

# Содержание

<b>Предисловие</b> . . . . .	<b>13</b>
<b>Глава 1. Звук — от зарождения к восприятию</b> . . . . .	<b>17</b>
Откуда появляется звук? . . . . .	18
Понятие акустики . . . . .	19
Геометрическая акустика . . . . .	20
Плоская волна . . . . .	20
Сферическая волна . . . . .	21
Волновые характеристики реальных излучателей звука . . . . .	21
Влияние среды распространения на характер волн . . . . .	22
Фазовые характеристики волн . . . . .	22
Кое-что из теории нелинейной акустики . . . . .	23
Отличительные характеристики звуковых волн . . . . .	23
<b>Глава 2. Громкость и динамика звука</b> . . . . .	<b>25</b>
Понятие звукового давления . . . . .	26
Понятие интенсивности звука . . . . .	26
Электрические аналоги понятий давления и интенсивности . . . . .	26
Минимально заметная разница громкостей . . . . .	27
Логарифмический характер шкалы ощущений человека . . . . .	27
Нерукотворный памятник Беллу . . . . .	27
Проверка выбора десятичного основания для логарифма слухового ощущения . . . . .	30
Психоакустическая модель ощущения громкости . . . . .	30
Еще одно понятие, относящееся к громкости, — сон . . . . .	33
<b>Глава 3. Основы теории о высоте звука</b> . . . . .	<b>35</b>
Инфранизкочастотный диапазон . . . . .	36
Ультразвуковой диапазон . . . . .	37
Юмор — это чувство дистанции (Б. Брехт) . . . . .	37
Диапазон слышимого звука. Чистый тон . . . . .	38
Многотоновые звуки, понятие частотного спектра . . . . .	38
Частотные интервалы в теории передачи сигналов . . . . .	40

<b>Глава 4. Психоакустическая оценка тембра и высоты звука . . . . .</b>	<b>41</b>
Понятие тембра . . . . .	43
Понятие основного тона . . . . .	44
Понятие обертонов . . . . .	44
Понятие форманты . . . . .	44
Возможности коррекции тембра корректорами АЧХ . . . . .	46
Зависимость высоты звука от частоты основного тона . . . . .	47
Зависимость высоты звука от частоты обертонов . . . . .	47
Зависимость высоты звука от характеристик, не связанных с частотой . . . . .	47
Оценка высоты тона созвучий . . . . .	48
Частный случай — два тональных звука с обертонами . . . . .	48
Зонная теория . . . . .	48
Что такое цент . . . . .	49
Нелинейный характер слуха. Субъективные тона . . . . .	49
Биения . . . . .	50
<b>Глава 5. Музыкальные стандарты высоты звука, или «Небольшое отступление для технарей, подзабывших теорию музыки» . . . . .</b>	<b>51</b>
История создания нотного ряда . . . . .	52
Пифагорово решение проблемы транспонирования . . . . .	53
Пифагорова комма или «волчья квинта» . . . . .	54
Чистый строй . . . . .	55
Равномерная темперация — модель Веркмейстера . . . . .	55
Сравнение музыкальных строев . . . . .	58
Последовательные и одновременные сочетания звуков . . . . .	59
Понятие гармонического и мелодического интервалов . . . . .	60
Аккорды . . . . .	61
Аккордовые и неаккордовые звуки . . . . .	62
Другие музыкальные строи . . . . .	62
Масштаб частоты в электроакустических измерениях . . . . .	62
<b>Глава 6. Архитектурная акустика . . . . .</b>	<b>63</b>
Что происходит со звуковыми волнами в замкнутом пространстве? . . . . .	65
Исследование реакции на акустический импульс . . . . .	65
Понятие диффузности звукового поля . . . . .	69
Время стандартной реверберации . . . . .	69
Значение ранних отражений . . . . .	71
Необходимость применения законов нелинейной акустики . . . . .	71

<b>Глава 7. Защита от акустических шумов . . . . .</b>	<b>73</b>
Линеаризация АЧХ реверберации . . . . .	74
Допустимый уровень шума . . . . .	74
Источники возникновения шумов . . . . .	75
Методы борьбы с шумами . . . . .	76
Борьба с шумами воздушного происхождения . . . . .	76
Борьба с шумами ударного происхождения . . . . .	78
Глушение шумов в системе вентиляции . . . . .	79
Борьба с низкочастотными шумами электрического происхождения . . . . .	80
<b>Глава 8. Моделирование акустики . . . . .</b>	<b>81</b>
<b>Глава 9. Радиус гулкости и акустическое отношение . . . . .</b>	<b>93</b>
Понятие акустического отношения . . . . .	94
Практическое применение АО . . . . .	95
Введение понятия ОРНГ . . . . .	95
Показательный пример использования ОРНГ . . . . .	98
Зависимость ОРНГ от частоты . . . . .	100
<b>Глава 10. Критерии качества фонограмм . . . . .</b>	<b>101</b>
<b>Глава 11. Теоретические основы стереофонии, или «Объемное звучание — парадоксы без мистики» . . . . .</b>	<b>107</b>
Отличие «живого» звука от воспроизведенного электроакустическим трактом . . . . .	108
Возможности человека по локализации источников звука . . . . .	108
Деление психоакустической теории на моноуральную и бинауральную . . . . .	109
Особенности моноурального восприятия . . . . .	110
Бинауральное слияние . . . . .	110
Бинауральная локализация . . . . .	111
Монофонические фонограммы . . . . .	115
Двухканальные стереофонические фонограммы . . . . .	116
Разрешающая способность двухканальной стереофонии . . . . .	116
Ухудшение локализации в условиях реальной студийной записи . . . . .	118
Ухудшение локализации в условиях домашнего прослушивания стереофонических фонограмм . . . . .	119
Выводы о реальной разрешающей способности стереофонии на современном этапе создания и воспроизведения фонограмм . . . . .	122
Курьезы . . . . .	124

<b>Глава 12. Методика установки колонок для прослушивания стереофонических фонограмм . . . . .</b>	<b>125</b>
<b>Глава 13. Практические опыты стереофонической записи . . . . .</b>	<b>133</b>
Особенности монофонической записи . . . . .	134
Интенсивностная стереофония с использованием пары совмещенных и регулируемых по направлению микрофонов . . . . .	135
Интенсивностно-фазовая стереофония с использованием пары разнесенных микрофонов . . . . .	138
Сравнение интенсивностной и интенсивностно-фазовой стереофонии . . . . .	138
Перспективная технология стереозаписи со странным названием — «Искусственная голова» . . . . .	140
Необходимость полимикрофонной технологии стереозаписи . . . . .	141
Необходимость линейности фазовой характеристики звукозаписывающего тракта . . . . .	142
Балансирование стереокартины . . . . .	143
<b>Глава 14. Вариант «фотографической» технологии полимикрофонной стереозаписи . . . . .</b>	<b>145</b>
Изображение расстояния до виртуальных источников звука . . . . .	147
Задание параметров угловой локализации виртуальных источников звука . . . . .	147
Технология «фотографической» стереозаписи . . . . .	148
Усовершенствование метода фотографической записи при невозможности исключения взаимопроникновения сигналов . . . . .	154
<b>Глава 15. Трех- и более канальная стереофония . . . . .</b>	<b>159</b>
Особенности терминологии . . . . .	160
Разрешающая способность стереофонии . . . . .	160
Развитие системы двухканальной стереофонии . . . . .	160
Типичный пример озвучивания современного американского кинофильма . . . . .	162
Задачи, решаемые системами Surround Sound . . . . .	163
Максимальная формула Surround Sound 10.1 . . . . .	164
Ограничение формулы 10.1 до 5.1 . . . . .	167
Особенности технической реализации Surround-систем . . . . .	167
Технологии объемного звука в домашних кинотеатрах . . . . .	172
Перспективные форматы записи и воспроизведения объемного звука . . . . .	173
Доступна ли для «рядовой» студии запись в формате Surround 5.1? . . . . .	175

<b>Глава 16. Акустика инструментов, рождающих музыку . . . . .</b>	<b>179</b>
Определение музыкального инструмента . . . . .	180
Классификации музыкальных инструментов . . . . .	180
Трехгрупповая система классификации музыкальных инструментов . . . . .	180
Система классификации музыкальных инструментов Хорнбостеля—Закса . . . . .	181
Развитие конструкций инструментов в отсутствие геометрической теории . . . . .	182
Акустические характеристики музыкальных инструментов . . . . .	183
Характер атаки и затухания звука . . . . .	183
Частотный диапазон и спектр звука . . . . .	185
Тембр — обертоны и форманты . . . . .	185
Стабильность основных тонов и формант . . . . .	185
Особенности настройки инструментов . . . . .	186
Переходные тона . . . . .	186
Случаи отсутствия основного тона . . . . .	186
Громкость излучения и динамический диапазон . . . . .	186
<b>Глава 17. Ударные инструменты . . . . .</b>	<b>189</b>
Тимпаны или литавры . . . . .	190
Большой барабан . . . . .	194
Тарелки . . . . .	196
Малый барабан . . . . .	197
Тамтам . . . . .	198
Треугольник . . . . .	199
Кастаньеты . . . . .	200
Колокольчики . . . . .	200
Колокола . . . . .	201
Ксилофон . . . . .	202
Маримба . . . . .	203
Вибрафон . . . . .	204
Бубен . . . . .	204
Изучаем «Самоучитель игры на бубне» . . . . .	204
Большая ударная установка . . . . .	205
Подготовка к студийной записи ударной установки . . . . .	207
Особенности настройки барабанов . . . . .	207
Технология настройки двухсторонних барабанов «в унисон» . . . . .	209
Технология настройки двухсторонних барабанов на фиксированный интервал . . . . .	210

Студийная запись ударной установки . . . . .	211
Выбор типов микрофонов, наиболее подходящих для записи ударной установки . . . . .	213
<b>Глава 18. Челеста . . . . .</b>	<b>215</b>
<b>Глава 19. Клавесин . . . . .</b>	<b>217</b>
<b>Глава 20. Фортепиано . . . . .</b>	<b>221</b>
История создания и конструкция . . . . .	222
Особенности акустики рояля . . . . .	224
Соотношение акустики инструмента и акустики помещения . . . . .	225
Стереофонический образ инструмента . . . . .	227
Проблемы ухода за инструментом . . . . .	228
<b>Глава 21. Духовые инструменты . . . . .</b>	<b>231</b>
Основы звукоизвлечения . . . . .	232
Сравнение со струной . . . . .	232
Возбуждение колебаний . . . . .	233
Настройка акустического резонансного усилителя на заданную частоту . . . . .	234
Условное деление на деревянные и медные . . . . .	235
Флейта . . . . .	236
Большая флейта . . . . .	237
Малая флейта . . . . .	238
Альтовая флейта . . . . .	238
Особенности записи флейты . . . . .	238
Гобой . . . . .	239
Английский рожок . . . . .	240
Кларнет . . . . .	241
Малый кларнет . . . . .	242
Альтовый кларнет (бассетгорн) . . . . .	243
Бас-кларнет . . . . .	243
Особенности записи кларнетов . . . . .	243
Саксофон . . . . .	244
Фагот . . . . .	245
Контрафагот . . . . .	247
Запись деревянных духовых инструментов . . . . .	248
Медные духовые инструменты . . . . .	249
Корнет . . . . .	249
Альт-корнет . . . . .	249

---

Тенор . . . . .	250
Баритон . . . . .	250
Труба . . . . .	250
Тромбон . . . . .	252
Валторна . . . . .	253
Туба . . . . .	255
Фанфара . . . . .	256
Особенности записи медных духовых инструментов . . . . .	256
Электрифицированное будущее? . . . . .	257
<b>Глава 22. Орган . . . . .</b>	<b>259</b>
<b>Глава 23. Баян, аккордеон, губная гармоника . . . . .</b>	<b>267</b>
Баян . . . . .	268
Аккордеон . . . . .	271
Губная гармоника . . . . .	271
<b>Глава 24. Скрипка, альт, виолончель . . . . .</b>	<b>273</b>
Скрипка . . . . .	274
Альт . . . . .	277
Виолончель . . . . .	279
<b>Глава 25. Контрабас . . . . .</b>	<b>281</b>
<b>Глава 26. Акустическая гитара . . . . .</b>	<b>285</b>
Конструкция и акустика инструмента . . . . .	286
Типы гитар . . . . .	289
Особенности записи акустической гитары . . . . .	290
<b>Глава 27. Электрогитара . . . . .</b>	<b>295</b>
<b>Глава 28. Бас-гитара . . . . .</b>	<b>301</b>
<b>Глава 29. Арфа . . . . .</b>	<b>305</b>
<b>Глава 30. Ограниченные по составу коллективы исполнителей . . . . .</b>	<b>309</b>
Камерные составы . . . . .	311
Запись хоровых произведений . . . . .	312
Запись современной электронной музыки . . . . .	314
Запись ансамблей, исполняющих современную акустическую музыку . . . . .	315
Запись джаз-бэндов . . . . .	316

<b>Глава 31. Оркестры</b> . . . . .	<b>319</b>
История оркестра . . . . .	320
Симфонический оркестр . . . . .	320
Почему большой оркестр получил название симфонического? . . . . .	321
Как сочетаются в симфоническом оркестре отдельные инструменты и группы? . . . . .	322
Струнная группа . . . . .	323
Группа деревянных духовых инструментов . . . . .	323
Группа медных духовых инструментов . . . . .	324
Группа ударных инструментов . . . . .	325
Группа инструментов, не вошедших в другие группы . . . . .	326
Стерефонический образ симфонического оркестра . . . . .	327
Запись симфонического оркестра с солистами . . . . .	327
Запись симфонического оркестра и хора . . . . .	328
Другие виды оркестров . . . . .	329
<b>Глава 32. Лампа или полупроводник — стоит ли игра свеч?</b> . . . . .	<b>331</b>
О минусах транзисторов . . . . .	332
О плюсах транзисторов . . . . .	333
О минусах ламп . . . . .	333
О плюсах ламп . . . . .	334
<b>Глава 33. Микрофоны</b> . . . . .	<b>337</b>
Конденсаторные микрофоны с внешним источником напряжения для поляризации обкладок . . . . .	339
Электретные микрофоны . . . . .	342
Пьезоэлектрические микрофоны . . . . .	342
Динамические микрофоны . . . . .	343
Радиомикрофоны . . . . .	343
RZM-приемники звука . . . . .	344
Характеристики приемников звука . . . . .	346
Проблемы, возникающие в процессе эксплуатации приемников звука . . . . .	348
<b>Глава 34. Контрольные акустические агрегаты и головные стереотелефоны.</b> . . . . .	<b>351</b>
Характеристики динамиков и акустических колонок . . . . .	352
Оценка переходных процессов . . . . .	354
Проблемы соответствия рекламы и действительности . . . . .	354
Проблемы с качеством . . . . .	354
Искажения, возникающие в слуховой системе человека . . . . .	355



Классификация акустических колонок . . . . .	355
Особенности акустических агрегатов ближней зоны . . . . .	356
Особенности акустических агрегатов дальней зоны . . . . .	357
Необходимость фазирования . . . . .	358
Подбор стереопары . . . . .	358
Особенности подключения пассивных акустических колонок . . . . .	359
Магнитное экранирование . . . . .	359
Головные стереотелефоны . . . . .	359
Особенности применения головных телефонов в студиях звукозаписи . . . . .	360
Перспективы развития электроакустических систем . . . . .	361
Технология NXT . . . . .	361
<b>Глава 35. Аналоговые магнитофоны . . . . .</b>	<b>363</b>
Принципы работы магнитофона . . . . .	366
Технические характеристики современных магнитофонов . . . . .	367
Достоинства и недостатки аналоговых магнитофонов . . . . .	368
Многоканальная аналоговая запись . . . . .	371
Будущее в прошлом? . . . . .	371
<b>Глава 36. Караул, оцифровывают! . . . . .</b>	<b>373</b>
Формат CD . . . . .	374
Формат SACD . . . . .	374
Формат DVD-Audio . . . . .	376
Многоканальная запись и сведение в формате PCM — Pro Tools лидирует . . . . .	376
Станция премастеринга и авторизации звука формата SACD . . . . .	379
Необходимость применения DSP. . . . .	380
Устаревшие алгоритмы цифровой обработки звука . . . . .	383
Влияние высоких частот на качество звуковоспроизведения . . . . .	384
Сравнивать рано . . . . .	385
Требования к трактам записи-обработки фонограмм форматов DVD-A и SACD . . . . .	386
<b>Глава 37. Звукорежиссер и индикаторы уровня — кто прав, кто виноват? . . . . .</b>	<b>389</b>
Для чего нужен визуальный контроль уровня сигнала? . . . . .	390
Технологические проблемы . . . . .	390
Аналоговая магнитная запись . . . . .	390
Цифровые системы . . . . .	391
Радиопередачи . . . . .	391

Громкость . . . . .	392
Характер звукового сигнала . . . . .	393
Характеристики и типы стандартизованных измерителей . . . . .	393
VU-meter . . . . .	395
Квазипиковый ИУ . . . . .	395
Peak Level Meter . . . . .	396
Over . . . . .	397
Градуировка шкалы: почему не в вольтах? . . . . .	397
<b>Глава 38. Можно ли научить профессии звукорежиссера? . . . . .</b>	<b>399</b>
<b>Глава 39. Звукозапись в законе . . . . .</b>	<b>407</b>
Раздел 2. Авторское право . . . . .	409
Закон Соединенных Штатов Америки Об Авторском Праве (версия 1976 г.) . . . . .	410
Конвенция об охране интересов производителей фонограмм от незаконного воспроизводства их фонограмм от 29 октября 1971 г. . . . .	412
Раздел 3. Смежные права . . . . .	416
Раздел 5. Защита авторских и смежных прав . . . . .	418
<b>Глава 40. Опасности профессии . . . . .</b>	<b>419</b>
Об ущербе, наносимом колебаниями в неслышимых диапазонах частот . . . . .	420
Инфразвук . . . . .	420
Ультразвук . . . . .	421
О вреде громкого звука . . . . .	421
Меры по защите слуха . . . . .	423
Обеспечение электромагнитной безопасности при эксплуатации компьютерной техники . . . . .	424
Заземление . . . . .	425
Защита от статического электричества . . . . .	427
Профилактика оборудования . . . . .	429
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>431</b>

# Предисловие

В 2005 г. исполнится 130 лет с момента изобретения акустоэлектрического преобразователя, получившего название «микрофон». Спустя два года аналогичный юбилей отпразднует технология консервации звука. Около полувека назад фонограмма шагнула в массы и постепенно проникла практически в каждый уголок цивилизованного общества. На сегодняшний день звуковоспроизведение является, пожалуй, самым широким и демократичным каналом передачи смысловой и эмоциональной информации. С другой стороны этого процесса — в части создания фонограмм — до недавнего времени складывалась совершенно иная картина. Запись звука оставалась делом избранных.

И вот, наконец, свершилось! С появлением мультимедийных компьютеров любой и каждый получил возможность записывать собственные фонограммы, причем на достаточно высоком, почти профессиональном уровне. Хочешь — твори для себя и друзей. Достиг определенного исполнительского уровня — выставляй свои произведения на продажу. Овладел технологией сайтостроительства — публикуй нетленные творения в Сети или открывай свою собственную Интернет-радиостанцию. Кстати говоря, потоковое вещание в сети не такое уж дорогое удовольствие, да и наполнение программ «чужим» авторским продуктом вполне по карману среднестатистическому жителю СНГ. Перспективы стать «самому себе звукорежиссером» с прицелом войти в лигу профессионалов весьма заманчивые.

Первым барьером на пути к цели становится компьютер. Овладели Windows, простили Била Гейтса, пошли дальше. Споткнулись об интерфейс своего первого звукового редактора, как правило, англоязычного Sonic Foundry Sound Forge. Призвали на помощь книги, «хэлп», друзей — справились с проблемой. Всевозможные подключаемые эффекты и более сложные многодорожечные программы пошли проще, благо терминология уже знакома. Все, точка, технология стала управляемой. Первая фонограмма записана. Вроде бы все сделали правильно, — а не звучит. Точнее звучит, но совершенно не так, как хотелось бы.

Переходим ко второй фазе. Эврика — виновата техника! Изменили все доступные параметры в Properties и Preferences, оптимизировали операционную систему. Уверенности в своих силах прибавилось — интерфейс-то теперь знаком до мельчайших нюансов; а результат — тот же. И снова книги, журналы, друзья, Интернет. Реклама недоговаривает, FAQ и форумы отрезвляют... Сравнили свои финансовые возможности с перспективой экономической

отдачи, теперь уже более скромной, и приобрели новый программно-аппаратный комплекс. Придирчиво исследовали качество работы инструментов, в большой номенклатуре представленных на рабочем столе нового звукового редактора; без сожаления удалили все, что звучит с технической точки зрения неудовлетворительно. Пришло время оценить содеянное. В сравнении со старыми фонограммами нынешние звучат много привлекательнее: меньше шумов, искажений, появился мелодизм... Но все равно продукт остается откровенно любительским и недостойным публикации.

Этап третий — творческий. Приходит понимание, что ни одна, пусть даже самая современная и совершенная, технология не будет рисовать сама по себе. Леонардо да Винчи писал: «...те, кто влюбляются в практику без науки, подобны кормчим, выходящим в плавание без руля или компаса, ибо они никогда не могут быть уверены, куда идут. Практика всегда должна быть построена на хорошей теории... и без нее ничто не может быть сделано хорошо в случаях живописи». Любой художник должен иметь определенный багаж теоретических знаний, практических секретов и навыков. Существуют законы линейной перспективы, изображения объема, пропорций, субъективного восприятия цвета, баланса света и тени и много-много других постулатов, которые нужно учитывать и уметь воплощать в полотне. Ведь не зря же людей в беретах, в перепачканной краской одежде и с палитрами в руках многие годы обучают писать натюрморты, пейзажи, портреты, опираясь на талант, но не останавливаясь на одном лишь природном даре. Может быть, стоит провести параллель между написанием картин и записью фонограмм? Какие закономерности лежат в основе процесса восприятия звукового потока, откуда они берутся, с чем связаны, как их реализовать в непростых условиях ежедневной практики? Вопросы заданы — ищем ответы.


Пути поиска информации те же. Большинство изданий, посвященных фундаментальным исследованиям звуковых полей и особенностям психоакустического восприятия звука, перенасыщены формулами и анализами результатов узкоспециальных экспериментов. Материалы такого рода достаточно интересны сами по себе, но, к сожалению, имеют ограниченное утилитарное применение. Кое-что полезное для практической работы удастся почерпнуть из русско- и иноязычных специализированных журналов и их сетевых копий, но цельная картина так и не складывается.

И вот невероятная удача — Вы покупаете эту книгу! (Прим. редакции: это первая, но далеко не последняя удачная шутка автора.) На ее страницах автор предпринял попытку в доступной форме изложить научные представления о возникновении, распространении и восприятии акустических полей; выявить наиболее важные характеристики звуковых волн, влияющие на их смысловую и эмоциональную оценку; поделиться секретами эффективных приемов записи и воспроизведения фонограмм; оценить достоинства и недостатки основных элементов технологии звукозаписи. Много внимания уделено описанию особенностей акустики музыкальных инструментов,

определяющих как их собственный характер, так и индивидуальность исполнения музыкальных произведений. Заключительные главы посвящены ответам на некоторые вопросы, касающиеся профессиональной деятельности звукорежиссера — обучению, правам, охране труда.

Делающий первые шаги найдет в этой книге оригинальное изложение теории и практики звукорежиссерского ремесла. Более опытные работники микрофона и микшера смогут, как минимум, упорядочить свои знания, задуматься над какими-то проблемами, а может быть, и решить некоторые из них на пару с автором или оппонируя ему.

Книга написана специально для звукорежиссеров и звукоинженеров, но может быть интересна и полезна читателям самой широкой аудитории, интересующимся вопросами качественного звуковоспроизведения. В надежде скрасить академическое изложение материала, автор позволил себе лирические, патетические и юмористические отступления от основных тем.



**Глава 1. Звук —  
от зарождения к восприятию**

— Я так и знал, что ты пописываешь, — сказал Никитич, — у тебя и взгляд такой... Ты все больше никуда не смотришь...

Он прочитал мои писания, подергал плечом, провел рукой по крутым седым завиткам, прошелся по чердаку.

— Надо думать, — произнес он вразяжку, замолкая после каждого слова, — что в тебе есть искра божия...

Мы вышли на улицу. Старик остановился, с силой постучал палкой о тротуар и уставился на меня.

— Чего тебе не хватает?.. Молодость не беда, с годами пройдет... Тебе не хватает чувства природы.

Он показал мне палкой на дерево с красноватым стволом и низкой кроной.

— Это что за дерево?

Я не знал.

— Что растет на этом кусте?

Я и этого не знал. Мы шли с ним сквериком Александровского проспекта. Старик тыкал палкой во все деревья, он схватывал меня за плечо, когда пролетала птица, и заставлял слушать отдельные голоса.

— Какая это птица поет?

Я ничего не мог ответить. Названия деревьев и птиц, деление их на роды, куда летят птицы, с какой стороны восходит солнце, когда бывает сильнее роса — все это было мне неизвестно.

— И ты осмеливаешься писать?.. Человек, не живущий в природе, как живет в ней камень или животное, не напишет во всю свою жизнь двух стоящих строк... Твои пейзажи похожи на описание декораций. Черт меня побери, — о чем думали четырнадцать лет твои родители?...

*Исаак Бабель. «Пробуждение»*

И мы с вами, уважаемые читатели, начнем рассмотрение нашей темы — звукозаписи — с основы основ — природы звука.

Несмотря на то что главы, посвященные теории звука, написаны в соответствии с модным ныне направлением — в эстетике клиповой нарезки, объемом информации, изложенный здесь, достаточен (и необходим) для понимания практической части книги.

## Откуда появляется звук?

Откуда появляется звук? Понятно, что из музыкальных инструментов, из динамиков и так далее. А все-таки, какова его изначальная природа? Попробуем разобраться.

Все сущее состоит из материи. Неотъемлемым атрибутом материи является движение. Отдельные тела совершают движения, обладающие той или иной степенью повторяемости. Движение с периодическим характером называется колебательным. В честь немецкого физика Генриха Герца частота периодического процесса, при котором за одну секунду происходит один цикл процесса, называется 1 Герц и обозначается 1 Гц. Если механическое тело находится в упругой среде, то его колебательные движения создают волны, распространяющиеся в этой среде. Когда частоты воздушных волн попадают в *диапазон* от 16 до 20 000 Гц, колебания воздуха воспринимаются барабанной перепонкой и возникает звук, который способен услышать человек.

Интересно, что определение *диапазон*, широко применяемое в качестве технического термина, имеет музыкальное происхождение. «Диапазон» происходит от греческого словосочетания *dia pason chordon* — через все струны.

## Понятие акустики

Звук, как явление природы, начали изучать очень давно. Так, во времена Древней Греции в IV в. до н. э., когда теория музыки только зарождалась, Арихит Тарентский выдвинул революционную идею о звуке как колебании воздуха. К сожалению, он полагал, что высота звука зависит от скорости распространения волны, а не от его частоты. Важную роль в зарождении акустики сыграли работы Аристотеля (IV в. до н. э.) и Пифагора (VI в. до н. э.). В буквальном переводе с греческого *akustikos* — означает «слуховой». Технологическая революция XX в. расширила это понятие на весь диапазон частот — от 0 до  $10^{12} \dots 10^{13}$  Гц. В этой книге нас интересует первоначальное значение слова акустика — учение о звуке как упругих колебаниях, слышимых человеческим ухом.

В настоящее время не существует единой теории, объясняющей все акустические процессы, происходящие в природе. Относительно независимо друг от друга развиваются ряд разделов акустики, среди которых: геометрический, нелинейный, статический, волновой, архитектурный, строительный, психофизиологический, музыкальный, электроакустический. Учитывая, что перед звукорежиссером-практиком не возникает необходимости решения всех научных противоречий, попытаемся извлечь из вышеперечисленных направлений некий достаточный минимум полезной информации.

В качестве основы для построения упрощенной акустической модели удобно выбрать геометрическую теорию, как наиболее простую и наглядную, которую, при необходимости, придется дополнять элементами из нелинейной теории.



## Геометрическая акустика

Геометрический раздел основан на следующем предположении: звук распространяется в виде звуковых лучей, представляющих собой линии, вдоль которых движется звуковая энергия. Уравнения геометрической акустики по своей форме близки к уравнениям геометрической оптики, хорошо знакомым читателям еще из курса школьной физики. Для звуковых лучей справедливы те же законы отражения и преломления, что и для световых волн. Формулы линейной геометрии являются приближенными и тем точнее отражают реальность, чем меньше длина исследуемой звуковой волны. Если считать, что размеры помещений или препятствий на пути звука сравнимы или много больше длины волны звука, то возникает необходимость в учете таких явлений, как дифракция волн, которые линейная теория уже не описывает. В таких случаях приходится усложнять задачу и учитывать нелинейные члены уравнений.

В соответствии с геометрической теорией, звук распространяется в виде волн, подразделяемых на несколько типов. Каждому типу свойственны особые условия возникновения и распространения. К простейшим типам можно отнести плоские и сферические волны. Реальный процесс состоит из суммы различных волн, но рассматривать удобнее каждое слагаемое в отдельности.

### Плоская волна

Плоскую волну могут создавать колебания плоской поверхности (рис. 1.1). Все лучи плоской волны перпендикулярны плоскости излучения и параллельны друг другу. При этом частицы среды распространения начинают

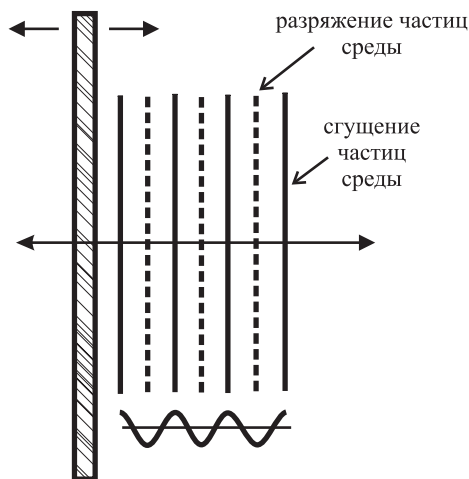


Рис. 1.1. Плоская волна

двигаться в одном направлении вдоль условного «коридора». Для идеальной плоской волны поперечное сечение «коридора» с расстоянием не изменяется. По этой причине энергия звука по мере движения уменьшается незначительно и только за счет молекулярных затуханий в вязкой среде. В природе абсолютно плоские волны встречаются крайне редко. Так, например, звуковую волну в трубе можно считать лишь приблизительно плоской, как и сферическую волну на большом расстоянии от источника.

## Сферическая волна

Сферическую волну можно описать как движение волн от пульсирующей сферы (рис. 1.2). Источник, возбуждающий сферическую волну, условно считается точечным. В данном случае звуковые лучи расходятся во все стороны в направлениях, параллельных радиусам. По этой причине у сферической волны энергия звука, приходящаяся на единицу площади, по мере удаления от источника уменьшается. Изменение интенсивности обратно пропорционально расстоянию, а убывание звукового давления обратно пропорционально квадрату расстояния от источника.

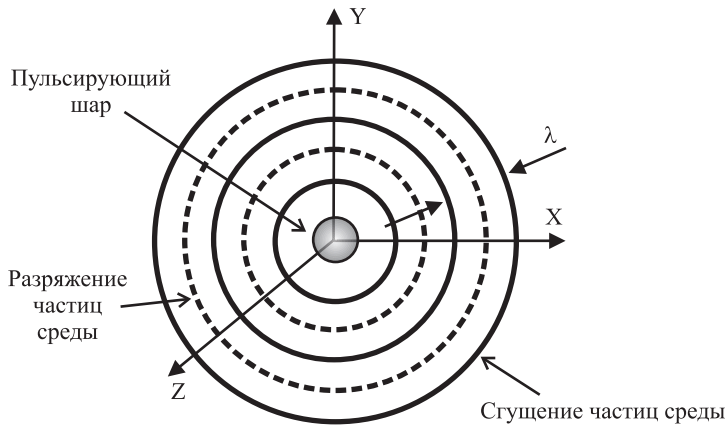


Рис. 1.2. Сферическая волна

## Волновые характеристики реальных излучателей звука

Реальные источники звука излучают волны разных типов. В так называемой «ближней зоне» звуковые волны не успевают перемешиваться между собой. Поэтому характер звучания в непосредственной близости, например, от музыкального инструмента в значительной мере зависит от выбора точки прослушивания. С ростом расстояния от источника звука данный эффект смягчается и сходит на нет.

На практике чаще всего встречается диаграмма направленности излучения источника звука, которая по своей форме близка к полусфере. Полезно помнить, что в этом случае уровень звукового давления уменьшается на 6 дБ с каждым удвоением расстояния от источника.

## Влияние среды распространения на характер волн

Характер распространения звуковых волн зависит также и от среды распространения. Такие экзотические задачи, как запись голосов дельфинов в воде, мы в этой книге рассматривать не будем. Остановимся на обычном воздухе.

Скорость распространения звуковых волн в атмосфере при обычных температуре и давлении близка к значению  $C_{зв} = 340$  м/с. На основе скорости звука  $C_{зв}$  и его частоты  $f$  можно определить длину волны  $\lambda$ , то есть расстояние в метрах или долях метра между соседними максимумами или минимумами амплитуды звука:

$$\lambda = \frac{C_{зв}}{f} = C_{зв} \times T, \quad (1.1)$$

где  $T$  — период волны.

На один абзац окунемся в другие среды. Скорость звука в воде в 4,5 раза выше, чем в воздухе. Еще быстрее звук движется по твердым телам. По стальным конструкциям звуковая волна распространяется в 60 раз быстрее, чем в воде. Это соответствует увеличению длины волны по сравнению с воздухом более чем в 270 раз.

Влияние среды распространения имеет различный характер для разных звуковых диапазонов. Так, звуки высоких частот поглощаются частицами среды гораздо сильнее, чем низкочастотные. Например, при нормальных давлении и температуре коэффициент поглощения на частоте 5 кГц в воздухе составляет около 3 дБ/км. Поскольку поглощение пропорционально квадрату частоты, коэффициент поглощения на частоте 20 кГц составит 48 дБ/км, или около 5 дБ на каждые 100 м пути.

## Фазовые характеристики волн

При описании сложных волновых процессов приходится учитывать различия временных характеристик соседних звуковых волн, для чего вводится понятие *фазы* волны. Рассмотрим практические примеры. Если две одинаковые волны распространяются абсолютно синхронно, считается, что они

«находятся в фазе». Если одна волна запаздывает относительно другой, точно такой же по форме, на полпериода, в этом случае говорят, что волны «находятся в противофазе». Когда противофазные волны сходятся в одной точке, чисто теоретически можно было бы ожидать их полного взаимного уничтожения. Увы, в акустике, в отличие от электроники, это бывает крайне редко; чаще противофазные волны при наложении друг на друга сильно искажают тембр звука. Аналогичный, но менее выраженный эффект наблюдается при суммировании двух сходных звуковых волн с разницей фаз, большей либо меньшей половины периода.

## Кое-что из теории нелинейной акустики

Как упоминалось выше, геометрическая теория не в состоянии описать звуковые поля в полной мере. В случаях, когда длины волн сравнимы по размерам с реальными объектами, необходимо применять законы нелинейной акустики.

Одним из основных нелинейных явлений является дифракция звука. Дифракция (от латинского *diffRACTUS* — разломанный) наблюдается при прохождении волн мимо края препятствия. Взаимодействие с препятствием вызывает отклонение волн от прямолинейного распространения. Из-за дифракции волны приобретают способность огибать препятствия, проникая в область геометрической тени. Этим явлением, например, объясняется возможность слышать голос человека, находящегося за углом дома. В некотором приближении явление дифракции объясняет принцип Гюйгенса-Френеля. Согласно этому принципу, каждую точку среды, которой достигла распространяющаяся волна, можно считать источником вторичных волн. Именно эти вторичные волны и могут проникать в зоны акустической тени, недоступные для первоначальных звуковых лучей. Наиболее отчетливо дифракция проявляется в тех случаях, когда размер огибаемых препятствий соизмерим с длиной волны.

## Отличительные характеристики звуковых волн

Звуки различаются между собой:

- по динамике или силе звучания;
- по тембру;
- по высоте;
- по длительности.

В следующих главах попробуем рассмотреть эти характеристики подробнее.