

...Что такое теория? Неспециалисту бросается в глаза... что она окружена грудой формул, ничего не говорящих непосвященному. Но эти формулы не составляют ее существо.

(Л. Больцман)

Из всех услуг, которые могут быть оказаны науке, введение новых идей – самая важная.

(Дж. Дж. Томсон)

Наука лишь постольку наука, поскольку в нее входит математика.

(Э. Кант)

Математика – самый короткий путь к самостоятельному мышлению.

(В. Каверин)

ПРЕДИСЛОВИЕ

На суд научной, педагогической и студенческой общественности в области физико-математических наук выносятся еще один курс лекций (а точнее его вариант) по механике сплошной среды (МСС). Может возникнуть вопрос: “Зачем? Ведь уже имеющихся учебников по этому предмету более десятка, и среди них уже есть ставшие каноническими учебники таких авторов, как В. Прагера, Л.Д. Ландау и Г.М. Лифшица, Л.И. Седова, А.А. Ильюшина, П. Жермена, К. Трусдела, Л. Эрингена и Дж. Мейза”. Следуя учебнику Л.И. Седова, выпущен курс лекций М.Э. Эглит, приспособленный к нуждам студентов мехмата МГУ им. М.В. Ломоносова при изучении основных понятий и основных уравнений МСС.

Автор полагает, что по каждому предмету даже для фиксированных программ, в идеале должно существовать несколько учебников. Познание и обучение многовариантно. Обучающийся, изучающий или интересующийся предметом, в зависимости от своих склонностей, образа мышления, имеющегося времени, уровня математической подготовки должен выбрать наиболее близкий, быстрее понимаемый и доставляющий наибольшее удовлетворение при чтении учебник. И здесь дело не только в том, что один учебник лучше другого.

Для автора наиболее близкими по духу среди учебников по МСС являлись и являются книги В. Прагера и Л.И. Седова, по которым он, в частности, и учился. Кроме того, автор слушал лекции: Л.И. Седова по этому

предмету. Это было в 1965-66 гг. и стало одним из важнейших этапов в овладении научных методов механики не только для автора, но и для многих его коллег по механико-математическому факультету и Институту механики Московского университета. Позднее в своей работе и преподавании автор просмотрел многие учебники по МСС. Некоторые из них вызвали резкое неприятие, некоторые оставили нейтральное чувство, некоторые же вызвали интерес, благожелательное отношение и желание их изучить более подробно. Среди последних хотелось бы отметить учебники С.К. Годунова и Дж. Мейза. Во всяком случае, в конце книги приводится список всех известных автору книг по МСС, которые обучающемуся имеет смысл хотя бы пролистать: может, среди них окажется книга, вызывающая более благоприятное впечатление, чем данная. Тем не менее, автор надеется, что найдутся читатели и у данной книги среди студентов, преподавателей и научных работников, у которых она вызовет удовлетворение.

Автору хотелось написать “простой” учебник механики сплошной среды, в котором этот предмет является разделом механики и физики, а не математики, но в котором математика является главным созидательным инструментом. “Простота” в науке, как и абсолютная истина, недостижима, но к ним надо стремиться. В частности, автор пытался следовать призыву Л.В. Овсянникова избавляться в докладах, лекциях, статьях, монографиях и учебниках от “мусора”, мешающего постигать истину. Автор был бы рад, если у иных читателей при знакомстве с некоторыми разделами мелькнула бы радостная мысль “Ах, как это оказывается просто и понятно, удивительно и даже красиво!”

Механика сплошной среды демонстрирует силу логики и математического мышления. Исходя из нескольких основополагающих постулатов и принципов, используя математику, получаются нетривиальные, и даже поразительные результаты и очень содержательные уравнения.

В этой связи имеет смысл привести несколько показательных, по мнению автора, примеров.

Только на основании *законов сохранения* массы и импульса, и введенного понятия поверхности разрыва для моделирования ударной волны получаются уравнения, из которых видно, что по относительно простым измерениям скорости ударной волны в мишени и скорости ударника (снаряда), инициирующего ударную волну в мишени, можно “точно” определить значение давления и плотности вещества при высокоскоростных ударах, создаваемых взрывом, когда весь процесс длится миллионные доли секунды (микросекунды). Тем самым появляется возможность исследовать свойства вещества при огромных давлениях порядка 10^6 бар = 10^5 МПа, создаваемых ударником, летящим со скоростью 1 - 5 км/с, когда даже металлы сжимаются в 1,5 - 2 раза на время, исчисляемое микросекундами. Именно этот метод был экспериментальной основой разработки уравнений состояния конденсированных веществ при сверхвысоких давлениях ($10^5 - 10^6$ бар), в частности, для разработок атомной бомбы.

А разве не поразительно, что, исходя только из математических соображений и уравнений, доказывается, что любая деформация, в том числе и “чистый сдвиг”, может быть сведена к сжатию или растяжению вдоль трех взаимно перпендикулярных направлений, называемых главными. Сюда же примыкает также очень красивый результат, следующий только из ставших уже обыденными и даже математическими, законов механики Ньютона и состоящий в том, что множество напряжений на всевозможных площадках, проходящих через любую точку среды, определяется всего шестью числами или значениями трех растягивающих или сжимающих напряжений на трех взаимно ортогональных площадках.

Приведенные примеры подтверждают слова выдающегося физика Г. Герца, впервые экспериментально доказавшего существование электромагнитных волн: “Уравнения умнее своих создателей”.

Об особом месте МСС среди курсов теоретической физики свидетельствуют слова Е.М. Лифшица в предисловии к последнему изданию “Механики сплошных сред”, ставшей особенно популярной среди тех, кто

учился на физических факультетах: “Среди книг, которые мне довелось написать совместно со Львом Давидовичем Ландау, эта книга занимает особое место. Он вложил в нее часть души”.

Теперь несколько слов об особенностях данного курса. По мнению автора, при преподавании теоретических дисциплин необходимо детально излагать основы, добиваться правильного понимания исходных положений, их четкой математической формулировки, стремиться показать последовательность использования понятий в механике сплошной среды и их логику. Автор убежден, что нужно больше внимания уделять изложению исходных положений, чтобы их понимание было не кажущимся, а активным и чтобы на них можно было активно опираться при доказательстве последующих формул и теорем. Важно при этом стремиться к последовательности в обозначениях.

Фундамент механики сплошной среды составляет:

1) понятие модели континуума, или деформируемой с механическими напряжениями сплошной среды, и связь этой модели с реальными веществами, имеющими дискретную атомарно-молекулярную структуру;

2) законы сохранения массы, импульса (в том числе и три закона механики Ньютона), момента импульса и энергии;

3) дифференциальное, интегральное и тензорное исчисления, составляющие в частности математическую теорию поля;

4) механические (реологические), теплофизические и электрофизические эксперименты, позволяющие изучать свойства различных веществ при различных механических, тепловых, электромагнитных и физико-химических воздействиях на них.

В данном курсе используются представления тензоров только в декартовой системе координат наблюдателя. Но в отдельном параграфе (§5, гл. 3) детально показано, как записывать все уравнения МСС и в криволинейной системе координат. Поэтому общность не потеряна, но изложение стало проще и нагляднее.

МСС сформировалась как самостоятельный раздел механики и теоретической физики после того, как сформировались гидродинамика и теория упругости. А в университетах обучение идет в обратной последовательности: сначала изучение МСС, а затем гидродинамики, теории упругости и т.д.

Наличие этих противоположных тенденций в познании и в развитии науки, идущих от частного к общему, т.е. по индукции, и в преподавании теоретических дисциплин, идущих от общего к частному, т.е. дедуктивно, весьма характерно. Люди, в том числе и ученые, познают мир, исходя из частных факторов, и лишь затем придумывают обобщающие правила и теории. Теории позволяют ориентироваться в “море факторов”, запоминать их в соответствии с логикой теории, предсказывать “новые факты” и, наконец, обучать молодых людей, не тратя время на “погружение” их в детали и рутину всех исходных фактов и экспериментов. Обучать, исходя из общих теорий, т.е. дедуктивно, легче и “экономней”, позволяет избежать повторы. Но часто эта легкость и экономность переоценивается преподавателями. Во-первых, повторы нужны в обучении. Каждое понятие важно рассмотреть с разных сторон и в разных проявлениях. Повторение – мать учения. Во-вторых, усвоенная самим преподавателем общая теория или парадигма кажется ему очень простой и ясной. У него создается впечатление, что учащийся может быстро и легко ее усвоить. В действительности уже усвоение общих теорий, особенно абстрактных и использующих сложный математический аппарат, требует труда и времени и не всем интересно, если они не связаны с естествознанием. В-третьих, избыточное увлечение дедуктивными методами и теориями может привести к потере интереса к предмету у части слушателей с самого начала, к пренебрежению “прозой жизни”, к неумению разрабатывать новые теории, исходя из частных фактов, к привычке усваивать только уже “пережеванную пищу”, к схоластической склонности теоретизировать даже в простых ситуациях, к отсутствию навыков решения конкретных задач. Поэтому очень важно найти “золотую

середину”, или оптимальный баланс, между конкретностью и обобщенностью, между наглядностью и строгостью, между индукцией и дедукцией.

Опыт преподавания убедил автора, что большинству студентов, изучающих тот или иной раздел науки и в голове которых еще не построено «здание изучаемого раздела науки» лучше изучать предмет от частного к общему, от простого к сложному, т.е. так как шло познание у создателей научного знания. Преподавателю же удобней и легче преподавать от общего к частному, потому что у него в голове уже сложилось «здание предмета» и он ведет экскурсию по этому «зданию». А студенту надо еще только построить это «здание» в своей голове. Преподавать от общего к частному «экономней» для «преподавателя-экскурсовода», но не всегда эффективно для того, чтобы студент построил в своей голове «здание» предмета. Автор, будучи студентом, сначала изучил гидродинамику, газовую динамику, термодинамику и теорию упругости и лишь после этого слушал курс механики сплошной среды, прочитанный Л.И. Седовым в 1965-1966 годы. Обобщенный взгляд присущий «экскурсоводческому» курсу механики сплошной среды, на уже построенное «здание предмета» вызывал воодушевление и восхищение. Но когда такого «здания предмета» в голове студента нет, слушание курса механики сплошной среды напоминает торопливое глотание крупных и не пережеванных кусков ценной пищи, вкус которых остается непрочувствованным студентом.

Автор сознает, что, как и во многих курсах по МСС, ему, по-видимому, не удалось преодолеть избыточные абстрактность и дедуктивность. Показательными в этом смысле были замечательные лекции, в том числе, и по МСС, читавшиеся на механико-математическом факультете Московского Университета Х.А. Рахматулиным, который мог уникальным образом разработать и изложить механическую теорию, исходя из простых и частных, но весьма показательных примеров.

При составлении данного курса полагалось, что курсы гидродинамики

и газовой динамики, курсы теории упругости, вязко-упругости и пластичности, курсы механики многофазных сред читаются отдельно. В данном курсе приводятся лишь отдельные наиболее показательные примеры и постановки задач из этих разделов, которые обязательно должны остаться в памяти.

Автор планировал включить в книгу некоторые методы и постановки, широко используемые в различных разделах механики и физики, а именно: основы анализа размерностей, понятие автомодельности и автомодельных решений, основы группового анализа, метод характеристик, понятие бегущих, линейных, нелинейных и ударных волн, понятие пограничного слоя, основы теории обтекания тел и т.д. Но из-за недостатка времени пришлось отложить эти разделы в следующее издание.

При введении новых терминов в скобках даны их английские переводы.

Это второе издание курса, которое переработано и расширено по сравнению с первым, изданным в 1987 году Тюменским университетом, где автор читал курс механики сплошной среды для студентов физического факультета с 1986 по 1992 год. Автор будет благодарен за критические замечания.