_{zz}$  — осевой момент инерции тела;

Сила  $F$  и  $m_z$  — момент активных сил относительно оси вращения.

б) Приведение системы сил в статике и приведение системы угловых скоростей в кинематике.

Элементы аналогии:

Сила — вектор скользящий и угловая скорость — вектор скользящий;

Момент пары сил — вектор свободный и момент пары угловых скоростей — вектор свободный.

в) Дифференциальные уравнения несвободного движения точки и дифференциальные уравнения равновесия гибкой нерастяжимой нити.

Элементы аналогии:

Натяжение нити и скорость движущейся точки.

Силовая функция поля для нити и силовая функция поля для точки.

Рассмотрение аналогий закрепляет знания студента и *воспитывает правильное научное мышление*. Преподаватель должен всегда помнить, учил Минаков, что в «мозгу учащегося нет тропинки, по которой развивалась мысль ученого-первооткрывателя».

Мы нашли у него в записках следующие слова Н. Е. Жуковского: «Обыкновенно думают, что цель математического исследования яв-

ления природы заключается в *вычислении всех величин*, характеризующих это явление, и когда достижение этой цели превышает средства математического анализа, тогда исследование данного явления считается недоступной математической задачей. Но я полагаю, что *такой взгляд на значение математического исследования явлений природы слишком узок*. Кроме возможности вычислять величины, характеризующие явление, математический анализ устанавливает связь между этими величинами, знакомит нас с ходом явления и его особенностями, а иногда позволяет усмотреть *математическую аналогию двух явлений*, которые по своей физической природе могут быть совершенно различны. ...Мы можем на основании найденной аналогии все разрешенные задачи в одной области физических явлений преобразовать в соответственные задачи в другой и получить... решение последних. ...Если одно из двух математически аналогичных явлений *сложно и трудно наблюдать*, а другое может быть осуществлено на простом приборе, позволяющем измерять параметры, характеризующие явление, то опытное изучение второго явления может расширить наше знакомство с первым, несмотря на то, что оба явления могут представить неразрешимую математическую задачу»\*.



Минаков писал об организации самостоятельной работы студенчества: «Великие примеры (Лейбн, Эйлер) учат нас, что в работе важна ее систематичность и непрерывность, то есть ежедневность, ежечасность. Именно эту непрерывность и надо стремиться осуществить каждому учащемуся. *Это значит, что надо работать с первого дня семестра и до его последнего дня*. Бывают случаи, когда студенты пытаются изучить какой-либо предмет в несколько предэкзаменационных суток. Предположим, что им удастся удачно ответить экзаменатору. Но о чем это говорит? Только о том, что студенты обладают хорошей формальной памятью. Освоить же в таких условиях предмет по-настоящему, понять его, продумать, научиться применять, конечно, невозможно. *Ведь глубокое, прочное знание появляется лишь тогда, когда достаточно развиты навыки научного мышления*. ...Непрерывность в работе как в течение одной недели, так и на протяжении всех лет обучения в вузе является первым признаком правильной, рациональной организации времени».

«Длительная продуктивная работа нашего интеллекта нуждается в определенной ритмичности. Ни на минуту не отказываясь от постоянства в работе, необходимо в то же время периодически изменять ее содержание. ...Заниматься нужно не исключительно одним каким-либо

\* Н. Е. Жуковский. Полн. собр. соч., т. I. М.—Л., ОНТИ, 1937, стр. 478.

и почему-либо выбранным предметом, а периодически переносить свое внимание с одной дисциплины на другую. Это необходимо не только для того, чтобы избежать переутомления. Учащийся должен уметь чередовать свою работу уже и потому, что ему приходится изучать несколько предметов. Следовательно, надо двигать фронт своего «наступления» равномерно, чтобы потом, за два дня до экзамена не пришлось делать разрозненных судорожных «прорывов» \*.



Минаков не раз читал лекции перед студентами первого и второго курсов по вопросу о подготовке к экзаменационной сессии. Вот несколько сохранившихся записей к одной из таких лекций. Обращаясь к аудитории, Минаков говорит: «Знакома ли вам такая фраза: «Ну, ладно, уж эту сессию как-нибудь прокачу, а вот со следующего семестра, с первого дня начну...»; «Вопрос об экзаменах неотделим от вопроса об учебе. Вот ключ!»; «Подготовка к экзамену уводит вдумчивого студента все дальше и дальше к началу семестра и даже — началу учебы».



К сожалению, среди большой армии преподавателей высшей школы имеется ряд лиц, которые стремятся превратить экзамены по данному предмету в инквизиционный допрос с различными оттенками унижения личности студента и стремлением показать, «какой я умный и талантливый продукт великой эпохи». Мне хорошо известны случаи, когда экзаменатор предлагал на экзамене студенту очень трудный вопрос «на блиц-сообразительность», хотя над этим вопросом сам преподаватель думал полгода. Минаков требовал всегда спокойной, рабочей обстановки на экзаменах. Он говорил: «лучше переоценить, чем унижить». Заметим, что К. Э. Циолковский, подводя итоги своего педагогического опыта в средней школе, писал: «Отметки ставил щедро, и это не только не вредило, но даже способствовало работе и успеху учеников» \*\*.



Андрей Петрович выступал «по поводу сообщения об успеваемости студентов» в Московском текстильном институте 7/X 1953 г. Сохранилась его следующая запись: «Анализирую опять. Есть прежде всего *теневые* стороны наших экзаменов: а) зависимость получения стипендии от результата экзаменов; б) межфакультетское соревнование показателей успеваемости; *Да, да, только показателей!* Хочу сказать,

\* А. П. Минаков. Цена времени. «Советское студенчество», 1947, № 4.

\*\* Архив АН СССР, ф. 555, оп. 2, д. 8.

что *социалистическое* соревнование есть прежде всего *честное соревнование по существу*, а не соревнование вывесок, соревнование бутафории, соревнование витрин».



В его черновых записках (в материалах к статье «Цена времени») подчеркнута следующая замечательная мысль В. И. Ленина: «...небрежность, неряшливость, неаккуратность, нервная торопливость, склонность заменять дело дискуссией, работу — разговорами, склонность за все на свете браться и ничего не доводить до конца...» \* — один из самых вредных пережитков, доставшихся нам от капиталистического мира.



При подготовке к проведению лекции Минаков рекомендовал учитывать следующие моменты:

«Освоение помещения, где будет происходить лекция, и доски;

Разучивание текста и чертежей;

Разучивание своего поведения в аудитории, тренировка жестов и голоса;

Освоение демонстрационного материала;

Учет времени («чувство времени»);

Он говорил, что нужно иметь в виду опасность «слишком твердо-го» знания материала и «коварство» зрительной памяти».



Он требовал от лектора вуза такого освоения читаемого материала, чтобы он стал его внутренним открытием, собственным убеждением, его правдой. «Соответственно этой внутренней правде должна быть на 100% и внешняя сторона = эстетическая = манера = стиль = голос (тембр) + мимика + жест (соответствующий правде)». Для внешней стороны поведения лектора Минаков опять обращал внимание на рекомендацию Станиславского: «Здесь своя правда — свобода мышц» \*\*.



В своем курсе «Методика преподавания теоретической механики» Минаков уделял большое внимание рассмотрению психологического

\* В. И. Ленин. Соч., изд. 4, т. 26. М., Госполитиздат, стр. 373.

\*\* Вот формулировки этой мысли у К. С. Станиславского: «Я лишь подметил на других и на себе самом, что в творческом состоянии *большую роль играет телесная свобода, отсутствие всякого мышечного напряжения* и полное подчинение всего физического аппарата приказам воли артиста. ...В творческом состоянии большую роль играет полная свобода тела, т. е. *освобождение* его от того мышечного напряжения, которое бессознательно для нас самих владеет им не только на сцене, но и в жизни».

воздействия на слушателя. Он обычно анализировал поведение на лекциях крупных ученых — его учителей и современников. Вот краткие записи Минакова по данной проблеме:

- «— Паузы — задумье (Захарьин\*, Жуковский);
- Ирония — издевка (Эйхенвальд);
- Внезапные срывы («Вам не скучно?», «Не слишком быстро?»);
- Лженеумение;
- Чистое воображение («Ночь, тьма. Вы на плоту, а вдали огонек»).

Он говорил: «Главная цель профессора высшей школы состоит в развитии интеллекта (intelligo — понимаю) при помощи данного предмета» (данной научной дисциплины). Логика данной науки является одним из «кирпичиков» стройного здания, именуемого «общая теория познания».



Вот пример переключки современников:

Макаренко А. С. «Истинным стимулом роста человека является завтрашняя радость». «Воспитать человека — значит воспитать у него перспективные пути, по которым располагается его завтрашняя радость».

Минаков А. П. «Я пришел к вам, чтобы развернуть перед вами перспективы огромной радости и внутреннего ослепительного света и тепла творческого научного труда, дать перспективу завтрашней радости и целеустремленности» (из вступительной лекции).



Он говорил: «Если вам предстоит трудная лекция с длинными математическими выкладками и преобразованиями, то лучше предупредить слушателей о том, что сейчас будут трудные вычисления, и тем создать атмосферу полного спокойствия». Минаков с иронией отзывался о репликах некоторых профессоров в аналогичных обстоятельствах: «Поскорее пишите, не в писании дело — потом разберетесь».



Он говорил: «Человечность в отношениях со слушателями — ключ к решению многих педагогических задач».

---

\* Г. А. Захарьин (1829—1897) — выдающийся русский клиницист-терапевт. Много лет работал над реформой высшего медицинского образования. Талантливый и оригинальный лектор. По-видимому, Андрей Петрович знал о его манере чтения лекций от своего отца, который окончил медицинский факультет Московского университета в 1891 г.

Вот рекомендации Минакова к первой лекции по курсу теоретической механики:

«Многие лекторы на первой лекции начинают подробно рассказывать историю механики. Имена великих людей так и сыплются из их уст: Галилей, Ньютон, Эйлер, Лагранж, Ковалевская и т. д. и т. п. Такие преподаватели забывают, что человеку, не знакомому с механикой, тяжело оценить тот вклад, который внесли эти ученые в науку. Студенты ждут сути, желают получить ответ на вопрос, *что же такое Теоретическая механика*, а лектор называет имена, которые им мало что говорят, и пытается объяснить то, что понять без подготовки трудно. Поэтому лучше на первой лекции не рассказывать историю развития механики, а *рассказать ее по ходу изложения курса*. Пойдет в динамике речь о законах Ньютона, и вот тогда можно рассказать о жизни великого английского ученого. Излагаете аналитическую механику и вот здесь очень уместно рассказать о Лагранже и Остроградском. Так история механики и биографии великих людей органически будут связаны с читаемым вами курсом»\*.



Если при изложении какого-либо доказательства, утверждения или принципа преподаватель ошибся (или, что еще хуже, забыл ход рассуждений), то Минаков рекомендовал в этих случаях честное и откровенное определение «существа дела», так как он отлично понимал, что студенческая аудитория с необыкновенной чуткостью и пронзительностью отличает правду от лжи.



Его лекции все слушали внимательно, а многие с увлечением. Мне, прослушавшему университетский курс Минакова дважды, ни разу не пришлось наблюдать недисциплинированности во время исполнения лекции. Но в университете были студенты, которые не посещали его лекций, считая их «умирающим романтизмом в точных науках». Иногда такие скептики приходили в аудиторию под нажимом деканата и вели себя бестактно. Андрей Петрович умел (по рассказам студентов) едким, разящим словом побудить мешающего или слушать внимательно, или не отвлекать других. Эти его сарказмы никогда не адресовались прямо к виновному, но всегда достигали цели. Минаков очень не любил говорить о дисциплине во время исполнения лекции.



Студенческий вечер в коммунистической аудитории университета. Выступают и профессиональные артисты, и студенты-любители искусств.

\* В. Н. Л и ш е в с к и й. Некоторые вопросы методики преподавания статистики. Изд-во Московского текстильного института, 1957, стр. 14.

ва. Вдруг объявление: «Сейчас прочтет стихи Сергея Есенина профессор механики Андрей Петрович Минаков». Мгновенный взрыв аплодисментов и необычная тишина, заинтересованность всего зрительного зала; у многих скептицизм и удивление в улыбках и взорах.

Я слышал и видел исполнение Минаковым стихотворения «Черный человек» дважды: первый раз в большой аудитории и второй раз в кругу его друзей. За несколько секунд до начала чтения профессор Минаков исчезал, как бы по волшебству преображаясь в другого человека; на сцене или перед вами появлялся Сергей Есенин, так сказать, собственной персоной: талантливый, мятущийся, иногда безжалостно грубый и резкий и к себе, и к любимой женщине, ищущий настоящего, понимающего друга. Мне почему-то становилось страшно — где-то в глубине души я догадывался о «цене» такого перевоплощения.



Можно прочесть у знаменитого Гюйгенса: «Чрезмерно мудрый не может начать». Приходится только сожалеть, что в условиях нашей вузовской жизни не нашлось стимулов для написания Минаковым двух книг по механике: «Курс механики для университетов» и «Методика преподавания механики». Даже неполные и неточные сохранившиеся записки студентов имеют непреходящую научно-методическую ценность. На однообразном фоне наших педагогических «открытий» в вузовском преподавании *искания Андрея Петровича будят мысль и освежают душу.*



Он говорил: «Радостно учиться самому и учить других». «Входя в аудиторию и говоря *первое слово*, ты должен знать свое *последнее слово*». «Если лектору у доски скучно, то аудитории вдесять раз скучнее».



Минаков часто цитировал следующие высказывания А. С. Макаренко: «Тупое безразличие (учеников) было продуктом длительного воспитательного процесса и в известной мере доказывает *великое могущество педагогики*. ...«Наше учительство сейчас очень страдает от серости, скуки и ложной добротельности собственных приемов». ...«Я уверен в совершенно беспредельном могуществе воспитательного воздействия». Мы добавим, что хорошее воспитание не менее важно, чем природа; к тому же воспитание находится в наших руках, в то время как целенаправленные изменения наследственных признаков лежат еще в области мечтаний.

В последнее десятилетие появилось большое число статей по вопросам воспитания и образования за рубежом. Особенно интересны статьи профессора Д. Пойа. Эти статьи были обработаны им и изданы в виде двух книг-монографий. Эти книги появились недавно в переводе на русский язык\*.

Система взглядов профессора Д. Пойа близка к педагогической системе Минакова. Вероятно, эта тема заслуживает более детального рассмотрения, но нам хочется привести здесь некоторые высказывания Д. Пойа, звучащие по-минаковски:

«Эта книга («Математика и правдоподобные рассуждения») для тех,

кто желает понять, как догадываются;

кто желает научиться догадываться;

кто желает учить догадываться».

«Обучение должно подготавливать к изобретению или, по крайней мере, давать некоторое представление об изобретении».

«Давайте учить догадываться».

«Математика в процессе создания напоминает любые другие человеческие знания, находящиеся в процессе создания. Вы должны догадаться о математической теореме, прежде чем вы ее докажете; вы должны догадаться об идее доказательства, прежде чем вы его проведете в деталях. Вы должны сопоставить наблюдения и следовать аналогиям; вы должны пробовать и снова пробовать».

И хотя Д. Пойа во многих местах книги подчеркивает, что он не может рассказать, «как происходило открытие, потому что этого ...никто не знает», и что он не верит в существование педагогической системы, «позволяющей научить догадываться», весь строй книги Д. Пойа подчинен идее проникновения в механизм человеческого математического творчества и выработке системы рекомендаций для самостоятельно обучающегося и для педагога, позволяющих будить (возбуждать) творческие силы ума. Он пишет: «Я попытаюсь придумать правдоподобную историю того, как открытие могло произойти. Я попытаюсь выявить мотивы, лежащие в основе открытия, правдоподобные умозаключения, которые к нему привели».

Анализ ряда прогрессивных открытий в математике приводит Д. Пойа к выводу, что «Смелость ума, честность ума и мудрая сдержанность — моральные достоинства ученого».

В наши дни мы почти перестали говорить об эмоциональной стороне творчества в точных науках; мы больше заботимся о совершенствовании

---

\* Д. Пойа. Математика и правдоподобные рассуждения. М., Изд-во иностр. лит., 1957; его же. Как решать задачу. М., Учпедгиз, 1961.

памяти, быстродействия и надежности электронных счетных машин, нежели о совершенствовании этики, эстетики, морального облика ученого. Это большая ошибка.

*Воспитание ученого, творца нового есть в современных условиях важнейшая государственная задача.* Это понимают в наши дни уже многие. Но проблема «как это сделать» остается пока неразрешенной. Поиски идут в различных направлениях, и система Минакова представляется наиболее обещающей и наиболее проверенной опытом преподавания.



Приведем еще здесь перечень основных качеств ученого по взглядам одного американского исследователя; эти качества несомненно следует иметь в виду профессору-воспитателю советской высшей школы.

Вот эти качества\*:

*Знание:* открытие новых идей основывается на обладании знаниями; объем знаний должен быть достаточным, чтобы обеспечить возникновение их отпрыска — идеи;

*Способность к самообразованию:* без такой способности к работе над собой ученый лишен возможности пополнять свои знания, а потому непригоден к творческой деятельности;

*Любознательность:* необходимейшее качество, так как без стремления к познанию немислима никакая научная работа;

*Наблюдательность:* т. е. внимательное, до мельчайших деталей восприятие окружающего; без такого восприятия научный анализ будет бесплодным;

*Память:* без склада в памяти старых идей невозможно знание, а следовательно, и научная работа;

*Интеллектуальная собранность:* т. е. постоянная готовность всех интеллектуальных свойств ученого к действию;

*Скептицизм:* т. е. критическое восприятие всех явлений: уважение фактов, а не мнений;

*Воображение:* т. е. создание новых идей на основе имеющихся у ученого знаний;

*Энтузиазм:* т. е. проявление у ученого искреннего и горячего интереса к его творческой деятельности;

*Настойчивость:* т. е. наличие у ученого воли, упорства и решительности в достижении поставленных задач, особенно при встрече с трудностями.

Легко усмотреть, что многие из приведенных выше формулировок звучат по-минаковски\*\*.

\* Из статьи, помещенной в «Transaction of IRE», т. III, 1955, стр. 39—50.

\*\* Мы думаем, что у каждого поколения ученых есть свои нужды, свои заботы и свои решения. Довольно часто передовые люди разных стран приходят к тождественным решениям.



Минакову очень нравились следующие слова из выступления французского ученого (учителя Лавуазье) Газенфраца в Конвенте 5 июня 1793 г. при представлении группы ученых (Монж, Карно, Лаплас, Лагранж, Фурье), хотевших помочь обороне Франции: «Усиливайте, совершенствуйте французскую промышленность, и вы сделаете жителей страны самыми сильными, самыми богатыми и благоденствующими в Европе. Страна становится сильной в такой же мере благодаря промышленности и ее гражданам, как и благодаря их мужеству, и степень ее силы измеряется силою ее богатств. *Но поскольку промышленное богатство все более и более становится результатом практического приложения научных знаний, в конечном счете именно наука определяет живую силу нации*»\*.

Минаков писал: «Творческий труд любит плановость, систему и четкость в выполнении намеченного и заданного. Он обязывает высоко ценить время»\*\*.



Он говорил: «В искусстве (и технике) преподавания механики существенную роль играют общие принципы дидактики». В одной из сохранившихся программ, подписанной А. П. Минаковым 2 апреля 1952 г., эти принципы формулированы в следующем виде:

- «— Научность и связь теории с практикой;
- Наглядность в обучении;
- Активность и сознательность учащихся;
- Систематичность и доступность в изложении;
- Индивидуальный подход к обучающимся».



Минаков говорил: «У каждого преподавателя должна быть заветная тетрадь (нечто вроде записной книжки писателя), в которой следует коллекционировать интересные примеры из жизни и техники».

Можно для пояснения этой мысли привести два таких запомнившихся нам примера. Андрей Петрович умело их использовал при чтении лекций по теме «Теория малых колебаний».

1. «Триста пятьдесят лет тому назад Галилей в Флорентийском кафедральном соборе, видимо, с гораздо большим вниманием следил за качаниями паникадила, нежели слушал мессу и проповедь архиерея. Паникадило, висевшее из высокого купола собора, совершало размахи мед-

\* Подчеркнуто А. П. Минаковым.

\*\* А. П. Минаков. Цена времени. «Советское студенчество», 1947, № 4.

ленно, примерно в 7 секунд, справа налево, так что Галилею было легко вести двойной счет числа размахов и биений своего пульса. Месса была длинная; размахи паникадила становились все меньше и меньше, а между тем *продолжительность каждого размаха оставалась неизменной*. Так, по преданию, Галилей открыл свойство *изохронности* малых колебаний маятника»\*.

2. «Кажется, во времена наполеоновских войн в Испании через какой-то мост шел отряд войска, твердо отбивая шаг (вероятно, на мосту или за мостом стояло какое-нибудь важное начальство). Мост был цепной, лихо отбиваемый шаг как раз пришелся в такт с периодом колебаний моста, размахи увеличились настолько, что цепи оборвались и мост обрушился в реку. После того во всех армиях держалось правило — при переходе через мост не идти «в ногу» и «шаг не отбивать»; но лет шестьдесят тому назад в тогдашнем Петербурге был через Фонтанку цепной мост, который назывался Египетским, шел через него эскадрон гвардейской кавалерии, не помню какого полка, лошади хорошо обученные, особенно стройному церемониальному маршу, шли в ногу, отлично отбивая шаг, который и совпал в такт с колебаниями моста, — цепи лопнули, мост обрушился в воду, погибло чуть ли не 40 человек». *Явление резонанса* получило лишний раз наглядное подтверждение»\*\*.



Он говорил студенческой молодежи: «Наука для вас! Буду нести ее к вам — «горяченную».



Из его заметок к лекции: «Надо, хочется перестроить все *понимание* механики. Почему? Потому что это можно сделать — можно *найти и дать правду*... «Что до сих пор? Диалектический материализм сам по себе, наши предметы — сами по себе».



Андрей Петрович на практических занятиях по курсу теоретической механики. Последний час учебного дня. Все устали, реакции медлительны. Наконец задача решена, и студент пишет в числителе окончательной формулы (в ответе) 0,5. Молчание. Вспросительный взгляд на Миникова. Андрей Петрович нарочито подчеркнутым жестом, которому позавидовал бы Шаляпин, берет себя за подбородок и погружается в раздумье. Наконец голосом, полным сомнений: «посмотрите, как в ответе у Мещерского?» Студент, сначала волнуясь, а потом радостно: «в от-

\* А. Н. Крылов. Вибрации судов. Судпромиздат. М., 1936, стр. 3.

\*\* Там же, стр. 7, 8.

вете  $\sin 30^\circ$ , но Андрей Петрович, ведь  $\sin 30^\circ = 0,5$ . И тотчас же возглас Минакова: «Гениально!» Общй смех, смена настроения, рабочий трудовой ритм занятия восстановлен.



Из его записей по вопросу, как учить обобщать понятия и идеи: «Простое число, комплексное число («двойка» чисел), вектор («тройка» чисел), симметричный тензор второго ранга («шестерка» чисел), общий тензор второго ранга («девятка» чисел, тензор « $n$ »-го ранга (« $n^2$ » чисел), матрица с  $n$  столбцами и  $m$  строками (« $nm$ -чисел»).

«Рассмотрим геометрически: годограф радиуса-вектора движущейся точки (траекторию), годограф вектора скорости  $\vec{v} = \dot{\vec{r}}$ , годограф вектора ускорения  $\vec{\omega}_1 = \dot{\vec{v}}$ , годограф вектора скорости ускорения  $\vec{\omega}_2 = \frac{d\vec{\omega}_1}{dt} = \ddot{\vec{r}}$  и т. д., тогда скорость конца радиуса-вектора есть  $\vec{v}$ , скорость конца вектора скорости на годографе скорости есть ускорение  $\vec{\omega}_1$ , скорость конца вектора ускорения на годографе ускорения есть  $\vec{\omega}_2$  и т. д.»



В его бумагах сохранилась следующая, тщательно сделанная запись под заглавием «Слова «винтика»: «Если бы можно было начать жизнь снова, я бы выбрал опять эту профессию. Я наслаждаюсь, работая в школе. Я чувствую себя творцом будущих жизней. Это ощущение никогда меня не покидает. И если с годами седеют мои волосы, то не было и нет седины в моем сердце». Мы убеждены, что так думал и Андрей Петрович Минаков.



#### АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ИСТОЧНИКОВ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ А. П. МИНАКОВА

(по следам его сохранившихся записок)

Коллективная работа, ставшая необходимой во многих исследованиях, конечно, никогда не заменит интенсивных усилий ума, размышляющего в уединении.

(Луи де Бройль)

I. Мы располагали двумя тетрадями А. П. Минакова, в которых собраны высказывания классиков марксизма-ленинизма, выдающихся педагогов, ученых и писателей. Многие цитаты классиков — создателей материалистической диалектики — мы использовали при изложении ос-

новных положений педагогической системы А. П. Миннакова. Здесь мы приведем высказывания различных авторов о методике преподавания, главных целях научного исследования и основных задачах механики как науки о простейшей форме движения. Мы думаем, что приводимые материалы показывают не только широту научного кругозора Андрея Петровича, но и его целеустремленный поиск таких методов изложения теоретической механики, которые подтверждали бы его педагогическую систему. Мы сохранили подчеркивания тех мыслей, которые, по-видимому, наиболее импонировали собственным убеждениям Миннакова. Для удобства современного читателя цитаты приводятся по более доступным изданиям (и переводам на русский язык), хотя многие из записей Миннакова сделаны по подлинникам на английском, французском, немецком и итальянском языках.



Е. Линде. Педагогика личности, 1897, стр. 185—188.

*«Этого и не хватает всем многоречивым «методикам»: они не дают нам возможности увидеть личность педагога, они, наоборот, старательно скрывают ее. На этом, главным образом, и покоится основание той внутренней пустоты и скуки, которая охватывает читателя: нет человека, который говорил бы с нами и испытывал то, что говорит. Поэтому и все человеческое в нас остается нетронутым и неудовлетворенным...»*

Дело в том, что самая «искусная» обработка материала оставляет без внимания его воспитательную силу и действие. Метод является «золотым тельцом», которому поклоняется педагогический мир, которого он алчет, как чего-то необходимого...

Против этого я выдвигаю следующее положение: *метод отнюдь не в состоянии осуществить то, чего от него ожидают. Никакой педагогический материал не может в силу обработки по каким бы то ни было нормам сделаться воспитательным. Разве не должно было бы казаться достаточно ясным хотя бы потому, что цель воспитания, как вполне справедливо признается, заключается не только в знании, но и в пробуждении целой личности воспитанника. Но как может создаваться личность, как не другой личностью и в духовном и в физическом смысле?*

Личность педагога — вот единственное, что необходимо во всяком преподавании, во всяком воспитании...

*Сочетание педагогического материала с собственной душой, это взаимное растворение является необходимой основой всякого истинного обучения: холодный, неинтересный педагог всегда поступает неметодично, даже если он добросовестно следует дидактике.*

*Если то, чему он учит, не живет в нем, и если эта внутренняя жизнь не выступает наружу в его преподавании, то он мучит своим матери-*

лом и себя и своих учеников. Воспитательный эффект при этом немислим. . .

*Правда, о педагогическом «чувствовании» мало что известно, по крайней мере, о нем мало говорилось. Между тем, оно является чрезвычайно важным и необходимым.*

Что необходимо ученикам в каждый данный момент, с какой стороны подойти к ним, как установить отношение между ними и предметом преподавания — все это и многое другое в подавляющей своей части является делом «чувствования» и не может быть замещено никакими рассуждениями или педагогическими правилами. *Кто в своей профессии имеет дело только с вещами, для того нет необходимости в чувствовании, так как вещи всегда остаются вещами, с ними всегда можно обращаться одинаковым способом, и способ, оказавшийся в одном случае плодотворным, остается таковым навсегда. Здесь главным является овладение техникой, и ее должен усвоить себе каждый. Кому же, как, например, педагогу, приходится иметь дело с людьми, т. е. вечно подвижными и изменчивыми вещами, тот должен иметь способность каждый раз следовать за всякими изменениями, приспособляться к изменению отношений, даже предупреждать намечающиеся изменения... Без этого нельзя обойтись и пяти минут, это, вероятно, испытал каждый.*

*... Мы хотим воспитывать . . . и тогда . . . непригодны одна только муштра и вколачивание знаний, для этого необходимо умение проникнуть до самых сокровенных глубин развивающейся личности и действовать так, чтобы там зародилось то, что при других обстоятельствах не проявилось бы.*

Таким образом, цель нашего воспитания и преподавания может выдержать сравнение с целью художественного творчества...

*Главной задачей педагога, над которой он должен работать всю жизнь, является усвоение педагогического материала, когда он, так сказать, срастается с его существом и расцветает в его собственной душевной жизни».*



К. Д. Ушинский. Избранные педагогические сочинения, т. 1, стр. 102.

«Всякая программа преподавания, всякая метода воспитания, как бы хороша она ни была, не перешедшая в убеждение воспитателя, останется мертвой буквой, не имеющей никакой силы в действительности. Самый бдительный контроль в этом деле не поможет.

Воспитатель никогда не может быть слепым исполнителем инструкции: *не согретая теплотою его личного убеждения, она не будет иметь никакой силы.* Нет сомнения, что многое зависит от общего распорядка в заведении, но *главнейшее всегда будет зависеть от личности, непосред-*

ственного воспитателя, стоящего лицом к лицу с воспитанником: влияние личности воспитателя на молодую душу составляет ту воспитательную силу, которую нельзя заменить ни учебниками, ни моральными сентенциями, ни системой наказаний и поощрений».



Профессор астрономии Московского университета В. К. Цераский (без указания источника): «Знание состоит из: *знать*, *понимать*, *уметь* (применить)».



Aschoff (медик): «Сначала знания, искусство затем, суждение всегда». (Источник не указан). Далее Минаков поясняет: «... т. е. чтобы быть хорошим лектором, надо: во-первых, содержание (*science*), во-вторых, искусство (*args*), и, особенно, всегда рассуждение».



Дж. Дьюи (педагог). Из "Credo".

«Воспитание, понимаемое таким образом, представляет собой *самый совершенный и тесный союз науки и искусства*, доступный человеческому опыту».

«Искусство формировать таким путем человеческие способности и приспособлять их для общественного служения есть *высший вид искусства, требующий услуг наилучших артистов*. Никакая способность проикновения, никакая симпатия, никакой такт и никакая исполнительность не будут чрезмерны для этой работы». (Пинкевич. «Хрестоматия по педагогике», изд. 2, т. III, стр. 133.)



Видаль (медик, открыл брюшной тиф и реакцию Видаля) правильно говорит:

«Книга бездушна, и на ее страницах мысль заключена в тесное неизменное выражение. Лекция же — это жизнь, она похожа на свершающееся перед вами действие, и лектор должен пользоваться всеми данными, пока он не почувствует, что в мысли слушателей проникла та идея, которую он хотел в них запечатлеть».

Лекции в студенческой жизни составляют только момент, но этого момента достаточно, чтобы оставить в тайниках их памяти неизгладимые следы. Воспоминания о школьном преподавании сохраняются на всю жизнь, они делаются помимо нашего желания как бы догматами веры». (Проф. М. Кончаловский. Клинические лекции, вып. 1. Биомедиздат, 1935, стр. 4.)



Щедрин («Мелочи жизни», гл. II Введения).

«Над всей школой тяготееет нивелирующая рука циркуляра. Определяются во всей подробности не только пределы и содержание знания, но и число годовых часов, посвященных каждой отрасли его. Не стремление к распространению знания стоит на первом плане, а глухая боязнь этого распространения. О характеристических особенностях учащихся забыто вовсе: все предлагаются скроенными по одной мерке, для всех предлагается один и тот же обязательный масштаб. *Переводный или неперево-дный балл — вот единственное мерило для оценки, причем не берется в со-ображение, насколько в этом балле принимает участие слепая случай-ность.*

*О личности педагога тоже забыто.* Он не может ни остановиться лишний пять минут на таком эпизоде знания, который признает важным, ни посвятить пять минут меньше такому эпизоду, который представляется ему недостаточно важным или преждевременным. Он обя-зывается выполнить букву циркуляра — и больше ничего. Но в таком случае почему же не прибегнуть к помощи телефона? Набрать бы в центре отборных и вполне подходящих к уровню современных требова-ний педагогов, которые и распространили бы по телефону свет знания по лицу вселенной, а на местах содержать тьюторов, которые наблюдали бы, чтобы ученики не повесничали. Мало того, при самом входе в шко-лу о всяком желающем знания наводится справка: дворянин или мещан-нин? Какого вероисповедания: православный, католик или, наконец, ев-рей? Для последних в особенности школа — время тяжелого и жгучего испытания. С юношеских лет еврей воспитывает в себе сердечную боль, проходит все стезжки неправды, унижения и рабства. Что же может вы-работаться из него в будущем?

Нет ни общей для всех справедливости, ни признания человеческой личности, ни живого слова. Ничего, кроме задачника Малинина и Буре-нина и учебников грамматики всевозможных сортов.

Что может дать такая школа? Что, кроме *tabula rasa* и особенной болезни, к которой следует применить специальное наименование «школьного худосочия»? Сонливые и бессильные высыпают массы юно-шей и юниц из школы на арену жизни, сонливо отбудут жизненную по-винность и сонливо же сойдут в преждевременные могилы».



2. При изучении динамики относительного движения и пояснениях сути принципа относительности классической механики (принципа Галилея—Ньютона) Минаков любил цитировать следующие стихотво-рения:

«Движенья нет, сказал мудрец брадатый.  
Другой молчал и стал пред ним ходить...  
Сильнее бы не мог он возразить,  
Хвалили все ответ замысловатый;  
Но, господа, забавный случай сей  
Другой пример на память мне приводит,  
Ведь каждый день пред нами солнце ходит,  
Однако ж прав упрямый Галилей».

(А. С. Пушкин)

«Случились вместе два Астронома в пиру  
И спорили весьма между собой в жару.  
Один твердил: Земля вертятся вокруг Солнца ходит,  
Другой, что Солнце все с собой планеты водит.  
Один Коперник был, другой был Птолемей...  
Тут повар спор решил усмешкою своей.  
Хозяин спрашивал: «Ты звезд течение знаешь?  
Скажи, как ты о сем сомненьи рассуждаешь?»  
Он дал такой ответ: что в том Коперник прав,  
Я правду докажу, на Солнце не бывав:  
Кто видел простака из поваров такого,  
Который бы вертел очаг вокруг жаркого?»

(М. В. Ломоносов)

3. Минаков в своих лекциях для преподавателей подчеркивал весьма большое значение геометрических интерпретаций и наглядных, образных представлений при усвоении главных, принципиальных положений теоретической механики. Чем проще и компактнее математический аппарат, тем меньше он отвлекает от размышлений по существу дела, тем лучше.

Он говорил на одной из лекций: «Большинство людей по способу мышления являются геометрами. У большинства людей геометрическое мышление развито лучше, чем аналитическое. А поэтому глубоко справедлива мысль Максвелла о познавательной ценности геометрической интерпретации Пуансо в теории движения твердого тела около неподвижной точки. Максвелл пишет: *«Пуансо подверг вопрос более действительному анализу, чем тот, на который способно исчисление; анализу, в котором представления заменяют место символов и легко понимаемые предложения преобладают над уравнениями».*

В. Л. Кирпичев. «Беседы о механике».

«Стараясь главным образом выяснить основные законы науки, их характер и значение для приложений, я применяю по возможности

*простые приемы доказательства. Может быть, в некоторых случаях они не удовлетворяют современным высоким требованиям относительно строгости выводов, но зато выигрывают в убедительности и гораздо более пригодны для первого ознакомления с основными принципами. ...Во многих местах этой книги я перехожу прямо на почву элементарного изложения. Делаю это с намерением, так как элементарные, непосредственные приемы доказательства всего лучше способствуют полному уяснению.*

Примеры я старался выбирать такие, которые бы имели *прикладное значение*. Необходимым условием для всех примеров поставлено требование, чтобы задача могла быть разрешена до конца».



A. Webster. Механика материальных точек, твердых, упругих и жидких тел. Л., ГТТИ, 1933.

*«Не может быть никакого сомнения в том, что возможность оперировать непосредственно с представлениями, а не с символами дает большие преимущества, в особенности для физиков.*

Введение Гамильтоном понятия векторных величин было крупным шагом в этом направлении».



Клеменс Шефер. Введение в теоретическую физику, т. I. Общая механика. М., ГТТИ, 1934.

*«Я старался не (обременить физическое ядро) загородить физическую сущность математическими исследованиями» (перевод с немецкого А. П. Минакова).*



F. Klein, A. Sommerfeld.

*«Формула доставляет нам простейшее и отчетливейшее описание происходящего движения; кроме того, она необходима в качестве основы для достоверного цифрового расчета. Но мы поставим требование, чтобы наше знание механики основывалось не на формуле, а наоборот, чтобы аналитические формулировки являлись бы естественным и очевидным завершением глубокого понимания механических соотношений (перевод А. П. Минакова).*



Минаков отмечает, что Галилей требует выражать мысли *«с помощью самых простых и подходящих слов».*

◆

L. Poincaré. Théorie nouvelle de la rotation des Corps, p. 80.

«Ни в коем случае нельзя считать, что наука закончена, если ее удалось свести к аналитическим формулам. Ничто не освобождает нас от изучения явлений в самих себе (в их сущности) и от необходимости дать себе отчет в тех идеях, которые являются объектом наших спекуляций. Если иной раз только вычисление может привести нас к новой истине, то все же не надо из этого заключать, что разуму больше нечего делать; наоборот, надо понимать, что аналитическим путем открытая истина, конечно, *не зависит от тех искусственных приемов, при помощи которых мы к ней пришли, то безусловно должно существовать какое-то очень простое доказательство этой истины.* Это-то и должно составлять главный объект и конечный результат точной науки».

◆

Н. Е. Жуковский. О значении геометрического истолкования в теоретической механике. Полное собр. соч., т. IX. М., ОНТИ, 1937, стр. 185, 186.

«Ум изучающих весьма часто склонен к формальному пониманию. Я из своего педагогического опыта знаю, как часто формулы запоминаются без усвоения стоящих за ними образов. Как это ни кажется странным, но *одним из затрудняющих вопросов* является иногда *вопрос о значении той или иной буквы в бойко написанной формуле.*

...Можно говорить, что *математическая истина* только тогда должна считаться *вполне обработанной, когда она может быть объяснена всякому из публики, желающему ее усвоить*».

◆

Мы нашли среди цитат следующую запись Минакова об этапах становления научной истины в механике:

- Пробы и установление схемы;
- Обдумывание и постановка = «кухня»;
- Формальная запись и выкладки;
- Поиски простейших путей.

◆

4. Андрей Петрович считал важнейшим признаком хорошего курса механики тщательный *генезис основных определений, понятий, аксиом.* Если аксиомы геометрии очевидны для любого здравомыслящего человека, то аксиомы механики требуют для своего понимания определенной тренировки ума и знакомства с историей человеческой культуры. Вот его выписки из фундаментальных книг XX столетия с характерными подчеркиваниями наиболее близких Минакову мыслей.

М. Планк. Einführung in die Allgemeine Mechanik. Berlin, 1916.  
(Есть русское издание: М. Планк. Введение в общую механику. М., ГИЗ, 1927.)

«Затруднения, которые приходится преодолевать учащемуся при первом знакомстве с теоретической физикой, заключаются не в математической форме, а скорее в физической сущности развертывающейся перед ним мысли. Не решение уравнений, но составление их, а особенно интерпретация, вот что дается наиболее трудно.

...Особенно я старался разрешить задачу поднести все здание механики, поднести науку механику не как что-то готовое, законченное, но как нечто шаг за шагом развивающееся. Я не хотел вести читателя по дороге, пройденной классическими творцами механики, но старался быть только советчиком и предостерегающим проводником, появляющимся в трудных, решающих местах (чтобы оставить читателю возможность испытать то наслаждение, которое переживает всякий самостоятельно мыслящий и продвигающийся в новую область). Тем не менее всякому ясно, что такой путь не может сильно отличаться от исторического пути, так как история такой науки не отклоняется значительно от ее логического построения.

...Я ни в коем случае не выбирал самые короткие и изящные доказательства и рассуждения, но всегда искал такие, которые наиболее соответствовали, на мой взгляд, физической сущности, потому что я не хотел показывать ни то, как были открыты известные положения, ни то, как кратко их можно доказать задним числом, но главным образом тот путь, идя по которому можно было открыть эту теорему; конечно, при такой точке зрения остается достаточная свобода для индивидуальных усмотрений.

...Хотя существует множество книг по механике, однако (в большинстве случаев) стóбит (я хотел) воспользоваться возможностью как-нибудь по-новому доказать хорошо известную теорему. Потому что нет лучшего средства подчеркнуть сущность известной проблемы, а также осветить мощь того или иного метода ее разрешения, как несколько раз по-разному решить одну и ту же задачу»

(перевод с немецкого А. П. Минакова).



А. Föppl. Vorlesungen über Technische Mechanik, Bd. I, Leipzig, 1921.

«При чтении основ механики лучше всего идти слишком медленно, чем слишком поспешно. Стоит только обдумать, насколько важно дать исчерпывающее, глубокое и тщательное изложение основ, на которых покоится механика, чтобы создать тем самым широкое и прочное основание для дальнейших построений... Также читающему эту книгу, желающему хорошо освоить механику, я очень советовал бы весьма вни-

мательно прочитать те рассуждения, которые, быть может, кажутся ему на первый взгляд излишними только потому, что он уже раньше слышал об этом. В самом деле, ему следует обратить внимание на некоторые моменты, которые ускользали от него до сих пор. Позднее эти старания окупятся с избытком (с лихвой), потому что громадное большинство затруднений, встречающихся при прохождении высших отделов механики, коренятся в том, что читатель приступает к этим разделам прежде, чем он освоит элементы механики. Поэтому не стоит сожалеть, если пришлось проследить какое-нибудь рассуждение, касающееся общих основ, хотя бы, казалось, ничего нового при этом не пришлось узнать. Чем глубже он усвоит основы, тем лучше он подготовлен к изучению труднейших проблем...

Механика широко пользуется помощью математики. Однако при всем признании ценнейшей помощи математики не следует переоценивать ее для механики, а в особенности не следует выдавать за главное то математическое одеяние, в которое облачается механика. Чем меньше приходится применить математики для данного решения известной проблемы механики, тем лучше надо считать это решение. Благодаря устранению вспомогательных выкладок мы достигаем того, что внимание сосредоточивается исключительно на конкретных явлениях, которые именно и изучаются, а не отклоняется в сторону на формальные преобразования.

...Необходимо, однако, предоставить механике право пользоваться наиболее целесообразными, смотря по задаче, способами изложения. В самом деле, в новейших оформлениях механики все более и более выступает на первый план понятие вектора, и при этом даже в таких работах, в которых вычисления производятся в координатных осях. Я сам уже давно решил на векторное изложение, конечно, только постольку, поскольку это позволяет подготовка слушателей.

Во-первых, механика никак не может отказаться от понятия геометрической суммы двух направленных величин, разве только ценой потери наглядности и ясности. Это в настоящее время общепризнанно.

Но этим не надо ограничиваться: оба векторные произведения настолько тесно связаны с основными понятиями механики, что введение их настойчиво напрашивается само собой. Этими тремя понятиями векторной алгебры я пользуюсь на моих лекциях; и я могу это делать, не требуя от слушателей предварительной подготовки. Механика сама с необходимостью приводится к ним; остается только ввести простые обозначения для того, что уже изучено. Действительно, сложение сил приводит немедленно к геометрической сумме, работа и статический момент — к обоим произведениям, принцип возможных перемещений и момент количества движения — к правилам векторного умножения» (перевод с немецкого А. П. Минакова).

Th. Pöschl. Lehrbuch der Technischen Mechanik für Ingenieure und Physiker. Berlin, 1923. (Есть русское издание: Т. Пешль. Техническая механика для инженеров и физиков. М., ГТИ, 1934.)

«Механика занимает в кругу технических дисциплин промежуточное положение, а именно она стоит между общеобразовательными предметами, как математика, начертательная геометрия, физика, и собственно техническими, специальными науками. Обыкновенно изучение механики представляет для начинающего известные трудности; эти трудности возникают особенно тогда, когда учащемуся *самому* приходится *решать задачи* механики такого типа, какие ставятся техникой, и как раз тут-то и обнаруживается, усвоены ли положения механики во всем их значении или нет. *Оказывается, что они не усвоены и нет навыков применить их, как бы ни казались просты основные теоремы, однако новичку очень трудно охватить их значение и научиться правильно применять их в разнообразнейших проблемах техники и природы.* Больше чем где-либо уместны здесь старые слова Лейбница: «...хотя сама природа и проста в своих законах, но необычайно богата в применении их».

Предлагаемая читателю книга имеет целью указать путь к преодолению именно этих трудностей. В ней мы старались дать в сжатой форме, избегая всего, без чего можно обойтись, и непрестанно имея в виду применения, — мы старались дать *простейшие и самые важные* теоремы механики в объеме, необходимом для наших учащихся. Об аксиоматике я сознательно не говорю ни звука.

Большое внимание обращено нами на *тщательную формулировку теорем и на указания их приложимости*. Чтобы увязаться с применениями, я... включил много простых задач-примеров с решениями. Я не боялся при этом говорить очень простые вещи (потому что они только кажутся простыми), если это способствовало пониманию того, как данная теорема должна применяться. Инженер требует от механики — от такой, которая была бы ему полезна, — правил и указаний, как ему поступать в конкретных случаях. Я пользуюсь как аналитическими, так и графическими методами и указываю на их приложимость на практике. Добиться понимания практической равноценности мышления в этих двух его формах — вопрос очень важный в деле преподавания механики» (перевод с немецкого А. П. Минакова).

5. Научные исследования А. П. Минакова относятся к механике шпите. Источником (или поводом) этих исследований была текстильная промышленность нашей страны. В 20-х годах, когда решался вопрос о повышении скоростей вращения веретен на прядильных фабриках, во-

прос об уменьшении обрывов нитей был одним из наиболее актуальных. Своими работами Минаков стремился разъяснить явление намотки нити на быстровращающееся веретено и создать точную теорию — динамику нити.

Естественно поэтому внимание Минакова к одному из коренных вопросов теории познания — соотношению (взаимовлиянию) теории и практики. Мы приведем здесь некоторые высказывания крупных ученых, которые близки к воззрениям Андрея Петровича.

Р. Курант и Д. Гильберт. Методы математической физики.

«Многие представители анализа (математики) потеряли чувство связи своей науки с физикой и другими областями, в то время как, с другой стороны, физики склонны перестать вникать в проблемы математиков и даже вообще в круг их интересов.

...Несомненно, что в такой тенденции таится большая угроза для всей науки вообще».



Дж. Нойман\*. «Мир науки», 1965, № 2, стр. 7.

«Когда математика далеко отрывается от ее эмпирического источника и уходит еще дальше, если во втором и третьем поколении она лишь косвенно вдохновляется идеями, порожденными реальностью, то это грозит очень большими опасностями.

Научная дисциплина все больше и больше приобретает чисто эстетический характер, все больше и больше становится чистым искусством для искусства. В этом нет ничего плохого, если данная область науки находится в тесном контакте со смежными дисциплинами, которые все еще пользуются эмпирическими методами исследования, или если научные проблемы этой области разрабатываются лицами с чрезвычайно развитым научным вкусом.

Но существует грозная опасность, что развитие научной дисциплины пойдет по линии наименьшего сопротивления, что поток, удалившийся так далеко от питающего источника, разделится на множество мелких, незначительных ответвлений и что научная дисциплина превратится в дезорганизованную массу деталей и запутанных построений. Другими словами, при большом удалении от эмпирического источника или после многих «отвлеченных» изысканий, проводимых без притока свежих идей извне, математике как науке грозит опасность вырождения.

Когда стиль, в начале своего применения обычно классический, начинает походить на барокко, это является сигналом опасности».

---

\* Этой цитаты в записках А. П. Минакова нет; мы даем ее по источнику 1965 г.



Н. Е. Жуковский. Полное собр. соч., т. IX. М., 1937 (из статей об Остроградском).

«При взгляде... на широкие поля, убегающие в бесконечную даль, невольно возникает мысль о влиянии природы на человека. *В математике есть тоже своя красота, как в живописи и поэзии.* Эта красота проявляется иногда в отчетливых, ярко очерченных идеях, где на виду всякая деталь умозаключений, а иногда поражает она нас в широких замыслах, скрывающих в себе кое-что недосказанное, но многообещающее.

В творениях Остроградского нас привлекает общность анализа, основная мысль, столь же широкая, как широк простор его родных полей».

«Мы не можем не указать здесь, что эти работы (по механике) захватывают собой почти всю область вопросов, на разрешении которых сосредоточивались в то время мысли выдающихся европейских геометров.

Остроградский, так же как они, *чувствовал, какие вопросы назрели к решению*, и разрабатывал их самостоятельно, иногда отставая от своих европейских товарищей, иногда опережая их. В тот период расцвета прикладных наук, когда прогресс математических знаний дал сразу возможность разрешить целый ряд существенных вопросов естествознания, мы часто встречаемся с однородными работами выдающихся мыслителей. Нам, русским, отрадно отметить теперь, что в это время деятельности Фурье, Коши, Пуассона, Якоби и Гаусса мы не остались в стороне, так как имели Остроградского».



А. М. Ляпунов (из статьи о Чебышеве, 1895 г.).

«Пафнутий Львович Чебышев и его последователи остаются постоянно на реальной почве, руководясь взглядом, что только те изыскания имеют цену, которые вызываются приложениями (научными или практическими), и только те теории действительно полезны, которые вытекают из рассмотрения частных случаев.

Детальная разработка вопросов, особенно *важных с точки зрения приложений* и в то же время представляющих особенные теоретические трудности, *требующие* изобретения новых методов и *восхождения к принципам науки*, затем обобщение полученных выводов и создание этим путем более или менее общей теории — таково направление большинства работ П. Л. Чебышева\* и учеников, усвоивших его взгляды».

---

\* См. высказывание П. Л. Чебышева на стр. 19 этой книги.

◆  
К. А. Тимирязев. Соч., т. V и VIII. М., Сельхозгиз, 1938 и 1939 (статьи о Луи Пастере).

«Творение Пастера не является, подобно зарождению Минервы в голове Юпитера, чем-то сверхъестественным, внезапным, каким-то наитием, а, напротив, логическим результатом освещения с точки зрения его предыдущей научной опытности того крайне скудного материала, которым медицина уже обладала, не умея только по достоинству его оценить, а еще более — *результатом гениального применения простого экспериментального метода* к вопросам, которые, казалось, по своей бесконечной сложности ускользали от его строгого контроля.

В этом почти беспримерном искусстве *облекать свою мысль в форму опыта*, дающего строго определенный, недвусмысленный ответ, *в умении извлекать из опыта все, что он может дать, в таланте ничтожную подробность или досадное противоречие* обращать в исходную точку нового, еще более плодотворного опыта — вот в чем... заключается тайна успеха и заслуженной славы Пастера» (т. VIII, стр. 485—486).

«Все, что высказывал Пастер, вынуждало на согласие. А это происходило оттого, что он не только высказывал идеи, но и создал новый метод и при помощи этого метода превращал идею в неотразимый факт».

«Самой выдающейся его особенностью была не какая-нибудь исключительная прозорливость, какая-нибудь творческая сила мысли, угадывающей то, что скрыто от других, а, без сомнения, изумительная его способность, если позволительно так выразиться, материализовать свою мысль, выливать ее в осязательную форму опыта, опыта, из которого природа, словно стиснутая в тисках, не могла ускользнуть, не выдав своей тайны. Это был гений или само воплощение экспериментального метода» (т. V, стр. 204—206).

◆  
Луи Пастер (цит. К. А. Тимирязев. Соч., т. V, стр. 221, 222).

«Мало найдется людей, понимающих *истинное происхождение чудес промышленности и народных богатств*. Как одно доказательство этого, я теперь приведу все чаще и чаще употребляемое в разговоре, в официальном языке, в разного рода статьях совершенно неподходящее выражение *прикладные науки*. Кто-то недавно в присутствии одного очень талантливого министра выразил сожаление, что научные карьеры бросаются людьми, которые с успехом могли бы на них подвизаться. Возражая на это, государственный муж старался доказать, что этому не следовало удивляться, *так как в настоящее время значение теоретических наук уступило свое место господству прикладных наук*. Нет ничего ошибочнее этого мнения, нет ничего — осмелюсь сказать —

*опаснее тех последствий*, которые могут возникнуть на практике из подобных слов. ...Нет, тысячу раз нет, не существует ни одной категории наук, которой можно было бы дать название прикладных наук. *Существуют науки и применения наук*, связанных между собою, как плод и породившее его дерево».

К. А. Тимирязев пишет по поводу этой мысли Пастера: «Не должны ли мы видеть в этом ответ и урок житейским мудрецам... всегда готовым превозносить материальное и нравственное превосходство так называемого прикладного знания перед знанием теоретическим». И далее, подводя итог теоретической деятельности Пастера: «Практической, в высшем смысле этого слова, оказалась не вековая практика медицины, а теория Пастера. *Сорок лет теории дали человечеству то, чего не могли ему дать сорок веков практики*. Вот главный урок, который мы должны извлечь из деятельности этого великого ученого» (т. V, стр. 225).



6.

#### А. П. МИНАКОВ И СОВЕТСКОЕ СТУДЕНЧЕСТВО

Я не смог бы жить без студентов.

(Из выступления А. П. Минакова)

Он был любимым наставником молодежи. Мы уверены, что в неопубликованных воспоминаниях о студенческих годах многих ученых и инженеров нашей страны имеются интересные и всесторонние характеристики этого человека. Мысленно листая страницы своей жизни, связанные с механико-математическим факультетом Московского университета 20—40-х годов, я отчетливо вижу своего дорогого учителя, и у меня теплеет на сердце и розовеет мир. Изложенное в § 1—5 и есть мое восприятие и понимание Минакова. Я думаю, что он хорошо знал душу человеческую студента XX в. и поэтому мог позволить себе говорить студентам трудную правду о радостных и тернистых дорогах жизни. На одном из студенческих собраний он зачитал следующее обращение к молодежи:

«Мне хочется пожелать вам радости сознания того, что все мы творцы большой и прекрасной жизни. Для этого надо постараться отойти от заботы об одном себе, только о своем, о личном; надо приглядеться к заботам и нуждам окружающих вас людей и помочь им жить, жить честно, красиво, по-советски. И когда, все расширяя круг своих интересов, расширяешь свое сознание до масштабов всей нашей прекрасной Родины, с ее хорошими, простыми, трудовыми, советскими людьми, а затем до масштаба той всемирной цели всего прогрессивного

человечества, за которую мы боремся в первых рядах, тогда вы не будете чувствовать себя одинокими, впадающими в отчаяние от лично своих обстоятельств, но будете жить радостно, бодро, плодотворно для коллектива.

Мне хочется еще пожелать вам радости и в вашей личной жизни: вы молоды и поэтому вы склонны, будучи предоставленными самим себе, смело подчиняться тем стремлениям, которые вспыхивают, бродят и порой мучают вас.

Будьте честны и строги к себе в любви. Не опошляйте одно из интимнейших человеческих чувств, не грубите свое сердце. Бойтесь грязи, бегите от простого удовлетворения своих потребностей — это страшные вещи. Юноша и девушка должны подходить друг к другу, уважая в себе и своем друге прежде всего человека. Если подружитесь, полюбите, то прежде всего начинайте заботиться, помогать один другому, побольше тепла, внутренней ласки. Не начинайте с конца, иначе безрадостной, краткой, пустой и пошлой будет ваша любовь и мучительно скоро постареет ваша душа. А ведь нет *ничего страшнее, чем преждевременная душевная старость.*

Берегите, щадите, уважайте, цените один другого, когда любите. И будет вам светло и радостно.

И еще скажу: вам предстоит быть отцами и матерями, воспитывать ваших детей. Им вы должны будете показать не дразни, не пошлости быта, ссоры, но хорошую, светлую, ласковую, радостную семейную жизнь. Семья — ячейка государства.

Так воспитывайте же прежде всего самих себя такими, как я говорю, вы это обязаны сделать во имя себя, во имя детей, во имя Родины».



Он часто говорил студентам: «Надо жить не по-«броуновский», а векторно!»



Для характеристики отношения студентов к Минакову приведем здесь одно стихотворение студентов (теперь ученых) А. Дерибаса и В. Кузнецова, помещенное в стенной газете механико-математического факультета Московского университета, выпуск которой был посвящен 200-летию юбилею университета (1955 г.):

«Говоря о том, что раньше было  
И чего теперь уж больше нет,  
Мы должны сказать о самом милом,  
Кем всегда гордился факультет.

Как живой он здесь сегодня с нами,  
Верный друг — то ласков, то суров  
Он актер, учитель и механик  
Наш Андрей Петрович Минаков.

Лекции его мы не забыли:  
Так читать лишь он один умел.  
Многие ученые светили,  
*Минаков всегда светил и грел».*

◆

Вот строки из письма преподавателя техникума И. А. Медведева, присланного в мае 1965 г. в редакцию газеты «Известия»: «Прочитал статью в «Известиях», и сразу в моем воображении предстал тот чудесник лекторского мастерства, которого мне посчастливилось слушать в течение одного года. ...Его лекции для нас были не только праздник, но и «хлеб насущный». Никто так просто, увлекательно и вместе с тем так стройно не мог изложить истины, которыми были полны учебники теоретической механики многих авторов. А потому каждое его слово, каждая мысль, рожденная удивительно ясно отточенной целью — дать нам канву, по которой мы бы начали вышивать узоры, придя в средне-технические учебные заведения, — были для нас чуть ли не даром свыше. Нас человек 30 студентов. И все мы почти стенографически записывали лекции Андрея Петровича, потому что они были неповторимыми, непревзойденными по простоте объяснения явлений и вместе с тем удивительно тонко связаны с жизнью».

◆

Вот еще один штрих, взятый нами из неопубликованной рукописи Л. Д. Попковой (ученицы Минакова, теперь преподавателя теоретической механики в инженерном вузе): «Незабываемый день. Кто-то притащил в аудиторию газету. Андрей Петрович награжден орденом Ленина! Все галдели, никому не сиделось на месте, живо обсуждался вопрос, как лучше поздравить своего профессора. Хотели придумать что-нибудь необычное, но ничего придумать не успели. Звонки! Мы все притихли, ждали вот-вот войдет. И только он показался в дверях, как поднялась навстречу любимому профессору вся аудитория, гром оваций взлетел к потолку. Мы все улыбались и радостно шумели, а он был серьезен. Медленно прошел к столу, положил портфель и подошел к первым рядам. Он стоял тихо, не мешал своим студентам — он умел уважать человеческие чувства: «Я очень, очень тронут, — сказал он, когда аудитория затихла».

◆

Тусклый и угрюмый мартовский день. Снежит. Конференц-зал Московского текстильного института. Студенты стайками, как воробьи, многие со слезами на глазах. Минаков в гробу. Живые цветы, траурные мелодии и невероятная тоска в сердце.

Он был так нужен, так необходим каждому из его учеников и всей Руси, что неотступно билась мысль: «Как мы теперь без тебя, дорогой учитель?»

Он умер мгновенно от сердечной спазмы, собираясь на лекцию 26 марта 1954 г. Нагнулся, чтобы зашнуровать ботинки, упал и больше не встал.

Я не знаю, когда в России появится вновь ученый-педагог такой лирической силы, такой человечности, такого обаяния.



Он любил и знал педагогические исследования К. Д. Ушинского. И мы думаем, что вполне правильной характеристикой педагогической деятельности Минакова будут следующие слова Ушинского: «Воспитатель, стоящий вровень с современным ходом воспитания, чувствует себя живым, деятельным членом организма, борющегося с невежеством и пороками человечества, посредником между всем, что было благородного и высокого в прошедшей истории людей, и поколением новым, хранителем светлых заветов людей, боровшихся за истину и за благо. Он чувствует себя живым звеном между прошедшим и будущим *...его дело, скромное по наружности, — одно из величайших дел истории*»\*.



Девизом его жизни можно поставить старинное мудрое изречение: «Лучше польза, чем слава».

---

\* «Советская педагогика», 1946, № 3, стр. 21.

ФРАГМЕНТЫ МОЕГО ОПЫТА  
ПРЕПОДАВАНИЯ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

Я не тушил священного огня\*.

(И. А. Бунин)

Начиная рассказ о моем опыте преподавания, я полон сомнений. Почему-то передо мной встает август 1932 г., большие строгие «классы» нового здания Московского университета на Моховой\*\*, первый трепетный вход в студенческую аудиторию, состоящую из рабочих-парттысячников, призванных партией коммунистов в те напряженные годы индустриализации страны овладеть наукой и техникой. Все студенты этой группы были старше меня по возрасту и опытнее в делах быстротекущей жизни. Они лучше меня знали мир реальных вещей, глубже понимали сложные переплетения человеческих взаимоотношений. Это первые в моей жизни практические занятия по университетскому курсу теоретической механики; этот курс читал мой учитель, профессор Николай Николаевич Бухгольц — спокойный, холерный, скептический, широко философски образованный лектор. Я начинаю занятие с напоминания закона «параллелограмма сил» и бойко вычерчиваю на доске векторы. Голос мой взволнован и возбужден, румянец во всю щеку (мне всего 23 года!). И неожиданно спокойный, глуховатый голос одного студента: «А зачем это нужно?». Я захлебнулся от возмущения и растерялся. И конечно, ответ мой был сумбурным и, я думаю, мало кого удовлетворил.

Раскрывая в этой главе мой интимный мир, полный неясностей и противоречий, мир поиска и ошибок, мир сравнений и сопоставлений рождающегося нового с установившимся, освященным традициями ста-

\* И. А. Бунин. Собр. соч., т. I. М., «Художественная литература», 1965, стр. 260 и 552. Бунин пишет, что это изречение он заимствовал из магических текстов древнего Египта.

\*\* Теперь это проспект Маркса, д. 20.

рым, я не могу изгнать из моего разума четкого, практического вопроса моего студента: «А зачем это нужно?».

В самом деле, кому нужны мои бессонные ночи, мои волнения? Ведь по существу это глубоко индивидуальная тропинка становления еще одного — может, стотысячного — преподавателя механики в высшей школе. Конечно, я тщательно отсеял все нелепости и случайности, но все же о многом я могу рассказать чисто рецептурно, т. е. могу рассказать, как я поступаю в аудитории в том или ином случае, но не смогу доказать, что именно так необходимо делать и другим. Многие рекомендации, по-видимому, недоказуемые логически, являются все же *реальным отображением большого опыта преподавания* в самых различных аудиториях.

Я часто спрашиваю себя, оставаясь наедине со своей совестью: имею ли право называться педагогом высшей школы в великом научно-нравственном смысле, именуемом кратко *Учитель*? И я воскрешаю в своем воображении моих лучших наставников и, отбирая, и синтезируя их педагогические находки и открытия, рисую мысленно облик настоящего *Учителя*.

Я уверен, что для *Учителя* обязательно новаторство. Эта новь может возникать и вырастать из глубины понимания данной науки, из творческого вклада и большого интеллектуального содержания личности ученого-педагога, из умения увлечь к вершинам науки и показать те «белые пятна», исследование которых *Учитель* доверяет и поручает своим ученикам. Я думаю, что, поднимаясь на кафедру и общаясь с молодой студенческой аудиторией, *Учитель* должен искренне верить, что среди его слушателей есть высокоодаренные личности, более способные к данной науке, чем он сам. Учитель должен внести в аудиторию страстность и взволнованность подлинного творческого вдохновения, теплоту и любовь своего сердца. Нужно уметь увидеть задатки и способности учеников, подаренные им природой, и пробудить их желание к самостоятельным действиям (т. е. конкретному научному размышлению), вызывающим быстрый рост и совершенствование талантливой человеческой личности. *Учитель должен знать*, что среди студенческой молодежи всегда есть и «Платоны» и «быстрые разумом Ньютоны», рожденные на земле российской, и его важнейшая задача состоит в том, чтобы *разбудить их интеллект*, убедить поверить в свои таланты и призвание, а также постараться сделать для них ежедневный, систематический труд высшим наслаждением. *Учитель* — человек развитого, тренированного размышления ума, большой любви к человечеству, и в частности к своему студенту — одному (но со своими специфическими чертами) из миллионов нашей учащейся молодежи.

И если *Учитель* увидит среди множества проходящих перед ним характеров расцветающий интеллект и эмоциональную увлеченность свое-

го ученика, обусловленные плодотворным исследованием нового, то, по моему, это высшая и самая приятная награда для преподавателя.

Критически анализируя результаты своего 35-летнего опыта преподавания, я вижу в эти погожие осенние дни 1967 г. \*, насколько я далек от идеала *Учителя*, который стоит перед моим умственным взором, и мне грустно от мысли, что этого идеала я уже не смогу реализовать в своем преподавании. Но в оправдание скажу только, что я стремился к достижению этого идеала и «не тушил священного огня» творчества и созидания у моих слушателей и учеников.



В дальнейшем излагаются отдельные наблюдения, размышления и выводы, проистекающие из моей практики преподавания механики, отчасти практики преподавания моих университетских учителей. В конце этой главы весьма кратко сформулированы правила преподавания, которыми я руководствуюсь длительное время и которые (я уверен в этом) в какой-то мере согласуются с реальным опытом преподавания механики в советской высшей школе в 30—60-х годах XX в. Собранные в этой главе материалы хорошо подтверждают главные мысли, лежащие в фундаменте педагогической системы Андрея Петровича Минакова, попытка воссоздать которую была сделана во второй главе этого раздела.



Мне пришлось преподавать в ряде вузов Москвы. Я читал лекции по различным разделам механики и высшей математики. Так, например, в Московском университете мною были прочитаны следующие обязательные и факультативные курсы: «Теоретическая механика», «Аэромеханика», «Гидромеханика», «Теория лобового сопротивления», «Механика тел переменной массы», «Теория потенциала» и «Аэродинамический расчет самолета». Конечно, не все эти курсы удались и доставили удовлетворение моим слушателям. Впервые курс теоретической механики мне было поручено читать в 1936/37 учебном году, начиная с раздела «Динамика системы» (т. е. с середины курса), в связи с тем что основной лектор — А. И. Некрасов был командирован в США. Естественно, что провести последовательно какие-либо крупные идеи, если хотите индивидуализировать курс, мне не удалось, и курс читался с «чужого голоса» по книге моего учителя Николая Николаевича Бухгольца. Постепенно, в беге времени, курс совершенствовался. В какой-то мере на его модернизацию оказывали влияние и мои научные работы. Как мне кажется, особенно

---

\* Окончательная редакция этой главы была закончена в течение сентября — октября 1967 г.

полезными оказались мои исследования по механике тел переменной массы и ракетодинамике. Поэтому я хочу рассказать здесь об основных идеях, проведенных мной в курсе теоретической механики, который я читал для студентов механико-математического факультета МГУ в 1960—1962 гг. Этот курс был, по-видимому, моей университетской лебединой песней. Позднее, в 1965—1966 гг. этот курс удалось опубликовать\*, и поэтому с научным содержанием курса можно ознакомиться достаточно подробно.

К 1960 г. мои научные и педагогические воззрения вполне определились, и я надеюсь, что рассказ о формировании и осуществлении курса теоретической механики в 1960—1962 гг. будет полезен для преподавателей механических дисциплин в современной высшей школе нашей страны. Следует добавить, что в эти годы я систематически работал над статьей «Андрей Петрович Минаков — его жизнь и педагогические воззрения» и мне, стороннику педагогической системы Минакова, хотелось еще раз проверить основные положения этой системы и в данном курсе.

Основная руководящая идея курса («сверхзадача», по выражению основателя и режиссера МХАТ К. С. Станиславского) была мною сформулирована так: *оптимальные режимы движения — душа современной механики*. Всестороннему освещению этой главной мысли было подчинено все: подбор материала курса, рассмотрение иллюстративных примеров, многократное подчеркивание значения методов вариационного исчисления, показ завоеваний механики в ракетной технике, авиации и космонавтике.

Вторым важным моментом «идеологии» даного курса являлось следующее. Из моих многолетних наблюдений за процессом обучения и воспитания на механико-математическом факультете МГУ следовало, что приоритет теории считается здесь наиболее ясной, глубокой и бесспорной аксиомой. Поэтому при чтении курса мне казалось целесообразным подвести мысль студентов к важному выводу о том, что для успешного роста и обновления классической механики, совершенствования ее методов и признания ее могущества принципиальное значение имеет *тесная связь научных исследований по теоретической механике с новыми направлениями развития техники* (авиации, ракетной техники, космонавтики). Я убежден, что такой подход к извечной методологической проблеме о соотношениях теории и практики в университетской аудитории помогал студенчеству более объективно оценивать положение о приоритете теоретических изысканий. Замечу, что при чтении курса теоретической механики для инженеров я всегда провожу другую линию, которую лучше

---

\* См.: А. А. Космодемьянский. Курс теоретической механики, ч. I и II. М., «Просвещение», 1965, 1966.

всего характеризует известное высказывание Людвига Больцмана: «*Нет ничего более практичного, чем хорошая теория*».

Итак, индивидуальная окраска курса теоретической механики, прочитанного в МГУ в 1960—1962 гг., короче всего характеризуется двумя положениями:

1. Оптимальные режимы движения — душа современной механики.
2. Теоретическая механика растет, обновляется, обогащается содержанием, участвуя в поисках решений новых актуальных проблем развивающейся техники.

Для университетской студенческой аудитории мною были обдуманы и распределены по соответствующим разделам и главам курса исторические примеры фундаментальных открытий, а также рассказы о биографиях и стилях творческой работы наиболее крупных ученых-механиков (Ньютона, Эйлера, Лагранжа, Даламбера, Пуансо, Мещерского, Цюлковского и др.).

Зная настроение некоторой части студенчества механико-математического факультета, где философский нигилизм почитается одной из добродетелей молодых механиков и математиков, я ставил себе задачей доказать в процессе исполнения курса следующий тезис: «Нигилизм в отношении материалистической диалектики = провинциализму исследователей «точных» наук и великому невежеству».

Для освежения уставшей аудитории и поддержания на достаточном уровне «эмоциональной кривой» восприятия нового материала я не рассказываю на лекциях веселых историй, а делаю небольшие (максимум 5—6 минут) \* отступления в соседние научные области, выбирая из них интересный познавательный материал. Такой основной областью, из которой черпались различные примеры («освежающие мысль занимательные рассказы»), была для курса механики 1960—1962 гг. *психология научно-технического творчества*. (Эта область есть давнее хобби лектора.)

Я останавливаюсь далее на некоторых конкретных примерах, характеризующих технику преподавания, т. е. показывающих (без киноиллюстраций, к сожалению), как я реализовал формулированные мной достаточно трудные задачи.



Попытаюсь кратко охарактеризовать задачи, в которых исследование оптимальных свойств механического движения представляет «суть дела», или, как часто говорил Андрей Петрович Минаков, является «главным нервом» изучаемых динамических процессов. Ниже следует перечень вопросов, задач и проблем, которые ставились в моем курсе теоретической механики 1960—1962 гг. и которые исследовались на

\* Здесь особенно должно быть обострено «чувство меры».

лекциях с той или иной степенью полноты и строгости. Стоит, вероятно, упомянуть, что достаточным условиям максимума или минимума функционалов уделялось очень мало времени.

Первый рассказ о методах вариационного исчисления имел место при изложении несвободного движения точки по заданной идеально гладкой кривой. Здесь формулировалась знаменитая задача о брахистохроне (греч. «брахистос» — кратчайший, «хронос» — время), зачитывалось обращение И. Бернулли (1667—1748) к знаменитейшим математикам XVII столетия\*, и, максимально конденсируя выкладки, я показывал, что в однородном поле силы тяжести среди плоских кривых брахистохроной является циклоида.

Очень хорошо проходили лекции, посвященные исследованию экстремальных свойств баллистических траекторий. Сначала достаточно быстро излагались экстремальные свойства параболических траекторий в однородном поле силы тяжести. Находились оптимальные углы бросания, при которых реализуется максимальная дальность полета и максимальная высота подъема. Затем более детально исследовались оптимальные свойства эллиптических траекторий в центральном гравитационном поле Земли. Приводились формулы линейной теории рассеивания оптимальных эллиптических траекторий.

При изложении теории прямолинейных движений точки переменной массы экстремальные задачи были в центре внимания. Определялись постоянные удельные секундные расходы топлива, реализующие максимальную высоту подъема (или максимальную высоту активного участка полета) в однородном поле силы тяжести. Решалась задача о максимальной длине активного участка при движении по абсолютно гладкой плоскости в сопротивляющейся среде и ряд других задач\*\*.

Относительно большой раздел курса посвящался вариационным задачам динамики точки переменной массы и ракетодинамики. Здесь мне

---

\* Вот выдержки из подлинного текста И. Бернулли: «Тончайшим, славящимся во всем мире, математикам. Как мы достоверно знаем, едва ли существует что-либо иное, что могло бы в большей степени побудить благородные умы к совершению дел, ведущих к умножению знаний, чем предложение трудных, но в то же время полезных вопросов; их разрешением, с помощью того или иного метода, они достигнут славы для своего имени и воздвигнут себе вечный памятник у потомков». Механико-геометрическая задача о линии наиболее скорого спуска формулируется в следующем виде: «Определить кривую линию, соединяющую две данных точки, расположенных на различных расстояниях от горизонта, не лежащих на одной и той же вертикальной линии, и обладающую тем свойством, что тело, движущееся по ней под влиянием собственной тяжести и начинающее свое движение из верхней точки, достигает нижней точки в кратчайшее время». См.: И. Бернулли. Избранные сочинения по механике. М.—Л., ОНТИ, 1937, стр. 21—23. До опубликования этой задачи (в 1696 г.) и Бернулли посылал ее Лейбницу, который быстро ее решил и посоветовал Бернулли обнародовать эту «столь прекрасную и до сих пор неслыханную задачу».

\*\* См.: А. А. Космодемьянский. Курс теоретической механики, ч. II. М., «Просвещение», 1966, стр. 30—57.

особенно хочется обратить внимание преподающих на класс задач, сводимых к простейшей задаче вариационного исчисления. Это, например, следующие:

— определение максимальной высоты подъема ракеты в однородной атмосфере и однородном поле силы тяжести;

— определение максимальной продолжительности и максимальной дальности горизонтального полета самолета с ракетным двигателем;

— определение максимальной продолжительности и максимальной дальности полета по дуге большого круга для орбитального самолета.

Более трудные, но гораздо более разнообразные задачи современной ракетодинамики сводятся к изопериметрическим задачам вариационного исчисления. Отметим, например, задачу о программировании тяги ракетного двигателя, при котором реализуется минимальное время полета, при заданной наклонной дальности до цели. Если изложение этой задачи связать с развитием современных зенитных управляемых ракет, то лекция проходит очень хорошо.

В курсе 1960—1962 гг. мы приводили решение двух задач нелинейной механики (ракетодинамики), которые сводятся к вариационным задачам на условный экстремум (задача Годдарда о максимальной высоте подъема ракеты при заданном запасе топлива и задача о программировании угла атаки для взлетающего самолета, при котором достигается минимальная длина разбега по взлетной полосе аэродрома).

Хочется подчеркнуть, что теория оптимальных режимов воспринималась моими слушателями с искренним интересом, подлинным сосредоточением внимания, и я до сих пор с удовольствием вспоминаю блеск молодых глаз глубоко заинтересованной студенческой аудитории. Аудитория «путешествовала» вместе со мной по малоизвестным «градом и весям», и я все время ощущал ее незримую помощь; мы вместе желали успешного окончания исследования той или иной задачи и вместе радовались успехам любимой науки — механики.

При изложении вариационных принципов классической механики главное внимание было направлено на показ великой мощи принципа Гамильтона и его приложений к различным фундаментальным задачам динамики. В частности, без доказательств я рассказывал о широких плодотворных приложениях вариационных принципов в аэромеханике, газовой динамике и теории упругости.

При чтении курса в 1960—1962 гг. мною были подготовлены для иллюстрации простейших законов и теорем механики задачи-примеры, в которых экстремальные свойства движения снова были «изюминкой», т. е. главной целью исследования. Не приводя здесь этих задач-примеров, хочу только указать, что большинство их было заимствовано из курса теоретической механики Г. Лэмба (русское издание, т. II, Динамика,

1935) и хорошо известных преподавателям сборников задач по теоретической механике Ф. Виттенбауэра и Н. Бухгольца, И. Воронкова и А. Минова.



Охарактеризую кратко содержание первой лекции по курсу теоретической механики для университетской аудитории. Главное в первой лекции должно быть посвящено характеристике предмета исследования механики и рассказу о величайшем могуществе методов этой научной дисциплины. Обычно я рассказываю о своих наблюдениях над процессами создания новых образцов техники (самолетов, ракет, космических кораблей) и показываю, какую фундаментальную роль играют различные отделы механики (динамика твердого тела, аэромеханика, газовая динамика, теория прочности, теория устойчивости и т. п.) в реальной современной технической жизни, начиная от предэскизного или эскизного проектов до государственных испытаний. Мне посчастливилось в течение длительного времени наблюдать повседневную черновую работу, а также слушать доклады о выполненных проектах и результатах испытаний реальных объектов хорошо известных конструкторов нашей страны: Семена Алексеевича Лавочкина и Сергея Павловича Королева, и я понял, какое значение в выборе того или другого конструктивного решения имеют простые и емкие законы механики. Рассказывая о научно-техническом творчестве моих современников, я всегда подчеркиваю мысль французского физика Ж. Вижье, что вся современная промышленность, включая и атомную, строится и действует в XX столетии на основе законов механики. В последние годы я обращаю внимание студентов на проникновение механики в смежные области науки и техники и даже в такие дисциплины, в которых механическая форма движения является лишь сопутствующей. Методы аналогий я впоследствии достаточно подробно освещаю в соответствующих разделах курса.

В университетской аудитории очень важно рассказать о том, что теоретическая механика (в частности, динамика) — это не теория интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. *Механика — одна из наук о природе, часть физики.* Я думаю (и говорю об этом студентам), что для механиков-исследователей самое важное — это понять ход того или иного динамического процесса, выявить в нем доминантные признаки и открыть основные соотношения (уравнения), характеризующие изменяемость процесса с течением времени. Исследование влияния малых изменений основных параметров на интегральные характеристики движения я также считаю очень существенной частью почти любой механической задачи.

Излагая историю развития механики в первой лекции, я останавливаюсь на сравнительно небольшом числе имен: Архимед, Птолемей, Галилей, Ньютон, Эйлер, Эйнштейн. Рассказывая о русских механиках,

обычно даю характеристику творчества Н. Е. Жуковского, К. Э. Циолковского и И. В. Мещерского. Более подробное изложение основных достижений ученых-механиков я даю в соответствующих местах курса, а на первой лекции главное внимание уделяется научной методологии, наиболее крупным — путь пролагающим — идеям и жизни этих идей в современной науке и технике. В заключение первой лекции я обычно рассказываю об Евклиде, который сказал когда-то своему монарху, пенявшему на трудность теорем евклидовой геометрии: «В науке нет царской дороги». Знание механики и умение применять ее законы к исследованию динамических процессов невозможно без систематического индивидуального труда. «Научить учиться» (К. Вейерштрасс) — одна из важнейших задач высшей школы.



Для пояснения метода изложения экстремальных задач ракетодинамики я расскажу о задаче Годдарда. Для случая вертикального полета ракеты в поле силы тяжести Земли требуется найти такой закон изменения массы одноступенчатой ракеты (иначе говоря, — закон программирования реактивной силы), при котором высота подъема достигает наибольшей величины. Предполагается, что имеет место гипотеза Циолковского о постоянстве относительной скорости отбрасываемых частиц.

Обычно я сначала рассказываю о практической важности этой задачи. Затем привожу очень ясные и убедительные доводы Годдарда о том, что максимум высоты подъема ракеты при заданном запасе топлива действительно существует. В самом деле, если секундные расходы топлива велики, то в плотных слоях атмосферы ракета будет иметь слишком большую скорость и, следовательно, слишком большую силу лобового сопротивления. Энергия топлива будет в этом случае частично тратиться на излишний нагрев атмосферы. Если секундные расходы топлива малы, то реактивная сила может быть меньше начального веса ракеты и, следовательно, высота подъема будет или равна нулю, или очень мала. «Очевидно, — пишет Годдард, — что скорость подъема ракеты должна иметь значение, соответствующее каждому месту по высоте\*». После выяснения физической сути задачи я пишу уравнение Мещерского в проекции на вертикаль и показываю, что для однородной атмосферы и однородного гравитационного поля задача Годдарда сводится к простейшей задаче вариационного исчисления, а в общем случае к вариационной задаче на условный экстремум. Обычно здесь я рассказываю о важности и актуальности исследования задач динамики, характерных тем, что некоторые из действующих на объект сил можно регулировать (программировать) по желанию человека. Так, например, при изучении

\* R. Goddard. A Method of Reaching Extreme Altitudes. Washington, 1919.

криволинейных движений ракеты в поле тяготения Земли гравитационная сила вполне детерминирована (задана природой), а реактивная сила может изменяться по желанию конструктора как по величине, так и по направлению. Каждому закону изменения реактивной силы будет соответствовать некоторый закон движения ракеты. Я подчеркиваю (и в течение всего курса неоднократно), что *мощным и адекватным физической сути дела методом решения такого рода задач современной динамики является вариационное исчисление.*

Процедура количественного исследования формулированных вариационных задач осуществляется примерно так, как это изложено во II части нашего курса теоретической механики, изданного в 1966 г. (см. стр. 143—171).



Я сторонник педагогической системы А. П. Минакова и с 1963 г. старательно пропагандирую эту систему перед различными аудиториями. Многим хорошо известно, что Андрей Петрович требовал сосуществования в педагоге высшей школы следующей «пятерницы»: ученого, философа, артиста, воспитателя и Человека. В свое время (30—40-е годы) автор этой книги неоднократно обсуждал с А. П. Минаковым каждую из коллизий: «педагог-ученый», «педагог-философ»... «педагог-Человек». Наибольшие возражения с моей стороны вызывало требование «педагог-артист». Наши дискуссии не привели к выработке единой точки зрения, и мне хочется привести некоторые соображения о том, что требование быть артистом является, быть может, желательным, но необязательным. В самом деле, вспомним, как читал различные отделы механики Н. Е. Жуковский. Вот факты: импозантная могучая фигура и тонкий (плачущий, как пишет Андрей Белый) дискантовый голос, потрясающая рассеянность, беспорядочное записывание формул на доске (иногда с ошибками) и многое другое совершенно антиартистичное. Но студенчество (и Московского университета, и Московского высшего технического училища) очень любило лекции Николая Егоровича. За что? Я думаю, за его преданность науке, одержимость научным поиском, за его искреннее стремление передать знания молодой аудитории. Жуковский, читающий лекцию, был плохой артист, но ясно видимый студенчеству творец нового, а этого было достаточно для успеха дела.

Второй пример: лекции по гидромеханике профессора Александра Ивановича Некрасова. Он читал гидромеханику для сравнительно небольшой аудитории студентов-механиков Московского университета в 1929/30 учебном году. Я один из его слушателей. Строгая, высокая фигура. Черный, идеально отглаженный костюм. Старомодный накрахмаленный воротничок. Серьезность во всех действиях и поступках (я ни разу не видел его на лекции улыбающимся). Безукоризненные формулировки и доказательства теорем. Четкие записи на доске. Ника-

ких отвлечений от логического хода изложения. Строгость суждений. Целеустремленность. «Словам тесно, мыслям просторно». Никаких веселых рассказов. На всех лекциях Некрасов один и тот же — сосредоточенный, преданный делу, любящий свою науку. И он совсем не артист. Но его лекции увлекали. За что его любили? Я думаю, за то, что он высоко ценил и глубоко уважал студенческую аудиторию. Все студенты отчетливо видели и понимали, что лекции Некрасова открывают двери в настоящую науку, в ее верхние этажи. Некрасов верил, что среди его слушателей есть будущие ученые-механики, и он был искренне заинтересован помочь молодежи понять прелесть научного исследования.

В мои студенческие и аспирантские годы (1927—1934 гг.) пользовались широкой известностью профессора В. В. Голубев (теория крыла аэроплана), А. Б. Млодзеевский (физика), А. Н. Реформатский (химия), А. В. Раковский (физическая химия), которые излагали содержание своих наук с безусловным артистизмом; но, чтобы быть властителем дум молодого поколения, совсем не обязательно осваивать технику драматического артиста (я глубоко убежден в этом).



Как быть, если от лекции к лекции дисциплина в студенческой аудитории ухудшается? При анализе никогда не исходите из очень приятной аксиомы: «Вы отличный ученый и педагог, а они необразованные, невоспитанные «мальчишки» и «девчонки». Следует иметь в виду, что плохая дисциплина на лекции *в первую очередь обусловлена* изъятиями *содержания и исполнения* лекции. И очень часто *поведением* лектора. Поэтому ищите недостатки в первую очередь у себя (лектора), а уж потом идите жаловаться в деканат или на каждой лекции читайте нотации и поучения.



Начав преподавание теоретической механики, я последовал совету А. П. Минакова и завел себе две толстые тетради. В одной из них я коллекционировал понравившиеся мне задачи и примеры, а во второй записывал впечатления от читавшихся мной курсов, мысли к лекциям, особенно к первой и последней, ошибки, допущенные в преподавании, оценки знаний студентов, выявляющиеся на экзаменах, и многочисленные высказывания моих любимых авторов: ученых-механиков, философов, писателей и поэтов. Такие записи, по-моему, полезны и способствуют улучшению преподавания. Обычно осознанная и тщательно проанализированная ошибка более не повторяется.



Читая последнюю лекцию, я посвящаю минут 20—25 обзору прочитанного и четкой формулировке (еще раз!) основных идей курса.

Я быстро привыкаю к аудитории и обычно идеализирую моих слушателей. Аудитория после четырех-пяти лекций становится как бы частью меня самого, и, расставаясь со студентами на последней лекции, я часто (и совершенно искренне) говорю в стиле «сентиментального вальса» Чайковского. Мне всегда кажется, что я нужен моим ученикам, и «расставания» для меня всегда окрашены в грустные осенние тона.



Рискую формулировать некоторые правила поведения лектора (преподавателя) перед студенческой аудиторией.

1. *Педантичная дисциплина лектора.* Нужно полностью исключить всякого рода объективные причины («особые» случаи), срывающие точное начало лекции или ее окончание. Лекция — святое, самое важное в жизни преподавателя высшей школы\*.

2. *Величайшая (беспощадная) требовательность к самому себе.* Всегда лектор обязан иметь в виду:

технику записей на доске (последовательность и четкость записей, хороший мел, влажная тряпка и пр.);

правильность и строгость языка лекции (избегать жаргонных словечек, канцелярских выражений, правильно расставлять ударения и т. д.);

необходимость постоянного наблюдения за аудиторией и необходимость чувствовать аудиторию;

очень важный для студентов вопрос (который мне много раз задавали студенты-парттысячники): «А зачем это нужно?»;

что не следует рассуждать перед студенческой аудиторией о предметах, которые вы плохо знаете;

что не нужно украшать лекцию лозунгами и поучениями, в которые вы сами не верите и в жизни не исполняете;

что не следует рассказывать анекдотов. Помнить, что можно «освежить» («дать передохнуть») аудиторию *мудро*, обогащая внутренний мир студентов\*\*;

что не следует важничать перед аудиторией. Помнить глубокую мысль Д. Дидро, который писал: «Тот, кто непрестанно драпируется в царственный плащ, может прятать под ним только болвана».

---

\* Напомним голос из XIX столетия: «К чтению своих лекций Чебышев относился с педантичной строгостью: лекций никогда почти не пропускал, никогда на них не опаздывал и ни одной лишней минуты после звонка не оставался в аудитории».

\*\* Вот как это делал П. Л. Чебышев: «Во время лекций Чебышев часто делал отступления от систематического изложения курса, сообщал свои взгляды и разговоры с другими математиками по затронутым на лекции вопросам и выяснял сравнительное значение и взаимную связь между различными вопросами математики. Эти отступления очень оживляли изложение, давали отдых напряженному вниманию слушателей и возбуждали интерес к изучению предмета в более широких рамках».

Лучшей формой отчета о проделанной научной работе, формой, максимально способствующей привлечению молодежи к самостоятельному научному творчеству, являются факультативные и специальные курсы, организуемые кафедрой (или факультетом). Посещение таких лекций студентами должно быть свободным. Не надо смущаться малым количеством желающих вас послушать. Если факультативный (или специальный) курс касается животрепещущих вопросов науки и захватывает аудиторию, число желающих будет из года в год расти. А ведь если ежегодно вы будете пробуждать к творческой научной работе хотя бы двух-трех студентов, то через два десятка лет такой деятельности вы будете чувствовать себя отцом большого отряда научных работников. Ваши ученики — это продолжение вашей жизни.

Мне пришлось читать несколько факультативных и специальных курсов в Московском университете и Военно-воздушной инженерной академии имени Н. Е. Жуковского. Я расскажу, как постепенно формировались два курса: «Теория лобового сопротивления» и «Механика тел переменной массы».

После защиты в 1934 г. кандидатской диссертации, посвященной развитию теории ламинарного пограничного слоя, я начал в 1934/35 учебном году чтение факультативного курса «Теория пограничного слоя». Это был очень небольшой курс, состоящий из 8—10 лекций, в котором рассматривались различные формы уравнений пограничного слоя (Прандтля, Мизеса) и методы их интегрирования. Особое внимание уделялось методу интегральных соотношений Кармана и Лейбензона и определению сопротивления трения для пластинки и профилей крыльев.

Постепенно курс увеличивался. В него были включены полуэмпирические теории турбулентности Прандтля и Кармана, а также вопросы турбулентного трения. Позднее в курс вошли теории сопротивления давления (струйная и вихревая теории сопротивления, а также асимптотическая теория сопротивления Осеен'а). Курс был переведен в разряд специальных, что означало рекомендацию его студентам, специализирующимся по аэродинамике. Если студент выбирал этот курс в качестве «курса по выбору» и сдавал экзамен, то ему зачитывался в учебном плане один полугодовой спецкурс.

В сохранившейся у меня программе, отпечатанной в 1945 г. курс именовался «Теория лобового сопротивления» и читался на 9-м семестре для студентов-аэромехаников. Он состоял из следующих трех разделов: «Теории ламинарного сопротивления трения», «Теории турбулентности и турбулентное трение» и «Теории сопротивления давления». В этом курсе излагались и мои научные результаты по теории ламинарного и турбулентного трения, по теории вихревого сопротивления.

Когда в 1940 г. я начал чтение обязательного для студентов курса «Аэромеханика», многие из вопросов, излагавшихся мною в факультативном и специальном курсах по лобовому сопротивлению, вошли одним из разделов этого обязательного (годового) курса. Вот выписка из программы курса «Аэромеханика» механико-математического факультета МГУ (1944 г.):

«9. Лобовое сопротивление. Теории сопротивления трения. Пограничный слой. Уравнения Прандтля. Физические следствия из уравнений Прандтля. Отрыв струй. Преобразование уравнений Прандтля к новым переменным. Пограничный слой на плоской пластинке. Метод Блазиуса. Интегральное соотношение Кармана. Исследование пограничного слоя при помощи интегральных соотношений. Определение сопротивления трения профилей Жуковского. Влияние толщины и изогнутости на местные и полные коэффициенты трения.

10. Теория турбулентного трения. Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Точка перехода и ее экспериментальное определение. Теория установившейся турбулентности по Прандтлю. Логарифмические законы распределения скоростей и сил сопротивления трения. Степенные законы. Турбулентное трение для рулей Жуковского. Учет влияния шероховатости. Допустимая шероховатость крыла.

11. Сопротивление давления. Исходные уравнения теории сопротивления давления. Струйная теория. Метод Леви-Чивита. Пластинка под углом к потоку. Формула Рэлея и ее сравнение с экспериментами. Вихревая теория сопротивления. Формула Кармана. Определение циркуляции вихрей. Вихревое сопротивление круглого цилиндра».

Курс аэромеханики читался мною более 10 лет.

Идеалом обязательного курса я считаю курсы, читавшиеся П. Л. Чебышевым. Вот характеристика этих курсов, данная проф. Поссе: «Курсы, читавшиеся Чебышевым, были невелики по объему, но содержательны, по изложению очень доступны и удобопонятны. Стремление некоторых профессоров читать студентам обширные курсы Чебышев не одобрял и называл это стремление «желанием блеснуть перед студентами своими знаниями».

Факультативный курс «Механика тел переменной массы» я начал читать впервые в Московском университете в 1943/44 учебном году. Возникновение этого курса было также обусловлено моей научной работой. После защиты в 1939 г. докторской диссертации я был привлечен к исследовательской работе по ракетодинамике (по заданию РНИИ). Естественно, что я ознакомился с трудами И. В. Мещерского и К. Э. Циолковского и, думаю, правильно оценил их прогрессивное значение. Первые самостоятельные научные результаты по механике тел переменной массы были мною получены в 1940/41 учебном году, и они были представлены в виде трех отчетов под названиями «Механика точки переменной

массы», «Механика тела переменной массы», «Частные задачи механики точки переменной массы».

В первые годы основное содержание курса было посвящено изложению общей теории движения тел переменной массы (основные теоремы, уравнения типа Эйлера, Лагранжа и Гамильтона, частные задачи); позднее (с 1945/46 учебного года) в курс были включены вариационные задачи динамики точки переменной массы; в беге времени значение оптимальных режимов полета все возрастало, и курс получил сильный крен в эту сторону. Некоторое представление о моих взглядах на механику тел переменной массы и значении этого раздела современной механики для авиа- и ракетостроения можно получить из второй части моего курса теоретической механики\*.

Исследования и опыт преподавания последних лет приводят меня к выводу, что наиболее целесообразной является следующая программа по факультативному курсу «Механика тел переменной массы» (для студентов, прослушавших обязательный курс теоретической механики)\*\*:

1. Введение. Механика тел переменной массы и современные проблемы динамики полета ракет и реактивных самолетов. Краткий исторический очерк. Работы И. В. Мещерского и К. Э. Циолковского.

2. Динамика точки переменной массы. Вывод уравнения Мещерского для случая отделения частиц. Анализ частных случаев уравнения Мещерского. Случай одновременного присоединения и отделения частиц. Обобщенное уравнение Мещерского. Уравнение прямолинейного движения самолета с воздушно-реактивным двигателем.

3. Частные задачи динамики точки переменной массы. Движение в свободном пространстве. Формула Циолковского для одноступенчатой ракеты. Анализ формулы Циолковского. Случай мгновенного сгорания. Формула Циолковского для многоступенчатой ракеты. Движение ракеты в однородном поле силы тяжести. Различные законы изменения массы. Экстремальные задачи: определение удельных расходов массы для случая максимальной высоты подъема ракеты и для случая максимальной длины активного участка полета.

4. Движение точки переменной массы в сопротивляющейся среде по абсолютно гладкой плоскости. Закон движения при постоянной реактивной силе. Экстремальная задача: определение удельных расходов массы для режима максимальной дальности активного полета при заданном запасе топлива.

\* А. А. Космодемьянский. Курс теоретической механики, ч. I и II. М., «Просвещение», 1965, 1966.

\*\* В этой программе (оформленной в 1967 г.) существенно расширен класс задач, характеризующихся обобщенным уравнением Мещерского. Успехи сверхзвуковой и гиперзвуковой авиации, а также развитие реактивных двигателей, с нашей точки зрения, делают актуальными теоретические изыскания в этой новой области механики тел переменной массы.

5. Горизонтальное движение самолета с реактивным двигателем. Случай, когда аэродинамическое качество самолета — величина постоянная. Оптимальные секундные расходы топлива, при которых реализуется полет на максимальную дальность.

6. Горизонтальное движение самолета с воздушно-реактивным двигателем при дозвуковых скоростях. Обсуждение гипотезы Циолковского о постоянстве относительной скорости отбрасываемых частиц. Оптимальные секундные расходы топлива (программирование реактивной силы по величине), при которых реализуется режим максимальной дальности полета.

7. Метод малого параметра в задачах динамики точки переменной массы. Обоснование метода. Применение метода малого параметра для вывода формулы Циолковского. Применение метода малого параметра для исследования законов движения ракет в двух крайних случаях: очень большие удельные секундные расходы топлива (пороховые ракеты с небольшими дальностями стрельбы) и очень малые секундные расходы (самолет с воздушно-реактивным двигателем).

8. Основные теоремы динамики точки и тела переменной массы. Теорема импульсов. Случай, когда абсолютная скорость отбрасываемых частиц равна нулю. Теорема об изменении кинетического момента. Случай, когда абсолютная скорость отбрасываемых частиц равна нулю. Применение теоремы о кинетическом моменте для тела переменной массы, вращающегося около неподвижной оси. Движение тела переменной массы около неподвижной точки. Уравнения типа Эйлера.

9. Теорема об изменении кинетического момента относительно поступательно движущихся осей. Уравнения движения свободного тела переменной массы. Движение центра масс. Случай, когда при выгорании топлива центр масс не смещается относительно оболочки тела. Движение относительно центра масс.

10. Влияние внутренних движений частиц на исходные уравнения движения тела. Дополнительные моменты, обусловленные струей частиц в фюзеляже самолета с воздушно-реактивным двигателем.

11. Прямолинейное движение самолета с ракетным двигателем. Случай параболической поляры. Вариационная задача о режиме полета самолета на максимальную дальность. Вариационная задача о режиме полета на максимальную продолжительность.

12. Вариационная задача Годдарда. Случай движения ракеты по вертикали в однородной атмосфере. Классификация режимов полета по Охоцимскому. Достаточные условия экстремума. Движение ракеты в неоднородной атмосфере. Вариационная задача на условный экстремум. Анализ возможных экстремалей.

13. Вариационная задача о выводе искусственного спутника Земли на заданную орбиту. Решение Энеева и Охоцимского для случая дви-

жения ракеты в однородном поле силы тяжести без учета аэродинамических сил. Программирование угла тангажа для оптимального вывода при учете аэродинамических сил.

14. Оптимальный разбег самолета с воздушно-реактивным двигателем. Программирование реактивной силы по величине и направлению для режима, реализующего минимальную дистанцию разбега.

15. Уравнение движения тела переменной массы в обобщенных координатах. Уравнения Лагранжа 2-го рода и уравнения Гамильтона. Случай, когда абсолютные скорости отбрасываемых частиц равны нулю. Проблема первых интегралов для уравнений типа Лагранжа и Гамильтона.



Конечно, мне приходилось читать специальные курсы (например, семестровый курс «Теория гироскопов» в Академии имени Н. Е. Жуковского или семестровый курс «Аэродинамический расчет самолета» в Московском университете) по тематике, мало соприкасающейся с моими научными интересами; но эти курсы (я убежден в этом) приносили больше пользы мне самому, а не моим слушателям.

Мне кажется, что при чтении факультативного курса по проблеме, где вы являетесь одним из участников созидания нового, лучше всего пробуждается и утверждается интерес студенчества к настоящему научному творчеству. Если кафедра заинтересована в воспитании нового поколения ученых, она обязана организовывать и поощрять чтение факультативных курсов.



Большое значение в интеллектуальном развитии студента имеют научные кружки и семинары, проводимые лектором (лучше совместно с 2—3 преподавателями) по достаточно свободной программе. Самый лучший и наиболее продуктивный вариант организации научного кружка возникает тогда, когда сам преподаватель активно работает (создает научную «продукцию») в какой-либо области механики. Я, например, в течение многих лет видел (интуитивно чувствовал) гораздо больше хороших тем для исследования, чем мог реально один выполнить. Поэтому я всегда нуждался в помощи молодежи, и это закономерно приводило меня к необходимости организации научных кружков и научных семинаров.

Овладение методами научного исследования требует определенной, от ступени к ступени все более качественно ценной последовательности развития ума, приучения его к самостоятельной продуктивной работе. Мне хочется рискнуть поставить «верстовые столбы» на этой трудной и радостной дороге роста человеческой личности. Вот итоги моих наблюдений:

нужно уметь *запомнить* что-либо (определение, теорему, доказательство и т. п.);

*понять* что-либо;

*рассказать* понятое собственными словами («в своей манере»);

*написать* связанное изложение понятого («своим стилем»);

*придумать* («догадаться») новый прием изложения понятого (оригинальное доказательство известного результата);

*решить* новую механическую задачу, предложенную научным руководителем;

*открыть* самостоятельно некоторые новые закономерности механического движения;

*создать* новое направление научно-технического прогресса.

Так вот, научить, как *рассказать*, как *написать*, как *придумать*, как *решить* новую задачу, есть главное в содержании деятельности научных студенческих кружков. Успешная работа студента в планомерно функционирующем научном кружке способствует также сознательному выбору интересных и актуальных тем дипломных сочинений.

Научный семинар по какой-либо актуальной проблеме — высшая форма научного кружка. Главнейшими задачами научного семинара являются: реферирование научной литературы (надо приучать студентов следить за текущей научной периодикой); овладение основными идеями и методами в данной области научных изысканий; определение темы (или тем) самостоятельного творчества. Я систематически (с 1934 по 1950 г.) организовывал и вел в Московском университете научные студенческие кружки и семинары сначала по аэродинамике (теория лобового сопротивления), а позднее по механике тел переменной массы и ракетодинамике. Думаю, что для некоторых известных в наши дни ученых интерес к определенным проблемам современной механики зародился в результате работы в научных кружках и семинарах механико-математического факультета МГУ\*.

В конце сентября 1945 г. активные участники научных кружков и семинаров по механике тел переменной массы и ракетодинамике организовали студенческую научную конференцию, посвященную 10-летию со дня смерти К. Э. Циолковского.

Основные доклады, прочитанные студентами и аспирантами на этой конференции, были посвящены актуальным вопросам теории реактивного движения\*\*. Весьма спорный доклад, посвященный твор-

---

\* Я могу назвать, например, следующих товарищей: члены-корреспонденты АН СССР Д. Е. Охочимский и Т. М. Энеев, доктор физ.-мат. наук В. А. Егоров, доктор физ.-мат. наук В. В. Белецкий, доктор физ.-мат. наук В. А. Сарычев, доктор техн. наук Г. А. Александров, доктор техн. наук Л. М. Воробьев.

\*\* Так, например, на заседании 29 сентября 1945 г. были прочитаны следующие доклады:

ческой биографии К. Э. Циолковского, сделанный на этой конференции с юношеским задором профессором небесной механики Н. Д. Моисеевым, несомненно способствовал пробуждению творческих сил у многих участников этой конференции.

Высшим идеалом студенческого научного кружка я считаю воздухоплавательный кружок МВТУ, организованный в 1908/09 учебном году Н. Е. Жуковским. Мудрое руководство Н. Е. Жуковского и его выдающиеся оригинальные открытия в аэродинамике привели к созданию нового направления развития науки и промышленности в СССР, способствовали формированию русской аэродинамической школы, подготовке выдающихся деятелей авиационной техники.



Несколько замечаний о проведении консультаций. В тех вузах, где я преподавал теоретическую механику, консультации были или индивидуальными (они обычно проводились на кафедре по особому расписанию), или коллективными (групповыми), проводившимися во время экзаменационной сессии.

На индивидуальных консультациях самым важным для меня было понять, каким богам «молится» или каким идолам «поклоняется» современная молодежь. Я, конечно, внимательно выслушивал, какие доказательства были не поняты студентом на лекциях, и терпеливо расшифровывал неясные места читаемого курса, но главным для меня было узнать, что сегодня читает молодежь, какие пьесы больше всего нравятся в московских театрах, какая кинокартина определена лучшей, кто из поэтов считается наиболее сильным и увлекательным и т. д. Не скрою, что я внимательно выслушивал отзывы о манере чтения лекций моими коллегами и товарищами по кафедре, а в молодые годы я любил проверять свои впечатления, спрашивая, как воспринимают студенты лекции профессоров механики и математики моих университетских учителей.

Лучшим итогом беседы со студентом я считал его просьбу указать, что ему почитать по механике, по философии или истории науки; для сильных студентов я с удовольствием рекомендовал книги по теоретической механике тех авторов, которые строили изложение предмета иначе, чем это делал я. С охотой я рассказывал студентам о моих любимых авторах — ученых, поэтах, скульпторах, писателях и философах.

При проведении групповых консультаций главной целью было повторение (еще раз!) узловых и наиболее важных (с моей точки зре-

---

1. Гироскопическая устойчивость реактивного снаряда — студент Г. А. Александров.

2. Вариационная задача для вертикального подъема ракеты — студент Д. Е. Охотимский.

3. Некоторые задачи динамики точки переменной массы при гипотезе Леви-Чивита — студентка А. К. Колосовская.

ния) вопросов курса. Здесь я руководствовался старым изречением: «повторение — мать учения»\*. Вопросы на групповой консультации, как правило, разрешалось задавать в строгой последовательности излагавшегося курса. Если по какой-либо главе вопросов у студентов не было, а материал главы был важен для понимания основной идеи курса (или раздела курса: статики, кинематики, динамики точки и т. д.), то я рассказывал без подробного доказательства об основных идеях и выводах этой главы. После всех вопросов и ответов по разделу курса я еще раз отчеканивал главное и в ряде случаев (если «поток» был слабым) выписывал основные формулы, фиксируя на них внимание, и давал понять, каков объем того минимума информации, незнание которого ведет к неудовлетворительной оценке на экзамене.

Так, например, при проведении консультаций по разделу «Статика» я в последние 15—20 минут говорил примерно следующее: «Первая основная задача статики состоит в том, чтобы труднообозримые системы сил действующие на тело или систему тел, приводить к системам простым, но эквивалентным по механическому действию первоначальной (реальной) системе сил. Сколь бы ни сложна была заданная система сил, она в общем случае приводится к динамическому винту, т. е. результирующей силе  $\vec{R} = \Sigma \vec{F}_v$  и результирующей паре сил, вектор-момент которой коллинеарен  $\vec{R}$ .

Важной задачей статики является изучение необходимых и достаточных условий равновесия твердого тела, находящегося под действием заданной системы сил. Если в начальный момент тело находилось в покое, то изучение условий равновесия тела становится эквивалентным задаче об изучении равновесия системы сил.

Таким образом, *приведение и равновесие систем сил* охватывают почти все содержание статики (дополнительными главами являются учение о центрах тяжести и теория трения).

Давайте попробуем всю статику записать на одной странице». И далее, рассматривая различные системы сил (плоский пучок, параллельные силы, произвольную плоскую систему и т. д.), я напоминал, к каким простейшим механическим элементам приводится данная система, и записывал условия равновесия. Компактность таблицы «Приведение и равновесие систем сил» ободряюще действует даже на очень слабых студентов.

Перечислю также некоторые из вопросов, которые обязательно мною освещаются на любой групповой консультации.

---

\* Мне совершенно всерьез говорили, что если нормально развитому человеку повторить какое-либо правило, закон, теорему и т. п. 12 раз, то он запомнит сказанное, даже если этого не желает. На этом психологическом законе держится американская реклама.

Раздел «Статика»:

момент пары сил — вектор свободный;  
вычисление моментов сил относительно оси;  
результатирующая и равнодействующая;

зачем практически нужно знание центральной оси пространственной системы сил?

равновесие тела и равновесие системы сил.

Раздел «Кинематика»:

проекция ускорения на оси естественного трехгранника;

ускорения точек тела, вращающегося около неподвижной оси;

скорости и ускорения точек тела при плоскопараллельном и сферическом движении;

теорема Кориолиса (с многочисленными примерами).

Раздел «Динамика»:

законы сохранения динамических мер механического движения;

потенциал и потенциальная энергия;

оптимальные эллиптические траектории;

физическое значение осевых и центробежных моментов инерции;

свободные оси вращения;

элементарная теория гироскопа;

картина Пуансо; общий случай движения тела в свободном пространстве;

уравнения Лагранжа.

При проведении групповой консультации я обычно в шутовском тоне говорю о нецелесообразности составления шпаргалок, так как эта процедура заставляет работать другие участки мозга, *забывая* (засоряя) нужные для специалиста тропинки самостоятельного интеллектуального совершенствования (как шумы забывают полезный сигнал на индикаторе радиолокатора). Труд, потраченный на составление шпаргалок, будучи переключен на честное изучение науки, гарантирует более глубокое усвоение предмета и успешную сдачу экзамена.



При проведении экзамена я придаю весьма большое значение общей обстановке и организации дела. Экзамен — важная часть подготовки студента, это первый шаг *ответственного самостоятельного размышления над курсом* (или разделом курса) *в целом*. Серьезная, рабочая, спокойная обстановка на экзамене способствует успеху; нервные нотации экзаменатора, пренебрежительное отношение к процессу «вопросы-ответы» (экзаменатору скучно, он зевает, часто прерывает опрос и бездумно болтает с коллегами о делах, к науке не относящихся, экзаменатор молчит, как сфинкс, и после двух ответов студента с божественной улыбкой ставит «двойку» и т. д.) приводят к заметному снижению уровня ответов, превращая экзамен в волюнтаристскую лотерею.

Экзаменатор должен быть искренне заинтересован в том, чтобы *объективно выяснить усвоение* данным студентом *фундаментальных истин прочитанного курса*, правильно определить, чему хорошему лектор научил студента, как студент мыслит самостоятельно и сколь близки ему понятия, категории, модели и главные количественные результаты данной науки. В теоретической механике очень важно обращать внимание на то, как студент применяет общие законы к рассмотрению *самых простых* практических примеров и задач. Заведующим кафедрами следует категорически запрещать всем экзаменаторам демонстрировать на экзаменах свою «ученость» и ставить студента в глупое положение. «Ученость» преподающих надо поощрять, поручая данному лицу чтение факультативных курсов, а об экзаменующемся студенте следует всегда помнить в том плане, что данный студент может быть намного выше экзаменатора по всем, как говорят, статьям. К сожалению, из практики вузовских экзаменационных сессий мне известны совершенно возмутительные с профессиональной точки зрения случаи демонстрация «учености» и «интеллектуального превосходства», направленные на «стирание» личности экзаменующегося.

Хочется привести здесь следующее высказывание А. П. Минакова (перед студентами старших курсов), имеющее прямое отношение к человечности преподавателя высшей школы: «Рисуя (даже изображая) перед вами слушателя в глупых положениях, я провожу только одну мысль: когда я привожу такого рода примеры, я не хочу сказать: «Какие они дураки и какой я умный».

... Нет, я хочу показать всемерно, что этот «глупый вид не представляет их природу, но является *следствием плохого преподавания*. Мы (преподаватели) мало работаем, мы не честны, и этим мы «портим» слушателей, ставя их в «дурацкие» положения.

Я никогда в жизни не смеялся над студентом, «плавающим» у доски. Глядя на «плавающего», я *всегда мучительно думаю: вот плоды моей работы*»\*.

Уважение экзаменатора и студента должно быть взаимным, и теплота человеческая весьма и весьма уместна на экзамене. Ведь опытному экзаменатору относительно легко, а студенту (особенно первых курсов) очень трудно!

Для того чтобы не разрушить рабочего, серьезного спокойного тона экзамена, я никогда вслух не реагирую на списывания и шпаргалки. Когда студент приходит со списанным заданием ко мне отвечать, я обычно сразу (как только студент формулирует задание) задаю 1—2 нетривиальных вопроса по выполненному заданию, и ответы *однозначно* позволяют выяснить, понимает ли шпаргалочник существо дела. Если

---

\* Из неопубликованной записи, сделанной рукой А. П. Минакова. (Подчеркнуто нами. — А. К.)

он понимает списанное достаточно хорошо, то в дальнейшем я не делаю никаких попыток задавать (в наказание) данному студенту более трудные вопросы. Все идет в обычном плане и ритме (иногда дополнительных вопросов несколько больше). Если в результате экзамена оценка будет «4» или «5», то я тихо говорю студенту, что он хорошо усвоил курс и что ему не следует прибегать к шпаргалкам, так как это мешает учебе и вредно для его интеллектуального развития.

Я хочу привести один горестный пример из реальной жизни. Экзаменатор, солидный и опытный преподаватель, заметил, что один из экзаменуемых пользуется шпаргалкой. Студенту (перед всеми экзаменуемыми и экзаменаторами) была прочитана грозная нотация с упоминанием «высоких» слов, как-то: совесть, честь, моральный кодекс, уважение к университету, и «низких» — вроде обман, жульничество, безобразие, невоспитанность и т. п. Студент был отправлен в деканат, ему поставлена «двойка» в экзаменационной ведомости, и удовлетворенный выигранной битвой за справедливость преподаватель приступил к продолжению экзамена. Беседуя с коллегами после окончания экзамена, он очень удивлялся, почему ни в одном студенческом взгляде он не нашел сочувствия своему «героическому» поступку.

А дело было в следующем. Недели за три до экзамена этот преподаватель восседал с друзьями в кабачке и в порыве хмельной откровенности хвастал, как ему удавалось в студенческие годы безнаказанно пользоваться шпаргалками благодаря тонкости и новизне изобретенной методики. Эта хвастня стала известна студентам, и борьба за честность и справедливость т. Н на экзамене выглядела злым шаржем и была антипедагогичной от начала до конца.

В своей педагогической практике я не разрешал (ни себе, ни преподавателям — моим коллегам) рассматривать и «изучать» зачетные книжки студентов до тех пор, пока беседа со студентом не была закончена и оценка не была вписана в экзаменационную ведомость. Я заметил, что влияние большого числа хороших (и аналогично посредственных) оценок, увиденных в зачетной книжке перед экзаменом, не способствует (не помогает) выявлению объективного уровня знаний данного студента, а некоторых преподавателей настраивает на мирный средний балл (а иногда располагает к неподвижной лениности ума).

Не скрою, что ряд ученых-механиков, моих коллег и современников, весьма скептически относятся к моему гуманизму на экзаменах («это же «либерализм», «снижение требовательности» и т. п.). Мне часто цитируют воспоминания видных ученых и деятелей русской культуры о манере проведения экзаменов знаменитым М. В. Остроградским. Вот два примера: «Остроградский по обыкновению экзаменовал выпускной класс (кадетского корпуса), который должен был поступить на его курс. Эти его экзамены висели целый год как Дамоклов меч над головами

выпускников. Характер его экзаменов наводил панический страх потому, что он пытал главным образом способность и сообразительность ученика и не придавал большого значения тем вопросам, где могла играть большую роль память, т. е. тому, что можно было задолбить»\*.

«Одна наружность Остроградского на экзамене приводила в трепет слабых учеников. При появлении в залу экзамена колоссальной фигуры Остроградского трусливые ученики разбегались, прятались под предлогом болезни в лазарет и откладывали экзамен до другого, более благоприятного дня»\*\*.

Я могу сказать, что «пытать сообразительность» экзаменуемого студента (особенно «сильного») весьма желательно. Сообразительность и оригинальность ума лучше всего выясняются на остроумных (но сравнительно простых), практически интересных примерах, где понимание физической сути дела доминирует над вычислениями. Поэтому никогда не нужно ставить «отлично» студенту, отлично ответившему только на вопросы задания (билета). Я всегда на экзаменах стараюсь выяснить, как понят курс в целом и как «схватывает» суть динамических процессов данный студент. Но я никогда не считал «страх» *главной движущей силой совершенствования человеческой личности*, и, по моим наблюдениям, «страх» не способствует лучшему усвоению теоретической механики даже у посредственно успевающих студентов. Есть более тонкие, более чуткие и более подходящие для «*homo sapiens*» методы пробуждения и развития разума\*\*\*.



В современной динамике полета летательных аппаратов особое внимание ученых как в нашей стране, так и за рубежом привлекают нелинейные задачи механики, посвященные исследованию *нестационарных* движений ракет и самолетов. Развитие средств вычислительной техники позволило быстро получать численные решения достаточно сложных нелинейных уравнений движения. В конструкторских бюро авиационной промышленности, где требование определенного числового ответа к заданному сроку является непреложным законом жизни, численные решения задач динамики *известными методами* стали господствующим умонастроением исследователей.

Характерно, что некоторые ученые, учитывая все повышающееся быстродействие и специализацию электронных вычислительных машин,

\* Цит. по ст.: И. А. Марон. Академик М. В. Остроградский как организатор преподавания математических наук в военно-учебных заведениях России. «Историко-математические исследования», вып. III. М., Гостехиздат, 1950, стр. 289, 290.

\*\* А. Н. Крылов. Воспоминания и очерки. М., Изд-во АН СССР, 1956, стр. 411.

\*\*\* Вот свидетельство профессора Поссе: «На экзаменах студентов Чебышев не был ни слишком строг, ни слишком снисходителен и всегда чрезвычайно сдержан и вежлив».

провозгласили в наши дни новый девиз творческой работы: «Ученый обязан лишь составлять (открывать) новые уравнения, а решать их будет машина; аналитические методы решения — вымирающие методы». Можно было бы указать на некоторые современные работы по прикладной динамике, в которых при составлении уравнений, описывающих законченности процессов движения, приняты во внимание почти все мало значащие факторы. Известное высказывание Н. Е. Жуковского о том, что «механик должен составлять *интегрируемые уравнения*», считается совершенно устаревшим, а выполнение этого требования — перегружающим ум исследователя дополнительной ненужной и достаточно трудной работой.

Громоздкость и засоренность исходных систем уравнений, в которые втискивается «все» — нужное и ненужное, переключивание качественного анализа процессов движения на вычислительную машину приводит в реальной технической жизни к *грандиозному количеству совершенно ненужных расчетов*. Иногда тонкости и изобретательности человеческого мышления противопоставляются безграничные столбцы цифр, получаемых с выходных устройств различных электронных и электромеханических вычислителей.

В современном вузовском преподавании при изложении сложных динамических проблем частые ссылки на результат машинных вычислений очень редко приводят к «творческому самочувствию» студента и, по моим наблюдениям, весьма основательно вытраивают любознательность и интерес к познанию сути процессов.

*Вычислительная машина должна быть помощником ученого, но не должна управлять им.* Как справедливо указывает Р. Беллман, «машина не может привести к развитию новых методов решения сложных проблем» и на машину следует, по-видимому, возлагать наименее квалифицированную часть научной работы.

Из реального опыта конструирования новых объектов следует принять во внимание, что если аналитические и качественные методы инженерного анализа не дают в ряде случаев достаточных оснований для точной количественной характеристики процессов движения, то не менее часто и многотомные собрания цифр также ничего не дают для выявления отчетливых доминант явлений. Единственный выход из тупика в этом случае — реальный натуральный эксперимент. *«Вычислительная машина не рассуждает. Она не способна принять решение при недостаточности, неоднозначности или неточности исходных данных, с чем прекрасно справляется человек»* \*.

Профессор В. В. Немыцкий (профессор Московского университета, специалист по теории дифференциальных уравнений) пишет: «Каждо-

\* Р. Беллман. Вычислительные машины и принятие решений. «Зарубежная радиоэлектроника», 1964, № 1, стр. 50—55.

му, кто сколько-нибудь сталкивался с задачами автоматики, теории колебаний, телемеханики и небесной механики, хорошо известно, что там, где вычислительные методы становятся бессильными из-за невозможности просчитать бесчисленное множество решений или найти решение на бесконечном интервале, выяснить его поведение вблизи особой точки, приходится прибегать к качественным исследованиям»\*.

Поэтому при подготовке молодых исследователей необходима разумная система совершенствования творческого интеллекта в сочетании (сообразуясь) с возможностями современной машинной математики. Нужно научить будущего исследователя правильно и логично мыслить ранее, чем он приобретает вкус «отдавать» системы уравнений весьма «умным» электронным вычислительным машинам («авось, выйдет!»). К сожалению, в современной научно-технической жизни можно наблюдать случаи, когда машина ведет к умственному ожирению\*\*. Необходимо, особенно в стадии становления и формирования способностей интеллекта, продуманная система развития разума искателей нового, которая могла бы обеспечить в беге времени умственное превосходство исследователей нашей страны. Мы убеждены, что классическое наследие аналитической школы механиков XIX и XX вв. должно лежать в фундаменте современного научного образования.

В ряде статей и выступлений мы указывали, что в области динамики полета летательных аппаратов имеется мощный и плодотворный математический аппарат для исследования нелинейных задач нестационарных движений; это *вариационное исчисление или, более широко, функциональный анализ*. Исследование процессов почти всегда связано с изучением экстремальных свойств функций или функционалов. Методы вариационного исчисления и функционального анализа позволяют не только выделять из бесконечного разнообразия движений, определяемых системами алгебраических и дифференциальных уравнений, более узкие классы движений, для которых заданные интегральные характеристики будут оптимальными; в ряде случаев они дают возможность *детально аналитического исследования*, так как для экстремальных режимов нелинейные дифференциальные уравнения довольно часто ин-

---

\* Б. Ф. Былов, Р. Э. Виноград, Д. М. Гробман, В. В. Немыцкий. Теория показателей Ляпунова и ее приложения к вопросам устойчивости. М., «Наука», 1966, стр. 9.

\*\* Почему-то всем ясна необходимость проведения все более усложняющихся и все более напряженных ежедневных тренировок хоккеистов сборной СССР, дабы занимать первое место в мире; но повышение требований к продуктивности творческого труда ученого или инженера многими воспринимается как недопонимание значения механизации и коллективности в работе.

Убежден (и наблюдения это подтверждают), что внедрение вычислительных машин существенно повышает требования к качеству мышления научного работника, требуя упорных систематических тренировок других участков мозга (работа которых не моделируется вычислительными машинами).

тегрируются в конечном виде. «Опорные» аналитические решения нелинейных уравнений в конечном виде, по-видимому, тесно связаны с условиями оптимальности и играют в задачах динамики полета роль невозмущенных движений, аналогичных кеплеровым движениям в задачах небесной механики.

Мы считаем, что при изложении современной динамики нужно систематически методами вариационного исчисления и функционального анализа выявлять наиболее характерные классы оптимальных нестационарных движений, исследовать их аналитически, определять влияние малых изменений доминирующих параметров на интегральные характеристики движения и создавать «наборы» решений нелинейных задач механического движения, имея которые легче понять по существу основные закономерности самых трудных нестационарных динамических проблем. Это очень важно для повышения научного уровня преподавания, так как в настоящее время строгое исследование влияний нелинейных слагаемых в уравнениях динамики проводится в лекционных курсах весьма редко. Как правило, при получении аналитических решений на характеристики изучаемого неустановившегося движения накладываются столь сильные ограничения, что в большинстве случаев формулы не отражают доминант изучаемых явлений. Внедрение методов вариационного исчисления для исследования нелинейных задач динамики является насущной потребностью современного развития теоретической механики\*.



Летом 1945 г. я был назначен начальником кафедры теоретической механики Военно-воздушной инженерной академии имени профессора Н. Е. Жуковского. Естественно, что передо мной встали следующие два важных вопроса:

Каково должно быть содержание курса механики на различных факультетах?

Как нужно доукомплектовать кафедру опытными, квалифицированными механиками, которые «донесли» бы главные идеи курса до слушателей?

Я начал с критического рассмотрения программы, и первыми нововведениями в курсе были вопросы динамики точки переменной массы, а также более подробное изложение законов сохранения динамических мер механического движения (количества движения, кинетического момента и механической энергии). Я думаю, что строгий вывод уравнения Мещерского, формулы Циолковского и рассмотрение про-

---

\* Мы сделали попытку изложить ряд вариационных задач динамики точки переменной массы в книге «Курс теоретической механики», изд. 3, ч. II. М., «Просвещение», 1966, стр. 140—248.

тейших экстремальных задач динамики точки переменной массы были введены в обязательный курс механики впервые в нашей стране на факультетах Академии имени Н. Е. Жуковского. Позднее я опубликовал ряд задач динамики точки переменной массы в небольшой книжке, изданной в 1947 г. издательством академии \*. Хорошо успевающие слушатели широко использовали эту книжку для подготовки научных докладов в кружках по механике, которые кафедра систематически организовывала начиная с 1945/46 учебного года. Несколько позднее (в 50-х годах) в курс механики была введена глава об эллиптических траекториях в гравитационном (ньютоновом) поле тяготения Земли. Внимание к этой задаче механики было отчасти обусловлено научными исследованиями доцента кафедры Л. М. Лахтина, который систематизировал и дополнил геометрическую теорию эллиптических траекторий и указал простой прием учета вращения Земли при определении дальности полета. Аналитическое изложение решения задачи об эллиптических траекториях, приведенное во втором издании учебника (написанного коллективом кафедры), дал доцент кафедры В. К. Гольцман \*\*.

В конце 50-х годов в раздел «Кинематика точки» была введена глава, посвященная изложению «управляемых» движений точки с краткой характеристикой дополнительных (неголономных) условий, налагаемых на параметры движения методами наведения (метод погони, метод параллельного сближения и др.). В учебник эта глава не вошла, но хорошее изложение этой главы, отражающее методические воззрения коллектива кафедры, дано в пособии для заочников, написанном доктором технических наук Л. М. Воробьевым \*\*\*.

Хотя «типовая» программа курса механики тщательно обсуждалась и утверждалась единодушно всем коллективом кафедры, при реальном исполнении программы я всегда разрешал небольшие вставки нового материала, по каким-либо причинам нравящегося лектору и полезного для слушателей при прохождении специальных дисциплин. Как хороший пример я могу привести лекции доцента М. И. Закалюкина, который ряд лет излагал в курсе механики для 3-го факультета вопросы теории устойчивости. Для слушателей старших курсов и адъюнктов академии кафедра систематически каждый год организовывала чтение факультативных курсов по механике тел переменной массы (читали профессор А. А. Космодемьянский и доцент А. И. Зенкин), а также по развитию и приложениям метода Чаплыгина к задачам нелинейной

\* См.: А. А. Космодемьянский. Механика тел переменной массы. М., Изд-во ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1947.

\*\* См.: А. А. Космодемьянский и др. Курс теоретической механики, ч. I. М., Изд-во ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1958, стр. 369—376.

\*\*\* См.: Л. М. Воробьев. Теоретическая механика (методические указания для слушателей заочного отделения), вып. II. М., Изд-во ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1960, стр. 53—83.

динамики (читал Л. М. Воробьев). Ряд лет (с 1946 по 1952 г.) с необычайным успехом и блеском проходили лекции по методике преподавания технических дисциплин, которые читал профессор кафедры А. П. Минаков.

Для укрепления научно-педагогического состава кафедры были привлечены в академию известные и многоопытные механики нашей страны: профессора А. П. Минаков, С. М. Тарг и В. Г. Гоголадзе. При кафедре была организована аспирантура (адъюнктура). Некоторые из окончивших аспирантуру стали впоследствии преподавателями кафедры (Л. М. Воробьев, М. И. Закалюкин). Большую работу со слушателями всех факультетов успешно вели на кафедре мои ученики по Московскому университету: Л. В. Глики, И. П. Кунце и Н. М. Шахунянц.

Сплочению коллектива кафедры способствовали научные исследования, которые велись по достаточно целеустремленной и продуманной программе. Стержнем этой программы были исследования по вариационным методам решения задач ракетодинамики и развитию общей теории движения тел переменной массы. По-моему, весь коллектив кафедры отлично понимал, что в середине XX в. центр тяжести исследований динамических процессов сместился к нелинейным проблемам, а для корректного аналитического исследования нелинейных проблем наиболее обещающими и плодотворными являются вариационные методы (классические и новые), а также модифицированный и развитый метод Ньютона—Чаплыгина. Это общее для коллектива понимание линии развития науки делало научные заседания кафедры весьма содержательными, а обсуждение докладов и сообщений почти всегда способствовало углублению и внедрению в самую суть рассматриваемой проблемы.

Я знаю, как трудно было командованию факультета и академии в течение 16 лет полностью удовлетворять штатные потребности кафедры, но созданный коллектив механиков обеспечивал научную, методическую и учебную работу в соответствии с задачами академии, являющейся передовым учебным и научным центром ВВС.



Для характеристики моей манеры чтения лекций по механике в академии я расскажу только об одной лекции по динамике точки, посвященной изучению движения в гравитационном (ньютоновом) поле Земли. Начинал я эту лекцию обычно с рассказа о межконтинентальных ракетах и показывал, что изучение движения центра масс ракеты на пассивном участке траектории может быть сведено к задаче динамики точки. Без доказательств я подчеркивал, что учет неравномерности распределения масс геоида приводит к тому, что силовая функция, определяющая гравитационное поле Земли, становится более сложной и отличается от силовой функции центрального ньютонова поля. Затем

я рассказывал (приводя опытные данные), что до высот 110—120 км влияние атмосферы (т. е. аэродинамических сил) на закон движения ракеты весьма существенно и, следовательно, наше решение будет достаточно хорошим только для высот более 110—120 км.

Дабы подчеркнуть важность законов сохранения (площадей и энергии), в течение многих лет я получал уравнение траектории в центральном поле сил, исходя из двух хорошо известных соотношений:

$$r^2 \dot{\varphi} = C_1, \quad \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = U - U_0,$$

где  $r$ ,  $\varphi$  — полярные координаты точки,  $v$  — скорость,  $U$  — силовая функция центрального ньютонова поля. Этот прием нравился мне еще тем, что определение произвольных постоянных через начальные условия выполняется здесь очень просто. Однако в последние годы я пришел к выводу, что слушатели гораздо лучше усваивают ход решения задачи, если дифференциальное уравнение траектории получать, исходя из формулы Бинэ. В этом случае интеграция уравнения траектории совершенно элементарна, но, правда, произвольные постоянные интегрирования определяются несколько сложнее.

Центральным вопросом, которому я уделяю главное внимание в этой лекции, является *исследование оптимальных эллиптических траекторий*. Обычно за два академических часа я успеваю определить оптимальный угол бросания, при котором (при заданной скорости  $v_0$ ) получается максимальная дальность, исследовать настильные и навесные эллиптические траектории, написать (без вычисления  $\int r^2 d\varphi$ ) уравнение Келлера и получить расчетную формулу для рассеивания оптимальных эллиптических траекторий. В заключение лекции я выписываю основные формулы ( $\alpha_{opt}$ ,  $D_{max}$ , углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  для настильной и навесной траекторий) для параболических траекторий (малые дальности полета) (один столбец таблицы) и для эллиптических траекторий (второй столбец таблицы). Сравнительный анализ основных результатов помогает слушателю и лучше запомнить, и лучше понять прочитанную лекцию.



Мне хочется привести некоторые записи из моей «заветной» тетради, дабы пояснить, какие проблемы и в какой форме я рассматриваю на лекциях, для того чтобы восстановить внимание слушателей (снять усталость и поддержать «эмоциональную кривую лекции» на высоком уровне, как часто говорил А. П. Минаков). Эти записи, сделанные в различные периоды моей педагогической работы, сгруппированы по отдельным проблемам, интерес к которым у современного студенчества не меньше, чем был у молодежи 30-х годов, когда я начинал преподавание механики в университете.

## Теория и практика

При чтении курса теоретической механики в университете я иногда рассказывал студентам, что в жизни человеческого общества при создании реальных объектов до сих пор нередки случаи, когда умный, опытный человек без диплома во много раз предпочтительнее «милой посредственности» с дипломом. «Диплом», «знаменитый» вуз, «законченное среднее» или «законченное высшее» — плохие помощники и советчики молодого специалиста, если он полагает, что после окончания вуза или техникума ему *все* известно и он *все* умеет.

При формировании настоящего инженера важнейшую роль играют «верный глаз», «инженерная интуиция», «опыт работы» — категории, относящиеся к наиболее тонким характеристикам психологии научно-технического творчества; и одновременно житейски они точно передают восхищение перед подлинным мастерством.

° Для университетской аудитории я очень рекомендую рассказ академика А. Н. Крылова о замечательном русском кораблестроителе Петре Анкиндиновиче Титове, самоучке без диплома, ставшем в 1882 году главным инженером и управляющим верфью, где строились крупные военные корабли. Вот некоторые выдержки из этого рассказа: «Среди рабочих Петр Анкиндинович пользовался безграничным уважением и авторитетом, ибо рабочие видели в нем своего человека, который *каждую работу знал и умел выполнять в совершенстве*. И действительно, часто можно было видеть, как Титов подходил к молодому, еще неопытному рабочему, брал у него, например, ручник и зубило и показывал, как надо, обрубая кромку листа, держать зубило, как бить ручником и пр. При этом стружка у него завивалась как бы сама собой, и старики рабочие *любовались его работой*»\*.

«Верность его глаза была поразительная. Назначая, например, размеры отдельных частей якорного или буксирного устройства, или шлюпбалок, или подкреплений под орудия, он никогда не заглядывал ни в какие справочники, стоявшие на полке в его кабинете, и, само собой разумеется, не делал, да и не умел делать никаких расчетов. Н. Е. Кутейников, бывший в то время самым образованным корабельным инженером в нашем флоте, часто пытался проверять расчетами размеры, назначенные Титовым, но вскоре убедился, что это напрасный труд — *расчет лишь подтверждал то, что Титов назначил на глаз*».

А. Н. Крылов подружился с Титовым, несмотря на значительную разницу лет, и начал с ним заниматься математикой и механикой. Вот красочный эпизод тех лет.

\* А. Н. Крылов. Воспоминания и очерки. М., Изд-во АН СССР, 1956, стр. 72—79. (Подчеркнуто нами. — А. К.)

«Не раз Петр Анкиндинович говаривал мне: «Ну-ка, мичман, давай считать какую-нибудь стрелу или шлюпбалку».

По окончании расчёта он открывал ящик своего письменного стола, вынимал эскиз и говорил: «Да, мичман, твои формулы верны: видишь я размеры назначил на глаз — сходятся».

И далее Крылов пишет: «Лишь восемнадцать лет спустя, занимая самую высокую должность по кораблестроению, я оценил истинное значение этих слов Титова. Настоящий инженер должен верить своему глазу больше, чем любой формуле; он должен помнить слова натуралиста и философа Гексли: «Математика, подобно жернову, перемалывает то, что под него засыпают», — и вот на эту-то засыпку прежде всего инженер и должен смотреть».

Зная, что академик А. Н. Крылов известен студенчеству своими работами по математике и теоретической механике (его курсы по приближенным вычислениям, уравнениям математической физики, небесной механике и теории гироскопов широко используются в вузовском преподавании), я считал важным довести до студентов-универсантов точку зрения Крылова на стиль мышления математика и инженера. Обычно я приводил следующие отрывки из статей академика:

«Геометру как бы нет дела до того, есть ли в природе такие предметы, к которым его образы относятся; для него важно, что он их создал в своем уме, приписал им определения, аксиомы и допущения, после чего он с полной логичностью и строгостью развивает следствия этих аксиом и допущений, не вводя при этом никаких других аксиом и никаких новых допущений, — до остального ему дела нет.

Ясно, что практик, техник, каковым и должен быть всякий инженер, смотрит на дело совершенно иначе. Он должен развивать не только свой ум, но и свои чувства так, чтобы они его не обманывали; он должен не только уметь смотреть, но и видеть; он должен не только слушать, но и слышать, не только нюхать, но и чують; свои же умозаключения он должен сводить не к робкому Декартову: «мыслю — значит существую», а к твердому практическому: «это я вижу, слышу, осязаю, чую — значит это так и есть».

«Ясно, что сколько бы ни было точно математическое решение, оно не может быть точнее тех приближенных предпосылок, на коих оно основано»\*.

Для студенчества технических вузов мне кажется очень важной следующая мысль академика А. Н. Крылова: «Теория и практика — оба слова греческие, по-русски ближе всего, не вполне передаваемые словами: *обсуждение* и *действие*. Отсюда ясно общее соотношение меж-

---

\* А. Н. Крылов. Воспоминания и очерки. М., Изд-во АН СССР, 1956, стр. 607 и 614.

ду теорией и практикой. Можно *обсуждать не действуя*, но *гораздо хуже действовать без обсуждения*.

Теория без практики мертва или бесплодна, практика без теории невозможна или пагубна.

Для теории нужно главным образом знание, для практики — *сверх того и умения*\*.

При чтении лекций для инженеров (я читал лекции по ракетодинамике на Высших инженерных курсах при МВТУ им. Баумана) *следует многократно подчеркивать ведущую роль теории*. Вот хорошая мысль Д. И. Менделеева: «Практические дела делаются только исходя из общих начал, только при знакомстве с абстрактами, до них относящимися».

Еще Леонардо да Винчи писал: «О заблуждении тех, кто пользуется практикой без науки. Влюбленные в практику без науки — словно кормчий, ступающий на корабль без руля или компаса; он никогда не уверен, куда плывет. Всегда практика должна быть воздвигнута на хорошей теории».

«Наука — полководец, а практика — солдаты»\*\*.

### Наследственность и воспитание

Самое благородное в профессии педагога высшей школы состоит в том, что он может (и должен) заметить одаренного студента, способен (и обязан) пробудить его к активной интеллектуальной деятельности, дать в самом начале сильную и интересную тему для размышлений и вызвать интерес к самостоятельному научному исследованию.

В советской литературе по психологии научного творчества правильно подчеркивается, что способности человека становятся (формируются) в труде (в «деянии»; как часто говорил М. Горький). От природы человек получает лишь потенциальные возможности («задатки») к *освоению* интеллектуальных богатств, которые выработало человечество, и *пополнению* этих богатств, если «задатки» полноценны и оригинальны. Но важнейшим фактором, от которого зависит, в сущности, *все*, является целенаправленный ежедневный труд, который необходим как для *освоения известного*, так и для *открытия неизвестного*. «В процессе человеческой деятельности человек не только *проявляется*, но и *формируется*». «В процессе созидания материальной и духовной культуры духовные способности человека, его сознание не только проявлялись, но и формировались»\*\*\*.

\* А. Н. Крылов. Воспоминания и очерки. М., Изд-во АН СССР, 1956, стр. 759.

\*\* Леонардо да Винчи. Избранные естественнонаучные произведения. М., Изд-во АН СССР, 1955, стр. 23.

\*\*\* С. Л. Рубинштейн. Проблема деятельности и сознания в системе советской психологии. «Ученые записки МГУ», вып. 90. М., 1945, стр. 17.

То, что обычно называют «наследственностью», есть «задатки», «потенциал», предрасположение к определенному виду творческой деятельности. Но переход от «потенциала» к *созиданию реальной научной продукции* в значительной мере зависит от научной школы, состава профессуры, способной пробудить к действию и направлять это действие на проблемы, достойные и нашего времени, и назначения человека — строителя нового общества.

Мы часто говорим об «интуиции», «озарении», «прозрении» в процессе творческой работы. Я всегда подчеркиваю студентам, что *без систематического труда*, сосредоточенного размышления, видения предмета размышлений с разных сторон и в самых неожиданных взаимодействиях с уже известным у данного индивидуума (с отличными наследственными «задатками») *не будет* счастливых интуитивных догадок, *не будет* «озарений» и «прозрений».

Наполеон говорил, что «вдохновение — это быстро сделанный расчет»\*. В теоретической механике почти всегда за интуитивной догадкой (вдохновением, озарением) наступает полоса длительных (часто мучительных) логических построений, оправдывающих (строго доказывающих) эту догадку.

В рациональном логическом мышлении я иду последовательно, отчетливо видя разумом *все* «кадры» разворачивающейся картины; при интуитивной догадке процесс столь конденсирован во времени (а иногда, по-видимому, скрыт в бессознательном), что я не различаю отдельных звеньев процесса, зная лишь *начало*, т. е. *предмет моих предварительных размышлений над проблемой*, и *конец*, т. е. *то решение*, которое я называю интуитивной догадкой. Заполнение процесса от начала и до конца строгими математическими доказательствами переводит интуитивную догадку в логическое искомое решение проблемы. Следует согласиться с профессором С. Л. Рубинштейном, который писал, что в работе ученого интуитивное решение очень часто бывает лишь «предвосхищением итога мыслительной работы, *которая еще должна быть произведена*»\*\*.

Разъясняя студентам необходимость интенсивной систематической работы (иначе никогда не озарит счастливая догадка), я часто привожу вымышленный разговор между знаменитыми французскими материалистами Гельвецием и Дидро на тему о «наследственности» («организации», по терминологии Гельвеция) и «воспитании» (т. е. научной школе). Вот часть этого разговора:

«Гельвеций. Воспитание значит все.

Дидро. Воспитание значит *много*.

---

\* Б. М. Теплов. Проблемы индивидуальных различий. М., Изд-во АПН РСФСР, 1961, стр. 319.

\*\* С. Л. Рубинштейн. Основы общей психологии. М., Учпедгиз, 1940, стр. 483.

Гельвеций. Организация *не значит ничего*.

Дидро. Она *значит меньше*, чем это обычно думают.

Гельвеций. Все нормально организованные люди *одинаково способны ко всему*.

Дидро. Ко *многому*.

Гельвеций. *Все люди*, которые в состоянии понять научную истину, *могли бы открыть ее*.

Дидро. Некоторые.

Гельвеций. Интерес *вполне заменяет* недостаток организации.

Дидро. Более или менее в зависимости от недостатка.

Гельвеций. Гений — это случай.

Дидро. Он помещает его в благоприятную обстановку.

Гельвеций. Что делает воспитатель, чего желает он? — *Расправить крылья гению*.

Дидро. Значит, *гений предшествует воспитанию*.

Гельвеций. Лестница, отделяющая людей по их умственным способностям, — *выдумка*.

Дидро. Она может быть не так длинна, как это обычно думают\*.

#### Содержание и форма

С годами я становлюсь все придирчивей к *форме изложения* лекций, научных статей, монографий и учебников по механике. Мне кажется, что развитие коллективных форм работы привело (прошу простить за старческое брюзжание) к безответственности изложения и часто оформление научного отчета поручается наименее компетентному члену «коллектива авторов». Я давно не слышал и не видел, чтобы при написании научного отчета его авторы неоднократно улучшали изложение, шлифуя каждую фразу, делая изложение компактным и доступным для читателей, которым отчет предназначается. Большинство произведений в наши дни возникает в крайней спешке, открытия «планируются» к заданному сроку, форма находится в полном пренебрежении.

Я убежден, что обдуманная и подходящая к содержанию *форма изложения отчетливо характеризует мастерство автора* и однозначно показывает, насколько автор понимает существо дела. Мне кажется очевидным, что и в 60-х годах XX в. остаются справедливыми прощательные слова М. В. Ломоносова, который утверждал: «Те, кто пишут темно, либо невольно выдают этим свое невежество, либо намеренно, но худо скрывают его. *Смутно пишут о том, что смутно себе представляют*»\*\*.

\* Д. Дидро. Соч., т. II, Философия. М.—Л., «Academia», 1935, стр. 215—227.

\*\* М. В. Ломоносов. Полн. собр. соч., т. I. М., Изд-во АН СССР, 1950, стр. 145. (Подчеркнуто нами.— А. К.)

При чтении лекций в университете, где среди студенчества имеется некоторая прослойка «свободных художников», совершенно беззаботных по отношению к форме устного и письменного изложения мыслей, я иногда (в последние годы особенно) «вспыхиваю» и читаю известный «Сонет к форме» В. Брюсова (обычно первые два четверостишия):

«Есть тонкие властительные связи  
Меж контуром и запахом цветка.  
Так бриллиант не видим нам, пока  
Под гранями не оживет в алмазе.  
Так образы изменчивых фантазий,  
Бегущие, как в небе облака,  
Окаменевают, живут потом века  
В отточенной и завершенной фразе»\*.

Иногда я напоминаю студентам чеканное стихотворение Н. А. Некрасова «Форма»:

«Форме дай щедрую дань  
Временем: важен в поэме  
Стиль, отвечающий теме.  
Стих, как монету, чекань  
Строго, отчетливо, честно,  
Правилу следуй упорно:  
Чтобы словам было тесно,  
Мыслям — просторно»\*.

Я заметил, что эти мои «брюзжания» и «вспышки», выраженные в превосходных стихах, способствуют чистоте тетрадей, аккуратности записей, четкости изложения курсовых работ гораздо больше, чем скучные «прозаические» нотации или так называемая «строгость».

Я не буду приводить дальнейших записей, отмечу только, что мне кажется уместным рассказывать студентам (и я это делаю) о методах тренировки мозга для исследовательской работы, о движущих силах научно-технического и художественного творчества (по материалам переписки Дидро и Фальконе)\*\*\*, о пробуждении любознательности, о теории познания природы, развитой в философских работах В. И. Ленина, Ф. Энгельса, Л. Фейербаха, Д. Дидро, К. Гельвеция и даже Г. Гейне. В последние годы в связи с быстрым ростом «науки о науке» я привожу ряд закономерностей, характерных для развития науки, особенно за последние 50 лет.

---

\* В. Я. Брюсов. Стихотворения. Библиотека поэта. Малая серия. Л., «Советский писатель», 1959, стр. 61.

\*\* Н. А. Некрасов. Избр. произв. М.—Л., Детгиз, 1953, стр. 552.

\*\*\* См.: Д. Дидро. Собр. соч., т. IX, Письма. М.—Л., Гослитиздат, 1950, стр. 247—482.

Времени на эти «посторонние» теоретической механике достижения человеческого ума тратится немного, но в большинстве случаев мне удавалось владеть аудиторией и *никогда* не прибегать к административной помощи для создания творческой атмосферы лекции.



Для иллюстрации я приведу только один пример внедрения в курс механики краткого рассказа о жизни и творчестве выдающихся творцов классической и релятивистской механики.

У меня, как и у многих преподавателей, есть, конечно, любимые авторы, которые дороги мне многими чертами интеллекта и характера. Я изложу конспективно основные мысли о великом Галилее, которые я обычно излагаю в динамике точки при рассмотрении всем хорошо известного примера о прямолинейном равнопеременном движении точки\*.

Я начинаю рассказ с известной характеристики работ Галилея, данной Лагранжем в его «Аналитической механике».

«Эта наука (динамика) целиком обязана своим развитием новейшим ученым, и Галилей заложил первые ее основы. До Галилея силы, действующие на тела, рассматривали только в состоянии равновесия, и хотя ускоренное падение твердых тел и криволинейное движение брошенных тел не могли приписать какой-либо причине, кроме постоянного действия тяжести, тем не менее *никому до Галилея не удалось определить законов этих повседневных явлений*, несмотря на то, что причина их столь проста. Галилей первый сделал этот важный шаг и этим открыл новый и необозримый путь для прогресса механики. ...Однако у современников работы по динамике не доставили Галилею столько славы, сколько открытия, произведенные им на небе: тем не менее *в настоящее время они составляют наиболее надежную и существенную часть славы этого великого человека*». «Нужен был необыкновенный гений, чтобы открыть законы природы в таких явлениях, которые всегда пребывали перед глазами, но объяснение которых тем не менее всегда ускользало от изысканий философов»\*\*.

Затем я перечисляю основные открытия Галилея в области астрономии:

- усовершенствование зрительной трубы;
- изучение поверхности Луны и объяснение пепельного цвета Луны;
- открытие либрации Луны;
- открытие фаз Венеры и четырех спутников Юпитера;

---

\* Долгие годы я мечтал написать очерк о работах Галилея по механике и астрономии. Мною был собран обширный и интересный материал. К сожалению, очерка не получилось.

\*\* Лагранж. Аналитическая механика, т. I. М.—Л., ГТТИ, 1938, стр. 165. (Подчеркнуто нами. — А. К.)

объяснение удаленности звезд и сложного строения Млечного Пути; блестящее изложение системы Коперника — и выписываю на доске важнейшие динамические законы и главные результаты, найденные Галилеем в теоретической механике, а именно:

строгие определения скорости и ускорения;  
первые формулировки закона инерции и закона независимого действия сил;

установление законов прямолинейных равнопеременных движений;  
формулировка принципа относительности классической механики;  
исследование параболических траекторий в однородном поле силы тяжести;

открытие изохронности малых колебаний маятника;  
первая формулировка закона сохранения механической энергии при колебаниях маятника;

правильное разъяснение существования предельной скорости при движении под действием постоянной силы в сопротивляющейся среде;  
точная постановка задач теории подобия;

глубокие и верные догадки о принципе возможных перемещений и первая формулировка «золотого правила» механики.

Я уверен, что лучше всего и ближе всего к истине характеризовать Галилея как *романтика, одержимого созданием великой и бессмертной научной поэмы — классической механики* с ее точными методами исследования и ее догадками (в те годы) о строении и законах мироздания. Романтик в науке — не беспочвенный фантазер. Нет! Романтик сосредоточивает в своих творческих порывах *все* человеческое: и разум, и волю, и сердце. Романтик дает слово «голосу чувств в строго научном вопросе», и он уверен, что искание истины, открытие нового есть лучший удел человека на Земле.

Глубоко заблуждаются авторы, рисующие Галилея хитроумным политиком, расчетливым льстецом перед могущественными кардиналами и верноподданным католиком. Я пытаюсь разъяснить студентам, что, если бы у Галилея эти черты характера были доминирующими, то создать новую науку — динамику — он бы не смог. У верноподданных, расчетливых, хитроумных (вроде кардинала Ришелье у Дюма или реально существовавшего Талейрана) работают другие участки мозга, интеллектуальная энергия направляется (канализируется) в другие области, человек выражается в *дельца* (менеджера), которому личные интересы, собственное «Я» заслоняют и закрывают мир научного творчества и созидания.

Человечество в процессе развития не может опираться на науку, выводы которой противоречат наблюдаемым явлениям, общественной практике. У Галилея любовь к конкретному техническому творчеству (он был первоклассный инженер), знание реальной жизни, ее неоспо-

римой логики, более убедительной, чем иезуитизм инквизиции и аристотелианцев, начали постепенно формировать *основы нового подхода к изучению и пониманию явлений природы*. Галилей в спорах, письмах, монографиях неоднократно подчеркивает мысль, что если в жизни, в природе, на небе мы видим реальное течение явлений, а официальная наука при объяснениях существа дела пересказывает цитаты из священного писания, то такая наука бесплодна и не нужна обществу.

Рассказывая об открытиях Галилея, я стараюсь подчеркнуть, что люди до сих пор еще не знают ясного и рационально прослеживаемого пути от *логики фактов, логики реальных процессов* к логике науки, открытиям, законам естествознания. Бывают люди, которые «чуют» эти законы, но не могут их формулировать; но вот появляется Галилей и делает эти законы достоянием всего человечества. Такие экземпляры человеческой породы, как Галилео Галилей, и есть создатели — творцы научного мировоззрения и научного мышления. Галилей считал, что «найти даже простую истину гораздо важнее, чем обстоятельнейшим образом спорить о самых высоких материях, не добившись вообще какой-нибудь истины».

Рассказывая о борьбе Галилея за новое, научное мировоззрение, новые, в том числе и экспериментальные, методы исследования явлений природы, я стараюсь подчеркнуть его творческий оптимизм и его остроумную полемику с авторитетами, канонизировавшими учение Аристотеля. «Там, где дело идет о законах природы, доступных духовным очам каждого, тот или другой авторитет теряет силу убедительности, уступая место силе разума», — писал Галилей.

Многолетняя целеустремленная борьба Галилея за свободу научного исследования не утратила актуальности до наших дней; слишком много развелось в науке и около науки менеджеров-координаторов, которые жаждут газетного шума, «паблисити», нисколько не интересуясь исканием истины. Мысль живую человеческую можно, конечно, временно придушить, но нельзя уничтожить. Яркие выступления Галилея против догматиков, схоластиков, против невежд, цитирующих обоготворенного Аристотеля и священное писание, делают этого гения нашим соратником на трудной дороге борьбы за подлинную науку, возвеличивающую разум и дающую человечеству могущественные средства для овладения природой.

Я всегда стараюсь подчеркнуть перед студентами *нравственное величие* Галилея по сравнению с его противниками. Он с удивительной пронизательностью правильно писал, что «невежество, зависть и бесовскость — могущественные кузнецы моей судьбы». Галилей защищал перед всем миром права и коренные интересы человеческого ищущего разума.

◆

Излагаемые здесь (в заключение) мысли, может быть, будут представлять интерес для молодых преподавателей теоретической механики. Я думаю, что перед любым начинающим преподавание в высшей школе естественно возникает вопрос: «Как преподавать?» От правильного ответа на этот вопрос зависит многое, но в особенности *«интеллектуальный климат» данного вуза*. Некоторые ученые — наши современники — считают, что никаких особых правил, никакой методики преподавания в высшей школе не существует. Методические искания — удел учителей начальной и средней школы. «Знай свой предмет и излагай его ясно», — вот единственное правило, которое не уставал повторять мой университетский учитель профессор В. В. Голубев.

Многие преподаватели, особенно универсанты, считают, что успех преподавания в вузе целиком определяется научным потенциалом, профессиональной эрудицией преподающего. Известного ученого, знатока своего дела, говорят они, всегда будут слушать внимательно, с интересом, как бы «антипедагогично» он ни читал. В качестве основного аргумента приводится утверждение, что в вуз идут учиться взрослые, сознательные юноши и девушки, твердо решившие вопрос о выборе профессии, и для них всегда предпочтительнее в преподавании содержание, а не форма. Соединение в одном лице и крупного ученого, и выдающегося лектора — явление весьма редкое, и при массовости нашего высшего образования ориентация на такие «удачи», «причуды природы» не заслуживает внимания. В общем считается неразумным и бесплодным обсуждение проблемы «Как преподавать?»

Вспоминая о моих студенческих годах, я отчетливо вижу исполнение лекций профессорами Московского университета И. И. Жегалкиным, Н. Н. Лузиным, А. И. Некрасовым, А. П. Минаковым, В. В. Голубевым, Н. Н. Бухгольцем, А. Н. Журавченко, и я уверен, что *вопросам техники преподавания они уделяли серьезное и постоянное внимание*. Пренебрежение к форме изложения есть неуважение к студенческой аудитории. «Карабкайся к вершинам науки как хочешь» — кредо самоуверенных личностей, внутренне убежденных, что преподавание в высшей школе это «отходы научного творчества», профессиональное занятие посредственностей.

В течение тридцати пяти лет моей преподавательской деятельности в различных московских вузах я систематически думал о преподавании и неоднократно пытался (хотя бы для себя) формулировать главное, чем следует руководствоваться при изложении курса теоретической механики. Я думаю, что правила преподавания существуют для преподавателей всех рангов советской высшей школы. Остерегаясь на-

водящего скуку многословия при объяснении важности указанной проблемы, я рискую дать лаконичные правила преподавания механики для молодых преподавателей. Это выстраданные за долгие годы советы и положения, предназначенные для размышлений ученых и преподавателей, и автору не хотелось бы, чтобы сказанное ниже понималось как своего рода воинский устав\*.

Вот эти правила:

I. Знания и любовь к делу — основа успешного преподавания.

II. Никогда не думай, что ты знаешь лучше и понимаешь изложенное глубже, нежели твоя аудитория. Помни, что в механике гениальная интуиция иногда заменяет долгие годы усидчивой работы. Разве ты уверен, что среди твоих студентов нет гения?

III. Всегда заметно, как ты подготовлен. Не фантазируй в доказательствах около доски. Систематической работой над выдающимися произведениями творцов механики совершенствуй логику суждений.

IV. Сначала нужно пережить основное содержание лекции — потом его излагать. Не читай лекций с «чужого голоса».

V. Творческая работа преподавателя видна любому студенту. Если преподаватель — хозяин своего раздела науки, он может интересно преподавать.

VI. Углубляясь в детали своей научной дисциплины, никогда не забывай о связи ее с другими предметами. Рассматривай иногда свою науку издали. Широкие философские обобщения помогают расти твоим слушателям и тебе самому.

VII. Бойся безразличия. Если преподавание для тебя только обязанность, избери лучше другую профессию.

VIII. Изучай историю науки. Примеры великих мастеров всегда поучительны.

IX. Изучение нового — не только работа разума. Изучающий должен еще *хотеть* знать. Действенно хотеть — это значит выявить энергию характера — волю. Я думаю, что, кроме хотеть, нужно еще и любить.

X. Нужны: диалектико-материалистический метод в философских обоснованиях, математическая строгость в изложении, кристальная ясность при рассмотрении примеров и аналогий, легкая улыбка, когда трудность преодолена.

XI. Механика может гордиться глубиной и величиим руководящих идей. На частных задачах помогай студентам усваивать большие идеи. В механике примеры учат не меньше, чем правила.

---

\* Предлагаемые правила для начинающих преподавателей высшей школы освещают только режиссуру сложного процесса обучения и притом в форме, вероятно, раздражающей педантов. Мы хотели бы обратить внимание читателей на основную тенденцию этих правил: профессия педагога-ученого требует целеустремленности всей жизни человека, всей без исключения.

XII. Не делай в изложении легким то, что на самом деле трудно. Упрощение — не всегда начало пути познания. Настойчивый труд необходим для овладения специальностью, он основа самостоятельного творчества. Приучай не только знать, но и уметь. Дилетант не будет творцом, ибо он не знает, что делать с мыслями, когда они у него появляются.

XIII. Не важничай перед студенческой аудиторией. Помни: важность — это уловка тела, дабы скрыть недостатки ума.

XIV. Если ты не чувствуешь аудитории, тебе не удастся владеть ею.

XV. Не добивайся внимания на лекциях строгими дисциплинарными взысканиями и нотациями. Только красота человеческой мысли порывает и делает внимательным каждого студента.

XVI. При оценке знаний никогда не руководствуйся личными симпатиями. Твои ошибки будут снижать достоинство науки.

XVII. Сущность механики — это практические приложения ее открытий. Показывай студентам, как наука способствовала росту могущества нашей Родины. Деяние на благо народа есть благородная и возвышенная цель жизни на Земле. Если человек живет только для себя, то он никому не нужен. *Учи уважать творения предшествующих поколений и воспитывай дерзость мысли для новых открытий.* Ни в природе, ни в технике нет сил, которые могли бы противоборствовать способности человеческого ума искать и открывать новое.



Я люблю преподавание. Я не анализировал, почему это неистребимая потребность моей духовной жизни. Я убежден, что процесс образования и воспитания молодежи обретает неодолимую убедительность и действенность, если преподающий *претворяет* первым в жизнь провозглашаемые принципы. *Личный пример* и в аудитории, и в реальном деле, интенсивный творческий труд — основа генеральной линии поведения педагога высшей школы и залог успеха многих начинаний. Изложение курса механики нужно строить так, чтобы наука возникала перед слушателями как «творение рук человеческих», как изменчивое, живое, совершенствующееся. Надо уметь показать, что в механике безграничное число нерешенных проблем и молодые силы абсолютно необходимы для прогресса этой области человеческого знания.

Я отрицательно отношусь к различным по форме и конструктивному оформлению (но удивительно бедным по существу) обучающим машинам. Эти машины хороши для тренировок практических навыков, где машинные методы (имитаторы, тренажеры и т. п.) экономят и время, и материальные ресурсы. Но машины непригодны для подготовки

научных работников и инженеров-исследователей; *машины не научат думать и создавать новое.*

И последнее. В одном из произведений Марина Цветаева, цитируя стихотворение А. Блока «О, нет! не расколдуешь сердца ты...», приводит следующие заключительные строки:

«Но есть ответ в моих стихах тревожных:  
Их *тайный жар* тебе поможет жить».

И взволнованно восклицает: «*Тайный жар* и есть — *жить*».

Так вот, без «тайного жара» нет настоящего педагогического процесса: нет ни обучения, ни воспитания. Без тайного жара может быть отбытие наказания, заработок, ремесло, профессиональная обязанность и многое другое, но не слово Учителя — наставника молодежи. *Учитель* — это носитель «тайного жара», который и есть — *жить!*

ОСНОВОПОЛОЖНИКИ  
ТЕОРИИ  
ДВИЖЕНИЯ РАКЕТ  
И МЕХАНИКИ ТЕЛ  
ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ



**КОНСТАНТИН ЭДУАРДОВИЧ  
ЦИОЛКОВСКИЙ**

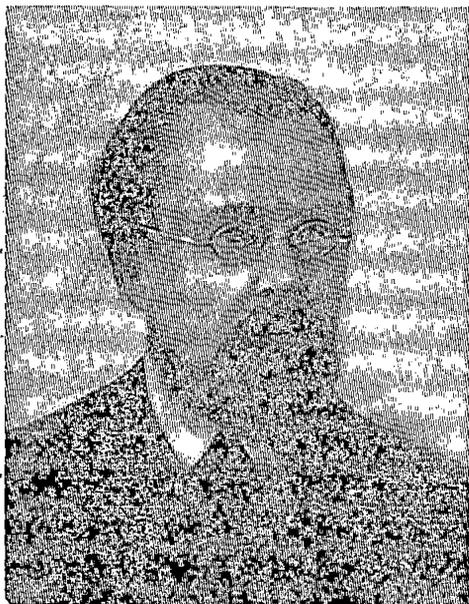
Нет ничего более практичного,  
чем хорошая теория.

(Л. Больцман)

I. Среди великих достижений мировой науки и техники конца XIX и XX столетий одно из важнейших мест принадлежит достижениям в области ракетной техники. Теоретической основой изучения реактивного движения является механика тел переменной массы. Систематические приложения общей теории движения тел переменной массы к исследованию прямолинейных движений ракет привели к возникновению и бурному развитию новой научной дисциплины — ракетодинамики. Основоположником ракетодинамики является Константин Эдуардович Циолковский, знаменитый деятель русской науки и техники.

Жизнь этого великого русского человека — героическая жизнь исследователя. Начиная с 16-летнего возраста, он отдавал все свое время, все свои мысли любимой идее — покорению людьми воздушного океана и безграничных космических пространств. В истории мировой науки его творчество вызывает удивление и восхищение. Его научные искания были многогранны и самобытны. Он сделал ряд выдающихся открытий по экспериментальной аэродинамике, теории авиации, ракетодинамике, теории межпланетных путешествий, геофизике и биологии. Его перу принадлежат такие оригинальные и спорные статьи по философии, языкознанию, проблемам общественной жизни и организации промышленности на искусственных островах-планетах, плавающих вокруг Солнца где-то между орбитами Марса и Юпитера. Эти работы вызывают страстные дискуссии среди ученых и инженеров в наши дни.

Циолковский первым разработал строгую математическую теорию движения двухступенчатой ракеты в 1926 г. Подробную законченную



*Константин Эдуардович  
Циолковский*  
(1857—1935)

теорию многоступенчатых ракет (или поездов ракет) он опубликовал в 1929 г. Эта теория стала той научной базой, на которой создавались первые межконтинентальные баллистические ракеты, первые искусственные спутники Земли, облетающие нашу планету, и первые пилотируемые космические корабли, предназначенные для завоевания безграничных просторов космоса. Будущее космонавтики неотделимо от развития мощных многоступенчатых ракет.

Однако этот великий человек, гордость русской науки, до 60-летнего возраста был малоизвестным «оригиналом», «дилетантом-самоучкой» даже в родной стране. Всю свою жизнь, начиная с 1880 г., он работал в средней школе учителем математики и физики, чтобы получать средства к существованию. Научные статьи Циолковского начали появляться в печати с 1891 г.; многие работы до 1917 г. были изданы в Калуге в виде небольших брошюр мизерными тиражами на средства автора. Эта пропаганда своих научных идей — подлинный крик души Циолковского, который творил в невероятно тяжелых материальных и моральных условиях. Работы Циолковского по ракетной технике начали переводиться на иностранные языки только с 1925 г., и тогда его имя становится известным в Западной Европе и Америке.

В летописях истории науки мало, пожалуй, найдется людей с таким широким пониманием явлений природы и технического прогресса, с та-

ким проницательным умом, с такой наивной, горячей верой в могущество науки, с такой высокой научной продуктивностью.

2. Константин Эдуардович Циолковский родился 17 сентября 1857 г. в селе Ижевском, Спасского уезда Рязанской губернии, в семье лесничего. О своих родителях К. Э. Циолковский писал в автобиографии: «Характер моего отца был близок к холерическому. Он был всегда холоден, сдержан. Среди знакомых отец слыл умным человеком и оратором. ... У него была страсть к изобретательству и строительству. Меня еще не было на свете, когда он придумал и устроил молотилку. Увы, неудачно. Мать была совершенно иного характера — натура сангвиническая, горячка, хохотунья, насмешница и даровитая. В отце преобладал характер, сила воли, а в матери — талантливость». Константин Эдуардович унаследовал сильную, непреклонную волю отца и талантливость матери.

Первые годы детства К. Э. Циолковского были счастливыми. Летом он много бегал, играл, строил с товарищами в лесу шалаши, любил лазать на деревья. Часто запускал воздушного змея и отправлял ввысь по нитке почту — коробочку с тараканом. Зимой с восторгом катался на санках.

Но его детские годы были омрачены тяжелой болезнью. На десятом году, в начале зимы, Циолковский заболел скарлатиной и в результате осложнений почти совершенно потерял слух. Глухота не позволила мальчику успешно продолжать учебу в школе, и с 14 лет он начал заниматься самообразованием, используя книги, которые имелись в библиотеке отца. Тогда же в нем пробуждается страсть к изобретательству: он клеит из тонких листов бумаги воздушные шары, делает маленький токарный станок и конструирует коляску, которая движется под парусами от давления ветра. Отец сочувственно относился к изобретательству и техническим затеям сына. Когда К. Э. Циолковскому исполнилось 16 лет, отец решил отправить его в Москву для самообразования. Он считал, что наблюдения над технической и промышленной жизнью большого города помогут формированию изобретательских наклонностей сына. Вот оценка этого периода жизни, данная К. Э. Циолковским: «Отец вообразил, что у меня технические способности, и меня отправили в Москву. Но что я мог там делать со своей глухотой! Какие связи завязывать? Без знания жизни я был слепой в отношении карьеры и заработка. Я получал из дома 10—15 руб. в месяц. Питался одним черным хлебом, не имел даже картошки и чаю. Зато покупал книги, трубки, реторты, ртуть, серную кислоту и проч. Я помню отлично, что, кроме воды и черного хлеба, ничего не было. Каждые три дня я ходил в булочную и покупал там на 9 коп. хлеба. Таким образом, я проживал 90 коп. в месяц». С 16 до 19 лет (1873—1876 гг.) Циолковский жил на студенческом положении в Москве, работая самостоятельно в библиотеках и

проводя школьные эксперименты по физике и химии в темном сыром угле, который он снимал у прачки.

В эти годы у Циолковского зарождается мысль о завоевании мировых пространств путем использования свойств центробежной силы. «Я был так взволнован, даже потрясен, — писал позднее Константин Эдуардович, — что не спал целую ночь, бродил по Москве и все думал о великих следствиях моего открытия. Но уже к утру я убедился в ложности моего изобретения. Разочарование было так же сильно, как и очарование. Эта ночь оставила след на всю мою жизнь; через 30 лет я еще вижу иногда во сне, что поднимаюсь к звездам на моей машине и чувствую такой же восторг, как в ту незапамятную ночь».

В 1879 г. Константин Эдуардович сдал экстерном экзамен на звание учителя и в январе 1880 г. был назначен на должность учителя арифметики и геометрии в Боровское училище Калужской губернии\*.

Работая учителем, Циолковский начал свои первые научные исследования. Его главные научные работы были тесно связаны с *тремя фундаментальными научно-техническими проблемами*, к исследованию которых он подходил и как изобретатель. Этими проблемами являются: *цельнометаллический дирижабль, аэроплан и ракета для межпланетных сообщений*.

Большинство работ, связанных с цельнометаллическим дирижаблем, было выполнено с 1885 по 1892 г. Описание и расчет хорошо обтекаемого аэроплана с легким двигателем были опубликованы в 1894 г. С 1896 г. Циолковский систематически занимался теорией движения ракет и предложил ряд конструктивных схем ракет дальнего действия и ракет для межпланетных путешествий. В последние годы жизни он много и плодотворно работал над созданием теории полета реактивных самолетов и изобрел схему газотурбинного двигателя. Работы К. Э. Циолковского по аэродинамике, ракетной технике, дирижаблестроению и естественнонаучным вопросам изданы Академией наук СССР, составляя четыре тома его собрания сочинений.

3. В одной из своих автобиографических заметок Циолковский писал: «В 1885 году, имея 28 лет, я твердо решил отдаться воздухоплаванию и теоретически разработать металлический управляемый аэростат\*\*. Константин Эдуардович обратил внимание на существенные недостатки аэростатов с оболочками из прорезиненной ткани. Такие оболочки быстро изнашивались, обладали малой прочностью и, вследствие проницаемости ткани, наполняющий их газ (в те годы водород) терялся. Результатом исследовательской работы Циолковского было

\* «Предписанием г. попечителя Московского учебного округа от 24 января 1880 г. за № 630 определен исправляющим должность учителя арифметики и геометрии в Боровском уездном училище» (из послужного списка К. Э. Циолковского).

\*\* В письме к профессору Н. А. Рынину от 11 июня 1926 г.

объемистое сочинение «Теория и опыт аэростата». В этом сочинении дано научно-техническое обоснование создания конструкции *дирижабля с металлической оболочкой*; к работе были приложены чертежи, поясняющие детали конструкции.

Дирижабль Циолковского имел следующие характерные особенности. Во-первых, это был дирижабль *переменного объема*, что позволяло сохранять *постоянную подъемную силу* при различных температурах окружающего воздуха и различных высотах полета. Возможность изменения объема конструктивно достигалась при помощи особой стягивающей системы и гофрированных боковин. Во-вторых, водород, наполняющий дирижабль, можно было подогревать путем пропускания по змеевикам отработанных горячих газов от двигателей. Третья особенность конструкции состояла в том, что тонкая металлическая оболочка для увеличения жесткости была гофрированной, причем волны гофра располагались перпендикулярно к оси дирижабля. Выбор геометрической формы дирижабля и расчет прочности его тонкой оболочки были исследованы Циолковским впервые.

Однако проект дирижабля Циолковского не получил признания. Официальная организация царской России по проблемам воздухоплавания — VII Воздухоплавательный отдел Русского технического общества — нашла, что проект цельнометаллического дирижабля, способного изменять свой объем, не может иметь большого практического значения и дирижабли «вечно будут игрушкой ветров». Поэтому автору было отказано даже в субсидии на постройку модели. Обращения Циолковского в генеральный штаб русской армии также не имели успеха. Печатный труд Циолковского «Аэростат металлический управляемый» (1892 г.), изданный в Калуге, получил некоторое число сочувственных отзывов, и этим дело ограничилось.

Уже на склоне лет, в 1934 г., Циолковский в статье «Знаменательные моменты моей жизни» так оценил свои исследования по дирижаблю: «1892 год. Возраст 35 лет. Первая книга о металлическом дирижабле из волнистого металла. Отрицательный отзыв в специальном журнале. Отзыв сделал председатель отдела бывшего императорского технического общества. Возможно, что этот отзыв и оправдается. И сам я в новое дело не верю, пока не увижу его реализованным». (Калужская газета «Коммуна» от 18/VIII 1934 г., № 193.)

4. Циолковскому принадлежит прогрессивная идея постройки цельнометаллического аэроплана. В статье 1894 г. «Аэроплан или птицеподобная (авиационная) летательная машина» даны описание и чертежи моноплана, который по своему внешнему виду и аэродинамической компоновке предвосхищает конструкции самолетов, к которым авиационная техника пришла через 15—18 лет. У аэроплана, предложенного Циолковским, крылья имеют толстый профиль с округленной передней

кромкой, а фюзеляж — хорошо обтекаемую форму. Для решения аэродинамических вопросов Циолковский построил *аэродинамическую трубу* с открытой рабочей частью, разработал методику аэродинамического эксперимента и позднее (в 1900—1901 гг.) на субсидию Академии наук провел продувки простейших моделей и определил коэффициенты аэродинамического сопротивления шара, плоской пластинки, цилиндра, конуса и других тел\*.

Циолковский предвидел значение бензиновых двигателей внутреннего сгорания для развития авиации. Он писал: «Однако у меня есть теоретические основания верить в возможность построения чрезвычайно легких и в то же время сильных бензиновых или нефтяных двигателей, вполне удовлетворяющих задаче летания». Но разработка аэроплана также не получила признания среди официальной русской науки. На дальнейшие изыскания по аэроплану не было ни средств, ни даже моральной поддержки. Об этом периоде своей жизни ученый писал: «При своих опытах я сделал много новых выводов, но новые выводы встречаются учеными недоверчиво. Эти выводы могут подтвердиться повторением моих трудов каким-нибудь экспериментатором, но когда же это будет? Тяжело работать в одиночку многие годы при неблагоприятных условиях и не видеть ниоткуда ни просвета, ни поддержки».

С горечью приходится отметить, что большинство открытий и результатов Циолковского по экспериментальной аэродинамике не были опубликованы в дореволюционной России и были найдены повторно в XX столетии другими учеными\*\*.

5. Начало самостоятельной научной работы протекало у Циолковского в очень своеобразных и трудных условиях. С точки зрения какого-нибудь столичного доктринера от науки, заниматься научным творчеством Циолковскому вообще было невозможно. В самом деле, представьте себе тихий, провинциальный городок Боровск в 80-х годах прошлого века, расположенный вдали от магистральных дорог страны. В городе нет библиотеки, нет научных журналов, и о научных исследованиях никто не помышляет. Циолковский — учитель городского двухклассного училища, программы которого по физике и математике касаются только самых элементарных истин. Интересы коллег по школе не поднимаются выше обсуждений чисто методических вопросов. Газеты в распутицу приходят с недельным опозданием. И Циолковский делает почти невероятное! Пользуясь отдельными замечаниями о новых вопросах науки в учебниках, собственным запасом наблюдений в Москве, разви-

---

\* В отзыве на одну из работ Циолковского по аэродинамике Н. Е. Жуковский писал: «Оригинальный метод исследования, рассуждения и остроумные опыты автора характеризуют его как талантливого экспериментатора».

\*\* Главным образом в аэродинамических лабораториях Эйфеля (Париж) и Прандтля (Геттинген).

вая последовательно принятую им методику самостоятельных доказательств и исследований уже известного, он начинает понимать и предвосхищать новые насущные проблемы научно-технического прогресса. Возникшую идею Циолковский не может проверить по изданной литературе: ее в Боровске просто нет, он ведет все исследование от начала до логического конца самостоятельно, в полной уверенности, что родившаяся у него идея нова и никем не обследована. В случае удачной работы оформляется и отправляется на суд официальной науки в столицу.

«Сначала я делал открытия давно известные, потом не так давно, а затем и совсем новые», — пишет Циолковский в своей автобиографии. Совпадение найденных результатов с открытиями других ученых лишь убеждало его в собственных силах, собственном таланте.

Уже в первых работах Константина Эдуардовича виден самобытный, оригинальный ум. Он умеет выбирать темы для размышлений и находить решения, открывающие новые пути в науке. Характерна для него ясная и отчетливая постановка научно-технических проблем. Для популяризации своих идей он обычно прибегает к красочным примерам, убедительно раскрывающим физическую суть дела. Для доказательств используются самые простые математические средства. Полученные результаты и следствия из них подвергаются тщательному анализу. Циолковский умел видеть за теоретическими расчетами беспокойную, горячую жизнь техники, борьбу заостренных, отмирающих академических школ с новыми идеями. Он умел настойчиво и последовательно добиваться победы нового в труднейших условиях творческого труда. Его крайняя самостоятельность и оригинальность в научных исканиях граничит иногда с пренебрежением к общепринятым нормам. Однако он тщательно разбирает все критические замечания оппонентов по достигнутым им результатам и умеет аргументированно отстаивать свои научные убеждения. Циолковский глубоко принципиален в своих творческих исканиях, а его умение самостоятельно работать над научными проблемами — великолепный пример для всех начинающих. Его первые шаги в науке — это шаги большого мастера, смелого новатора, зачинателя прогрессивных направлений и в науке, и в технике.

6. К. Э. Циолковский много сделал для познания научных основ и принципов теории движения ракет. Он был первым в истории науки, кто строго формулировал и исследовал проблему изучения прямолинейных движений ракет, исходя из законов теоретической механики. Принцип сообщения движения при помощи сил реакции отбрасываемых частиц, был осознан Циолковским еще в 1883 г.; однако разработка им математически строгой теории реактивного движения относится к концу XIX столетия.

В одной из своих работ Циолковский писал: «Долго на ракету я смотрел, как и все: с точки зрения увеселений и маленьких примене-

ний. Не помню хорошо, как мне пришло в голову сделать вычисления, относящиеся к ракете. Мне кажется, первые семена — мысли — были заронены известным фантазером Жюлем Верном; он пробудил работу моего мозга в известном направлении. Явились желания, за желаниями возникла деятельность ума... Старый листок с окончательными формулами, относящимися к реактивному прибору, помечен датой 25 августа 1898 года. «Никогда я не претендовал на полное решение вопроса. Сначала неизбежно идут: мысль, фантазия, сказка. За ними шествует научный расчет. И уже в конце концов исполнение венчает мысль. Мои работы о космических путешествиях относятся к средней фазе творчества. Более чем кто-нибудь я понимаю бездну, разделяющую идею от ее осуществления, так как в течение моей жизни я не только мыслил и вычислял, но и исполнял, работая также руками. Однако нельзя не быть идее: исполнению предшествует мысль, точному расчету — фантазия».

Работы по теории движения ракет доставили Циолковскому мировую известность. Важность этих исследований для будущего технического прогресса хорошо понимал и сам автор. В 1934 г. он писал: «1903 год. Возраст 46 лет. В «Научном обозрении» появилась моя работа «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Впервые дана теория ракеты и ее великое космическое применение. Она была не замечена, благодаря чему сохранился мой приоритет на теорию реактивного движения. Если вы в каком-нибудь известном, распространенном и специальном журнале высказали какие-нибудь новые и ценные идеи, то сейчас же находятся у нас и на Западе люди, которые объявляют, что эти идеи ими высказаны ранее. Так было, например, с Д. И. Менделеевым. Но «Научное обозрение» было как раз журналом неизвестным и неспециальным, и потому на работу не обратили внимания. Когда я издал продолжение этой работы в распространенном и специальном журнале, то сейчас же во Франции нашелся видный и солидный человек\*, который заявил, что он это сделал раньше».

7. Изучение движения реактивных летательных аппаратов представляет большие трудности, так как во время движения вес реактивного аппарата значительно изменяется. Уже сейчас существуют одноступенчатые ракеты, у которых во время работы двигателя вес уменьшается в 10—12 раз. Изменение веса (массы) ракеты в процессе ее движения не позволяет использовать непосредственно те формулы и выводы, которые получены в классической (ньютоновской) механике, являющейся теоретической базой расчетов движения тел, вес которых постоянен во время движения.

---

\* Робер Эсно Пельтри (французский инженер).

Известно также, что в тех задачах техники, где приходилось иметь дело с движением тел переменного веса (например, у самолетов с большими запасами горючего), обычно предполагалось, что траекторию движения можно разделить на участки и считать на каждом участке вес движущегося тела постоянным. Таким приемом трудную задачу об изучении движения тела переменной массы заменяли более простой и уже изученной задачей о движении тела постоянной массы. Изучение движения ракет как тел переменного веса (переменной массы) было поставлено на твердую научную почву К. Э. Циолковским. Именно строгое рассмотрение движения ракеты как тела переменной массы является принципиальным достижением Циолковского в теории полета ракет, которую мы называем теперь ракетодинамикой. *Циолковский является основоположником современной ракетодинамики.*

Опубликованные труды К. Э. Циолковского по ракетодинамике позволяют установить последовательность развития его идей в этой новой области человеческого знания.

Каковы основные законы, управляющие движением тел переменной массы? Как рассчитывать скорость полета реактивного летательного аппарата? Как найти высоту подъема ракеты, запускаемой вертикально? Как выбраться на реактивном приборе за пределы атмосферы — пробить «панцирь» атмосферы? Как выбраться за пределы притяжения Земли — пробить «панцирь» тяготения? Вот некоторые из вопросов, рассмотренных и решенных Циолковским.

Сделать подвластной человеческому разуму новую большую группу явлений, объяснить то, что видели многие, но не понимали, дать человечеству новое мощное орудие технических преобразований — вот та задача, которую ставил перед собой Циолковский. Его талант исследователя, оригинальность, творческая самобытность и необычайный взлет фантазии с особой силой и продуктивностью выявились в основополагающих работах по реактивному движению. Он на десятилетия вперед предсказал пути развития реактивных аппаратов. Он рассмотрел те изменения, которым должна была подвергнуться обыкновенная фейерверочная ракета, чтобы стать мощным орудием технического прогресса в новой области человеческого знания.

В одной из своих работ (1911 г.) Циолковский высказал глубокую мысль о значении теории в развитии ракетной техники: «Такие жалкие реактивные явления мы обыкновенно и наблюдаем на Земле. Вот почему они никого не могли поощрить к мечтам и исследованиям. *Только разум и наука могли указать на преобразование этих явлений в грандиозные, почти непостижимые чувства*»\*.

Позднее, в 1923 г., когда зарубежные исследователи (Годдард, Оберт) стали повторять основные выводы Циолковского по теории по-

\* К. Э. Циолковский. Труды по ракетной технике. М., Оборонгиз, 1947, стр. 60.

лета ракет и межпланетных путешествий, он с гордостью писал: «Мы видим, что европейская наука буквально подтверждает мои выводы — как о полной возможности космических путешествий, так и о возможности устройства там жилищ и заселения околосолнечного пространства... *Дело разгорается, и я зажжёт этот огонь*»\*.

8. Вопросы реактивного движения интересовали К. Э. Циолковского с самых первых шагов его самостоятельного творчества. В опубликованном научном дневнике под названием «Свободное пространство»\*\* он подверг систематическому изучению простейшие случаи механического движения в пространстве без действия гравитационных сил и сил сопротивления среды. Рассматривая различные способы сообщения движения в свободном пространстве, он приходит к выводу, что проще всего сообщить движение неподвижному телу (или изменить имеющееся движение) отбрасыванием массы, т. е. силами реакций, возникающих при отбрасывании (принудительном отделении) от данного тела частиц. Вот характерные записи из работы «Свободное пространство».

«28 марта 1883 года. Утро.

...Положим, что дана бочка, наполненная сильно сжатым газом. Если отвернуть один из ее тончайших кранов, то газ непрерывной струей устремится из бочки, причем упругость газа, отталкивающая его частицы в пространство, будет также непрерывно отталкивать и бочку. Результатом этого будет непрерывное изменение движения бочки... Посредством достаточного количества кранов (шести) можно так управлять выходом газа, что движение бочки или полого шара будет совершенно зависеть от желания управляющего кранами, т. е. бочка может описать какую угодно кривую и по какому угодно закону скоростей... Вообще равномерное движение по кривой или прямолинейное неравномерное движение сопряжено в свободном пространстве с непрерывной потерей вещества (опоры). Также ломаное движение сопряжено с периодической потерей вещества».

Таким образом, принцип реактивного движения был осознан Циолковским в самом начале его самостоятельной научной деятельности. В статье «Свободное пространство» еще нет количественных результатов, все заключения строятся на качественных выводах из закона сохранения количества движения и теоремы площадей для замкнутых механических систем, но целесообразность использования реакции истекающей струи для перемещений в свободном пространстве сформу-

---

\* К. Э. Циолковский. Судьба мыслителей или двадцать лет под спудом. В брошюре «Ракета в космическое пространство», изд. 2. Калуга, 1924, стр. V. (Подчеркнуто нами. — А. К.)

\*\* См.: К. Э. Циолковский. Реактивные летательные аппараты. М., «Наука», 1964, стр. 56, 57.

лирована отчетливо и ясно. Нам кажется несомненной связь этой ранней работы Циолковского с его фундаментальной статьей «Исследование мировых пространств реактивными приборами», опубликованной на 20 лет позднее — в 1903 г.

Рассмотрим более подробно важнейшие результаты Циолковского, полученные в теории полета ракет. Не приводя здесь подробных математических выкладок, которые можно найти в его оригинальных статьях, отметим лишь самые важные достижения ученого в данной области.

При исследовании законов движения ракет Циолковский идет строго научным путем, последовательно вводя основные силы, от которых зависит движение ракеты. Сначала он желает выяснить, какие возможности заключает в себе реактивный принцип создания механического движения, и ставит простейшую задачу о прямолинейном движении ракеты в предположении, что сила тяжести и сила сопротивления воздуха отсутствуют. Эту задачу называют сейчас первой задачей Циолковского. С качественной стороны эта задача была рассмотрена Циолковским еще в 1883 г. Движение ракеты в этом простейшем случае обусловлено только процессом отбрасывания (истечения) частиц вещества из камеры реактивного двигателя. При математических расчетах Циолковский вводит предположение о постоянстве относительной скорости отбрасывания частиц, которым до настоящего времени пользуются многие авторы теоретических работ по ракетодинамике. Это предположение называют *гипотезой Циолковского*.

Вот как обосновывает эту гипотезу Константин Эдуардович в своей работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами». «Чтобы снаряд получил наибольшую скорость, надо, чтобы каждая частица продуктов горения или иного отброса получила наибольшую относительную скорость. Она же постоянна для определенных веществ отброса. Экономия энергии тут не имеет места: невозможна и невыгодна. Другими словами, *в основу теории ракеты надо принять постоянную относительную скорость частиц отброса*»\*.

Циолковский весьма простыми рассуждениями получает основное уравнение движения ракеты в среде без действия внешних сил. Из классической механики известно, что для замкнутых механических систем имеет место закон сохранения количества движения. Если в начальный момент времени при  $t=0$  скорости точек системы были равны нулю, то количество движения будет оставаться равным нулю в течение всего времени движения. Пусть в момент  $t=0$  масса ракеты равна

---

\* К. Э. Циолковский. Исследование мировых пространств реактивными приборами. Собр. соч., т. II. М., Изд-во АН СССР, 1954, стр. 197. (Подчеркнуто нами. — А. К.)

$M_0$  и ее скорость  $v=0$ ; пусть за время  $dt$  двигатель ракеты отбросил массу  $dM$  со скоростью  $V_r$ , а ракета получила приращение скорости  $dv$ .

Из закона сохранения количества движения получим:

$$V_r dM + M dv = 0,$$

или

$$dv = -V_r \frac{dM}{M}. \quad (1)$$

Приняв гипотезу Циолковского, мы можем проинтегрировать уравнение (1). Будем иметь:

$$v = -V_r \ln M + C.$$

Так как при  $M=M_0$  скорость  $v=0$ , то  $C=V_r \ln M_0$  и, следовательно,

$$v = V_r \ln \frac{M_0}{M}. \quad (2)$$

Максимальная скорость ракеты получится при израсходовании всего запаса топлива. Если массу ракеты без топлива обозначить через  $M_E$ , то из (2) получим:

$$v_{\max} = V_r \ln \frac{M_0}{M_E}. \quad (3)$$

Формула (3) известна в современной ракетодинамике как формула Циолковского.

Если учесть, что масса топлива будет равна  $m = M_0 - M_E$ , то формулу Циолковского (3) удобно написать так:

$$v_{\max} = V_r \ln \frac{M_E + m}{M_E} = V_r \ln (1 + Z), \quad (4)$$

где  $Z = \frac{m}{M_E}$  (отношение веса топлива к весу ракеты без топлива называют числом Циолковского \*).

По современной терминологии, участок траектории, пройденный ракетой за время работы двигателя (время, когда происходит отбрасывание частиц), называют активным участком полета.

Из формулы (4) следует, что:

а) скорость движения в конце процесса горения (в конце активного участка) будет тем больше, чем больше относительная скорость отбрасываемых частиц; если относительная скорость истечения удваивается; то максимальная скорость ракеты возрастает в 2 раза;

б) скорость ракеты в конце активного участка увеличивается с увеличением отношения начального веса ракеты к весу ракеты в конце горения. Однако здесь зависимость более сложная, она дается следующей теоремой Циолковского:

\* Циолковский в ряде работ дает такую транскрипцию своей фамилии: К. Tziolkowsky = С. Ziolkowsky. См., например, «Монизм вселенной». Калуга, 1931.

«Когда масса ракеты плюс масса взрывчатых веществ, имеющих в реактивном приборе, возрастает в геометрической прогрессии, то скорость ракеты увеличивается в прогрессии арифметической»\*. Этот закон можно выразить двумя рядами чисел:

Относительная масса ракеты . . . . .	2	4=2 <sup>2</sup>	8=2 <sup>3</sup>	16=2 <sup>4</sup>	32=2 <sup>5</sup>	64=2 <sup>6</sup>	128=2 <sup>7</sup>
Относительная скорость ракеты $v_{\max}/V_r$	$\ln 2 = a$	2a	3a	4a	5a	6a	7a

«Положим, например, — пишет Циолковский, — что масса ракеты и взрывчатых веществ составляет 8 единиц. Я отбрасываю четыре единицы и получаю скорость, которую примем за единицу. Затем я отбрасываю две единицы взрывчатого материала и получаю еще единицу скорости; наконец, отбрасываю последнюю единицу массы взрывчатых веществ и получаю еще единицу скорости; всего 3 единицы скорости». Из теоремы и пояснений Циолковского видно, что «скорость ракеты далеко не пропорциональна массе взрывчатого вещества, она растёт медленно, но беспредельно»\*\*.

Из формулы Циолковского следует весьма важный практический результат: для получения возможно больших скоростей ракеты в конце процесса горения гораздо выгоднее идти по пути увеличения относительных скоростей отбрасываемых частиц, чем по пути увеличения относительного запаса горючего.

Так, например, если необходимо в 2 раза увеличить скорость в конце активного участка для ракеты ФАУ-2, имеющей отношение начального веса к весу пустой (без горючего) ракеты, приблизительно равным 3, то можно идти двумя путями:

или увеличить относительную скорость истечения из сопла реактивного двигателя в 2 раза,

или увеличить запас топлива настолько, чтобы отношение начального веса к весу ракеты без топлива стало равным  $3^2=9$ .

Следует заметить, что увеличение относительных скоростей истечения частиц требует совершенствования реактивного двигателя и разумного выбора составных частей применяющихся топлив, а второй путь, связанный с увеличением относительного запаса топлива, требует значительного облегчения конструкции корпуса ракеты и, к сожалению, уменьшения полезной нагрузки.

\* К. Э. Циолковский. Исследование мировых пространств реактивными приборами. Собр. соч., т. II М., Изд-во АН СССР, 1954, стр. 142.

\*\* Там же.

9. Рассмотрим движение ракеты по вертикали (по оси  $Oz$ ) в однородном поле силы тяжести, не учитывая сил сопротивления среды. Решение получается чрезвычайно простым, если допустить, что масса ракеты изменяется по показательному закону, т. е. на активном участке полета  $M = M_0 e^{-\alpha t}$ , где  $M_0$  — начальная масса ракеты,  $\alpha = \text{const}$ . Принимая гипотезу Циолковского, найдем ускорение, обусловленное реактивной силой. Будем иметь:

$$a_r = \frac{\Phi}{M} = \frac{-\frac{dM}{dt} V_r}{M} = \alpha V_r. \quad (5)$$

Перегрузку, обусловленную реактивной силой, можно записать в виде:

$$n = \frac{\Phi}{Mg} = \frac{\alpha V_r}{g} = \text{const}. \quad (6)$$

Дифференциальное уравнение движения ракеты в проекции на ось  $Oz$  на основании уравнения Мещерского будет иметь вид:

$$M \frac{dv}{dt} = -Mg - \frac{dM}{dt} \cdot V_r = -Mg + \alpha V_r M,$$

или

$$\frac{dv}{dt} = g \left[ \frac{\alpha V_r}{g} - 1 \right] = g(n - 1). \quad (7)$$

Если при  $t=0$ ,  $v=0$  и  $z=0$ , то интегралы уравнения (7) имеют следующий вид:

$$v = gt \cdot (n - 1), \quad (8)$$

$$z = \frac{1}{2} g t^2 \cdot (n - 1). \quad (9)$$

Пусть в конце активного участка полета  $t=t_1$ ,  $z=z_a$ ,  $v=v_1$ ,  $M=M_E = M_0 e^{-\alpha t_1}$ ; тогда из формул (8) и (9) имеем:

$$v_1 = g t_1 (n - 1), \quad (10)$$

$$z_a = \frac{1}{2} g t_1^2 (n - 1). \quad (11)$$

Пассивный участок полета ракета проходит как тело постоянной массы, и дополнительная высота  $z_p$ , набираемая за счет скорости  $v_1$ , будет равна:

$$z_p = \frac{v_1^2}{2g} = \frac{1}{2} g t_1^2 \cdot (n - 1)^2. \quad (12)$$

Таким образом, полная высота подъема ракеты  $H$  будет определяться по формуле:

$$H = z_a + z_p = \frac{1}{2} g t_1^2 [(n - 1) + (n - 1)^2] = \frac{1}{2} g t_1^2 (n^2 - n). \quad (12')$$

Время  $t_1$  можно выразить через перегрузку  $n$ . В самом деле,

$$\frac{M_0}{M_E} = e^{at_1}, \quad n = \frac{\alpha V_r}{g}$$

и, следовательно,

$$t_1 = \frac{\ln \frac{M_0}{M_E}}{\alpha} = \frac{V_r \ln \frac{M_0}{M_E}}{ng} = \frac{v_z}{ng}, \quad (13)$$

где  $v_z = \text{const}$ .

Из формулы (12) следует, что

$$H = \frac{v_z^2}{2gn^2} \cdot (n^2 - n) = \frac{v_z^2}{2g} \left(1 - \frac{1}{n}\right), \quad (14)$$

где

$$\frac{v_z^2}{2g} = \text{const}. \quad (15)$$

Величина  $v_z = V_r \ln \frac{M_0}{M_E}$  есть скорость, по Циолковскому, в свободном пространстве, т. е. максимально возможная при данном запасе топлива. Легко понять, что если бы ракета в момент  $t=0$  получила скорость  $v=v_z$ , то она поднялась бы в однородном поле силы тяжести на высоту

$$H_{\max} = \frac{v_z^2}{2g}.$$

Эта высота получается из формулы (14) при  $n \rightarrow \infty$ , что соответствует  $t_1=0$ , т. е. мгновенному сгоранию всего имеющегося запаса топлива. При конечных значениях  $n$  высота подъема ракеты будет определяться формулой (14), которую удобно записать в виде:

$$H = H_{\max} \left(1 - \frac{1}{n}\right). \quad (16)$$

Относительная потеря высоты в процентах будет равна:

$$(\Delta H)\% = 100 \cdot \frac{H_{\max} - H}{H_{\max}} = \frac{100}{n} \%. \quad (17)$$

Следовательно, при  $n=\infty$  потеря нет, при  $n=1$  (т. е. когда реактивная сила равна силе тяжести) все топливо расходуется бесполезно ( $H=0$ ) и  $\Delta H=100\%$ .

Получив исходные расчетные формулы для исследования прямолинейных движений ракет, Циолковский намечает обширную программу последовательных усовершенствований реактивных летательных аппаратов. Вот основные моменты этой грандиозной программы:

1. Устраивается ракетный самолет с крыльями и обыкновенными органами управления. Цель — научиться управлять аэропланом с ракетным двигателем, регулировать тягу и планировать при выключенном двигателе.

2. Крылья последующих самолетов надо понемногу уменьшать, силу тяги и скорость увеличивать.

3. Проникновение в очень разреженные слои атмосферы.

4. Полет за пределы атмосферы и спуск планированием.

5. Основание подвижных станций вне атмосферы (ИСЗ).

6. Использование космонавтами энергии Солнца для дыхания, питания и других житейских целей.

7. Устраиваются эфирные скафандры (герметичная одежда) для безопасного выхода из ракеты в эфир.

8. Вокруг Земли устраивают обширные поселения.

9. «Используют солнечную энергию не только для питания и удобств жизни (комфорта), но и для перемещения по всей солнечной системе».

10. «Основывают колонии в поясе астероидов и других местах солнечной системы, где только находят небольшие небесные тела.

11. Развивается индустрия в космосе. Число космических станций множится невообразимо.

12. «Достигается индивидуальное (личности, отдельного человека) и общественное (социалистическое) совершенство».

13. «Население солнечной системы делается в 100 000 000 000 раз больше теперешнего земного. Достигается предел, после которого неизбежно расселение по всему Млечному Пути».

14. «Начинается угасание Солнца. Оставшееся население солнечной системы удаляется от нее к другим солнцам, к ранее улетевшим братьям»\*.

**10.** Детальные исследования прямолинейных движений ракет и расчеты скоростей истечения при сгорании различных топлив привели Циолковского к выводу, что достижение больших космических скоростей для одноступенчатой ракеты является очень трудной технической проблемой. Для того чтобы при известных и доступных топливах полезному грузу можно было сообщить космические скорости, Циолковский предложил в 1929 г. \*\* оригинальное решение проблемы. Он разработал теорию движения составных ракет, или ракетных поездов. На основании приведенных в его работах описаний можно утверждать, что он предлагал к осуществлению два типа ракетных поездов.

---

\* Ряд дословных формулировок взят из книги: К. Э. Циолковский. Реактивные летательные аппараты. М., «Наука», 1964, стр. 272, 273.

\*\* Теория полета двухступенчатой ракеты была разработана К. Э. Циолковским в 1926 г.

Первый тип поезда подобен железнодорожному, когда паровоз толкает состав сзади. Представим себе, например, три ракеты, скрепленные последовательно одна за другой. Такой ракетный поезд толкается сначала нижней (хвостовой) ракетой. После использования топлива хвостовой ракеты она отцепляется от поезда и падает на землю. Далее начинает работать двигатель второй (средней) ракеты, которая для поезда из оставшихся двух ракет является толкающей. После полного использования топлива второй ракеты она также отцепляется, а у последней (третьей) ракеты начинает работать двигатель. Третья ракета может достигнуть гораздо большей скорости, чем одиночная ракета, так как отброшенные в процессе движения две ракеты уже сообщили ей дополнительную скорость.

Второй тип ракетного поезда (или составной ракеты) был назван Циолковским эскадрилей ракет. Представим себе, что в полет отправились четыре одинаковые ракеты, скрепленные параллельно, как клавиши рояля. Когда каждая из четырех ракет израсходует половину топлива, тогда две ракеты (например, одна справа и одна слева) переливают свой неизрасходованный запас топлива в полупустые емкости остающихся двух ракет и отделяются от эскадрильи. Полет продолжают полностью запущенные две ракеты. Израсходовав половину своего топлива, одна из ракет эскадрильи переливает оставшуюся половину в последнюю ракету, предназначенную для достижения цели путешествия.

Если не учитывать сил сопротивления воздуха, то все летные характеристики ракетных поездов первого и второго типов можно найти путем последовательного применения формул Циолковского.

Создание разумной конструкции ракетного поезда является одной из наиболее актуальных проблем в настоящее время, и многие научно-технические журналы публикуют статьи ученых и инженеров, посвященные развитию этих грандиозных по замыслу проектов Циолковского.

**II.** Теория ракетных поездов, развитая в работах Циолковского, позволяет определить оптимальное распределение весов отдельных ступеней ракетного поезда, при котором обеспечивается максимальная скорость последней ступени (полезного груза), если стартовый вес ракетного поезда задан.

Особый интерес имеет случай ракетного поезда, у которого приращения скорости от каждой ступени будут одинаковыми. В этом случае веса последовательных ракет, входящих в поезд, будут расти в геометрической прогрессии. Уже после смерти Циолковского было строго математически доказано, что такая многоступенчатая ракета будет оптимальной и обеспечивает максимальную высоту (или максимальную дальность) полета. Учитывая, что с увеличением стартового веса ра-

кеты реактивная сила и сила тяжести растут пропорционально кубу характерного размера объекта, а сила сопротивления растет лишь пропорционально квадрату этого размера, можно с достаточной точностью определить летные характеристики больших ракет, учитывая только силу тяжести и реактивную силу. Поэтому в наши дни решение второй задачи Циолковского приобретает особо важное значение.

В современной ракетодинамике рассмотренные задачи Циолковского являются простейшими, так как в этих задачах траектория центра тяжести ракеты принимается прямолинейной, а влияние систем управления на летные характеристики вообще не рассматривается. У большинства современных объектов реактивного вооружения системы управления полетом ракеты есть системы управления на расстоянии (системы телеуправления), и их влияние на летные характеристики является определяющим. В самом общем случае система управления полетом ракеты состоит из следующих элементов:

а) приборов и устройств телеуправления, которые вырабатывают (вычисляют) и передают по радиолиниям команды управления полетом; эти команды изменяют процессы в аппаратуре управления на борту ракеты (например, изменяют положение рулей или интерцепторов ракеты, выключают реактивные двигатели, изменяют передаточные числа по каналам автопилота и др.) таким образом, чтобы обеспечить точное наведение ракет на цель;

б) приборов и устройств стабилизации ракеты и автоматического выполнения в определенной последовательности принимаемых команд радиоуправления полетом\*. Главным прибором на борту ракеты, обеспечивающим стабилизацию в полете и воздействие на органы управления (рули, элероны, интерцепторы, управляющие двигатели); являются автопилот или его модификации;

в) приборов и устройств телеконтроля. Обычно системы телеконтроля дают информацию о положении цели и ракеты, а также информацию о функционировании основных агрегатов ракеты.

Взаимодействие главных элементов систем управления схематически можно представить, рассмотрев, например, полет зенитной управляемой ракеты, предназначенной для поражения вражеского самолета.

Комплекс средств телеконтроля (на первой стадии — средств целеуказания) фиксирует на командном пункте текущие координаты цели. Если цель входит в боевую зону данной ракеты, то осуществляется старт ракеты и в дальнейшем средства телеконтроля дают одновременно текущие координаты цели и ракеты, что позволяет знать их от-

---

\* Если команды управления вырабатываются приборами, расположенными на борту ракеты, то система управления называется автономной (независимой от Земли).

носительное положение. Если относительное положение цели и ракеты не соответствует требуемому по принятому методу наведения (который обычно выбирается из кинематических условий сближения цели и ракеты), тогда приборы телеуправления вырабатывают и передают бортовым приборам и устройствам ракеты соответствующие команды, назначение которых — вывести ракету на траекторию метода наведения и обеспечить поражение цели.

Процессы в системах телеконтроля, телеуправления, стабилизации и других, которые функционируют в комплексе приборов управления полетом ракеты, определяются весьма сложными уравнениями. Изучение процессов, описываемых такого рода уравнениями, сводится к ряду трудных задач теории автоматического регулирования.

Важнейшими характеристиками элементов комплекса системы и управления являются устойчивость системы (или частей системы) и «реакция» системы на внешние воздействия. Следует отметить, что внешние воздействия на некоторые элементы системы управления могут быть случайными функциями времени и исследование «реакции» системы управления в этом случае требует основательного знакомства с теорией вероятностных процессов.

Более сложные движения современных управляемых ракет потребовали, конечно, развития идей К. Э. Циолковского, но прогресс новых методов ракетодинамики показал глубину и величие исследований Константина Эдуардовича, правильно отразившего главные особенности прямолинейных движений ракет.

12. В последние годы своей жизни К. Э. Циолковский много работал над созданием теории полета реактивных самолетов. В его статье «Реактивный аэроплан» (1930 г.) подробно выясняются преимущества и недостатки реактивного самолета по сравнению с самолетом, снабженным воздушным винтом. Указывая на большие секундные расходы горючего в реактивных двигателях как на один из самых существенных недостатков, Циолковский писал: «Наш реактивный аэроплан убыточнее обыкновенного в 5 раз. Но вот он летит вдвое скорее там, где плотность атмосферы в 4 раза меньше. Тут он будет убыточнее только в 2,5 раза. Еще выше, где воздух в 25 раз реже, он летит в 5 раз скорее и уже использует энергию так же успешно, как винтовой самолет. На высоте, где среда в 100 раз реже, его скорость в 10 раз больше, и он будет выгоднее обыкновенного аэроплана в 2 раза».

Эту статью Циолковский заканчивает замечательными словами, показывающими глубокое понимание законов развития техники: «*За эрой аэропланов винтовых должна следовать эра аэропланов реактивных, или аэропланов стратосферы*». Следует отметить, что эти строки были написаны за 10 лет до того, как первый реактивный самолет, построенный в Советском Союзе, поднялся в воздух.



В статьях «Ракетоплан» и «Стратоплан полуреактивный» Циолковский дает теорию движения самолета с жидкостным реактивным двигателем и подробно развивает идею турбокомпрессорного винтового реактивного самолета.

Мы кратко указали здесь основные направления глубоких теоретических исследований Циолковского по ракетодинамике. Заслуга Константина Эдуардовича состоит в том, что он сделал подвластными точному математическому анализу и инженерному расчету совершенно новые явления. Тысячи и миллионы людей наблюдали пороховые ракеты на фейерверках и иллюминациях, и, однако, никто до Циолковского не дал количественных результатов, характеризующих законы движения ракет. Строгий математический анализ, проведенный К. Э. Циолковским для задач ракетной техники, выявил количественные закономерности движения ракет и дал основы для оценки летных данных реальных конструкций ракет.

Ракетодинамика — наука XX столетия. Основные принципы этой науки — в значительной степени создание К. Э. Циолковского.

**13.** Для обеспечения безопасности и комфорта будущих пассажиров межпланетных кораблей большой интерес представляет идея Циолковского об уменьшении влияния больших перегрузок («усиленной тяжести», по терминологии Циолковского) при помощи погружения живых существ в жидкость, плотность которой выбирается равной средней плотности пассажира. Впервые эта идея высказана Циолковским в одной из работ 1891 г. Приведем здесь краткое описание простого опыта, убеждающего в правильности идеи Циолковского для однородных тел (тел одинаковой плотности). Возьмем мягкую восковую фигуру, которая едва выдерживает (не смятаясь) собственный вес. Нальем в крепкий сосуд жидкость такой же плотности, как воск, и погрузим в эту жидкость фигуру. Далее, посредством центробежной машины создадим перегрузки, превышающие силу тяжести во много раз. Сосуд, если он недостаточно крепок, может разрушиться, но восковая фигура в жидкости будет сохраняться целой. «Природа давно пользуется этим приемом, — пишет Циолковский, — погружая зародыш животных, их мозги и другие слабые части в жидкость. Так она предохраняет их от всяких повреждений. Человек же пока мало использовал эту мысль». Следует отметить, что для тел, плотность которых в различных участках различна (тела неоднородные), влияние больших перегрузок будет проявляться и при погружении тела в жидкость. Так, если в восковую фигуру заделать свинцовые дробинки, то при больших перегрузках все они будут выдавливаться из восковой фигуры в жидкость. Но, по-видимому, несомненно, что в жидкости человек может выдерживать значительно большие перегрузки, чем, например, в специальном кресле.

14. Научная разработка вопросов межпланетных путешествий была основным устремлением Циолковского во всех его исследованиях по ракетной технике.

Желание дать людям надежное техническое решение, которое позволило бы овладеть всем околосолнечным пространством, — вот гуманная, благородная цель научных изысканий Константина Эдуардовича в области ракетной техники. Ни одного слова о военных применениях ракет. Все направлено на благо человечества, на пользу науки, на расширение знаний о законах природы.

«В качестве исследователя атмосферы предлагаю реактивный прибор, т. е. род ракеты, но ракеты грандиозной и особенным образом устроенной. Мысль не новая, но вычисления, относящиеся к ней, дают столь замечательные результаты, что умолчать о них было бы недопустимо. Эта моя работа \* далеко не рассматривает всех сторон дела и совсем не решает его с практической стороны относительно осуществимости; но в далеком будущем уже виднеются сквозь туман перспективы, до такой степени обольстительные и важные, что о них едва ли теперь кто мечтает».

Вопрос о реальном осуществлении межпланетных путешествий интересовал Циолковского с самого начала его самостоятельных научных изысканий. Наивные юношеские мечты, систематический анализ процессов простейших механических явлений в пространстве без действия сил (в свободном пространстве — по терминологии Циолковского), затем тщательная математическая разработка теории реактивного движения с подробным количественным анализом прямолинейных движений и, наконец, строгая теория полета многоступенчатой ракеты, ракеты грандиозной и приспособленной для перемещения людей в космическом пространстве, — вот последовательные этапы творческих исканий Константина Эдуардовича, подготовившие научную почву для возникновения новой научной дисциплины — космонавтики, или звездоплавания.

Небесный корабль должен быть подобен ракете, говорил Циолковский. В самом деле, «основа действия каждого экипажа и корабля одна и та же: они отталкивают какую-либо массу в одну сторону, а сами от этого двигаются в противоположную. Пароход отталкивает воду, дирижабль и аэроплан — воздух, человек и лошадь — земной шар. Ракета заключает в самой себе вещества для отброса. Это компоненты топлива: горючее плюс окислитель. Для создания движения ракете не нужна внешняя среда (внешняя опора)». В пустоте увеличение скорости ракеты происходит быстрее, так как не нужно преодолевать силу

\* Первая работа Циолковского «Исследование мировых пространств реактивными приборами». См.: К. Э. Циолковский. Собр. соч., т. II, М., Изд-во АН СССР, 1954, стр. 73.

сопротивления воздуха. «Очевидно, прибор для движения в пустоте должен быть подобен ракете, т. е. содержать не только энергию, но и опорную массу в самом себе». Реактивная сила, развивающаяся при работе реактивного двигателя, может быть использована для любых перемещений в пространстве. Снаряд-ракета в состоянии «удаляться от Земли, блуждать между планетами, между звездами, посещать планеты, их спутники и другие небесные тела, возвращаться на Землю. Лишь бы было довольно содержащего энергию взрывчатого материала».

Движение ракеты в космическом пространстве определяется законами небесной механики. Ракета для космических путешествий — это управляемый астероид. Так как плотные слои атмосфер у планет солнечной системы сосредоточены на малых (по сравнению с радиусом соответствующей планеты) высотах, то при изучении движений ракет в пределах солнечной системы при перелетах с одной планеты на другую нужно в большинстве случаев принимать во внимание только силы тяготения. Для изучения движения искусственных спутников Земли и ракет, предназначенных для достижения (или облета) Луны, в ряде случаев нужно учитывать только поле сил тяготения, обусловленное массой Земли.

**15.** Изучая огромное идейное богатство исследований Циолковского, который последовательно и систематически в течение более чем 35 лет разрабатывал наиболее важные проблемы теории и техники реактивного движения, легко видеть, что ему принадлежит бесспорный приоритет в основании новых наук: ракетодинамики и космонавтики. Начиная с 1903 г. в печати появляются статьи и книги Циолковского по ракетодинамике и теории межпланетных сообщений.

Сравнивая эти исследования с более поздними зарубежными работами, можно легко убедиться, что именно в России были созданы теоретические основы расчета движений реактивных аппаратов всех классов и назначений и что Циолковский, зачинатель этих новых научных дисциплин, дал ракетодинамике и космонавтике тот необычайный размах и глубину заключений, которые характерны для больших произведений человеческого ума.

Во всех исследованиях Циолковского по ракетной технике ясно видна самостоятельная, оригинальная, глубокая мысль; статьи написаны доступным языком, и математические расчеты служат для строгих логических выводов и заключений, нигде не затемняя технических идей, сформулированных предельно ясно и четко. Как во всяком бессмертном творении, для которого проверка временем только выявляет величие и прогрессивность идей, в работах Циолковского всякий внимательный читатель увидит еще ту замечательную содержательность суждений и высокую мудрость проникновения в закономерности природы, которые свойственны классическим сочинениям.

И тем не менее работы Циолковского по ракетодинамике, написанные до Великой Октябрьской социалистической революции, постигла судьба многих открытий и изобретений, сделанных в царской России. Разные авторы разных стран частями или целиком начали присваивать идеи Циолковского. В 1913 г. во Франции появилась статья инженера Эсно-Пельтри «Соображения о результатах безграничного уменьшения веса моторов», в которой излагались некоторые формулы ракетодинамики, полученные ранее Циолковским. Но фамилия Циолковского в этой статье даже не упоминалась, хотя Эсно-Пельтри при посещении им в 1913 г. Петербурга были показаны работы Константина Эдуардовича. В 1919 г. профессор Годдард в Америке написал и опубликовал работу по теории прямолинейных движений ракет, где снова была выведена формула Циолковского и поставлена задача об отыскании оптимального режима вертикального подъема ракеты. Годдард ни одной строки не посвятил результатам Циолковского, хотя к тому времени вышло в свет три работы Константина Эдуардовича, опубликованные в России.

В 1923 г. Оберт в Германии широко популяризовал идею космической ракеты и в своей книге «Ракета и космическое пространство» также не счел нужным привести вычисления и проекты Циолковского, хотя они во многих случаях очень близки к тому, что опубликовал Оберт. Только благодаря широкой кампании в советской прессе и заявлениям ряда видных советских ученых Оберт в частных письмах к Циолковскому вынужден был признать его приоритет в разработке ракет для космических полетов. Вот выдержки из этих писем: «Я только сожалею, что не раньше 1925 года услышал о Вас. Я был бы наверное в моих собственных работах сегодня гораздо дальше и обошелся бы без тех многих напрасных трудов, зная Ваши превосходные работы» \*; «Надеюсь, что Вы дождетесь исполнения Ваших высоких целей. Вы зажгли огонь, и мы не дадим ему погаснуть, но приложим все усилия, чтобы исполнилась величайшая мечта человечества... Мою новую книгу посылаю Вам и буду очень рад, если взамен получу Ваши последние труды» \*.

Характерно отметить, что в третьем издании книги Оберта «Ракета и космическое пространство» (1929 г.) ссылок на работы Циолковского снова нет и его фамилия лишь упомянута в построчном примечании.

Такое замалчивание трудов нашего выдающегося ученого, изобретателя и мыслителя продолжается в капиталистических странах до наших дней. Многие зарубежные авторы основоположниками теории ракет дальнего действия и космических ракет называют Годдарда, Оберта, фон Брауна и других, сознательно замалчивая имя Циолков-

---

\* Подлинники писем Оберта хранятся в фонде К. Э. Циолковского в Академии наук СССР.

ского, который более полувека тому назад получил основные расчетные формулы и сделал ряд выдающихся конструкторских предложений для ракет этого типа.

Будем надеяться, что после издания Академией наук основных работ К. Э. Циолковского по реактивным летательным аппаратам зарубежные авторы будут иметь возможность прочесть Циолковского в подлиннике и, следовательно, оценить его творческую самобытность и значение его трудов для современной ракетной техники.

**16.** Отметим некоторые прогрессивные предложения К. Э. Циолковского, касающиеся особенностей конструкций ракет дальнего действия и отдельных агрегатов (узлов) этих ракет.

а) Для управления полетом ракеты, изменения траектории ее центра масс он рекомендовал применять тугоплавкие газовые рули из графита, которые размещаются вблизи среза сопла реактивного двигателя. Эти рули двумя парами лежат в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. При отклонении горизонтальной пары вверх или вниз изменяется угол наклона оси ракеты с горизонтом. При отклонении вертикальной пары изменяется угол рыскания, или азимутальный угол. Дифференциальное отклонение любой пары рулей дает эффект, аналогичный действию элеронов у самолета, т. е. позволяет изменять угол крена или вращение около продольной оси ракеты.

б) Для тех же целей Циолковский рекомендовал закреплять реактивный двигатель в кардановом подвесе и добиваться изменений углов тангажа, рыскания и крена соответственными отклонениями (покачиваниями) всего двигателя. Так как реактивная сила по величине обычно больше веса ракеты, то отклонения корпуса двигателя невелики. Следует отметить, что и газовые рули, и покачивания всего двигателя нашли широкие применения в современном ракетостроении. Газовые рули обычно применяются для управления полетом ракет на малые и средние дальности, отклонения всего двигателя используются на ракетах межконтинентальных и ракетах-носителях спутников и космических кораблей.

в) Для охлаждения стенок реактивного двигателя он предложил использовать компоненты топлива. Стенки камеры и сопла реактивного двигателя делаются двухслойными, и между ними протекает один из жидких компонентов топлива, прежде чем попасть в камеру сгорания. Протекающее жидкое вещество (например, керосин или спирт) охлаждает горячую стенку двигателя. Чтобы отбор тепла был более эффективным, Циолковский рекомендовал внутренние поверхности камеры и сопла делать из материалов с высокой теплопроводностью. Такое принудительное охлаждение позволяет обеспечить длительную работу ракетного двигателя (минуты). Без охлаждения камеры ракетных двигателей обычно прогорают за 1—3 секунды. Отметим, что способ прину-

дительного охлаждения горячих стенок компонентами топлива применяется у большинства современных конструкций ракетных двигателей.

г) После выхода космического корабля на расчетную орбиту при длительных полетах необходимо регулировать в разумных пределах температуру среды внутри корабля. К. Э. Циолковский предложил поверхность корабля делать из пластинок (наподобие жалюзи на окнах); изменяя положение этих пластинок, можно в широких пределах менять коэффициенты отражения и поглощения солнечного света освещенной поверхности корабля и изменять температуру в кабинах по желанию космонавтов. Варианты этого предложения применяются в наши дни весьма широко ракетостроителями всех стран.

д) Для охлаждения наружной оболочки космического корабля, возвращающегося домой на Землю, Циолковский предлагал использовать жидкие компоненты ракетного топлива аналогично охлаждению стенок двигателя.

е) Для уменьшения веса жидкостных ракетных двигателей он рекомендовал насосную подачу компонентов топлива в камеру сгорания. Это предложение принято в наши дни всеми конструкторами крупных ракетных двигателей.

ж) К. Э. Циолковский проявил себя и как химик по топливам для ракетных двигателей. В частности, он первым предложил весьма совершенные и высокоэффективные (по энергетике) пары окислителей и горючих:

жидкий кислород (окислитель) + жидкий водород (горючее);

жидкий кислород (окислитель) + спирт (горючее);

жидкий озон (окислитель) + углеводороды (например, керосин, бензин — горючее).

з) Циолковский рассчитал теоретически максимально возможные скорости истечения продуктов горения, получающиеся на срезе сопла камеры сгорания ракетного двигателя. Он допускает, что вся энергия, заключенная в 1 кг топливной смеси, полностью (без потерь) переходит в кинетическую энергию частиц продуктов сгорания, т. е.

$$\frac{mV_{r \max}^2}{2} = (mg) \cdot J \cdot k. \quad (18)$$

В формуле (18)  $J$  — теплотворная способность килограмма топливной смеси,  $k$  — механический эквивалент тепла,  $mg = 1 \text{ кг}$ ,  $V_{r \max}$  — максимально возможная скорость истечения. Таким образом, из формулы (18) следует, что

$$V_{r \max} = \sqrt{2kgJ}. \quad (19)$$

Формула (19) выявляет максимально возможные скорости истечения для различных топливных смесей.

17. Какая же выгода человечеству от овладения безднами космического пространства? Циолковский считает, что главное — это *солнечная энергия*. Земля, по его подсчетам, получает только одну двухмиллиардную часть этой энергии. Это очень мало. В своей работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами» он пишет:

«План дальнейшей эксплуатации солнечной энергии вероятно будет следующий:

Человечество пускает свои снаряды на один из астероидов (планетоидов) и делает его базой для первоначальных своих работ. Оно пользуется материалом маленького планетоида и разлагает или разбирает его до центра для создания своих сооружений, составляющих первое кольцо кругом Солнца. Это кольцо, переполненное жизнью разумных существ, состоит из подвижных частей и подобно кольцу Сатурна.

Разложив и использовав также и другие крохотные астероиды, разумное начало образует для своих целей в очищенном, т. е. свободном от астероидов пространстве, еще ряд колец, где-нибудь между орбитами Марса и Юпитера».

*Межпланетные путешествия безгранично расширяют возможности научных изысканий. Величайшая лаборатория природы делается более доступной, а расшифровка происходящих в ней явлений становится более простой и достоверной.*

«Основной мотив моей жизни, — указывал К. Э. Циолковский, — не прожить даром жизнь, продвинуть человечество хоть немного вперед. Вот почему я интересовался тем, что не давало мне ни хлеба, ни силы, но я надеюсь, что мои работы — может быть скоро, а может быть и в отдаленном будущем — дадут обществу горы хлеба и бездну могущества».

А скептикам Циолковский говорил:

«Было время, и очень недавнее, когда идея о возможности узнать состав небесных тел считалась даже и у знаменитых ученых и мыслителей безрассудной. Теперь это время прошло. Мысль о возможности более близкого, непосредственного изучения вселенной, я думаю, в настоящее время покажется еще более дикой. Стать ногой на почву астероидов, поднять рукой камень с Луны, устроить движущиеся станции в эфирном пространстве, образовать живые кольца вокруг Земли, Луны, Солнца, наблюдать Марс на расстоянии нескольких десятков верст, спуститься на его спутники или даже на самую его поверхность, — что, по-видимому, может быть сумасброднее! *Однако только с момента применения реактивных приборов начнется новая, великая эра в астрономии: эпоха более пристального изучения неба.* Устрашающая нас громадная сила тяготения не пугает ли нас более, чем следует!

Пушечное ядро, вылетающее со скоростью 2 км/сек, не кажется нам

изумительным. Почему же снаряд, летящий со скоростью 16 км/сек и удаляющийся навеки от солнечной системы в бездны вселенной, одолеваящий силу тяготения Земли, Солнца и всей его системы, должен повергать нас в ужас. Разве такая пропасть между числами 2 и 16! Всего только одно больше другого в 8 раз.

Если возможна единица скорости, то почему невозможна скорость в 8 таких единиц. Не все ли прогрессирует, движется вперед и притом с поражающей наш ум быстротой\*.

Советские ученые, инженеры и рабочие пуском 4 октября 1957 г. первого искусственного спутника Земли практически начали исследования небесных тел и космического пространства; эти исследования теперь продолжают во все расширяющихся масштабах.

Дальнейшая научная разработка грандиозных замыслов Циолковского, исследование различных аспектов проблемы межпланетных путешествий — благодарная задача советской науки.

18. После Великой Октябрьской социалистической революции условия жизни и работы Константина Эдуардовича существенно изменились к лучшему. В 1919 г. он был избран членом Социалистической академии. Постановлением Совета Народных Комиссаров ему была назначена персональная пенсия. Комиссия по улучшению быта ученых (ЦЕКУБУ) взяла на себя заботу о Циолковском, обеспечив ему удовлетворительные условия жизни в тот весьма трудный и напряженный период гражданской войны.

Правительственные и общественные организации стали оказывать помощь Циолковскому в издании его работ. За 1917—1935 гг. было издано в 4 раза больше статей, брошюр и книг Циолковского, чем за весь предшествующий период его деятельности.

За 7 лет, с 1925 по 1932 г., было опубликовано около 60 работ Циолковского, посвященных физике, астрономии, механике и философии. Повседневное внимание Коммунистической партии и Советского правительства к научно-исследовательской работе Константина Эдуардовича способствовало широкой популяризации и признанию его работ. Циолковский становится известным всему научно-техническому миру. Переводы статей Циолковского стали появляться в зарубежных технических журналах. Крупнейшие специалисты по теории ракет во всем мире систематически изучают исследования Циолковского, он становится признанным главой нового направления в технике — ракетостроения. Уравнениям и формулам Циолковского посвящаются специальные дискуссии, его работы по теории реактивного движения и межпланетных путешествий находят талантливых продолжателей. Группы и общества

---

\* Мы указывали, что первая космическая скорость для планеты Земля составляет 7912 м/сек; вторая — 11 189 м/сек; третья космическая скорость, равная 16 700 м/сек, позволяет покинуть солнечную систему при старте с Земли.

по изучению возможностей межпланетных путешествий создаются в ряде стран (Германия, Англия, Франция, Америка), начинается экспериментальная и конструкторская работа. Идея межпланетных путешествий была тем творческим стимулом, который объединил значительные коллективы ученых и изобретателей. *Колоссальный прогресс ракетной техники, свидетелями которого мы все являемся, был начат более шестидесяти лет тому назад К. Э. Циолковским.* Для ракетостроения нашей страны этот прогресс в значительной степени подготовлен исследованиями как самого Константина Эдуардовича, так и его многочисленных последователей-ракетчиков Советского Союза в 30-х и 40-х годах нашего века.

**19.** Великая Октябрьская социалистическая революция была той могучей силой, которая вдохнула в 60-летнего Циолковского новые творческие дерзания. Его талант выявился во всем могуществе и блеске. Он предстал перед современниками как зачинатель новой области человеческого знания, новой науки, новой отрасли промышленности. Полеты ракет наблюдали многие и до Циолковского. История говорит нам, что первые фейерверочные ракеты были созданы в Китае более двух тысяч лет тому назад. И, однако, никто из многих миллионов людей, наблюдавших фейерверки и иллюминации, не пришел к созданию новой науки — теории полета ракет. Более того, пороховые ракеты были предметом внимания значительного круга образованных военных специалистов в течение почти всего XIX столетия, и все же теории реактивного движения не существовало до работ Циолковского.

Как Галилей увидел в обыденных явлениях падения тел, явлениях, наблюдаемых каждым человеком начиная с рождения, стоящие за ними законы равномерных (равноускоренных и равнозамедленных) движений, законы простые и адекватные сущности явлений, так и в новой области движения ракет Циолковский открыл закономерности, выявившие основные и важнейшие характеристики для этого класса движений. Эти закономерности просты и прозрачны, как ключевая вода. От них не уйдешь в задачах ракетостроения, и их не предать забвению. Они легко просматриваются как основа во многих современных работах по теоретической ракетодинамике.

Умение выявить всю важность исследования полета ракет как тел переменной массы в условиях экономического и научного уровня развития России начала XX столетия нам представляется явлением исключительным. *Расширить границы познания объективных законов природы, проложить новые пути исследований в неизведанной области и дать результаты классической ясности и простоты мог только человек выдающегося дарования и гениальной пронциательности.*

**20.** Широта научного кругозора Циолковского может быть отчасти характеризована тематикой его статей, написанных с 1916 по 1930 г.

Вот названия примерно одной шестой части опубликованных в эти годы работ:

- «Горе и гений» (Калуга, 1916 г., издание автора);
- «Вне земли» (фантастическая повесть, частично была опубликована в журнале «Природа и Люди» в 1918 г.);
- «Монизм вселенной» (Калуга, 1925 г.);
- «Причина космоса» (Калуга, 1925 г.);
- «Исследование мировых пространств реактивными приборами» (Калуга, 1926 г.);
- «Моя пишущая машинка» (Калуга, 1928 г.);
- «Ум и страсти» (Калуга, 1928 г.);
- «Растение будущего» (Калуга, 1929 г.);
- «Звездоплывателям» (Калуга, 1930 г.);
- «От самолета к звездолету» (Калуга, 1930 г.);
- «Научная этика» (Калуга, 1930 г.).

*21. Годы успешной работы Циолковского при Советской власти, его наблюдения над развитием науки и техники в Советском Союзе убедили Константина Эдуардовича в полной осуществимости его основных идей.* В день 1 Мая 1933 г. во время радиопередачи с Красной площади была включена на несколько минут Калуга — квартира Циолковского. Вот некоторые мысли Константина Эдуардовича, высказанные в кратком приветствии всему советскому народу:

«Привет вам!

Представляю себе Красную площадь столицы. Сотни стальных стрекоз вьются над головами идущих колонн. Низко, низко проплывают дирижабли — мечта моей юности, исполнение заветных фантазий, пожалуй, некий результат моих ранних работ. Стальным птицам становится тесно в воздухе, и это стало возможным у нас лишь теперь, когда наша партия и правительство, весь наш трудовой народ, каждый трудящийся нашей Советской Родины дружно принялись за осуществление дерзновеннейшей мечты человечества — завоевание заоблачных высот. Небывалый подъем! Прежде ничего подобного не было и не могло быть. Немудрено поэтому, что именно советские пилоты пробрались выше всех в загадочную стратосферу. Легко объяснимы и мировые рекорды наших парашютистов, рекорды на продолжительность полета и многочисленные проявления героизма наших славных завоевателей воздуха.

Теперь, товарищи, я точно уверен в том, что и моя другая мечта — межпланетные путешествия, — мною теоретически обоснованная, превратится в действительность.

Сорок лет я работал над реактивным двигателем и думал, что прогулка на Марс начнется лишь через много сотен лет. Но сроки меняются. Я верю, что многие из вас будут свидетелями первого заатмосфер-

ного путешествия. У нас в Советском Союзе много юных летателей — так я именую детей-авиамodelистов, детей-планеристов, юношей на самолетах. Их у нас десятки тысяч. На них я возлагаю самые смелые надежды. Они помогут осуществить мои открытия и подготовят талантливых строителей первого межпланетного корабля.

Герои и смельчаки проложат первые воздушные трассы: Земля — орбита Луны, Земля — орбита Марса и еще далее: Москва — Луна, Калуга — Марс».

22. Мы прочли почти все написанное К. Э. Циолковским, и нам хочется высказать несколько мыслей об оригинальности и самобытности творческого стиля этого выдающегося ученого, мыслителя и Человека.

Он был неистовым мечтателем. Его душа кипела множеством идей. Он размышлял об источниках колоссальной энергии Солнца, о законах движения ракет, о создании цельнометаллических дирижаблей и аэропланов, о новых формах государственного устройства, о межпланетных искусственных островах, населенных смелыми потомками людей, уже превративших своим трудом нашу планету в цветущий сад, о новом научном интернациональном языке вместо средневековой латыни и множестве других вопросов.

Строгий математический анализ, обязательная количественная оценка — *число* — обуздывали эти полеты фантазии. Девизом его исканий был *научный расчет*, который шествовал за мечтой, фантазией, сказкой.

Он стремился показать своим современникам новые, неизведанные пути научных исканий, новые неоткрытые миры, новые человеческие отношения, иную жизнь. Он тревожил умы, звал к созиданию великого, возбуждая желание размышлять, искать, творить. Он был могуч в своих свершениях и даже заблуждениях. Он обаятелен в своей страстной и горячей вере в силу разума, силу науки, силу неукротимого стремления человека к лучшему.

*Он учился созидая.* Нередко тернистыми путями приходил к открытому ранее другими, но это не огорчало ученого, а лишь убеждало в правильности выбранного метода познания нового. Его неудержимо увлекал процесс интеллектуального творчества. Радость созидания согревала и питала его воображение. В мечтах он видел себя главой мирового прогресса.

Многие ученые его не понимали. Он публиковал свои статьи в журналах, редко привлекавших внимание официально признанных научных деятелей. Его больше знали инженеры-изобретатели, люди, чуткие к новому, неожиданному. В те дни для большинства ученых был неактуален сам предмет основных исследований Константина Эдуардовича. С «общего согласия» боевые пороховые ракеты были похоронены в

80-х годах XIX столетия. Ленивым и холодным умам казалось, что Циолковский пишет о несбыточном, уже отвергнутом ходом истории. Форма и стиль его статей часто раздражали педантов. Новые русифицированные обозначения, применявшиеся Циолковским для записи привычных с гимназических лет формул, считали блажью умирающего славянофильства. Отсутствие ссылок на опубликованные результаты предшественников называли гордыней и игрой в гениальность.

Горестная жизнь почти всех дореволюционных открытий Циолковского поднимала в душе его бурю протестов. Он мысленно листал великую книгу истории науки и сравнивал свои открытия с открытиями великих мужей естествознания и техники. Ему импонировали многие сравнения и аналогии. Он говорит в предисловии к работе «Ракета и космическое пространство»: «Ламарк написал книгу, где разбирал и доказывал постепенное развитие существ от низших организмов до человека. Французская Академия во главе с знаменитым Кювье измывалась над этой книгой и публично приравнивала Ламарка к ослу. Галилей был пытан, заключен в тюрьму и принужден с позором отречься от своего учения о вращении Земли. Только этим он спасся от сожжения. Кеплер сидел в тюрьме. Бруно сожжен за учение о множественности миров. Французская Академия отвергла Дарвина, а русская — Менделеева. Колумб после открытия им Америки был закован в цепи. Майер был доведен измывательством ученых до сумасшедшего дома. Химик Лавуазье казнен. Коперник лишь на смертном одре получил свои печатные труды. Работы Менделя обратили внимание на себя только через десятки лет после их издания. Гальвани, открывший динамическое электричество, был осмеян. Изобретатель книгопечатания — Гутенберг умер в нищете, так же как (недавно) и изобретатель холодильных машин Казимир Пелье. Фультон отвергнут самим Наполеоном (первым). Не перечислить сожженных и повешенных за истину. История переполнена фактами такого рода. И почему это академиям, ученым и профессионалам суждено играть такую жалкую роль гасителей истины и даже ее карателей?»

Циолковский после 1917 г. в резких выражениях писал о слепоте академической дореволюционной науки к новому, о ее приверженности к дряхлеющему, канонизированному. *Он понимал, что находится в первых рядах начинателей великого, и ему хотелось открыть всем глаза на те богатства, которые ежедневно стояли перед его умственным взором.*

Иногда он сознавал себя новым пророком человечества, и его мысли формулировались уже как откровение гения. В своей известной философской работе «Монизм вселенной» он писал: «В мои годы умирают, и я боюсь, что вы уйдете из этой жизни с горестью в сердце, не узнав от меня (из чистого источника знания), что вас ожидает непрерывная радость». «Я хочу привести вас в восторг от созерцания вселенной, от

ожидающей всех судьбы, от чудесной истории прошедшего и будущего каждого атома»\*.

Условия творчества Константина Эдуардовича были ужасными даже для царской России. Мизерное жалованье. Большая семья. Тесная и неудобная квартира. Нужда и недоедание. Почти полное непонимание сограждан. Пожары и наводнения неоднократно уничтожали подготовленные к печати рукописи и черновые расчеты. Он не имел ни в Боровске, ни в Калуге необходимой научной литературы. О журналах (текущей научной периодике) можно было только мечтать. Грубые насмешки обывателей провинциальной России были единственным поощрением ученому. Вряд ли способствовали продуктивности работы жалящие уколы коллег-преподавателей, готовых придрасться к мельчайшему методическому нововведению. Все недовольны тем, что бедняк Циолковский печатает на собственные средства научные статьи и рассылает их бесплатно. Мне кажется, что глухота спасла от тины «благонамеренного и толстокожего» мещанства величие этого человека. Содержание научных статей Циолковского в дореволюционной Калуге понимали максимум десять человек.

Циолковский писал ленинградскому профессору Н. А. Рынину в 1926 г., характеризуя дореволюционные условия своего научного творчества: «Книг было тогда вообще мало, а у меня в особенности. Поэтому приходилось больше мыслить самостоятельно и часто идти по ложному пути. Нередко я изобретал и открывал давно известное. Я учился творя, хотя часто неудачно и с опозданием. Зато я привык мыслить и относиться ко всему критически. Впрочем, самобытность, я думаю, была в моей природе. Глухота же и невольное удаление от общества только расширили мою самостоятельность».

В неопубликованной рукописи Циолковского под названием «Фатум, судьба, рок», хранящейся в Архиве АН СССР (ф. 555, оп. 2, д. 1), можно прочесть: «Учителей у меня совсем не было, а потому мне приходилось больше создавать и творить, чем воспринимать и усваивать. Указаний, помощи ниоткуда не было, непонятого в книгах было много, а разъяснить приходилось все самому. Одним словом, творческий элемент, элемент саморазвития, самобытности преобладал. Я, так сказать, всю жизнь учился мыслить, преодолевать трудности, решать вопросы и задачи. Многие науки создавались мной, за неимением книг и учителей, прямо самостоятельно».

Он не владел всеми тонкостями математической техники XX в. Применяемый им в работах математический аппарат очень прост и доступен

---

\* Циолковский утверждал, что «Монизм вселенной», изданный в 1925 г., есть попытка определить судьбу всего живого, основываясь на точных науках (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 2, д. 10).

каждому изучавшему обычный вузовский курс высшей математики. Но он видел и предугадывал суть многих явлений, не боясь ошибаться при попытках овладеть новыми закономерностями\*.

Математическая техника и символика — это нечто вроде нотной грамоты или правил стихосложения. Можно великолепно объяснять, какие аккорды и последовательности аккордов заложены в менуэтах Гайдна и Моцарта, но не уметь написать самостоятельно ничего. Можно по-разному трактовать структуру и ритмику стихов Пушкина, Блока и Есенина, но с грустью убеждаться, что в этих знаниях нет ни гроша истинной поэзии. Вы можете воспроизводить на память все чудесные открытия по математике, сделанные до вас, но не уметь применить их к самому простому делу. Есть какой-то логически неуловимый скачок в нашем сознании, когда мы начинаем идти от известного к неизвестному, когда открытое великими предшественниками не мешает вам видеть в этом мире новое, еще не открытое, бывшее до вас незамеченным.

Самое трудное в подлинном научном воспитании и состоит в том, чтобы обучающийся не попадал под обаяние известных, часто более могущественных, предшественников, а сохранял творческое, свое понимание действительности.

Циолковский не любил просматривать до деталей пути-дороги предшественников. Он обычно схватывал «изюминку» нового в любой научной работе, а доказательства придумывал сам. Поэтому даже известные в науке результаты изложены у Циолковского по-своему, неожиданно, свежо, оригинально. Он умеет мечтать и видеть «обольстительные и важные перспективы» ракетной техники, он мудр и точен в своих формулировках и выводах, он тревожит ваш ум и находит дорогу к самому лучшему в вашем сердце, когда ставит новые проблемы.

В предисловии к своей работе «Растение будущего» Циолковский так характеризует свой творческий почерк: «Почему я часто не упоминаю об источниках и не угощаю читателей мудростью энциклопедических словарей? Да потому, что это страшно увеличит размер работ, запутает и утомит читателя, заставит его бросить книгу. Времени и сил так мало! Моя цель — в малом и доступном объеме дать много. Горю стремлением внушить всем людям разумные и бодрящие мысли. Притом я тружусь самостоятельно и ново, только основы научны, стары и известны. Множество имен, мнений и дат мешает главному — усвоению истины. Дело специалистов и исторических наук давать эти даты, имена и их противоречивые мнения. Я же выбираю из всего материала то, что считаю наиболее вероятным. Компиляции

---

\* Константин Эдуардович правильно отмечал, что «элементарность изложения некоторых моих трудов составляет особенное их достоинство» (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 2, д. 17).

требуют, конечно, иного изложения. *Мои же работы не компиляции*\*. В одном из сохранившихся вариантов автобиографии Константин Эдуардович пишет: «Вся моя жизнь состояла из размышлений, вычислений, практических работ и опытов. Меня всегда сопровождала домашняя мастерская»\*\*.

Можно обучить математической технике. Познать созданное другими — это только терпение. Но едва ли можно научить создавать великое. Польза самой лучшей научной школы состоит в том, что она дает возможность пробудить и усовершенствовать природные данные, если они хороши, но никакая научная школа не может заменить недостающие способности, не может выработать проницательности и остроумия, если их нет.

К. Э. Циолковский имел выдающиеся способности, необыкновенно проницательный взгляд на явления природы и техники, колоссальную силу воли и терпение.

Работы К. Э. Циолковского по ракетодинамике и теории межпланетных сообщений были первыми строго научными изысканиями в мировой научно-технической литературе. В этих исследованиях математические формулы и расчеты не затеяют глубоких и ясных идей, сформулированных оригинально и четко. Строгий и беспощадный судья — время — лишь выявляет и подчеркивает грандиозность замыслов, своеобразие творчества и высокую мудрость проникновения в сущность новых закономерностей и явлений природы, которые свойственны этим произведениям К. Э. Циолковского. Его труды по ракетодинамике и космонавтике помогают осуществлять новые дерзания советской науки и техники. Россия может гордиться своим знаменитым ученым, подлинным украшением человеческого рода, зачинателем новых направлений развития науки и промышленности.

Константин Эдуардович Циолковский скончался в Калуге 19 сентября 1935 г. В его письме И. В. Сталину, написанном за шесть дней до смерти, есть следующее завещание: «Все свои труды по авиации, ракетоплаванию и межпланетным сообщениям передаю партии большевиков и Советской власти — подлинным руководителям прогресса человеческой культуры. Уверен, что они успешно закончат эти труды». Эти заветы замечательного труженика русской науки уже нашли реальное воплощение в великих достижениях советского ракетостроения и космонавтики.

---

\* К. Э. Циолковский. Растение будущего. Калуга, 1929, стр. 1. (Подчеркнуто нами. — А. К.)

\*\* Архив АН СССР, ф. 555, оп. 2, д. 2.

## ИВАН ВСЕВОЛОДОВИЧ МЕЩЕРСКИЙ

Нация, желающая стоять на высоте науки, не может обойтись без теоретического мышления.

(Ф. Энгельс)

1. В классической механике большинство количественных результатов, характеризующих важнейшие свойства наблюдаемых движений, получено на основании законов Ньютона. Второй закон Ньютона (или вторая аксиома механического движения), устанавливающий простое соотношение между ускорением движущейся точки данной массы и действующими силами, является фундаментом для численного решения разнообразных частных задач. Однако второй закон Ньютона справедлив, вообще говоря, только для точек постоянной массы. Если масса точки изменяется, то основной закон движения в форме Ньютона, на котором должны строиться все математические расчеты, не может быть использован для составления уравнений движения.

Иван Всеволодович Мещерский, один из крупнейших русских механиков конца XIX и первой трети XX столетия, всю свою творческую жизнь посвятил созданию основ механики тел переменной массы. Частной задачей механики тел переменной массы является, например, теория движения современных жидкостных ракет дальнего действия, у которых изменение массы при движении обусловлено отбрасыванием (истечением) частиц сжигаемого запаса топлива (горючего и окислителя).

В различных областях промышленности можно указать примеры движущихся тел, масса которых заметно изменяется во время движения. Так, в процессе движения изменяется масса и осевой момент инерции вращающегося веретена, на которое навивается нить. Рулон газетной бумаги, когда он разматывается на валу печатной машины, дает нам пример тела, масса которого уменьшается с течением времени.



*Иван Всеволодович  
Мещерский*  
(1859—1935)

Ракеты различных назначений суть тела, масса которых существенно изменяется во время движения. Реактивные самолеты с воздушно-реактивными двигателями представляют собой более сложный пример движущихся тел переменной массы, когда имеет место одновременное присоединение и отделение частиц. Масса реактивного самолета увеличивается за счет частиц воздуха, засасываемых в двигатель, и уменьшается благодаря процессу отбрасывания частиц — продуктов горения топлива.

Случаи движения, когда масса тела изменяется с течением времени, представляет в большом числе и сама природа. Так, например, масса Земли возрастает вследствие падения на нее метеоритов. Масса падающего метеорита, движущегося в атмосфере, убывает вследствие того, что частицы метеорита отрываются или сгорают. Масса Солнца возрастает от присоединения «космической пыли» и уменьшается от излучения.

Механика тел переменной массы имеет большое значение для правильного описания движения планет, и особенно Луны. Этот вопрос был поставлен в астрономической литературе в 1866 г., когда возникла необходимость более строгого и точного объяснения векового ускорения долготы Луны\*. Вековое ускорение долготы Луны, представляющее харак-

\* Явление векового ускорения Луны описано в книге: Э. Стремгрен и Б. Стремгрен. Астрономия. М., Гостехиздат, 1941, стр. 193, 194.

терную особенность ее видимого движения, было открыто в конце XVII в. Эдмундом Галлеем (Англия). Сравнивая прежние наблюдения Луны с собственными наблюдениями и наблюдениями его современников, он нашел, что имеет место уменьшение периода обращения Луны вокруг Земли. Уменьшение периода обращения Луны, т. е. увеличение средней скорости ее движения по орбите, численно характеризуется наличием касательного ускорения. Влияние касательного ускорения при движении Луны на положение ее на орбите растет пропорционально квадрату времени, и, таким образом, его можно сравнительно легко обнаружить по истечении больших промежутков времени.

Величина соответствующего коэффициента векового ускорения долготы Луны определялась из астрономических наблюдений в 10—12 секунд дуги. Частично, как показал Лаплас, величина ускорения может быть объяснена уменьшением эксцентриситета земной орбиты. Вторая часть векового ускорения, по-видимому, зависит от изменения массы Земли и Луны вследствие падения на них метеоров и метеоритов. Вычисления показывают, что согласие наблюдений и вычислений получается хорошим, если допустить, что радиус Земли возрастает от масс падающих метеоров и метеоритов в среднем на полмиллиметра в столетие\*.

Для исследования и решения всех такого рода задач природы и техники, начиная от центрифугального веретена и кончая движением планет, необходимо было прежде всего установить основное уравнение движения точки переменной массы, так как всякое тело переменной массы можно представить как систему точек, часть из которых (или все одновременно) будут изменять свою массу с течением времени.

Скалярные дифференциальные уравнения движения точки переменной массы были установлены в магистерской диссертации И. В. Мещерского «Динамика точки переменной массы». Эта работа была опубликована в Петербурге в 1897 г. В истории развития теоретической механики, и особенно ее приложений, при изучении движения ракет установление исходных уравнений имеет весьма большое принципиальное значение. Второй закон Ньютона вытекает из уравнений Мещерского как частный случай, если предположить, что масса движущейся точки постоянна во все время движения.

2. Иван Всеволодович Мещерский родился 10 августа 1859 г. в городе Архангельске. Низшее образование получил в Соломбальском\*\* приходском, а затем в уездном училище. В 1871 г. он поступил во второй класс Архангельской гимназии, которую окончил в 1878 г. с золотой медалью. В аттестате была отмечена «любопытность весьма похвальная, и особенно к древним языкам и математике». Учился Мещерский в

\* По современным данным, на поверхность планеты Земля ежегодно выпадает 615 т метеоров и метеоритов. См. книгу «Физика верхней атмосферы». М., Физматгиз, 1963, стр. 468, 469.

\*\* Соломбала — название одного из районов Архангельска.

Архангельской гимназии в трудных материальных условиях. «Педагогический совет гимназии, учитывая блестящие успехи и «недостаточное состояние» юноши, освобождал его от платы за обучение и поддерживал небольшой стипендией»\*.

После окончания гимназии Мещерский поступил студентом на физико-математический факультет Петербургского университета. Его выдающиеся способности обратили внимание известного русского профессора по теоретической механике Д. К. Бобылева (1842—1918). По окончании университета в 1882 г. Иван Всеволодович был оставлен при кафедре Д. К. Бобылева «для приготовления к профессорскому званию».

Первой опубликованной работой И. В. Мещерского была статья по струйной теории сопротивления, тесно примыкавшая к исследованиям его университетского учителя Бобылева. Она была помещена в журнале русского физико-химического общества в 1886 г.\*\*. Как известно, Бобылев весьма изящно решил задачу о струйном сопротивлении симметричного клина. Мещерский расширил это решение на случай несимметричного клина. Метод решения основан на изыскании конформного отображения двух областей: комплексного потенциала струйного течения несжимаемой жидкости и годографа комплексной скорости. В 1889 г. Мещерский выдержал при Петербургском университете экзамены на ученую степень магистра прикладной математики. В те магистерские экзамены посвящались три дня: один — математике, второй — механике и третий — письменной работе на тему, которая становилась известной экзаменуемому только в день экзамена. Иван Всеволодович писал работу на тему «Метод Гамильтона—Якоби и его применение к решению некоторых задач».

В 1890 г. И. В. Мещерский начал преподавание в Петербургском университете в качестве приват-доцента кафедры прикладной математики. 19 ноября 1890 г. он прочел свою первую вступительную лекцию к курсу «Интегрирование уравнений механики». В последующие годы Мещерский читал в университете лекции по графостатике, интегрированию уравнений механики и вел практические занятия со студентами по общему курсу теоретической механики.

Кроме университета, И. В. Мещерский вел практические занятия по курсу теоретической механики в Институте инженеров путей сообщения в 1890/91 учебном году и с 1896 по 1902 г. В 1891 г. Иван Всеволодович был назначен профессором механики на Петербургских высших женских курсах; он преподавал теоретическую механику на этих курсах в продолжение 28 лет до 1919 г., когда произошло слияние Высших женских курсов с университетом.

\* В. А. Брюханов. Великий шаг человечества. Архангельское книжное издательство, 1957, стр. 61.

\*\* И. В. Мещерский. К вопросу о сопротивлении жидкостей. Давление на клин в потоке неограниченной ширины двух измерений. ЖРФХО, т. XVIII, 1886.

30 мая 1902 г. И. В. Мещерский был назначен исполняющим должность ординарного профессора кафедры теоретической механики во вновь организованный Санкт-Петербургский политехнический институт, в котором и протекала в дальнейшем его основная научная и педагогическая деятельность. 16 октября 1902 г. Иван Всеволодович читал первую лекцию по механике в Политехническом институте; на долю теоретической механики выпала первая лекция вообще, прочитанная в стенах нового института. Мещерский писал в своей автобиографии: «Организуя преподавание механики в институте, руководился той основной идеей, что в технической школе теоретическая механика, не теряя своей общности и вообще характера теоретической, рациональной науки, должна быть возможно тесно связана с науками техническими». 17 мая 1909 г. Иван Всеволодович был утвержден ординарным профессором Политехнического института, а 6 ноября 1915 г. утвержден в звании заслуженного профессора. Более тридцати выпусков русских инженеров получили свое образование по механике у профессора Мещерского.

3. Если ограничиться рассмотрением движения точки переменной массы, то два основных фактора будут отличать ее уравнения движения от уравнения Ньютона: переменность массы и принятая гипотеза отделения частиц, определяющая добавочную, или реактивную, силу. Если относительная скорость отделяющихся частиц равна нулю, то добавочная сила, обусловленная процессом отделения частиц, также равна нулю. Естественно было начать разработку теории с такого частного случая, когда реактивная сила не будет входить в расчеты. Результаты исследования движения точки переменной массы в этом предположении были доложены Мещерским Петербургскому математическому обществу в 1893 г. Из частных задач этого типа была рассмотрена весьма актуальная в те годы задача небесной механики о движении двух тел переменной массы. Основные выводы проведенного исследования были опубликованы в работе «Один частный случай задачи Гюльдена»\*.

Дальнейшие занятия вопросами теории движения тел переменной массы привели Мещерского к созданию вполне законченной и строго обоснованной динамики точки переменной массы. Впервые в научной литературе Мещерский опубликовал основные дифференциальные уравнения движения точки переменной массы в 1897 г. и тем самым дал возможность получения количественных закономерностей для различных частных задач движения. В настоящее время следует подчеркнуть, что одной из существенных гипотез, лежащих в методе Мещерского, является *гипотеза близкого действия* (контактного взаимодействия) точки

\* Сообщено на заседании Петербургского математического общества 27/1 1893 г. и впервые опубликовано на немецком языке в *Astronomische Nachrichten*, т. 132, 1893, № 3153.

и отбрасываемых частиц. Допускается, что в момент отделения частицы от тела (точки) происходит явление, аналогичное удару; частица за очень малый промежуток времени получает относительную скорость  $\vec{V}_1$ , и дальнейшее взаимодействие частицы и основного тела прекращается. Если  $dM$  — масса отбрасываемой частицы,  $M$  — масса основной точки,  $d\vec{v}_1$  — приращение скорости основной точки, то на основании теоремы об изменении количества движения для ударных сил будем иметь:

$$M d\vec{v}_1 - dM \vec{V}_1 = 0,$$

откуда

$$\frac{d\vec{v}_1}{dt} = \frac{1}{M} \cdot \frac{dM}{dt} \vec{V}_1 = \frac{1}{M} \frac{dM}{dt} \cdot (\vec{u}_1 - \vec{v}), \quad (1)$$

где  $\vec{v}$  — скорость основной точки, а  $\vec{u}_1$  — абсолютная скорость отброшенной частицы  $dM$ .

Гипотеза близкодействия отбрасываемых частиц (гипотеза контактного взаимодействия) позволила Мещерскому получить векторное дифференциальное уравнение движения точки переменной массы в следующем виде\*:

$$M \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} + \frac{dM}{dt} \cdot (\vec{u}_1 - \vec{v}). \quad (2)$$

Для задач ракетной техники уравнение (2) отображает существо явлений с достаточной для практики точностью. В ряде наших работ мы предлагали называть уравнение (2) уравнением Мещерского\*\*. Если принять, что абсолютная скорость отбрасываемых частиц равна нулю (т. е. положить  $\vec{u}_1 = 0$ ), то уравнение (2) можно написать в следующей простой форме:

$$\frac{d}{dt} (M\vec{v}) = \vec{F}. \quad (3)$$

Уравнение (3) было также получено и достаточно подробно исследовано И. В. Мещерским в указанной работе 1897 г. Спустя 31 год итальянский математик Леви-Чивита еще раз вывел уравнение (3), которое в иностранной литературе получило название «уравнения Леви-

\* И. В. Мещерский получил три скалярных уравнения движения точки переменной массы, которые являются проекциями векторного уравнения (2) на декартовы оси координат.

\*\* См.: А. А. Космодемьянский. Механика тел переменной массы, ч. I, М., Изд-во ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1947. В официальной программе курса теоретической механики, утвержденной для машиностроительных вузов, уравнение (2) называется уравнением Мещерского.

Чивита». В работе же Мещерского уравнение (3) рассматривается как частный случай более общего уравнения (2), и естественно, что каких-либо новых исследований для «вывода» уравнения (3) не требуется.

Динамика точки переменной массы, созданная трудами и талантом И. В. Мещерского, до наших дней остается наиболее полным и обстоятельным исследованием по теории движения тел переменной массы. В этой фундаментальной работе, кроме открытия исходных дифференциальных уравнений, рассмотрено большое число оригинальных частных задач и указаны общие методы, развитие которых даст, несомненно, ряд практически важных заключений о закономерностях движения ракет. И. В. Мещерский — зачинатель нового раздела теоретической механики.

4. Дадим здесь краткую характеристику новых методов изучения движения точки переменной массы, предложенных Мещерским в его работе «Динамика точки переменной массы». Мещерский подверг особенно тщательному анализу тот случай движения точки переменной массы, когда относительная скорость отбрасываемых частиц равна нулю. Исходное уравнение в этом случае совпадает по форме со вторым законом Ньютона. Если для такого класса задач допустить, что равнодействующая внешних сил пропорциональна массе точки, то мы получим, что результирующее ускорение точки не зависит от закона изменения массы. Таким образом, «при действии сил, равнодействующая которых пропорциональна массе точки, точка переменной массы, по какому бы закону ее масса ни изменялась при отсутствии ударов, движется так же, как движется точка постоянной массы при действии тех же сил и при тех же начальных данных»\*.

Значительное место уделено Мещерским исследованию движений точки переменной массы под действием центральных сил. По существу, диссертация Мещерского заложила основы небесной механики тел переменной массы. Если закон изменения массы точки известен, то для исследования геометрических, кинематических и динамических характеристик движения весьма плодотворным оказывается *метод отображения движения*, впервые предложенный Мещерским. Идея метода состоит в следующем: находятся такие преобразования переменных реальной задачи к новым переменным в некотором вспомогательном пространстве, при которых в этом новом пространстве уравнения движения точки переменной массы переходят в уравнения движения «отображенной» точки постоянной массы. Между элементами движения вспомогательной точки в преобразованном («искаженном») пространстве и элементами движения реальной точки формулами преобразования устанавливается простое соответствие.

---

\* И. В. Мещерский. Динамика точки переменной массы. СПб., 1897, стр. 55.

Проиллюстрируем этот метод на следующей задаче: определить движение точки, притягиваемой к началу координат силой, пропорциональной массе точки и обратно пропорциональной квадрату расстояния от выбранного начала, предполагая, что масса точки увеличивается по закону

$$M = \frac{M_0}{(1-at)}$$

и абсолютная скорость присоединяющихся частиц равна нулю.

Векторное уравнение движения точки можно написать в виде:

$$M \frac{d\vec{v}}{dt} = - \frac{kM\vec{r}}{r^3} - \frac{dM}{dt} \vec{v}. \quad (4)$$

Так как в этом случае траектория точки есть плоская кривая, то, располагая оси  $Ox$  и  $Oy$  в этой плоскости и проектируя на эти оси уравнение (4), получим следующие два скалярных уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= - \frac{kx}{r^3} - \frac{a}{1-at} \cdot \frac{dx}{dt} \\ \frac{d^2y}{dt^2} &= - \frac{ky}{r^3} - \frac{a}{1-at} \cdot \frac{dy}{dt} \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где

$$r^2 = x^2 + y^2.$$

Введем новые переменные  $\xi, \eta, \tau$ , положив

$$\xi = \frac{x}{(1-at)^2}, \quad \eta = \frac{y}{(1-at)^2}, \quad d\tau = \frac{dt}{(1-at)^3}.$$

Уравнения отображенного движения во вспомогательном пространстве  $(\xi, \eta)$  с новым временем  $\tau$  будут иметь вид:

$$\frac{d^2\xi}{d\tau^2} = - \frac{k\xi}{\rho^3}, \quad \frac{d^2\eta}{d\tau^2} = - \frac{k\eta}{\rho^3}, \quad (6)$$

где

$$\rho^2 = \xi^2 + \eta^2.$$

Уравнения (6) суть уравнения движения точки постоянной массы под действием центральной силы, и интегралы этих уравнений изучены достаточно подробно. Зная решения уравнений (6), формулы преобразования координат и времени, легко найти все характеристические свойства движения точки переменной массы.

В задачах небесной механики Мещерский первый рассмотрел ряд частных законов изменения массы, полагая

$$M = \frac{M_0}{1+at}, \quad M = \frac{M_0}{\sqrt{1+at+\beta t^2}},$$

$$M = \frac{M_0}{(1+at+\beta t^2)^2},$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — некоторые постоянные.

Эти предположения Мещерского, сделанные из чисто теоретических соображений, были подвергнуты обстоятельной проверке в большом числе работ крупнейших астрономов, получили хорошее подтверждение, и сейчас эти гипотезы носят в литературе по небесной механике название «законов Мещерского».

Приведем еще один из результатов Мещерского, относящийся к исследованию движения комет: «Пусть, например, рассматривается движение кометы при приближении ее к перигелию, допуская, что масса кометы уменьшается и может быть выражена некоторой функцией расстояния кометы от Солнца; тогда уравнения движения интегрируются в квадратурах, если предположить, что скорость центра инерции отделяющихся частиц или равна нулю, или направлена по одной прямой со скоростью кометы, причем отношение этих скоростей есть или величина постоянная, или некоторая функция расстояния между кометой и Солнцем»\*.

Мещерский первый поставил и частично исследовал задачи следующего типа: *найти закон изменения массы точки, при котором она под действием заданных внешних сил описывает заданную траекторию*. Эти задачи Мещерский называет обратными. Мы приведем здесь общее решение класса обратных задач для прямолинейных траекторий\*\*. Рассмотрим для определенности вертикальный подъем точки переменной массы в однородном поле силы тяжести в среде, сопротивление которой пропорционально квадрату скорости.

Уравнение движения точки будет иметь вид:

$$M \frac{dv}{dt} = -Mg - kv^2 - \frac{dM}{dt} \cdot V_1,$$

или

$$\frac{dM}{dt} + \frac{M}{V_1} \left( g + \frac{dv}{dt} \right) + \frac{k}{V_1} \cdot v^2 = 0. \quad (7)$$

Дифференциальное уравнение (7) есть линейное неоднородное дифференциальное уравнение относительно  $M$ , и его общий интеграл можно написать в виде:

$$M = e^{-\frac{1}{V_1} \int \left( g + \frac{dv}{dt} \right) dt} \cdot \left[ C - \frac{k}{V_1} \int v^2 e^{\frac{1}{V_1} \int \left( g + \frac{dv}{dt} \right) dt} dt \right], \quad (8)$$

где  $C$  — постоянная интегриации.

Соотношение (8) позволяет весьма просто рассчитать необходимый закон изменения массы (т. е. режим работы реактивного двигателя).

\* И. В. Мещерский. Динамика точки переменной массы. СПб., 1897, стр. 139.

\*\* См.: А. А. Космодемьянский: Лекции по механике тел переменной массы. «Учебные записки МГУ», вып. 154, 1951; его же: Курс теоретической механики, ч. II. М., «Просвещение», 1966, стр. 70—72.

если закон движения точки по прямолинейной траектории известен. Легко понять, что формула (8) легко обобщается на переменное поле тяготения и произвольные законы сопротивления среды. Для иллюстрации приведем два простых примера на определение закона изменения массы по формуле (8), если характеристики движения точки заданы. Пусть ускорение точки, поднимающейся вертикально вверх в однородном поле тяготения при отсутствии сил сопротивления, равно нулю. Требуется найти, как должна изменяться масса точки, чтобы обеспечить такой закон движения. Полагая в формуле (8)

$$\frac{dv}{dt} = 0, \quad \dot{k} = 0, \quad g = \text{const} = g_0,$$

находим:

$$M = C e^{-\frac{g_0 t}{V_1}}. \quad (9)$$

Так как при  $t=0$   $M=M_0$ , то окончательно будем иметь:

$$M = M_0 e^{-\frac{g_0 t}{V_1}}. \quad (10)$$

Таким образом, движение точки переменной массы с постоянной скоростью в однородном поле тяготения будет иметь место в том случае, когда масса точки изменяется по показательному закону (10).

Если мы хотим обеспечить в однородном поле тяготения равноускоренное движение точки с ускорением, равным  $a$ , то из (8) легко находим, что масса должна изменяться по закону

$$M = M_0 e^{-\frac{1}{V_1}(a+g)t}. \quad (11)$$

Для некоторых частных задач ракетной техники решение обратных задач динамики точки переменной массы представляет несомненный интерес.

В магистерской диссертации Мещерского 1897 г. впервые было рассмотрено корректное уравнение вертикального подъема ракеты. Но так как в те годы в среде научной интеллигенции интерес к задачам теории движения ракет был весьма мал, то Мещерский ограничился при рассмотрении движения ракеты буквально следующим:

«Пусть  $m$  обозначает массу ракеты,  $R(x)$  — сопротивление воздуха,  $p$  — давление газов и  $w$  — величину относительной скорости, которую имеют сгорающие частицы в момент их отделения.

Рассматривая вертикальное движение ракеты до тех пор, пока в ней происходит сгорание, мы приходим к следующей задаче.

Определить восходящее вертикальное движение точки переменной массы  $m$ , на которую, кроме силы тяжести, действует сила, вообще говоря, переменной величины  $p$ , направленная по вертикали вверх, и

сопротивление среды  $R(\dot{x})$ , изменяющееся в зависимости только от скорости точки; при этом предполагается, что геометрическая разность между скоростями отбрасываемой массы и точки направлена по вертикали вниз и равна данной, вообще говоря, переменной величине  $\omega$ .

Направим ось  $Ox$  по вертикали вверх, тогда уравнение движения точки будет:

$$m\ddot{x} = -mg + p - \frac{dm}{dt} \cdot \omega - R(\dot{x}).$$

Если масса  $m$ , давление  $p$  и скорость  $\omega$  выражены как некоторые функции времени, то решение задачи, как видно из уравнения, приводит к интегрированию дифференциального уравнения первого порядка относительно  $\dot{x} = v$ . Это уравнение будет уравнением Риккати, если сопротивление воздуха принять пропорциональным квадрату скорости\*.

Теория прямолинейных движений ракет была в значительной степени создана трудами знаменитого деятеля русской науки К. Э. Циолковского, хотя в уравнениях Мещерского было все необходимое для создания вполне законченной динамики ракет\*\*.

Из основного дифференциального уравнения движения точки переменной массы Мещерский простыми преобразованиями получает следующий вывод: «Все формулы динамики, которые относятся к движению как свободной, так и несвободной точки постоянной массы, будут иметь место для точки переменной массы, не зависящей от скорости, после того, как в этих формулах мы положим массу точки равною единице и равнодействующую задаваемых сил равною рассчитанной на единицу массы равнодействующей сил задаваемых, приложенных к точке переменной массы и силы прибавочной»\*\*\*.

5. Второй основополагающей работой И. В. Мещерского по динамике точки переменной массы является его статья «Уравнения движения точки переменной массы в общем случае», которая была опубликована в 1904 г. в «Известиях Петербургского политехнического института». Как было указано, дифференциальное уравнение движения точки переменной массы, исследованное в магистерской диссертации Мещерского, дает описание движения точки или для случая отделения

\* И. В. Мещерский. Динамика точки переменной массы. СПб., 1897, стр. 80—81.

\*\* Заметим, что на стр. 121 диссертации И. В. Мещерского среди формул (3) имеется формула Циолковского для случая движения в однородном поле силы тяжести. Однако никакого анализа этой формулы диссертация Мещерского не содержит. Циолковский получил свою формулу как для свободного пространства, так и для однородного поля силы тяжести независимо (по последним архивным данным в 1896 г.)

\*\*\* И. В. Мещерский. Динамика точки переменной массы. СПб., 1897, стр. 68, 69.

частиц, когда  $\frac{dM}{dt} < 0$ , или для случая присоединения частиц, когда  $\frac{dM}{dt} > 0$ .

В настоящее время можно указать большой класс задач, когда в процессе движения тела происходит *не только отделение, но и одновременно присоединение их*. Так, например, в простейшем прямоточном воздушно-реактивном двигателе частицы воздуха присоединяются к движущемуся телу из атмосферы и затем отбрасываются вместе с продуктами горения из сопла реактивного двигателя. Газотурбинные реактивные двигатели, получившие весьма широкое применение на современных самолетах, точно так же берут частицы воздуха из атмосферы (частицы воздуха присоединяются к самолету, увеличивая его массу), а затем отбрасывают их с большой скоростью вместе с газобразными продуктами горения. Если на вращающийся вал наматывается цепь, то масса вала увеличивается; при сматывании цепи с вала его масса уменьшается; когда оба процесса происходят одновременно, мы будем иметь общий случай вращения тела переменной массы. В динамике гибкой нерастяжимой нити имеется большой класс движений, когда кривая, форму которой имеет нить, перемещается в пространстве поступательно, не меняя своей конфигурации, а сама нить движется вдоль этой кривой; иначе говоря, нить как бы движется в жесткой гладкой нематериальной трубочке, которая в общем случае перемещается поступательно в пространстве. Если поступательного перемещения нет, то нить, скользя продольно, остается как бы в состоянии покоя (кажущийся покой). Фиксируя определенный участок нити (трубочки), мы можем процесс продольного скольжения нити рассматривать как одновременно происходящее присоединение и отделение частиц.

Задачи механики, связанные с изучением движения тел, масса которых изменяется в результате одновременно происходящих процессов присоединения и отделения частиц, можно для весьма большого числа случаев охватить единой теорией, *основания которой формулируются с той же степенью точности, что и законы движения тел постоянной массы*. Такую единую теорию и создал Мещерский в своей работе 1904 г. \*. Дифференциальное векторное уравнение движения точки переменной массы в случае одновременного присоединения и отделения частиц можно получить весьма просто, если постулировать справедливость закона независимого действия сил для импульсивных сил, обусловленных контактным взаимодействием при отделении (при-

\* Первое сообщение об этой работе было сделано И. В. Мещерским 24 августа 1898 г. на заседании секции математики и астрономии X съезда русских естествоиспытателей и врачей в Киеве. См. «Дневник X съезда русских естествоиспытателей и врачей», стр. 139, 140.

соединении) частиц к основной точке, движение которой мы желаем изучить. Как было показано, реактивная сила при отделении частицы  $dM_1$  будет равна:

$$\vec{\Phi}_1 = \frac{dM_1}{dt} (\vec{u}_1 - \vec{v}) = \frac{dM_1}{dt} \cdot \vec{V}_1, \quad (12)$$

где  $\vec{u}_1$  — абсолютная скорость отделяющейся частицы,  
 $\vec{v}$  — скорость точки переменной массы и  
 $\vec{V}_1$  — относительная скорость отделяющейся частицы

$$\left[ \frac{dM_1}{dt} < 0 \right].$$

Аналогичные рассуждения дают «тормозящую» силу в случае присоединения частицы с массой  $dM_2$  в виде (см. формулу (1)):

$$\vec{\Phi}_2 = \frac{dM_2}{dt} \cdot (\vec{u}_2 - \vec{v}) = \frac{dM_2}{dt} \cdot \vec{V}_2, \quad (13)$$

где  $\vec{u}_2$  — абсолютная скорость присоединяющейся частицы  $dM_2$ , а  $\vec{V}_2$  есть относительная скорость этой частицы

$$\left[ \frac{dM_2}{dt} > 0 \right].$$

Пусть равнодействующая внешних сил, действующих на точку переменной массы, будет  $\vec{F}$ ; тогда дифференциальное уравнение движения этой точки можно написать в виде:

$$M \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} + \vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2,$$

или

$$M \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} + \frac{dM_1}{dt} (\vec{u}_1 - \vec{v}) + \frac{dM_2}{dt} (\vec{u}_2 - \vec{v}), \quad (14)$$

где  $M$  — масса точки в данный момент времени.

Если проекции скорости точки обозначим через  $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$ ,  $\dot{z}$ , а проекции абсолютных скоростей  $\vec{u}_1$ ,  $\vec{u}_2$  обозначим через  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\gamma_1$  и  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$ ,  $\gamma_2$  соответственно, то, проектируя уравнение (14) на декартовы оси координат  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ , мы получим обобщенные уравнения Мещерского:

$$\left. \begin{aligned} M\ddot{x} &= F_x + \frac{dM_1}{dt} (\alpha_1 - \dot{x}) + \frac{dM_2}{dt} (\alpha_2 - \dot{x}) \\ M\ddot{y} &= F_y + \frac{dM_1}{dt} (\beta_1 - \dot{y}) + \frac{dM_2}{dt} (\beta_2 - \dot{y}) \\ M\ddot{z} &= F_z + \frac{dM_1}{dt} (\gamma_1 - \dot{z}) + \frac{dM_2}{dt} (\gamma_2 - \dot{z}). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Очень важный частный случай уравнения (14) получится, если допустить, что движение точки переменной массы прямолинейно, секундные «расход» и «приход» массы одинаковы, т. е.  $\left| \frac{dM_1}{dt} \right| = \frac{dM_2}{dt} = m$ ,

и относительные скорости  $\vec{V}_1$  и  $\vec{V}_2$  известны и коллинеарны  $\vec{v}$ . Тогда из векторного уравнения (14) будем иметь:

$$M \frac{dv}{dt} = F_{\tau} + m(V_1 - V_2), \quad (16)$$

где  $F_{\tau}$  — проекция равнодействующей внешних сил на направление движения точки. Уравнение (16) получило широкие применения в современных теориях воздушно-реактивных двигателей; к сожалению, авторы этих теорий редко ссылаются на оригинальную работу Мещерского 1904 г.

6. Магистерская диссертация И. В. Мещерского «Динамика точки переменной массы» и работа «Уравнения движения точки переменной массы в общем случае» являются высшими достижениями его научного творчества. Следует отметить еще две работы Ивана Всеволодовича, посвященные задачам механики тел переменной массы. В работе «О вращении тяжелого твердого тела с развертывающейся тяжелою нитью около горизонтальной оси»\* исследуется движение вала переменной массы, причем отделение или присоединение частиц к валу происходит без ударов, т. е. с относительной скоростью, равной нулю. В этом частном случае уравнение вращения не будет отличаться по форме от уравнения вращения тела постоянной массы; только момент инерции тела относительно оси вращения будет величиной переменной.

И. В. Мещерский подробно исследует общий интеграл этого уравнения, сосредоточив внимание на том частном случае, когда на вал или наматывается тяжелая цепь, или частицы цепи отделяются от вала и своим весом обуславливают дополнительный вращающий момент.

В 1918 г. была опубликована «Задача из динамики переменных масс», последняя статья Мещерского по механике тел переменной массы, в которой исследуется одна частная задача динамики системы точек переменной массы. Задача формулируется в следующем виде: «Имеем систему  $n$  точек, массы которых  $M_1, M_2, \dots, M_n$  изменяются с течением времени по закону

$$M_i = \frac{m_i}{(1 + at + \xi t^2)^2},$$

$$i = 1, 2, \dots, n,$$

\* См.: И. В. Мещерский. Работы по механике тел переменной массы, изд. 2. М., Гостехиздат, 1952, стр. 189—204. Впервые эта работа опубликована в «Сборнике института инженеров путей сообщения», вып. L. СПб., 1899.

где  $m_i$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  — данные постоянные величины; точки системы взаимно притягиваются или отталкиваются силами, пропорциональными произведениям масс и расстояниям, вида:

$$fM_iM_jr_{ij}^n,$$

где  $r_{ij}$  — расстояние между точками, массы которых  $M_i$  и  $M_j$ ; требуется решить вопрос о движении этой системы в том случае, когда точки должны оставаться на прямой линии, не выходящей из плоскости *Оху*\*. Задача решается в предположении, что за промежуток времени, в течение которого выражение  $(1 + \alpha t + \beta t^2)$  не обращается в нуль,  $n > 2$ ; кроме того, допускается, что  $f < 0$  в случае притяжения и  $f > 0$  в случае отталкивания. Интегралы этой чисто теоретической задачи выражаются Мещерским в конечном виде.

7. Иван Всеволодович Мещерский был выдающимся педагогом русской высшей технической школы. Особенно большое внимание он уделял постановке преподавания основного курса теоретической механики. Когда в 1902 г. Иван Всеволодович стал руководителем кафедры теоретической механики в Петербургском политехническом институте, он имел уже вполне сложившуюся точку зрения на место и цели курса теоретической механики в высших технических учебных заведениях.

Основную идею Мещерского можно формулировать так: в высшей технической школе курс теоретической механики должен быть теснейшим образом связан с курсами прикладной механики (кинематика и динамика механизмов, статика сооружений, сопротивление материалов и др.). При выборе задач на практических занятиях особое внимание должно быть обращено на то, чтобы задачи имели конкретную форму; студенты, решая эти задачи, должны приобрести умение и навыки применения основных теорем и методов теоретической механики к конкретным вопросам прикладного значения.

Теоретическая механика — научная основа важнейших разделов техники. Знание законов механики направляет и дисциплинирует творческую интуицию инженера. Удачные интуитивные инженерные догадки, инженерное «чутье» должны воспитываться в студенческие годы. Нужно научить будущего инженера стоять на твердой почве логики фактов, которые дает наука, и воспитать у него уверенность в бесконечном могуществе технического творчества, опирающегося на объективные законы науки.

Мещерский считал, что для подготовки высококвалифицированно-го и широкообразованного инженера нужно сосредоточить изучение

---

\* И. В. Мещерский. Работы по механике тел переменной массы, изд. 2. М., Гостехиздат, 1952, стр. 265—277. Впервые эта работа опубликована в «Известиях Петроградского политехнического института» за 1918 г. Работа посвящена памяти профессора Д. К. Бобылева.

общеобразовательных дисциплин на первых двух курсах, а затем уже переходить к специализации. Такой вывод следовал из тщательного анализа постановки преподавания теоретической механики в высших технических учебных заведениях России и западноевропейских стран. «Математика, механика, физика и химия,— писал И. В. Мещерский,— в известном объеме, который может быть установлен, составляют основу всякого технического образования; приступая к изучению технической специальности, *будущий инженер должен уже владеть этими предметами в указанном объеме*»\*.

Курс теоретической механики, написанный И. В. Мещерским, выдержал несколько изданий и, несомненно, способствовал подъему научного уровня преподавания механики в наших высших технических учебных заведениях. В этом курсе проведено резкое отделение статики плоской системы сил от статики произвольной пространственной системы сил. В предисловии к первой части своего курса Мещерский пишет: «В статике рассматриваются вопросы о сложении, разложении и равновесии сил, приложенных к твердому телу; она делится на два отдела: статику на плоскости, в которую входит и графическая статика, и статику в пространстве, — ввиду того, что представления в плоскости гораздо проще представлений в пространстве, и для начинающего студента важно проработать прежде всего вопросы, относящиеся к силам, расположенным в одной плоскости; только после этого он будет в состоянии разбираться с ясным пониманием в вопросах, относящихся к силам в пространстве»\*\*.

По инициативе профессора Мещерского в курсах теоретической механики для русской высшей технической школы были введены разделы, посвященные уравнениям Лагранжа 2-го рода и теории малых колебаний механических систем.

Особенно большое научно-педагогическое значение имеет сборник задач по теоретической механике, составленный под руководством И. В. Мещерского, выдержавший 30 изданий и являющийся до наших дней настольной книгой студентов первых двух курсов (первое издание сборника вышло в 1914 г., а тридцатое — в 1965 г.). В сборнике задач по теоретической механике нашли наиболее яркое воплощение педагогические идеи профессора Мещерского. Зная, насколько важен для усвоения законов механики высокий уровень постановки практических занятий, И. В. Мещерский пригласил в Политехнический институт ряд талантливых молодых механиков. Среди них можно назвать Е. Л. Николаи, С. П. Тимошенко, Г. В. Колосова, В. Ф. Миткевича, Б. А. Бах-

\* И. В. Мещерский. Преподавание механики и механические коллекции в некоторых высших учебных заведениях Италии, Франции, Швейцарии и Германии, 1895 (отчет о заграничной командировке).

\*\* И. В. Мещерский. Курс теоретической механики, ч. 1. М.—Л., ОНТИ, 1930.

метьева и др. При кафедре механики был создан кабинет, в котором тщательно собирались приборы и модели механизмов, необходимые при преподавании теоретической механики.

Следует отметить, что в последние годы сборник задач Мещерского был переведен на английский язык и принят в качестве основного пособия в американских высших технических учебных заведениях. Влияние идей И. В. Мещерского на постановку преподавания механики во вузах можно наглядно проследить почти по всем современным советским учебникам теоретической механики \*.

8. Научные изыскания И. В. Мещерского по теории движения тел переменной массы имеют большое значение для будущего развития ракетной техники и промышленности. Сейчас это достаточно ясно подавляющему большинству ученых и инженеров. В конце XIX и начале XX в. ценность научных работ по вопросам теории реактивного движения не казалась значительной. Изучением движения тел переменной массы занимались одиночки по собственной инициативе и любознательности. Не было научно-технической базы для развертывания экспериментов, не было средств для создания опытных образцов, двигатели прямой реакции (реактивные двигатели) не стали еще насущной потребностью промышленного развития.

Характерно, что магистерская диссертация Мещерского «Динамика точки переменной массы», которую он защищал в Петербургском университете 10 декабря 1897 г., встретила достаточно холодный прием. Иван Всеволодович вспоминал впоследствии, что на диспуте для многих присутствовавших было неясно, какое значение для науки имеет развитие динамики тел переменной массы. К чести Петербургского университета следует отметить, что 13 декабря 1897 г. И. В. Мещерский был утвержден советом университета в ученой степени магистра прикладной математики.

Научное предвидение И. В. Мещерского, его сознательно направляемые, целеустремленные творческие искания в области, считавшейся неинтересной и малоактуальной, характеризуют его как талантливого, проницательного механика. Прозревать будущее развитие науки на десятилетия вперед, даже в какой-нибудь узкой области, дано немногим. Настаивать на необходимости новых путей развития теоретической механики в течение 40 лет и до конца жизни не получить решающих подтверждений важности и значительности своих теоретических работ было психологически очень трудно. До 40-х годов XX в. И. В. Мещерский был известен широким кругам русской научно-технической

---

\* В 1951 г. в США вышла книга J. L. Merriam. Mechanics Part I. Statics. Part II, Dynamics. New York, которая, как нам кажется, написана также под влиянием педагогических идей И. В. Мещерского. Книга имеет большой успех, и в 1966 г. ч. I «Статика» вышла девятым изданием.

интеллигенции как высококвалифицированный педагог высшей школы, но не как выдающийся ученый-новатор. Это непонимание коллегами и современниками прогрессивности научных исследований И. В. Мещерского заставляло его быть необычайно сдержанным, подчеркнуто бесстрастным и пунктуальным. Сдержанность и математическая строгость — вот основная характеристика его научного стиля. Результаты исследований излагаются в тесных рамках формально-логических построений, отчетливо просматривается «почерк» человека высокой математической культуры. В содержании работ Мещерского поражают методичность, точность и ясность доказательств; никаких доводов и призывов к чувству читателя. Очень мало гипотез, физических прогнозов, мечтаний, приближенных качественных утверждений даже в популярных докладах. Полемические замечания обоснованы с необычайным мастерством, и безукоризненная точность соблюдается по отношению к самым малозначащим формулировкам противников. С выводами Мещерского трудно спорить: они математически неопровержимы.

Многим он казался сухим, замкнутым и чрезмерно педантичным человеком. Его отступления от установившегося порядка преподавания имели место только при выдающихся ответах студентов на экзаменах по теоретической механике. Он обычно преподносил таким студентам отписки своих работ по динамике тел переменной массы — лучшее, что он имел. В научной деятельности он следовал хорошо известному девизу Майкла Фарадея: «работать, оканчивать работу и публиковать ее».

Иван Всеволодович Мещерский трудился как ученый и педагог до последних дней своей жизни. Он скончался 7 января 1935 г. на 76-м году жизни в Ленинграде.

9. Основные уравнения Мещерского для точки переменной массы и некоторые частные случаи этих уравнений переоткрывались в XX столетии многими учеными Западной Европы и Америки. Некоторые конкретные задачи движения тел переменной массы, детально и строго исследованные в магистерской диссертации Мещерского, публиковались в 40-х и 50-х годах в научно-технических журналах другими авторами как оригинальные. Имя И. В. Мещерского, зачинателя нового раздела теоретической механики, остается за рубежом до сих пор малоизвестным.

Развитие современной ракетной техники и авиации в беге времени все с большей убедительностью показывает научным работникам и инженерам мировое значение актуальных научных исследований Мещерского. Этим работам предстоит долгая содержательная жизнь; они являются значительным вкладом русской науки в общемировую сокровищницу человеческих знаний. Быстрое развитие разнообразных прак-

тических приложений принципа реактивного движения сделали в наши дни научно-теоретические изыскания Мещерского руководящим материалом для больших коллективов научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро. Мы думаем, что в блестящих успехах советского ракетостроения, замечательных конструкциях наших спутников и космических кораблей нашли материальное воплощение фундаментальные идеи научного наследства Ивана Всеволодовича.

На наших глазах совершенствуется и расширяется новая наука — механика тел переменной массы. Быстрое развитие этой актуальной научной дисциплины есть результат творческих усилий ученых, изобретателей, инженеров — наших современников, которые своими наблюдениями, размышлениями и научно-техническим опытом непрерывно очищают «историческое от случайного», выделяя крупницы истинного знания, адекватного сути новых процессов механического движения.

В этом направлении научного прогресса задолго до работ заграницей русский ученый И. В. Мещерский дал идеи и методы первостепенного принципиального значения. *Он заложил основы механики тел переменной массы.*

Использование и продолжение научных изысканий И. В. Мещерского — благодарная задача для советских ученых, посвятивших свое творчество новой технике нашей страны — ракетной технике.

## ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ\*

---

### А

Александр (Македонский) 55  
Александров 170  
Анрио 87  
Антуаннет 87  
Апполон 109  
Араго 108, 119  
Аристотель 46, 54—57, 59,  
62, 63, 64, 83, 122, 191  
Архангельский 89, 90  
Архимед 54, 57—59, 160

### Б

Бахметьев 246  
Бейлис 98  
Белецкий 32, 170  
Беллман 51, 177  
Белый А. 162  
Бернулли 107, 119, 158  
Бессель 106  
Бинэ 182  
Блазиус 166  
Блерио 87  
Блок А. 92, 97, 111, 116, 118,  
195, 229  
Бобылев 234, 245

Больша 36  
Большман 157, 197  
Браун 219  
Брегé 87  
Бройль 135  
Бруно 227  
Брюсов 188  
Брюханов 234  
Бунин 79, 153  
Бурбаки 21  
Буренин 139  
Бухгольц Н. 91, 101, 153,  
155, 160  
Былов 178

### В

Вавилов 76  
Валлис 57  
Вебетер 141  
Вейерштрасс 161  
Ветчинкин 89, 90  
Видаль 110, 138  
Вижье 47, 160  
Виноград 178  
Виттенбауэр 160  
Власов 100

---

\* Все фамилии иностранных авторов, которые в тексте книги встречаются на их родном языке, даны в указателе по-русски.

Воробьев 170, 180, 181  
Воронков 101, 160  
Вышнеградский 75

### Г

Гагарин 29  
Газенфрац 107, 133  
Гайдн 229  
Галилей 11, 54, 60, 61,  
62—64, 65, 66, 74, 83, 84,  
90, 94, 102, 119, 123, 129,  
133, 140, 141, 160, 189,  
190—191, 224, 227  
Гальвани 227  
Гамильтон 7, 22, 30, 159,  
167, 169, 234.  
Ганнерсен 23  
Гаусс 147  
Гегель 11  
Гейне 188  
Тексли 184  
Гельвеций 186, 188  
Гельмгольц 88  
Гете 10  
Гиббс 28  
Гильберт 146  
Глики 181  
Гоголадзе 181  
Годард 159, 161, 168, 205,  
219  
Голубев 163, 192  
Гольдбаум 29  
Горький 98, 113, 116, 185  
Гольцман 180  
Гробман 178  
Гутенберг 227  
Гуйгнес 64, 90, 130

### Д

Даламбер 54, 69, 119, 157  
Дарвин 227  
Дерibas 150  
Джонс 93  
Дидро 164, 186, 187, 188

Дубошин 42  
Дуглас 29  
Дункан 23  
Дьюи 138  
Дюма 190

### Е

Егоров В. А. 31, 170  
Егоров Д. Ф. 100  
Евклид 161  
Еседин 95, 130, 229  
Ефимов 29

### Ж

Жегалкин 192  
Жуковский Н. Е. 4, 21, 28,  
46, 71, 72—73, 75, 77,  
79—91, 100, 117, 124, 125,  
128, 142, 146, 160, 162, 165,  
166, 171, 177, 202  
Журавченко 192  
Жюль Верн 204

### З

Закалюкин 180, 181  
Залманов 14  
Захарьин 128  
Зенкин 180  
Златоусов 32  
Зоммерфельд 141

### И

Идельсон 61  
Ильюшин А. А. 95  
Ишлинский 32, 95

### К

Карман 165, 166  
Карно 133  
Кассо 99  
Кедров 12  
Кеплер 61, 182, 227

Кирпичев 140  
Кирхгоф 88  
Клейн 141  
Ковалевская 32, 68, 129  
Колосов 246  
Колосовская 170  
Колумб 227  
Кончаловский 139  
Коперник 60, 61, 117, 227  
Кориолис 82, 94, 119, 122.  
Королев 160  
Короленко 98  
Коши 147  
Красовский 33  
Кротов 36  
Крылов А. Н. 75—76, 122,  
134, 183, 184  
Крюков 97  
Кузнецов 150  
Кунце 103, 181  
Курант 146  
Кутейников 183  
Кювье 227

#### Л

Лавочкин 160  
Лавуазье 107, 227  
Лагранж 30, 32, 41, 48,  
57, 58, 63, 69, 88, 94, 107,  
121, 129, 133, 167, 169, 173,  
189, 246  
Ламарк 227  
Лаплас 107, 133  
Лауден 28  
Лахтин Л. К. 100  
Лахтин Л. М. 180  
Леверье 12, 119  
Леви-Чивита 166, 170, 236  
Лежен-Дрихле 70  
Лейбензон 81, 165  
Лейбниц 66, 107  
Лейманис 68  
Лемб 159

Ленин В. И. 8, 44, 48, 54,  
59, 72, 88, 104, 106, 112,  
113, 119, 125, 127, 188  
Леонардо да Винчи 60, 185  
Линде 136  
Лишевский 120, 129  
Локк 28  
Ломоносов 14, 61, 67—68,  
140, 187  
Лоренц 44  
Лох 30  
Лузин 100, 192  
Лукьянов 88, 91  
Ляпунов 33, 70—71, 117, 147

#### М

Магомет 60  
Майевский 68, 75  
Майер 227  
Макаренко 97, 102, 110, 114,  
128, 130  
Максвелл 140  
Малинин 139  
Маркс 20, 22, 61, 122  
Марон 176  
Мах 83  
Медведев 151  
Менделеев 12, 87, 185, 204,  
227  
Мендель 227  
Мерриэм 48  
Мещерский 3, 5, 15, 26, 27,  
30, 50, 54, 73, 74, 157, 161,  
166, 167, 179, 210,  
231—249.  
Миеле 28, 40  
Мизес 165  
Микеланджело 53  
Минаков А. П. 4, 92—152,  
156, 157, 160, 162, 163,  
174, 181, 182, 192  
Минаков П. А. 97—98.  
Миткевич 246

Млодзеевский 163  
Моисеев 171  
Монж 107, 133  
Морошкин 88, 91  
Моцарт 229  
Мусиньянц 89, 90

### Н

Наполеон 227  
Некрасов А. И. 101, 155, 162,  
163, 192  
Некрасов Н. А. 188  
Немыцкий 33, 177, 178  
Николаи 246  
Ньютон 27, 30, 35, 41, 44, 54,  
65—66, 73, 81, 83, 90, 106,  
129, 140, 154, 157, 160, 181,  
231, 237

### О

Оберт 205, 219  
Осеен (Oseen) 165  
Остроградский 70, 117, 129,  
147, 175, 176  
Охотимский 29, 32, 42, 146,  
168, 170

### П

Павлов 13, 15, 115  
Пастер 117, 147, 148, 149  
Паустовский 92  
Пекар 106  
Пелье 227  
Пельтри 204, 219  
Петров А. С. 103  
Петров Н. П. 75  
Пешль 145  
Пинкевич 138  
Планк 142  
Платон 154  
Платт 52  
Плеханов 101  
Плутарх 58  
Пойя 93, 131  
Попкова 103, 151

Поссе 166, 176  
Прайс 17  
Прандтль 165, 202  
Прутков 34  
Птоломей 9, 59, 61, 160  
Пуанкаре 113  
Пуансо 71, 85, 90, 117, 140,  
142, 157, 173  
Пуассон 147  
Пушкин А. С. 67, 140, 229

### Р

Раковский 163  
Раус 71  
Рахманинов 116  
Рахматулин 95  
Реформатский 163  
Риккати 241  
Рихман 67  
Ришелье 190  
Россинский 90  
Рубинштейн 185, 186  
Рынин 200, 228  
Рэлей 166

### С

Сабинин 87, 89, 90  
Сарычев 32, 170  
Соколов 88  
Сталин 230  
Станиславский 95, 101, 109,  
113, 116, 117, 127, 156  
Стендаль 53  
Стечкин 89  
Стремгрен Б. 232  
Стремгрен Э. 232

### Т

Талейран 190  
Таль 99  
Тарг 181  
Таргалья 107  
Теплов 186

Тзян 28  
Тимирязев К. А. 86, 147,  
148, 149  
Тимошенко 246  
Титов 183, 184  
Томович 33  
Томсон (Thomson W. T.) 41  
Томсон Дж. 22  
Торжевский 32  
Туполев А. Н. 90  
Тюлина 103

У

Успенский 99  
Ушаков 89  
Ушинский 137, 152

Ф

Фальконе 188  
Фейербах 18, 188  
Фекете 106  
Фешль 143  
Франклин 67  
Фультон 227  
Фурье 107, 133, 147

Х

Халфман 34

Ц

Цветаева 3, 195  
Церасский 138  
Цюлковский К. Э. 3, 5, 15,  
27, 39, 54, 73, 74, 126, 157,  
160, 166, 167, 168, 171, 179,  
197—230, 241

Ч

Чайковский 164  
Чаплыгин 73, 77, 89, 100,  
101, 180, 181

Чебышев 19, 75, 117, 147,  
164, 166

Ш

Шаляпин 134  
Шахуняц 181  
Шелопутин 98  
Шефер 141  
Штаркенбург 20  
Штерн 41  
Штернфельд 40

Щ

Щедрин (Салтыков) 139

Э

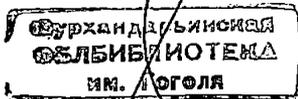
Эванс 28  
Эйдусон 16  
Эйлер 35, 54, 66, 67, 68, 71,  
85, 88, 125, 129, 157, 160,  
167, 168  
Эйнштейн 44, 54, 74, 87, 106,  
160  
Эйфель 202  
Эйхенвальд 99, 128  
Эльясберг 41, 42  
Энгельс 8, 9, 11, 12, 15, 20,  
22, 45, 55, 60, 76, 104, 105,  
120, 121, 188, 231  
Энеев 168, 170  
Эрнке 26  
Этвеш 106

Ю

Юрьев Б. Н. 87, 89, 91

Я

Якоби 147, 234  
Ярошевский 80



# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Предисловие . . . . .	3
<b>РАЗДЕЛ I ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА И РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ</b>	
<i>Глава 1.</i> Мысли о механике . . . . .	7
<i>Глава 2.</i> Теоретическая механика и развитие новых областей техники . . . . .	19
<i>Глава 3.</i> Краткий исторический очерк развития теоретической механики . . . . .	54
<b>РАЗДЕЛ II из опыта преподавания механики в высшей школе</b>	
<i>Глава 1.</i> О педагогическом наследстве Н. Е. Жуковского . . . . .	79
<i>Глава 2.</i> Андрей Петрович Минаков (его жизнь и педагогиче- ские воззрения) . . . . .	92
<i>Глава 3.</i> Фрагменты моего опыта преподавания в высшей школе . . . . .	153
<b>РАЗДЕЛ III основоположники теории движения ракет и механики тел переменной массы</b>	
<i>Глава 1.</i> Константин Эдуардович Циолковский . . . . .	197
<i>Глава 2.</i> Иван Всеволодович Мещерский . . . . .	231
Именной указатель . . . . .	250

**Космодемьянский А. А.**

**К-71** Теоретическая механика и современная техника. М., „Просвещение“, 1969.

255 с. с. портр. 40 тыс. экз. 68 к.

1. Теоретическая механика и развитие техники. 2. Из опыта преподавания механики в высшей школе. 3. Основоположники теории движения ракет и механики тел переменной массы.

2-42  
172-69

531

*Аркадий Александрович Космодемьянский*

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА И СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА**

Редакторы *Л. В. Глики* и *Т. В. Михалкевич*

Художник *Б. М. Мокин*

Художественный редактор *Л. Ф. Малышева*

Технический редактор *Г. Л. Татура*

Корректор *В. Г. Соловьева*

Сдано в набор 27/XI 1968 г. Подписано к печати 20/V 1969 г.  
70×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. типогр. № 1 Янонис. Печ. л. 18,72 (16). Уч.-изд. л. 16,60  
Тираж 40 тыс. экз. (Тем. пл. 1969 г. № 172) А04108

Издательство «Просвещение» Комитета по печати при Совете  
Министров РСФСР, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Типография № 2 Росглавполиграфпрома, г. Рыбинск,  
ул. Чкалова, д. 8, Заказ № 3975

Цена без переплета 50 к., переплет 18 к.