

УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И СТУДЕНТОВ

Организация книги. Бегущие волны с точки зрения физики и математики представляют собой выдающееся по значению и красоте явление. У автора было искушение начать эту книгу с простейших волн. Все же методически кажется более удобным начать с совсем простых систем и лишь затем перейти к системам с бесконечно большим числом степеней свободы, какими являются волны.

Глава 1. Свободные колебания простых систем. Мы начинаем со свободных колебаний одномерного гармонического осциллятора, обращая особое внимание на физические проявления таких свойств системы как инерция и возвращающая сила, на физический смысл величины ω^2 и на условия гармоничности колебаний реальной системы. Затем мы переходим к свободным колебаниям двух связанных осцилляторов и вводим понятие нормальной моды колебаний, рассматривая моду как простой «протяженный» гармонический осциллятор, все части которого колеблются с одинаковой частотой и фазой. Величина ω^2 для определенной моды имеет тот же физический смысл, что и для одномерного осциллятора.

Что можно опустить. На протяжении всей книги мы постоянно возвращаемся к рассмотрению нескольких физических систем. Преподаватель и студент из-за недостатка времени не смогут изучить все эти системы. В примерах 2 и 8 рассмотрены продольные колебания масс и пружин для одной (пример 2) и двух (пример 8) степеней свободы. В следующих главах мы расширяем примеры продольных колебаний, переходя к системам с большим числом степеней свободы и к непрерывным системам, которые используются как модели звуковых волн сжатия. Если преподаватель не предполагает рассматривать звуковые колебания, он может с самого начала отказаться от изучения продольных колебаний. То же можно сказать о примерах 4 и 10, где рассмотрены колебания в цепях LC с одной или двумя степенями свободы. В следующих главах мы переходим к изучению LC -цепочек и непрерывных линий передач. Преподаватель, который не собирается рассматривать эти явления, может с самого начала пропустить примеры, связанные с цепями. При этом у него остается возможность подробного изучения электромагнитных волн

на базе уравнений Максвелла (глава 7). Не отказывайтесь от рассмотрения поперечных колебаний (примеры 3 и 9).

Домашние опыты. Мы усиленно рекомендуем опыт 1.24 (волны в тазу с водой) и связанную с ним задачу 1.25. В отсутствие специальной лекционной демонстрации связанных маятников домашний опыт 1.8 может заменить ее.

Глава 2. Свободные колебания систем со многими степенями свободы. В этой главе мы переходим к рассмотрению систем с очень большим числом степеней свободы и находим моды поперечных колебаний (стоячие волны) непрерывной струны, определяем волновое число k и вводим понятие о дисперсионном соотношении, связывающем ω и k . Мы используем моды непрерывной струны, чтобы ввести фурье-анализ периодических функций (п. 2.3). В п. 2.4 дано точное дисперсионное соотношение для струны с точечными грузами.

Что можно опустить. Для студентов, знакомых с фурье-анализом, п. 2.3 может оказаться лишним. В примере 5 (п. 2.4, ряд следующих друг за другом связанных маятников) рассмотрена простейшая система с порогом со стороны низких частот. Она используется в дальнейшем для объяснения свойств других систем, имеющих такой порог. Если преподаватель не думает рассматривать системы, подверженные действию вынуждающей силы при частотах, меньших пороговой (волноводы, ионосфера, полное отражение света в стекле, проникновение волн де Бройля через потенциальные барьеры, фильтры высокой частоты), он может пропустить пример 5.

Глава 3. Вынужденные колебания. Главы 1 и 2 начинаются со свободных колебаний гармонического осциллятора и заканчиваются свободными стоячими волнами в замкнутых системах. В главах 3 и 4 мы рассматриваем вынужденные колебания, вначале для замкнутых систем (глава 3), где мы обнаруживаем «резонансы», а затем для открытых систем (глава 4), где возникают бегущие волны. В п. 3.2. рассмотрены вынужденные колебания одномерного осциллятора с затуханием как в переходном, так и в установившемся режиме. Затем мы переходим к системам с двумя или большим числом степеней свободы и обнаруживаем у таких систем резонансы, соответствующие каждой моде свободных колебаний. Мы рассматриваем также действие вынуждающей силы на замкнутые системы при частотах, меньших частоты низшей (или больших самой высокой) моды, устанавливаем существование «экспоненциальных волн» и объясняем действие фильтров.

Что можно опустить. Можно не рассматривать переходные процессы (п. 3.2), а также действие вынуждающей силы при частотах ниже пороговой.

Домашние опыты. Для опытов 3.8 (вынужденные колебания системы из двух связанных маятников) и 3.16 (механический полосовой фильтр) нужен проигрыватель. Эти опыты могут служить прекрасной лекционной демонстрацией экспоненциальных волн,

возникающих в тех случаях, когда частота вынуждающей силы меньше пороговой частоты.

Глава 4. Бегущие волны. Бегущие волны в этой главе трактуются как результат вынужденных колебаний открытых систем (в противоположность стоячим волнам, возникающим в результате вынужденных колебаний замкнутых систем, рассмотренных в главе 3). Остальная часть этой главы посвящена понятиям фазовой скорости (включая дисперсию) и импеданса бегущей волны. Мы противопоставляем понятия, характерные для бегущей волны (фазовая скорость и импеданс), понятиям, характерным для стоячей волны (инерция и возвращающая сила), и объясняем фундаментальное различие фазовых соотношений в стоячей и бегущей волне.

Домашние опыты. Мы рекомендуем опыты 4.12 (водяная призма) и 4.18 (измерение солнечной постоянной на поверхности Земли).

Глава 5. Отражение. К концу главы 4 мы уже знакомы с одномерными стоячими и бегущими волнами и в пятой главе переходим к суперпозиции стоячих и бегущих волн. При выводе коэффициентов отражения мы исходим не из граничных условий, предпочитая «физическое» применение принципа суперпозиции (в задачах, однако, используется метод граничных условий).

Что можно опустить. Данная глава имеет иллюстративный характер: в ней много примеров из области звука, передающих линий и света, являющихся «применением» того, что мы узнали в главах 1—4. Поэтому значительная часть примеров при недостатке времени может быть пропущена.

Домашние опыты. Необходимо сделать опыт 5.3 (переходные стоячие волны в «пружине»^{*)}). Особенно интересны опыты 5.17 и 5.18.

Глава 6. Модулированные колебания, импульсы и волновые пакеты. В главах 1—5 мы имели дело главным образом с единственной частотой (за исключением п. 2.3, посвященного фурье-анализу). В этой главе рассмотрена суперпозиция различных частот, образующая импульсы и волновые пакеты, и фурье-анализ (введенный в п. 2.3 лишь для периодических функций) распространяется и на непериодические функции. Большая часть физики содержится в трех первых пунктах.

Домашние опыты. Наблюдение волновых пакетов в воде (опыт. 6.11) необходимо для понимания смысла групповой скорости. Мы советуем также проделать опыты 6.12 и 6.13.

Задачи. Частотная и фазовая модуляции рассмотрены не в основном тексте, а главным образом в задачах. Здесь же обсуждаются такие проблемы как фиксация лазерных мод (задача 6.23), модуляция с помощью субчастот (задача 6.32) и интерферометрическая спектроскопия (задача 6.33).

Глава 7. Волны в пространстве двух и трех измерений. Волны, рассмотренные в главах 1—6, имели одно измерение. В этой главе

^{*)} См. сноску на стр. 24.

мы переходим к трехмерным волнам и вводим вектор распространения \mathbf{k} . Основой для рассмотрения электромагнитных волн являются уравнения Максвелла. (Электромагнитные волны в линиях передач, рассмотренные в предыдущих главах, имели исходным пунктом LC -цепи.) Рассмотрены также волны в воде.

Что можно опустить. Можно пропустить п. 7.3 (волны в воде), но мы советуем проделать соответствующие домашние опыты. Если преподаватель специально заинтересован в оптике, он может начать с п. 7.4 и продолжить изучение оптических явлений в главах 7, 8 и 9.

Глава 8. Поляризация. Эта глава посвящена изучению поляризации электромагнитных волн и волн в «пружинах». Особое внимание уделено физической связи между частичной поляризацией и когерентностью.

Домашние опыты. Мы советуем выполнить по меньшей мере опыты 8.12, 8.14, 8.16 и 8.18.

Глава 9. Интерференция и дифракция. Здесь мы рассматриваем суперпозицию волн, пробегающих различные пути от источника до детектора, и исследуем физический смысл понятия о когерентности. Геометрическая оптика рассмотрена с точки зрения волновых представлений, т. е. как оптика пучков, падающих на различные отражающие и преломляющие поверхности при условиях, когда дифракция ограничена.

Домашние опыты. Следует выполнить хотя бы один опыт по интерференции, дифракции, когерентности и геометрической оптике. Мы рекомендуем также выполнить опыт 9.50 (квадрупольное излучение камертона).

Задачи. Некоторые вопросы курса вынесены в задачи, например звездные интерферометры, включая недавно разработанный «интерферометр с большой базой» (задача 9.57). Аналогия между фазово-контрастным микроскопом и преобразованием амплитудно-модулированных радиоволн в частотно-модулированные обсуждается в задаче 9.59.

Домашние опыты. (Общие замечания). Следует делать по меньшей мере один опыт в неделю. Ниже перечислены опыты с волнами в воде, волнами в «пружинах» и со звуковыми волнами, а также дано описание набора для опытов по оптике.

Волны в воде

- 1.24. Мода «омывания» в сосуде с водой.
- 1.25. Сейши.
- 2.31. Пилообразные стоячие волны в мелкой воде.
- 2.33. Моды поверхностного натяжения.
- 3.33. Пилообразные стоячие волны в мелкой воде.
- 3.34. Прямоугольные двумерные стоячие волны.
- 3.35. Стоячие волны в воде.
- 6.11. Волновые пакеты в воде.
- 6.12. Волновые пакеты в мелкой воде; приливные волны.
- 6.19. Фазовая и групповая скорости волн в глубокой воде
- 6.25. Резонанс в приливных волнах.

- 7.11. Закон дисперсии для волн в воде.
9.29. Дифракция волн в воде.

Волны в «пружинах»

- 1.8. Связанные маятники.
2.1. Зависимость частоты колебаний «пружинь» от ее длины.
2.2. «Пружина» как непрерывная система.
2.4. Тембр ноты, издаваемой «пружиной».
3.7. Резонанс в «пружине» с затуханием.
3.8. Вынужденные колебания системы двух связанных маятников.
3.16. Механический полосовой фильтр.
3.23. Экспоненциальное проникновение волн в реактивную область.
4.4. Фазовая скорость волн в «пружине».
5.3. Переходные стоячие волны в «пружине».
8.14. Поляризация в «пружине».

Звук

Некоторые домашние опыты по звуку требуют двух идентичных камертонов, лучше всего С523,3 или А440. Их можно купить в музыкальном магазине или в магазине наглядных пособий.

- 1.4. Измерение частоты колебаний.
1.7. Связанные колебания ножовочных полотен.
1.12. Биения от двух камертонов.
1.13. Нелинейность уха; комбинационные тона.
1.18. Биения от слабо связанных неидентичных струн гитары.
2.4. Тембр ноты, издаваемой «пружиной».
2.5. Рояль как анализатор Фурье; нечувствительность уха к фазе колебаний.
2.6. Гармоники рояля; равномерно темперированный строй.
3.27. Ширила резонанса для картонной трубки.
4.6. Измерение скорости звука с помощью волновых пакетов.
4.15. Резонатор из бутылки (резонатор Гельмгольца).
4.16. Скорость звука в воздухе, гелии и природном газе.
4.26. Звуковой импеданс.
5.15. Эффективная длина трубки с открытым концом для стоячих волн.
5.16. Резонанс в картонных трубках.
5.17. Является ли звукоулавливающая система человека (барабанная перепонка, нервы, мозг) фазочувствительным детектором?
5.18. Измерение относительной фазы на двух концах открытой трубки.
5.19. Обертоны камертона.
5.31. Резонансы в надувных шарах.
6.13. Музыкальные трели и полоса частот.
9.50. Диаграмма излучения камертона; квадрупольное излучение.

О п т и ч е с к и й н а б о р^{*}).

Он состоит из четырех небольших поляроидных пластинок (линейные поляризаторы), кругового поляризатора, пластинок $\lambda/4$ и $\lambda/2$, дифракционной решетки и четырех цветных фильтров (красный, зеленый, голубой и оранжевый). Все эти компоненты описаны в тексте книги (линейные поляризаторы — стр. 367, круговой

^{*}) Такой набор приложен к американскому изданию. К сожалению, мы не смогли снабдить оптическим набором русское издание. Этот недостаток, однако, восполним. Поляроидные и цветные фильтры можно приобрести в фотомагазине, а пластинки в $1/4$ и $1/2$ длины волны изготовить самим из тонких пластинок слюды или прозрачных пластиковых пленок. Способ изготовления описан в тексте книги. Реплику дифракционной решетки можно приобрести в магазине наглядных пособий, но даже долгоиграющая пластинка может служить отражательной дифракционной решеткой для некоторых из описанных в книге опытов. (Прим. ред.)

поляризатор — стр. 380, задерживающие пластинки $\lambda/4$ и $\lambda/2$ — стр. 376, дифракционная решетка — стр. 441). В некоторых опытах вам будут нужны предметные или покровные стекла от микроскопа и источники света: лампа с «линейной» или «точечной» нитью накаливания (см. опыт 4.12, стр. 204), неоновая лампа. Большинство оптических опытов описано в главах 8 и 9. Их слишком много, чтобы перечислять здесь.

Комплексные числа.

При сложении синусоидальных колебаний применение комплексных чисел упрощает вычисления, но иногда затемняет их физический смысл. Поэтому в первой части книги комплексные числа не используются. Они появляются в главе 6 вместе с векторными диаграммами для гармонических колебаний, а в главе 8 (поляризация) комплексные числа широко используются. В главе 9 (интерференция и дифракция) комплексные числа используются мало, но преподаватель может применить их для облегчения расчетов. Ряды Фурье (п. 2.3) и интегралы Фурье (пп. 6.4 и 6.5) излагаются без комплексных чисел.