

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие редактора	9
Предисловие автора к первому изданию	20
Предисловие автора ко второму изданию	21
Глава I. Введение	23

Звук создается колебаниями. Конечная скорость распространения звука. Скорость звука не зависит от высот. Опыты Реньо. Распространение звука в воде. Опыт Уитстон. Ослабление звука при увеличении расстояния. Ноты и шумы. Музыкальные ноты создаются периодическими колебаниями. Сирена Каньяр де ла Тура. Высота тона зависит от периода. Соотношения между музыкальными нотами. Одо и то же отношение периодов соответствует одинаковым интервалам во всех частях гаммы. Гармонические шкалы. Диатоническая гамма. Абсолютная высота. Необходимость темперации. Равномерная темперация. Таблица частот. Анализ нот. Ноты и тоны. Качество звука зависит от гармонических обертонов. Ненадежность разложения нот на составляющие только при помощи уха. Простые тоны соответствуют колебаниям маятника.

Глава II. Гармонические колебания	40
---	----

Сложение гармонических колебаний одинакового периода. Гармоническая кривая. Сложение двух колебаний с приблизительно равными периодами. Биения. Теорема Фуре. [Биения приблизительно консонирующих тонов.] Колебания во взаимно перпендикулярных направлениях. Цилиндр Лиссажу. Фигуры Лиссажу. Маятник Блэкберна. Калейдофон. Оптические методы сложения и разложения. Микроскоп для наблюдения колебаний. Прерывистое освещение. [Результирующее колебание, получающееся от сложения большого числа колебаний, фазы которых распределены случайно.]

Глава III. Системы с одной степенью свободы	64
---	----

Независимость амплитуды и периода. Сила трения, пропорциональная скорости. Вынужденные колебания. Принцип суперпозиции. Биения, получающиеся при суперпозиции вынужденных и свободных колебаний. Различные степени затухания. Струна с нагрузкой. Метод размерностей. Идеальный камертон. Камертоны дают приблизительно чистые тоны. Камертоны ак стандарты высоты тона. [Зависимость от температуры. Рядкие и частые биения]. Метод настройки Шейблера. Тоо-метр Шейблера. Сложный маятник. Камертоны, приводимые в действие при помощи электромагнетизма. [Фоническое

колесо.] Камертонный прерыватель. Резонанс. [Прерывистые колебания.] Общее решение для одной степени свободы. [Неустойчивость.] Члены второго порядка вызывают появление производных тонов. [Поддержание колебаний. Методы определения абсолютной высоты тона.]

Глава IV. Колебательные системы в общем случае 111

Обобщенные координаты. Выражение для потенциальной энергии. Статические теоремы. Начальное движение. Выражение для кинетической энергии. Теорема взаимности. Теорема Томсона (Кельвина). Уравнения Лагранжа. Диссипативная функция. Существование малых движений. Свободные колебания без трения. Нормальные координаты. Периоды свободных колебаний удовлетворяют условию стационарности. Возрастание инерции увеличивает периоды свободных колебаний. Ослабление упругости увеличивает периоды свободных колебаний. Наибольший период свободных колебаний является абсолютным максимумом. Гипотетические типы колебаний. Пример струны. Приблизительно простые системы. Струна переменной плотности. Нормальные функции. Свойство сопряженности. [Введение одной связи. Несколько связей.] Определение постоянных для произвольных начальных условий. Теорема Стокса.

Глава V. Колебательные системы в общем случае (продолжение) 153

Случаи, когда три функции T , F , V одновременно приводятся к суммам квадратов. Обобщение теоремы Юнга об узловых точках струн. Статическая теория. Системы, начавшие совершать колебания из состояния покоя, получив отклонение под действием силы, приложенной в одной точке. Системы, начавшие совершать колебания из равновесной конфигурации вследствие импульса, приложенного к одной точке. Системы, начавшие совершать колебания из состояния покоя, получив отклонение под действием равномерно распределенной силы. Влияние *малых* сил трения на колебания системы. Решение общих уравнений свободных колебаний. [Теоремы Рауса. Неустойчивость.] Приложенные силы. Принцип постоянства периодов. Незатухающие движения. Теорема взаимности. Применение к свободным колебаниям. Установление теоремы взаимности для гармонических сил. Приложения. Распространение на случаи, когда структура системы есть функция периода. [Реакция в ведущей точке.] Уравнения для двух степеней свободы. Корни характеристического уравнения. Перемежающиеся колебания. Ход периодов по мере постепенного возрастания инерции. Реакция зависимой системы.

Глава VI. Поперечные колебания струн 193

Закон растяжения струны. Поперечные колебания. Решение задачи для струны, масса которой сконцентрирована в равноотстоящих точках. Вывод решения для непрерывной струны. Дифференциальное уравнение в частных производных. Выражения для V и T . Наиболее общий вид простого гармонического колебания. Струны с закрепленными концами. Движение струны периодически в общем случае.

Законы Мерсенна. Сонометр. Собственные частоты колебания. Определение постоянных для произвольных начальных условий. Случай струны, возбужденной щипком. Выражения для T и V в нормальных координатах. Нормальные уравнения движения. Струна, возбужденная щипком. Теорема Юнга. Струна, возбужденная ударом. Задача о фортепианной струне. Трение, пропорциональное скорости. Сравнение со статической теорией. Периодическая сила, приложенная в одной точке. Изменения, обязанные податливости концов. Доказательство теоремы Фурье. Влияние конечной нагрузки. Поправка на жесткость. Задача о скрипичной струне. Струны, натянутые на кривые поверхности. Решение для случая сферы. Поправка на неправильности в распределении плотности. [Произвольное смещение для каждого периода.] Теоремы Штурма и Лиувилля для струн переменной плотности. [Плотность, пропорциональная x^{-2} . Узлы при вынужденных колебаниях.] Распространение волн вдоль неограниченной струны. Положительная и отрицательная волны. Стационарные колебания. Отражение от неподвижной точки. Вывод решения для конечной струны. Графический метод. Распространение волн при наличии трения. [Отражение от точки соединения двух струн. Постепенный переход. Влияние несовершенной гибкости струны.]

Глава VII. Продольные и крутильные колебания стержней . . . 264

Классификация колебаний стержней. Дифференциальное уравнение продольных колебаний. Численные значения постоянных для стали. Решение для стержня, свободного на обоих концах. Вывод решения для стержня с одним свободным и другим закрепленным концом. Стержень с двумя закрепленными концами. Влияние малой нагрузки. Решение задачи для стержня с прикрепленной к нему большой нагрузкой. [Отражение в точке соединения.] Поправка на поперечное движение. «Хриплый звук» Савара. Дифференциальное уравнение для крутильных колебаний. Сравнение скоростей продольно и крутильной волн.

Глава VIII. Поперечные колебания стержней 277

Потенциальная энергия изгиба. Выражение для кинетической энергии. Вывод дифференциального уравнения. Граничные условия. Общее решение для гармонического колебания. Свойство сопряженности собственных функций. Значения интегралов от квадратичных величин. Выражение для V в нормальных координатах. Нормальные уравнения движения. Определение постоянных, соответствующих начальным условиям. Случай стержня, возбужденного толчком. Стержень, выведенный из состояния покоя отклонением поперечной силой. Нарушение сходимости рядов собственных функций. Вид собственных функций для стержня, свободного на обоих концах. Законы зависимости частоты от длины и толщины стержня. [Числовые формулы для камертонов.] Случай, когда оба конца закреплены. Собственные функции для случая, когда один конец стержня закреплен, а другой свободен. Вычисление периодов. Сравнение высоты тона. Наиболее низкая частота колебаний стержня, свободного на обоих концах. Три ула.

Четыре узла. Основная частота стержня с одним закрепленным и другим свободным концом. Положение узлов. Подпертый стержень. Вычисление периода колебаний стержня с одним закрепленным и другим свободным концом, исходя из гипотетического случая. Решение задачи для стержня с нагруженным концом. Влияние добавлений к стержню. Влияние неравномерной плотности. Поправка на инерцию вращения. Корни функций, представляющих линейные комбинации собственных функций. Составление уравнений движения для случая, когда имеется непрерывное натяжение. Особые граничные условия. Результирующая двух последовательностей волн с почти одинаковыми периодами. Решение Фурье для случая бесконечного стержня. [Круговое кольцо.]

Глава IX. Колебания мембран 326

Натяжение мембраны. Уравнение движения. Закрепленная прямоугольная граница. Выражения для V и T в нормальных координатах. Нормальные уравнения колебаний. Примеры приложенных сил. Частота удлиненного прямоугольника зависит в основном от ширины. Случай, когда различные типы колебаний имеют одинаковую частоту. Производные типы колебаний, возникающие в последнем случае. Влияние небольшой неоднородности. Неоднородность может устранить неопределенность собственных частот. Решения, применимые к треугольнику. Вид общего дифференциального уравнения в полярных координатах. Одна из двух функций, входящих в решение, исключается условием для полюса. Выражение бесселевых функций, относящиеся к ним формулы. Таблица первых двух функций. Закрепленная круговая граница. Свойство сопряженности собственных функций без ограничения, налагаемого границей. Значения интегралов от квадратичных величин. Выражения для T и V через собственные функции. Нормальные уравнения колебаний для круговой мембраны. Частный случай свободных колебаний. Колебания, создаваемые равномерно распределенной гармонической силой. [Сила, приложенная в центре.] Высота различных простых тонов. Таблица корней бесселевых функций. Узловые фигуры. Круговая мембрана с одним неподвижным радиусом. Бесселевы функции дробного порядка. Влияние малой нагрузки. Колебания мембраны с приближенно круговой границей. Возможность во многих случаях вычислить высоту тона мембраны, исходя только из ее площади. Круговая мембрана обладает наинизшим тоном из всех мембран одинаковой площади. Высота тона мембраны, границей которой является эллипс с малым эксцентриситетом. Метод получения пределов для случаев, которые невозможно строго расчитать. Сравнение частот для различных случаев мембран одинаковой площади. История задачи. Экспериментальные исследования Бурже. [Литавры. Узловые кривые для вынужденных колебаний.]

Глава X. Колебания пластинок 371

Потенциальная энергия изгиба. Преобразование δV . Дифференциальное уравнение поверхности. Граничные условия. Свойство сопряженности нормальных функций. Преобразование к полярным координатам. Вид общего решения, непре-

рывного в полюсе. Уравнения, определяющие периоды колебаний свободной круговой пластинки. Вычисления Кирхгофа. Сравнение с наблюдениями. Радиусы узловых окружностей. Обобщение решения. Неравномерности вызывают биения. [Колебания узлов.] Случай защемленной или подпертой границы. [Телефонная мембрана.] Возмущение хладниевых фигур. [Движение песка.] История задачи. Критика Матъё. Прямоугольная пластинка с подпертой границей. Прямоугольная пластинка со свободной границей. Граничные условия. Частный случай ($\mu = 0$), допускающий математическую трактовку. Исследование узловых фигур. Применение метода суперпозиции Уитстоном. Сравнение фигур Уитстона с действительно применимыми к пластинке в случае $\mu = 0$. Собственная частота квадратной пластинки. Вычисление периода для гипотетического типа. Узловые фигуры, рассматриваемые на основании соображений симметрии. Шестиугольник. Сравнение круга и квадрата. Закон, связывающий высоту тона и частоту. В случае защемленной границы всякое сокращение границы повышает тон. Отсутствие основного тона у свободной пластинки заданной площади. Периоды подобных пластинок относятся как их линейные размеры. Опыты Уитстона с деревянными пластинками. Опыты Кёнига. Колебания цилиндра или кольца. Движение — тангенциальное и нормальное. Соотношение между тангенциальным и нормальным движениями. Выражения для кинетической и потенциальной энергий. Уравнения колебаний. Частоты тонов. Сравнение с Хладни. [Наблюдения Фенкнера.] Тангенциальное трение возбуждает тангенциальное движение. Экспериментальная проверка. Биения вследствие неоднородностей. [Стеклянные колокольчики. Церковные колокола.]

Глава Хл. Изогнутые пластинки или оболочки 412

[Колебания растяжения. Частота не зависит от толщины. Колебания изгиба без растяжения. Частота, пропорциональная толщине. Общие условия отсутствия растяжения. Поверхность второго порядка. Приложение к сфере. Главные растяжения цилиндрической поверхности. Потенциальная энергия. Частоты колебаний растяжения. Плоская пластинка. Другие частные случаи цилиндра. Потенциальная энергия изгиба. Сфера. Плоская пластинка. Потенциальная энергия для цилиндрической оболочки. Статические задачи. Частота колебаний изгиба цилиндрической оболочки. Колебания растяжения сферической оболочки. Колебания изгиба сферической оболочки. Собственные частоты. Потенциальная энергия. Кинетическая энергия. Частоты для случая полусферы. Сегмент в 120° . Литературные ссылки.]

Глава Хв. Электрические колебания 451

[Вычисление периодов. Вынужденные колебания. Введение конденсатора эквивалентно отрицательной самоиндукции. Начальные токи во вторичном контуре. Обратная пропорциональность числу витков. Реакция вторичного контура. Ряд контуров. Начальные токи, попеременно противоположные по знаку. Сопротивление и самоиндукция для параллельно со-

единенных проводников. Крайние значения частоты. Несколько проводников, соединенных параллельно. Индукционные весы. Теория простых гармонических токов. Два условия, необходимые для равновесия. Мостик Уитстона. Обобщенное сопротивление. Ток в мостике. Приближенное равновесие. Схема Юза. Прерыватели. Индуктометры. Симметричная схема. Электромагнитное экранирование. Цилиндрический проводящий сердечник. Постоянная затухания свободных токов. Индуцированные токи в проволоке. Формулы Максвелла. Импеданс. Теория кабеля Кельвина. Обобщение Хевисайда. Ослабление и искажение сигналов. Телефон Белла. Теория «притяжения и отталкивания». Опыт с биполярным телефоном. Минимальный слышимый ток. Микрофон].

Добавление. О бегущих волнах 493

Алфавитный указатель 500