
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

КОЛЕБАНИЯ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ СИСТЕМ

ПЕРВАЯ ЛЕКЦИЯ

(Сентябрь 1930 г.)¹

Для теории колебаний характерно рассмотрение не состояния в данный момент, а процесса в целом. Общие закономерности теории колебаний.

Теория колебаний и волновая механика. Содружество математики, физики и техники в теории колебаний.

Совсем не легко дать определение того, что составляет предмет теории колебаний. Планк как-то сказал, что правильная классификация — это уже высокий вид познания. Это несомненно: ведь правильно классифицировать — это значит давать довольно полные определения. И в данном случае резко разграничить, что такое колебания, а что не колебания, так же трудно, как определить, что такое лысый человек или что такое куча. Постараюсь все же дать представление, о чем будет идти речь в нашем курсе.

Вы знаете маятник, знаете, как он колеблется. Все, что мы слышим, — тоже колебания. Свет также не что иное, как колебания. Электрические колебания вам тоже известны; на них основана вся радиотелеграфия. Движение „туда и обратно“, в частности периодичность, — вот *некоторые* признаки колебаний.

Возьмем конкретный случай, например микрофон. Нас может интересовать, каково натяжение его мембраны в данный момент

¹ [При обработке курса основным материалом служили весьма подробные записи А. А. Андропова, местами близкие по полноте к стенограмме. Лекции 11, 17, 18 и 23-я первой части курса были прочитаны А. А. Андроновым по плану, указанному Л. И. Мандельштамом. Они даны по конспектам А. А. Андропова. Дополнительным материалом служил конспект, составленный М. А. Дивильковским на основании собственных записей. Лекция 15-ая второй части курса, не записанная А. А. Андроновым, восстановлена по конспекту М. А. Дивильковского. Материал обработан Г. С. Гореликом и окончательно подготовлен к печати С. М. Рытовым.]

в данном месте. Или, скажем, частица, движущаяся в заданном поле. Здесь можно интересоваться тем, где находится частица в такой-то момент времени.

Теория колебаний *меняет* эту постановку вопроса. Для нее не типичен интерес к тому, что происходит в данный момент в данном месте. Она мало этим занимается. Ее интересует главным образом *общий характер* процесса, взятого *в целом*, за большое время.

Например, камертон издает звук *la*. Этот звук *не* определяется положением (или скоростью) ножек камертона в данный момент. Запишем движение ножки камертона. То, что камертон дает тон *la*, характеризуется формой всей кривой в целом (рис. 1), определенными особенностями *всей* этой кривой. Хотя и говорят: „я слышу *la* в данный момент“, в действительности дело обстоит не так; те доли секунды, в течение которых в ухе создается ощущение тона *la*, охватывают большое число максимумов и минимумов этой кривой. Ощущение звука *la* образуется, скажем, за полсекунды.

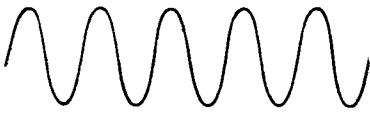


Рис. 1.

В качестве другой иллюстрации рассмотрим классический пример Галилея — Гельмгольца. На балке висит колокол. Вы можете сильно дергать веревку и не раскачаете колокола, а маленький мальчик его раскачает, если придаст выгодную форму кривой своей силы, если будет во-время увеличивать и уменьшать эту силу. Одно дело, насколько колокол отклонится под действием данного груза, другое — как раскачать колокол последовательными толчками. Именно *этим* интересуется теория колебаний. Чтобы раскачать колокол, надо дергать веревку в такт с его колебаниями. Здесь существенно то, что раскачивание определяется *всей* кривой, описывающей процесс воздействия на колокол за время его раскачивания.

В прошлом столетии были замечены следующие явления. Цепной мост иногда разрушался от того, что по нему в ногу шли солдаты. Электрические кабели, испытанные на определенное напряжение, скажем на 10 000 вольт, пробивались иногда при включении на 5000 вольт. Мост разрушается в том случае, когда шаг солдат попадает в такт с качаниями самого моста: когда мост возвращается в исходное положение, его вновь подталкивают.

В электрическом кабеле может происходить нечто похожее, и при этом напряжение постепенно нарастает.

Для этих явлений тоже характерно, что они определяются *всем* течением воздействия во времени.

Те стороны процессов, которые характеризуются их *общим* видом, формой процесса *в целом*, имеют громадное значение в теории колебаний. Здесь есть вполне определенные важные закономерности, которые остаются одними и теми же в самых разнообразных областях. Это и дает основание выделить теорию колебаний как таковую.

Однако не любой процесс подпадает под эту теорию. Это — теория процессов, в той или иной степени повторяющихся, в частности периодических.

Было бы бесплодным педантизмом стараться „точно“ определить, какими именно процессами занимается теория колебаний. Важно не это. Важно выделить руководящие идеи, основные общие закономерности. В теории колебаний эти закономерности очень специфичны, очень своеобразны, и их нужно не просто „знать“, а они должны войти в плоть и кровь.

Недавно происходила полемика, начатая Флемингом, который отрицал существование „боковых полос“ при модуляции колебаний. Из этой полемики ясно видно, что колебательные закономерности не были им прочувствованы должным образом¹.

В самое последнее время появилось сенсационное известие об „открытии“ Робинсона. Как известно, в радиотехнике *нельзя* строить передающие станции, работающие на слишком близких волнах, так как они мешают друг другу при приеме. Робинсон говорит, что с помощью его изобретения можно сближать волны как угодно. Если сделать некоторые обоснованные предположения, то разбор его изобретения сводится к одной известной задаче из области теории колебаний². Но если не пользоваться при этом общими законами, то разобраться, в чем дело, — не так просто. Положение здесь примерно такое же, как с изобретениями вечного двигателя. Не так легко иной раз доказать, что в данном частном проекте имеется нарушение закона сохранения энергии, что то или другое предложение *perpetuum mobile* неосуществимо. Но зная этот общий закон, вы сразу говорите: „этого не может быть“.

¹ [См. 16-ю лекцию.]

² [См. 19-ю лекцию.]

Следует особо подчеркнуть, что в приведенном примере с „изобретением“ Робинсона речь идет не о законах, специфичных для электричества, а о законах, общих всем колебательным явлениям.

Итак, разница между обычной динамикой и теорией колебаний ясна. Обычную динамику интересует в первую очередь то, что происходит в данном месте в данное время, теорию колебаний — движение в целом.

До последнего времени считалось, что колебания — вторичное явление, что первичными являются положение и скорость движущейся частицы в данный момент. Но в этом представлении наступил переворот. Волновая механика утверждает, что целостность процесса есть нечто столь же первичное, как положение частицы. В волновой механике нельзя говорить отдельно о месте и скорости частицы. То и другое должно быть описано, исходя из более основного понятия — целостности процесса. Таким образом, то, что характерно для теории колебаний — рассмотрение целостного процесса, — лежит в самой постановке проблем микромеханики. Вообще за последние четыре года колебания приобрели основное значение не только в макроскопической физике и технике, но и в законах микрофизики.

Содружество математики, физики и техники нигде так ярко не проявлялось, как в создании математического аппарата теории колебаний. Например, вся задача о колебаниях линейных дискретных систем сводится к учению высшей алгебры о квадратичных формах. Часто случалось, что математические вопросы возникали именно в связи с теорией колебаний. Особенно сильно это проявлялось в теории колебаний сплошных систем. Теория дифференциальных уравнений в частных производных и некоторые вопросы интегральных уравнений имеют чисто физическую основу, связанную с колебаниями. Замечу, что здесь математика в долгу у физики. Зато мы, физики, можем пользоваться тем, что математики продвигали в своих интересах. Отсюда, между прочим, видно, насколько неправильно деление на „абстрактные“ и „прикладные“ науки. Они получают пищу друг от друга. Хорошей иллюстрацией этого может служить пример рядов Фурье.

Еще одно небольшое замечание.

В теории колебаний широко пользуются упрощенной математической трактовкой, приводящей к *линейным* дифференциальным уравнениям, и еще очень недавно думали, что в теории колебаний можно ими ограничиться. Развитие радиотехники привело к тому,

что в некоторых весьма важных вопросах теория, основанная на линейных дифференциальных уравнениях, оказалась недостаточной. Сегодня, даже в элементарном курсе, уже нельзя ограничиваться линейным рассмотрением. Нам придется поэтому коснуться, хотя и в краткой форме, также нелинейных задач.

Перехожу к перечислению основных вопросов, которых мы будем касаться в нашем курсе (я не даю точной программы, а лишь некоторую наметку).

1. Основные понятия и терминология теории колебаний (специфические термины, как, например, частота, циклическая частота, логарифмический декремент и т. п.).

2. Математический аппарат, пригодный для теории колебаний.

3. Изучение тех систем и тех процессов, с помощью которых создаются колебания.

4. Распространение колебаний в пространстве (на этом мы почти не остановимся).

5. Прием, исследование, восприятие колебаний.

В качестве литературы я могу вам рекомендовать следующие книги:

А. Н. Крылов. О некоторых дифференциальных уравнениях математической физики; Мещерский. Курс теоретической физики; Релей. Теория звука; Helmholtz. Die Lehre von den Tonempfindungen и Vorlesungen über die theoretische Physik; Норт. Technische Schwingungslehre¹.

¹ [Здесь приводятся, конечно, те книги, которые были названы Л. И. Мандельштамом. В настоящее время имеется ряд других учебников и монографий, появившихся в нашей литературе позднее. Укажем некоторые из них: А. А. Андронов и С. Э. Хайкин. Теория колебаний, ч. I (М.—Л., 1937); Н. Г. Четаев. Устойчивость движения (М., 1946); А. Пуанкаре. О кривых, определяемых дифференциальными уравнениями (М., 1947); Т. Карман и М. Био. Математические методы в инженерном деле (М., 1948); Ю. И. Неймарк. Устойчивость линеаризованных систем (Л., 1949); Н. Н. Баутин. Поведение динамических систем вблизи границ области устойчивости (М., 1949); И. Г. Малкин. Методы Ляпунова и Пуанкаре в теории нелинейных колебаний (М., 1949); Ф. Морз. Колебания и звук (М., 1949); Г. С. Горелик. Колебания и волны (М.—Л., 1950); С. П. Стрелков. Введение в теорию колебаний (М., 1950); С. Г. Михлин. Проблемы минимума квадратичного функционала (М., 1952); Дж. Стокер. Нелинейные колебания в механических и электрических системах (М., 1952); И. М. Капчинский. Методы теории колебаний в радиотехнике (М.—Л., 1954).]