

## ПРОБЛЕМНОЕ ОБУЧЕНИЕ И МЕЖПРЕДМЕТНЫЕ СВЯЗИ

За последние годы печать все чаще обращается к вопросам проблемного обучения. Обсуждается само содержание этой проблемы (см., например, работу [1]), в которой автор справедливо опирается на известную мысль, что постижение истины — процесс, а не отчеканенная монета, которую можно спрятать в кармане). Действительно, нельзя просто вложить сумму знаний в голову студента, не заботясь о том, как будет протекать сам процесс познания, с чем он будет сопряжен. Ведь в конце концов успех дела венчает не сумма знаний, а те творческие способности, которые проявятся у будущего специалиста на базе полученных знаний. Вот почему столь сильно волнуют вопросы: сопряжен ли процесс обучения с развитием творческих возможностей студента и как стимулируется их пробуждение в конце учебных занятий? Не сводится ли учебный процесс к одним лишь методам репродуктивного обучения, когда конечная цель воспринимается как усвоение хорошо описанных способов решения типовых задач?

Спору нет, что репродуктивное обучение, направленное на развитие механизма сличения новых ситуаций со стандартными схемами (например, решение по стереотипу задач при изучении статики), всегда будет составной частью учебных занятий. Без этого не научиться составлять уравнения равновесия, достаточно быстро и уверенно находить реакции связей. Во многом именно на методах репродуктивного обучения основано успешное усвоение методов дифференцирования и интегрирования, решения стандартных дифференциальных уравнений. Нужны хорошо усвоенные и закрепленные тренировочной навыками, умения, запоминание.

Но, как справедливо ранее отмечалось в литературе (см., например, [2] и приведенную там библиографию), при репродуктивном обучении способам поиска (синтеза) методов решения задач уделяется очень мало внимания. Репродуктивный подход заведомо исключается при изучении теоретической механики, когда главная задача состоит не в том, чтобы научить будущего инженера применять данный метод к решению различных задач, а в том, как данный класс задач решать с помощью различных имеющихся методов и уметь эффективно их отбирать (см. [3]).

Сейчас справедливо ставится задача о том, чтобы проблемное обучение, составлявшее ранее в известном смысле искусство или мастерство отдельных преподавателей, приняло системный, постоянный характер, стало достоянием всего преподавательского коллектива.

Кафедра теоретической механики Белорусского технологического института накопила определенный опыт внедрения в практику элементов проблемного обучения. На заседаниях кафедры, научно-методических совещаниях детально обсуждались конкретные предложения, связанные с раскрытием возможностей использования на лекциях и практических

занятиях аспектных проблем и проблемных ситуаций. Прежде всего стало почти нормативным требованием, чтобы каждому новому определению в механике предшествовало обсуждение необходимости его появления (методологическое рассмотрение такого подхода приведено в работе [4]). Введению нового понятия должна предшествовать постановка проблемы. Так, например, почему необходимо ввести понятие момента силы? Какая проблема привела к такой необходимости? Можно на конкретном примере показать, что эффект действия силы не определяется самой силой. Одна и та же сила может вызвать и не вызвать движение тела.

Лектор, обсуждая вместе с аудиторией вращающее действие силы, вводит в рассмотрение вектор-момент и показывает, насколько полно такая характеристика описывает это действие — и величину, и ось, относительно которой сила стремится повернуть тело, и направление поворота относительно этой оси. В этом месте полезно обратить внимание студентов, насколько глубоко, казалось бы, формальное построение векторного произведения отражает физическую сущность действия силы, и лишний раз подчеркнуть универсальный характер математических операций, отметить необходимость использования векторного произведения и в других разделах курса.

Или другой пример. Непременно следует поставить вопрос: почему вводимые понятия моментов инерции определяются через квадраты линейных размеров (квадратичной формой), а не через кубы? ... И тем более это относится к таким понятиям, как центр инерции системы, кинетический момент. Понятия не должны формально "навязываться". К ним надо с осознанной неизбежностью приходиться. Такие примеры учат глубже мыслить, раскрывают механизм поиска и открытия.

Важную роль в восприятии принципиальных положений курса играет эмоциональное состояние аудитории. Проблемный характер, внутренне присущий излагаемому материалу, должен быть эффективно использован лектором как для глубокого раскрытия содержания темы, так и для создания активной и заинтересованной работы аудитории.

На одной из лекций, завершившей рассмотрение кинематики плоскопараллельного движения, лектор предложил рассмотреть определение ускорения точки сателлита планетарного механизма двумя подходами и при этом объявил, что намерен, решая задачу, допустить ошибку. Причем, как было объявлено, ошибку принципиального характера. Естественно, каждое действие будет согласовываться с аудиторией и только с ее одобрения приниматься. Ошибка должна быть обнаружена по ходу всех обсуждений. Таково было желание лектора, и с ним охотно согласились слушатели.

Но сразу же после такого объявления кто-то из студентов заметил: "А как же конспектировать?" Вопрос был вовсе не случайный. Ясно, что созданная лектором проблемная ситуация никогда ранее студенту в его практике не встречалась. Он к такому не привык. Конспект, как студент и свикся с этим, приучен, не может содержать ошибок. Все должно быть гладко и последовательно: "Теорема — доказательство, теорема — доказательство. Пример." Так всегда было. Новая форма обучения на какое-то мгновение, а может быть и дольше того, озадачивала. В целом же аудитория

живо реагировала на нововведение и никого не оставила равнодушным. Элемент эмоционального участия, увлеченности заметно возрос. Контакт с лектором намного окреп.

В чем же состояла запрограммированная ошибка? Почему она порожидала проблемную ситуацию? Рассмотрим подробнее пример с планетарным механизмом. Кривошип вращается равномерно с угловой скоростью  $\omega_0$ . Тогда абсолютное ускорение точки, лежащей на линии центров двух шестерен на окружности сателлита, можно быстро найти по теореме Кориолиса, используя в качестве подвижной систему координат, связанную с кривошипом (направления всех трех слагаемых совпадают). Ускорение точки можно найти и по-иному, используя разложение сложного движения на переносное поступательное и относительное вращательное. В этом месте лектор допускает запрограммированную ошибку, используя для вычисления относительного ускорения угловую скорость, определяемую, как и в первом варианте, через передаточное отношение ( $\omega_r = \omega_0 r_1/r_2$ ).

Результаты вычислений по двум вариантам не совпадают, что и порождает проблемную ситуацию. Обсуждение допущенной ошибки позволяет слушателям глубже уяснить всю идейную сторону кинематики сложного движения вообще и плоскопараллельного в частности. Хотя и в одном, и в другом случаях относительное движение носит вращательный характер, угловые скорости их различны из-за различного способа разложения абсолютного движения на два составляющих движения. Ошибка оказалась весьма поучительной.

Многочисленные проблемные ситуации могут быть созданы на практических занятиях. Так, приступая к изучению кинематики системы с двумя степенями свободы, можно предложить следующую задачу. В кривошипно-ползунном механизме направляющая ползуна вращается относительно оси кривошипа. Законы вращения кривошипа и направляющей известны. Требуется определить ускорение ползуна и характеристики движения шатуна. Студенты снабжены знаниями, необходимыми для решения данной задачи. С одной стороны, они знакомы с теорией сложного движения и в состоянии записать теорему сложения ускорений точки, используя в качестве подвижной систему координат, связанную с направляющей ползуна. С другой стороны, они уже решали задачи по кинематике плоскопараллельного движения и имеют твердые навыки в исследовании кривошипно-ползунного механизма. Но проблемность ситуации заключается в том, что, во-первых, кинематика кривошипно-ползунного механизма должна быть исследована в подвижной системе координат и, во-вторых, для решения задачи необходимо составить систему двух векторных уравнений движения. Аналогичные ситуации возникают при решении задач 575–577, 647–649 из сборника задач [5]. Подобные занятия могут быть проведены со студентами механических специальностей: помимо освоения новой темы они являются хорошим (уже репродуктивным) повторением материала сложного и плоскопараллельного движения.

Немало проблемных ситуаций возникает, когда полученный конечный результат, к удивлению студентов, находится в противоречии с тем ответом, который, казалось бы, должен следовать из интуитивных соображений. Ведь очень важно развивать умение хотя бы качественно пред-



видеть результат, чувствовать ожидаемый ответ. В частности, обсуждая движение заряженной частицы в переменном электрическом поле  $E = E_0 \sin \omega t$  (пример 27.33 из сборника [6]) после записи уравнения движения, но до получения его решения, студенты, как правило, полагают, что частица будет совершать колебания около своего начального положения. Интегрирование уравнения движения приводит к результату, явно противоречащему первоначальным представлениям. Для решения возникшей проблемной ситуации следует предложить рассмотреть движение частицы при сдвиге фазы поля на некоторый угол, а также при отличной от нуля начальной скорости частицы. В полной мере ситуация может быть раскрыта после изучения теоремы об изменении количества движения точки на основании исследования знака импульса силы. Этот пример поучителен и в том смысле, что показывает, насколько осторожными и обоснованными должны быть качественные оценки поведения динамических объектов, не основанные на точном решении уравнений движения. К рассмотренной примыкает и задача 35.10 из сборника [6].

Эти примеры показывают, что навыки самостоятельной работы можно и нужно успешно развивать у студентов и на лекциях и на практических аудиторных занятиях, а не только при самостоятельной работе в ходе выполнения домашних заданий.

Отведенная лектором часть лекционного времени на обдумывание и обсуждение поставленной проблемы окупается сторицей. Авторы многократно убеждались в том, какими полезными оказываются пяти-десятиминутные дискуссии по поставленному вопросу. Они, как правило, проходят очень оживленно, увлекая аудиторию. На проблемных задачах, парадоксах обостряется восприятие, оттачивается мысль. Лектору не следует спешить с правильным ответом.

Огромный резерв создания проблемных ситуаций кроется в использовании аналогий. Известен философский тезис о том, что отношения воспринимаются более отчетливо, когда мы осознаем, что они одни и те же в широко отличающихся случаях и между совершенно разнородными объектами. В частности, для правильного понимания сути принципа Даламбера и появляющихся в нем сил инерции необходимо четко уяснить его идею — представление уравнений динамики в форме, аналогичной уравнениям статики — и вытекающие из нее следствия. То же можно сказать и о взаимосвязи принципа возможных перемещений и общего уравнения динамики.

Определенную аналогию между силой и ее моментом можно отметить еще в статике, основываясь на форме условий равновесия. Но в наиболее полном виде аналогия между движением точки и вращением твердого тела относительно неподвижной оси проявляется в динамике после формулировки дифференциального уравнения вращения. Заслуживает упоминания аналогия между трансляционным и ориентационным движениями, следующая из формы и содержания теорем об изменении количества движения и кинетического момента.

Эта тема может быть продолжена после формулировки теоремы об изменении кинетической энергии. Во многих случаях для механической системы кинетическая энергия может быть приведена к форме кинетичес-

кой энергии либо поступательного, либо вращательного движений. Если приведенная масса  $m_{пр}$  или приведенный момент инерции  $J_{пр}$  оказываются постоянными величинами, из теоремы об изменении кинетической энергии в дифференциальной форме сразу же следуют привычные уже для студентов формы дифференциальных уравнений движения механической системы.

Когда отмеченные аналогии подчеркиваются в лекционном курсе, обсуждаются на практических занятиях, студенты естественно воспринимают введение обобщенных координат и формулировку принципа возможных перемещений и общего уравнения динамики. В свою очередь, использование общего уравнения динамики позволяет сформулировать дифференциальные уравнения движения механической системы со многими степенями свободы и расширить область аналогий. При построении динамики на основе общего уравнения отмеченные аналогии не теряют своего значения и приобретают дополнительный смысл с учетом использования свойств симметрии пространства и времени (см. сборник [7]). Речь по существу идет об искусстве математики — по выражению Пуанкаре — назвать разные вещи одним и тем же именем. Раскрытие изоморфизма в явлениях природы, в инженерных проблемах и задачах очень многому учит и к еще большему подготавливает будущего специалиста. Выбатывается способность видеть общее, казалось бы, в разрозненных вещах (о последнем очень увлекательно написал в научной автобиографии академик Л.С. Понтрягин [8]).

Во многих разделах физики используются приближенные линейные соотношения между различными физическими величинами. Их примерами являются законы Гука и Стокса соответственно для упругой силы и силы сопротивления, закон электропроводности Ома ( $F_{упр} = c\lambda$ ,  $F_{сопр} = \mu v$ ,  $i = \rho u$ ). Это приближенные эмпирические соотношения. Их широкое использование обусловлено достаточно высокой точностью при малых  $\lambda$ ,  $v$  и  $u$ , а также тем, что они приводят к линейным дифференциальным уравнениям (достаточно подробно аналогии механических и электромагнитных явлений рассмотрены в работе [9]). Второй закон динамики Ньютона также постулирует линейную зависимость, но уже между силой и ускорением. Внимание слушателей обостряется: нет ли здесь противоречия, хотя им уже известно, что коэффициент пропорциональности (масса) является универсальной характеристикой вещества и в границах применимости классической механики не зависит от условий движения и взаимодействия объекта с окружением, а коэффициенты же в законах Гука, Стокса и Ома не зависят от условий движения лишь с некоторой, вообще говоря, не очень высокой, степенью точности. Студенты могут и должны на этом материале уяснить, что означает фундаментальный закон природы, каковым является закон Ньютона. Расширенный проблемный подход обогащает идейное содержание всего курса.

Одна из важнейших задач преподавателя — раскрыть перед обучающимся глубокие органические связи изучаемого курса с другими фундаментальными и прикладными дисциплинами. Преподаватель должен сам их выявить, глубоко осмыслить и использовать в педагогическом процессе. Это, пожалуй, и самый трудный, и самый благодатный момент в работе

преподавателя, глубоко связанный с проблемным обучением. Проблемность ситуации здесь обусловлена уже самой постановкой вопроса о выявлении задач и методов, общих для двух или более дисциплин.

Наша кафедра накопила многолетний опыт преподавания курса теоретической механики студентам химико-технологических специальностей. Курс строится так, чтобы раскрыть перед студентами связь механики не только с общеинженерными, техническими дисциплинами, но и сугубо химическими. Знание и понимание этой связи делают читаемый курс более плодотворным, а значит, и более интересным и нужным. Повышается успеваемость, творческая отдача будущих специалистов (подробнее о построении курса для инженеров-химиков см. в сборниках [10, 11] ).

О том, что глубокие связи между дисциплинами могут быть самыми "неожиданными", говорит опыт распространения методов теоретической механики в курсе электротехники и, напротив, использование уравнений Лагранжа—Максвелла в курсе теоретической механики [12] . Обособленные, казалось бы, курсы теоретической механики и электротехники, а также радиотехники [13] , вовсе не являются "чуждыми" друг другу. Идеальные связи восходят к общей проблеме.

Ряд инженерных специальностей (например, специальность — машины и аппараты химических производств) опирается на фундаментальную подготовку как по механике твердого тела, так и по механике сплошной среды. К сожалению, последняя не представлена в учебном плане так, как это было бы желательно. Поэтому и возникает необходимость включения элементов механики сплошной среды в курс теоретической механики (см. статью в сборнике [11, вып. 1, с. 26] ).

Включение указанных элементов не столько восполняет отсутствие отдельного курса (элементы гидродинамики включены в большой курс "Процессы и аппараты химических производств"), сколько помогают глубже уяснить основные принципы механики. Возникает аспектная (сквозная) проблема: почему механика твердого тела описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями, а механика сплошной среды использует дифференциальные уравнения в частных производных? Ответ имеет эвристическую ценность и не должен ускользнуть от внимания лектора.

Наряду с установлением связей теоретической механики со специальными дисциплинами важно поддерживать тесную связь с физико-математическими и общеинженерными дисциплинами. В статье из сборника [11, вып. 1, с. 15] рассмотрена возможность реализации такой связи между высшей математикой и теоретической механикой посредством выдачи студентам комплексных заданий для курсовых работ.

Изменения, вносимые в программы многих дисциплин по мере развития потребностей науки и техники, иногда не сопровождаются необходимыми в таких случаях корректировками в программах других дисциплин. Трудно переоценить роль межпредметных и межкафедральных связей в устранении появляющихся при этом разрывов в подготовке студентов к восприятию новых представлений.

В последние годы значительные изменения претерпел курс теории механизмов и машин. Новая программа с достаточной полнотой стала отве-



чать принципиально новым направлениям развития современной техники. Практическая реализация ее потребовала от преподавателей этой дисциплины большой подготовительной работы, усиления межпредметных связей, и в первую очередь с высшей математикой и теоретической механикой (см. сборники [11, 14]). Для курса теоретической механики появились новые аспектные проблемы и проблемные ситуации. Это касается понимания принципиальной необходимости привлечения матричных методов в кинематике конечных поворотов (манипуляторов), подготовки к изучению нелинейных колебаний (автоколебания, вибрационное поддержание вращения), возможностей виброзащиты машин. Появилась необходимость в исследовании асимптотики, обучении искусству находить оправданные упрощения и при выводе уравнения, описывающего то или иное явление, и при его приближенном решении (метод осреднения). А в этом как нельзя лучше отражается суть проблемного обучения. Усиление межпредметных связей повышает ее эффективность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов М.В. В объективной связи с существом изучаемого. — Вестн. высш. шк., 1979, № 1.
2. Лернер И.Я. Главная функция проблемного обучения. — Вестн. высш. шк., 1976, № 7.
3. Тарг С.М. Построение программы по курсу "Теоретическая механика". — В сб.: "Теоретическая механика во вузах". 2-е изд. М., 1975.
4. Иванов М.В. Пути совершенствования методов преподавания в высшей школе. — Совр. высш. шк., 1982, № 2.
5. Сборник задач по теоретической механике/Бражниченко Н.А., Кан В.Л., Минцберг Б.Л., Морозов В.И. Л., 1962.
6. Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике. 33-е изд. М., 1973.
7. Выхренко В.С., Немцов В.Б., Ротг Л.А. К построению курса теоретической механики для инженеров-механиков. — В сб. научно-методических статей по теоретической механике. М., 1974, вып. 4.
8. Понтрягина Л.С. Жизнеописание Л.С. Понтрягина, составленное им самим. — Успехи матем. наук, 1978, т. 33, вып. 6.
9. Наумова Л.Г. Применение первой и второй аналогий для составления дифференциальных уравнений сложных электрических систем с помощью уравнений Лагранжа второго рода. — В сб. [7, 1975, вып. 5].
10. Ротг Л.А., Немцов В.Б., Выхренко В.С. Построение курса теоретической механики для инженеров-химиков. — В сб. [3, с. 242–260].
11. Сборник: Научно-методические материалы по вопросам преподавания теоретической механики в высшей школе/Минвуз БССР. Минск, 1980, вып. 1; 1981, вып. 2; 1982, вып. 3.
12. Лурье А.И., Ходжаев К.Ш. Уравнение Лагранжа–Максвелла в курсе теоретической механики. — В сб. [7, 1976, вып. 6, с. 72–81].
13. Потеев М.И. О некоторых способах установления связи курса теоретической механики со специальной подготовкой студентов. — В сб. [7, 1975, вып. 5, с. 110–113].
14. Ротг Л.А., Долбин Н.А., Бадеев В.П. Из опыта подготовки к учебному процессу по новой программе курса теории механизмов и машин. — В сб. научно-методических статей по теории механизмов и машин. М., 1980, вып. 9.