

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Из трех авторов настоящей книги в живых остался только пишущий эти строки. Александр Адольфович Витт, участвовавший в написании первого издания книги наравне с двумя другими авторами, но не указанный в числе авторов вследствие печальной ошибки, умер в 1937 году.

Александр Александрович Андронов умер в 1952 году, т. е. через 15 лет после выхода первого издания книги. Все эти годы А. А. Андронов и его ученики продолжали плодотворно работать в области нелинейной теории колебаний, и в частности того ее раздела, который излагался в первом издании книги (автономные системы с одной степенью свободы). Однако пишущий эти строки после выхода первого издания уже не принимал участия в дальнейшей разработке вопросов, излагавшихся в первом издании книги. Один из учеников А. А. Андронова, Н. А. Железцов, взял на себя труд изложить для второго издания книги новые результаты, достигнутые (главным образом школой А. А. Андронова) в области теории автономных систем с одной степенью свободы. Это потребовало от Н. А. Железцова переработки и значительного дополнения текста первого издания. В работе принимала участие Е. А. Леонтович-Андронова. Переработанный и заново написанный текст указан подстрочными сносками в соответствующих местах книги.

С. Э. Хайкин

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Вряд ли есть в настоящее время необходимость специально обосновывать важное значение колебательных процессов в современной физике и технике. Можно без преувеличения сказать, что нет почти области в этих науках, в которой колебания не играли бы той или иной роли, не говоря уже о том, что ряд областей физики и техники всецело базируется на колебательных явлениях. Достаточно, например, указать на область электромагнитных колебаний, включающую в себя и оптику, на учение о звуке, на радиотехнику и прикладную акустику.

Общность колебательных процессов, их разнообразие и в то же время их специфическое своеобразие играют существенную роль в установлении внутренних связей между весьма разнородными, на первый взгляд, явлениями. Этим обстоятельством, как мне кажется, и обуславливается главным образом принципиальное значение и важность интересующей нас области.

Весьма существенно следующее: в области колебаний особенно отчетливо выступает взаимодействие между физикой и математикой, влияние потребностей физики на развитие математических методов и обратное влияние математики на наши физические знания. Несомненно, что в развитии таких математических проблем, как дифференциальные уравнения в частных производных, интегральные уравнения, в частности краевые задачи, разложение произвольных функций по ортогональным функциям и т. п., физические запросы сыграли не последнюю роль. Но и обратно, также несомненно, что только благодаря развитию этих математических дисциплин сделалось возможным углубление понимание основных физических колебательных явлений.

До сравнительно недавнего времени интерес физиков, а также и техников, главным образом, хотя и не исключительно, был сосредоточен на «линейных» колебательных задачах, т. е. на таких, математическая формулировка которых приводила к линейным дифференциальным уравнениям, обыкновенным или в частных производных.

Относящийся сюда математический аппарат прекрасно разработан. Ряд результатов теории выкисталлизовался в определенную систему понятий и весьма общих положений. Благодаря тому, что физики

этими понятиями и положениями постоянно оперируют, применяя их к конкретным задачам, они приобрели уже, если так можно выражаться, физическую наглядность. Для физика такое понятие, как логарифмический декремент, значение его в явлениях резонанса, такие принципы, как принцип суперпозиции и связанное с ним разложение в ряд Фурье, и вообще спектральный подход, наличие n гармонических колебаний в системе с n степенями свободы, несомненно являются не только отвлечеными математическими понятиями и положениями; они связаны для него неразрывно с комплексом физических явлений. И это обстоятельство имеет существенное значение: оно дает возможность физику как бы инстинктивно, почти без вычислений разбираться в сравнительно сложных вопросах, легко обнаруживать связь между разнородными явлениями и, наконец, имеет, и это может быть самое важное, большую эвристическую силу.

Но в последнее время в ряде вопросов физики и техники выдвинулся новый класс колебательных проблем, для которых аппарат линейной теории колебаний оказался или недостаточным или даже совершенно неприменимым.

Существенную роль в привлечении интереса к проблемам нового рода сыграло введение электронных ламп, открывшее новые, весьма целесообразные пути в вопросах как генерации, так и приема электромагнитных колебаний. Чрезвычайно важное применение получили эти новые явления в радиотехнике. Все те громадные успехи, которые были им достигнуты в наше время, стали возможными только благодаря электронным лампам. Но и физика приобрела исключительно ценное, часто незаменимое орудие исследования. Для всестороннего охвата всех относящихся сюда разнообразнейших явлений, а также большого числа важных интересных явлений в акустике и механике, математический аппарат линейных дифференциальных уравнений абсолютно недостаточен. В его рамки заведомо не укладываются как раз те явления, которые здесь наиболее характерны и интересны. Дело в том, что дифференциальные уравнения, которые адекватным образом описывают эти явления, заведомо нелинейны. Сообразно с этим мы говорим о «нелинейных» системах.

Довольно естественно, что, особенно вначале, было известное стремление, трактуя эти новые, хотя и явно нелинейные, проблемы, по возможности не слишком удаляться от столь привычной линейной терминологии и столь же привычных линейных математических методов, приспособляя их так или иначе к новым обстоятельствам. При этом приходилось добавлять придуманные дополнения, без чего нельзя было, конечно, получить нужных ответов.

Такое «линеаризование» всегда искусственно, редко бывает полезным, большей частью вообще ничему не научает, а иногда и прямо вредно. И действительно, в литературе известны ошибочные утверждения, вошедшие даже в учебники, обусловленные таким незаконным линеаризированием.

Другой путь для овладения нелинейными проблемами, о которых идет речь, состоит в том, что каждая конкретная проблема трактуется уже как нелинейная, но индивидуально, с применением того или иного, наиболее к ней подходящего метода и с учетом ее специфических особенностей. Этот путь, конечно, сам по себе правилен. Идя по нему, ряд исследователей получил весьма ценные результаты, сохранившие все свое значение и в настоящее время. Сюда в первую очередь нужно отнести работы Ван-дер-Поля, сыгравшие существенную роль в развитии интересующей нас области. И в настоящее время иногда удобно в том или ином случае идти по этому пути.

Но не говоря уже о том, что фактически такие решения отдельных задач не имели достаточного математического обоснования, весь этот путь в качестве, так сказать, большой дороги вряд ли целесообразен, так как он не ведет к установлению тех общих точек зрения, той базы, как математической, так и физической, которая необходима для достаточно полного и всестороннего охвата области нелинейных колебаний, в уже известной нам ее части, и, что еще важнее, для успешного дальнейшего планомерного развития.

А между тем основы математического аппарата, адекватного не только отдельным задачам, но и всему циклу проблем нелинейных колебаний, которые нас интересуют, существуют давно. Они заложены в знаменитых работах Пуанкаре и Ляпунова, работах, преследовавших, правда, совершенно другие цели. На связь этих работ с нашими проблемами колебаний впервые обратил внимание один из авторов настоящей книги. Исследования авторов, несомненно, сыграли весьма существенную роль в приспособлении этого аппарата для изучения колебательных проблем. Ими же были применены эти методы для решения ряда новых конкретных задач. Их же работами подведена солидная математическая база и под результаты других авторов, результаты, как уже сказано, весьма ценные, но разрозненные и до этих пор такой базы не имевшие.

Таким образом, основы необходимого общего математического аппарата существуют. Аппарат этот существенно труднее и сложнее, чем линейный, и это лежит в природе вещей. Физические процессы, охватываемые им, значительно сложнее и разнообразнее линейных процессов, являющихся лишь весьма узким частным случаем. Нужно сказать, что в настоящее время нелинейный аппарат еще гораздо менее разработан, чем линейный, и, конечно, гораздо менее привычен. Но многое уже сделано, общие черты теории, которые дают направление дальнейшему развитию, существуют, существует и рабочий аппарат, дающий возможность планомерно решать ряд конкретных задач нелинейной теории колебаний.

Дальнейшее естественное развитие общей теории на этой базе будет способствовать, по моему мнению, тому, что и в сложной области нелинейных колебаний еще в большей мере, чем это уже имеет место

сейчас, выкристаллизуются свои специфические общие понятия, положения и методы, которые войдут в обиход физика, сделаются привычными и наглядными, позволят ему разбираться в сложной совокупности явлений и дадут мощное эвристическое оружие для новых исследований.

Физик, интересующийся современными проблемами колебаний, должен, по моему мнению, уже теперь участвовать в продвижении по этому пути. Он должен овладеть уже существующими математическими методами и приемами, лежащими в основе этих проблем, и научиться их применять.

Известным препятствием служило до сих пор почти полное отсутствие в нашей и, насколько я знаю, в заграничной литературе соответственного систематического изложения общих основ теории нелинейных колебаний и их физических применений, рассчитанного на физиков. Настоящая книга стремится заполнить этот пробел. Основная цель ее — ввести читателя в круг идей, лежащих в основе теории нелинейных колебаний и ее применений. Центр тяжести изложения лежит сообразно с этим не в решении возможно большего количества отдельных задач, а в выяснении основных положений и основных методов, адекватных для области нелинейных колебаний в целом. Это, конечно, не значит, что в книге не уделено достаточного внимания конкретным проблемам. Наоборот, разбору таких проблем, и в первую очередь проблем, с которыми физику и технику постоянно приходится иметь дело, уделяется довольно много места. Но эти проблемы рассматриваются под углом зрения общих положений, они являются примерами и иллюстрациями применения общих методов. Иногда для выяснения той или другой стороны теоретических рассуждений авторы пользуются несколько искусственными примерами, но зато выпукло оттеняющими эти рассуждения.

Изложение авторов, базирующееся, как было упомянуто, на работах Пуанкаре и Ляпунова, обладает одной весьма положительной чертой: в математической трактовке физических проблем часто бывает так, что цепь математических рассуждений, связывающая исходные уравнения с окончательными результатами, допускающими физическую интерпретацию, весьма длинна, причем отдельные ее звенья такой интерпретации не поддаются. Авторы удачно сумели воспользоваться тем обстоятельством, что излагаемые ими методы позволяют придать физический смысл и отдельным звеньям этой цепи. Это значительно оживляет теорию и облегчает ее усвоение.

В вопросах принципиальных авторы там, где это целесообразно, выходят из рамок собственной темы. Сюда относятся, например, довольно подробный интересный разбор вопросов идеализации физических проблем, вопросы, связанные с ролью начальных условий; сюда же может быть отнесен ряд рассуждений, относящихся к так называемым релаксационным колебаниям.

Достаточно обстоятельно излагаются методы так называемого качественного интегрирования, дающие ряд ценных указаний относительно протекания колебательных процессов. По моему мнению, авторы поступают правильно, иллюстрируя эти методы на хорошо известных и привычных случаях линейных систем, где, конечно, применимы более простые, прямые методы. Важному вопросу о существовании периодических решений уделено соответственное внимание. Детально изложены вопросы, относящиеся к проблемам с «малой» нелинейностью, проблемам, имеющим в расчетном смысле чрезвычайно важное значение. Подробно разобран вопрос об устойчивости.

Все эти проблемы рассмотрены применительно к наиболее простому случаю системы с одной степенью свободы без внешней силы (так называемые автономные системы). То же относится и к разобранным в книге конкретным задачам и примерам. Эти вопросы изложены с большой полнотой; но читатель не найдет в книге ни задач, связанных с воздействием внешней силы, ни задач, относящихся к системам с несколькими степенями свободы и к системам с распределенными параметрами. Между тем все эти проблемы несомненно важны и интересны. Однако если принять во внимание, как велик объем всего материала, относящегося к нелинейным колебаниям, с одной стороны, и основную цель книги — ввести читателя в круг общих идей и методов — с другой, то выбор авторов станет понятным. Автономные системы с одной степенью свободы — наиболее простые системы, и они в то же время являются теми элементами, которые лежат в известном смысле в основе всех более сложных систем.

Теоретический аппарат, необходимый для рассмотрения этих последних, базируется на тех общих положениях, которые изложены здесь и представляют собой его дальнейшее развитие. Таким образом, хотя в настоящей книге разобран сравнительно узкий цикл вопросов, по существу она является введением в общую теорию нелинейных колебаний.

Я не сомневаюсь, что свежая и оригинальная книга, предлагающая вниманию читателя, будет ценным вкладом в нашу литературу по колебаниям.

1935 г.

Л. Мандельштам