

Анатолий Ананьев

Господа водители! Вы хотите в машине только руль покрутить?

Или-таки ездить?

111 ОТВЕТОВ

на вопросы звукорежиссеру

Киев - 2014

версия: август 2014 г, исправленная и дополненная

ББК
УДК
А64

Посібник орієнтований на студентів та спеціалістів, що навчаються або підвищують свій фаховий рівень зі звукорежисури. Може бути корисний всім, хто бажає набути базових знань з акустики музичних та мовних сигналів.

Ананьев А.Б.

А64 111 ответов на вопросы звукорежиссеру. Учебное пособие. К.: 2014 . -

Пособие ориентировано на студентов и специалистов, которые обучаются или повышают свой профессиональный уровень в звукорежиссуре. Может быть полезно всем, кто желает приобрести базовые знания по акустике музыкальных и речевых сигналов.

ББК

© А.Б. Ананьев, 2014

111 ответов на вопросы звукорежиссеру

Краткое предисловие

Наступает момент, когда интриговать вопросами становится неприличным. Надо помогать отвечать.

Ответы написаны кратко, без подробностей, которые почти всегда нужны и важны - у студентов я бы подробности спросил.

Существуют понятия необходимости и достаточности. Без необходимого ответ вообще не может считаться ответом. При наличии достаточного ответ становится полным.

В приведенных ответах есть, на мой взгляд, часть необходимого, но нет достаточного. В этом смысле следует считать, что ответы лишь указывают направление хода мысли. Иногда они порождают новые вопросы и задачи.

В ряде случаев важна не только приведенная здесь часть ответа, поскольку вопрос является поводом продемонстрировать более общее знание терминов и понимание сути взаимоотношений между ними.

Единственное, чего не следует делать, это спрашивать у меня "зачем мне все это надо знать". Тем более не спрашивайте у себя. Не надо - и слава богу.

Однако думаю, что крепкому профессионалу - надо. В большей или меньшей степени, в зависимости от решаемых задач, но надо.

Ответы тоже не могут быть свободны от ошибок и недостатков. За все замечания и предложения я буду крайне признателен. Такие предложения могут быть переданы любым способом, при отсутствии личного контакта - через правление Союза звукорежиссеров Украины или кафедру звукорежиссуры Киевского национального университета культуры и искусств (КНУКиИ).

Тех, кто будет пользоваться этим трудом, прошу уважать мои авторские права. Разрешаю безвозмездно копировать книгу только для личного пользования, и только целиком, без изъятий. В случае цитирования отдельных фрагментов прошу указывать источник и автора.

1. Что такое волновое движение, возможно ли волновое движение в неупругой среде.

Звук, как физическое явление, это не упругие волны в среде, а волны в упругой среде.

Само по себе слово "волна" носит общежитийский характер. Волновое движение наблюдают в различных средах. Характерным для него, в отличие от движения изолированной материальной точки является наличие не одного, а двух видов скорости - скорость собственного перемещения каждой материальной точки в составе среды, и скорость распространения волнового "возмущения" от точки к точке.

Упругие же свойства среды (например воздуха, воды, бетона) создают предпосылки для распространения волновых колебаний в этой среде. Если параметры таких колебаний соответствуют слышимому звуку, то говорят о колебательной скорости частиц в среде, а также о скорости (распространения) звука.

2. Что такое фронт волны, где он располагается. Зачем нужно знать форму фронта волны.

В процессе распространение волны в пространстве можно усмотреть совокупность точек среды, которые, с одной стороны, принадлежат одной и той же логической (умозрительной) поверхности, а с другой стороны - колеблются в одной и той же фазе. Такую условную "поверхность" называют фронтом волны. В простейших случаях по типу фронтов различают плоские и сферические волны. Можно сказать, что фронт волны находится в любом месте звукового поля, где мы умеем отобразить совокупность синфазно колеблющихся элементов поля.

Фронт волны нужен для единственной цели. Он позволяет указать направление распространения волны в каждой точке этого фронта - оно перпендикулярно касательной, проведенной к фронту в этой точке.

3. Возможно ли создать оболочку, в принципе препятствующую распространению звука в воздухе за ее пределы так же, как она препятствует распространению запахов в воздухе за ее пределы.

Распространение запаха связано с перемещением молекул ароматического вещества и такому перемещению вполне можно поставить заслон. Но волновое движение затрагивает частицы любой среды, в том числе и той, из которой мы захотели бы построить оболочку - волна перейдет в нее.

Единственный способ остановить волновое движение, это создать вакуумный ограждающий слой вокруг изолируемого помещения. Практическая целесообразность такого решения вызывает сомнения.

4. Что такое энергия, зачем нужно знать величину энергии. Какими энергетическими параметрами характеризуют звуковое поле

Энергия, это число, вычисляемое различными способами для различных областей деятельности - механическая энергия, электрическая, тепловая, химическая, ядерная, акустическая ...

Главный смысл таких вычислений заключен в Законе сохранения энергии, который упрощенно гласит, что энергия не может возникнуть "из ниоткуда" и не может исчезнуть "в никуда" - все, что происходит в окружающем мире может быть представлено как преобразование энергии из одного вида в другой. Это позволяет контролировать баланс энергии в системах, совместно использующих компоненты разной природы.

В тех случаях, когда можно говорить о фронте распространяющейся волны, звуковое поле характеризуют интенсивностью (силой звука), в противном случае (как, например, в закрытых помещениях) - средней плотностью мощности.

5. Для каких сигналов имеет смысл понятие "длина волны". Какова связь между периодом и длиной волны сигнала при распространении его в звуковом поле.

Длина волны определена только для периодических сигналов. Если сигнал имеет период повторения во времени T , то длина волны равна c_0 / T , где c_0 - скорость звука. Таким образом, можно считать, что длина волны, это расстояние в пространстве звукового поля, занимаемое одним периодом распространяющегося сигнала.

6. По какому закону, в зависимости от расстояния, изменяются давление и сила звука в свободном поле точечного источника.

Точечный источник излучает ненаправленную сферическую волну. Мощность, излучаемая этим источником, равномерно распределяется по поверхности сферы, площадь которой прямо пропорциональна квадрату радиуса. Значит сила звука (мощность на единичной площадке) убывает обратно пропорциональна квадрату радиуса (расстояния от излучателя до точки поля).

В то же время сила звука пропорциональна квадрату давления в данной точке поля.. Значит давление в точках поля, вычисляемое через корень квадратный из силы звука в этих точках, убывает обратно пропорционально радиусу сферического фронта - расстоянию от источника звука до точки.

7. Между давлением P в точке поля и колебательной скоростью v частицы в этой точке существует связь вида $\frac{P}{v} = \rho_0 c_0$, где ρ_0 — плотность воздуха, а c_0 — скорость звука.

Сила звука в этой точке выражается формулой

$$I = p \cdot v = \frac{p^2}{\rho_0 c_0}$$

. Величину $Z_0 = \rho_0 c_0$ называют "удельным акустическим сопротивлением (в данном случае - воздуха)", иногда "волновым сопротивлением".

Почему ее называют именно сопротивлением.

Одна из причин состоит в осознании физических связей между параметрами поля. Верхнюю формулу можно переписать в виде $v = \frac{P}{\rho_0 c_0}$, из которого очевидно, что при заданном давлении, увеличивая Z_0 , можно снизить колебательную скорость частицы вплоть до полной остановки. Таким образом, величина Z_0 заслуживает названия "сопротивление".

8. Чем отличается уровень интенсивности от уровня громкости. Есть ли разница между понятиями "уровень громкости" и "громкость".

Уровень интенсивности, это просто интенсивность, выраженная в децибелах. Эта величина может быть формально вычислена с помощью таблицы логарифмов. А уровень громкости выражается в фонах и эти единицы могут быть получены лишь с помощью т.н. "кривых равной громкости", Понятие "громкость" отражает степень субъективного восприятия энергетического уровня звука, выражается в единицах, называемых "сон". Величина громкости в фонах может быть подсчитана на основании уровня громкости в фонах заданного звука.

9. Какая существует зависимость между уровнем интенсивности и уровнем звукового давления.

Эта зависимость - равенство. "Уровень интенсивности" и "уровень звукового давления" - одно и то же. Выбор термина диктуется только личными предпочтениями.

10. К каким тембровым деформациям приводит снижение уровня силы звука с 80 дБ до 50 дБ, а также повышение ее от 80 дБ до 110 дБ.

Здесь мы опираемся на материалы книги "Акустика для звукорежиссеров". Отклонение в уровне на ± 10 dB практически неощутимы в тембровом отношении. В то же время снижение его на 30 dB приводит к весьма существенной потере низких (и, отчасти, высоких) частот, а повышение на 30 dB - к чрезмерному выпячиванию низких (и, отчасти, высоких) частот.

11. Можно ли, отказавшись от шкалы "децибел", заменить при вычислении уровней интенсивности десятичные логарифмы \lg натуральными \ln .

Выбор основания логарифмов произволен. Десятичные логарифмы выбраны ради построения удобной шкалы единиц, которые называли децибелами.

12. Какая разница между дифракцией и рефракцией.

Оба явления представляют собой отклонения путей распространения звука в лучевом представлении. Но дифракция связана с поведением звуковой волны вблизи препятствий и может быть объяснена на основе принципа Гюйгенса-Френеля. А рефракция объясняется неоднородностью среды распространения, в которой скорость звука неодинакова в пределах звукового поля.

13. Как выглядит на оси времени гармоническое колебание, модулированное и по амплитуде, и по частоте одновременно.

Здесь нужно либо привести картинку такого сигнала, либо дать его словесное описание. Оба варианта не кажутся уместными в данном случае..

14. Почему частота дискретизации должна быть не менее чем в 2 (именно в 2) раза больше верхней частоты спектра сигнала.

Математический спектр Фурье простирается в диапазоне частот $[-F_B \dots +F_B]$, где F_B - верхняя частота "физического" энергетического спектра. Дискретизация такого сигнала порождает его клонирование (дублирование) на всей бесконечной оси частот на расстояниях, равных частоте дискретизации f_d . Для того, чтобы не произошло наложения (aliasing) спектральных копий, нужно выполнить условие $(f_d - F_B) > F_B$, то есть $f_d > 2F_B$.

15. Почему при уменьшении частоты дискретизации уже записанного сигнала (resampling) его еще и нужно перефильтровать?

Из ответа на предыдущий вопрос следовало условие корректной дискретизации сигнала: $f_d > 2F_v$. Уменьшение частоты дискретизации f_d для сохранения справедливости этого неравенства очевидно требует и соответствующего уменьшения верхней граничной частоты энергетического спектра сигнала F_v .

16. Может ли существовать линейный электроакустический преобразователь с "нелинейной" частотной характеристикой.

"Линейной" частотной характеристикой в обиходе называют плоскую или равномерную частотную характеристику, что встречается редко. Практически всегда частотная характеристика линейных электроакустических устройств - колонок, микрофонов - имеет не плоский (не "линейный") характер..

17. Может ли существовать нелинейный электроакустический преобразователь с "линейной" частотной характеристикой.

Для существенно нелинейного устройства понятие частотной характеристики вообще не имеет смысла.

18. В каких единицах измеряется громкость звука. В каких пределах изменяется эта величина.

Субъективная громкость звука выражается в сонах. 1 сон соответствует громкости звука с уровнем громкости 40 фон - это, как говорят, громкость шепота на расстоянии 1 метра. Существует формула для расчета громкости в сонах на основе уровня громкости в фонах. Громкость в сонах изменяется в пределах области слышимости человека от 1/16 сона (порог слышимости) до 256 сон (120 dB, чрезмерно громкий звук).

Прирост уровня звука на 10 dB от 60 до 70 приводит к добавке 4 сон. Такой же прирост в 10 dB от 90 до 100 приводит к добавке 32 сон, Таким образом, децибелы непригодны для указания реальной громкости звука.

19. Какие параметры вы выберете для сигнала, который должен оповещать людей о тревожной ситуации.

Спектр такого сигнала должен, очевидно, располагаться в области наибольшей чувствительности слуха с центром приблизительно 3,5 кГц. Сигнал должен быть достаточно широкополосным, изменяющимся во времени за счет частотной модуляции с частотой порядка 4 Гц. Девиация его должна увеличиваться по мере нарастания тревожности, и достигать интервала в музыкальную квинту в крайних ситуациях.

20. В чем разница между подходами Вебера-Фехнера и Стивенса к психофизиологии ощущений.

Вебер предположил, что прирост ощущения зависит не только от прироста физического фактора, вызывающего это ощущение, но и от исходного состояния этого физического фактора. А Стивенс, кроме того, предположил, что такой прирост ощущения зависит также и от исходного состояния самого ощущения. Оба подхода привели к различным математическим формулам, связывающим ощущение и порождающий его физический фактор.

21. Почему синусоидальные колебания являются базовыми объектами при звуковых исследованиях и измерениях.

Можно назвать три основные причины. 1 - спектральное представление любого реального сигнала по Фурье в виде суммы синусоидальных составляющих. 2 - т.н. "акустический закон Ома", в соответствии с которым синусоидальные колебания порождают наиболее простые слуховые ощущения. 3 - тот факт, что синусоидальные колебания - единственные, которые при передаче через любую линейную систему не изменяют свою форму.

22. Поясните различие между понятиями: "звук", "звуковое колебание", "звуковая волна", "звуковое поле", "звуковая энергия".

"Звук" - в зависимости от контекста, слуховое ощущение, либо волновой процесс, порождающий такое ощущение, если параметры этого процесса принадлежат диапазону слухового восприятия;

"Звуковое колебание" - сигнал как функция времени - либо это изменения которые протекают в некоторой точке звукового поля, либо в конкретном месте устройства записи\воспроизведения:

"Звуковая волна" - волновой процесс, образующий звуковое поле:

"Звуковое поле" - часть пространства, в котором происходит распространение звуковой волны;

"Звуковая энергия" - акустическая энергия, переносимая в пространстве при распространении звуковой волны.

23. В чем состоит суть спектральной теоремы Фурье. Что может означать слово "гармоника" в различных контекстах?

Теорема Фурье утверждает, что любой реальный сигнал может быть представлен в виде суммы синусоидальных колебаний, количество которых, их амплитуды и начальные фазы зависят от формы сигнала.

Слово "гармоника" в зависимости от контекста, это: либо общее название для колебаний синусоидального типа с произвольной начальной фазой, либо элемент разложения сигнала по Фурье, либо компонента спектра музыкального сигнала с обертоновой структурой.

24. Чем отличаются линейные искажения сигнала от нелинейных? Как измерять степень линейности/нелинейности электроакустической системы.

Линейными искажениями называют изменения в амплитудах и фазах спектральных гармоник сигнала, прошедшего через линейную систему с неравномерной (не "линейной") частотной характеристикой. Однако количество таких гармоник и их частоты не могут быть изменены.

Нелинейные искажения как раз подразумевают изменение и количества гармоник и их частот. Типичные нелинейные искажения в системе (тракте передачи сигнала) приводят к появлению новых "паразитных" гармоник, которые отсутствуют в исходном сигнале.

Измерения степени нелинейности системы состоят в оценке энергии паразитных гармоник при подаче на вход системы (тракта) тестовых синусоидальных сигналов.

25. Искажится ли форма произвольного колебания на выходе по сравнению с формой на входе для линейной электроакустической системы.

Если только амплитудно-частотная характеристика системы не является идеально плоской, а фазо-частотная идеально линейной, то изменится непременно.

26. Является ли эквалайзер линейной/нелинейной системой с линейной/нелинейной частотной характеристикой.

Эквалайзер это линейная система с "нелинейной" (в оговоренном ранее смысле) частотной характеристикой.

27. Является ли компрессор линейной/нелинейной системой с линейной/нелинейной частотной характеристикой.

Компрессор это система автоматической регулировки усиления. В момент срабатывания он нелинеен, но через очень короткое время компрессор устанавливает иной коэффициент передачи (усиления) сигнала и возвращается в линейный режим с новым коэффициентом передачи.

28. Какова "судьба" излучаемой звуковой энергии в свете закона сохранения энергии. Какие преобразования претерпевает электрическая энергия при подключении акустической системы.

Звуковая энергия может претерпевать несколько трансформаций, но рано или поздно превратится в тепловую энергию.

При подключении колонки к источнику сигнала электрическая энергия преобразуется в механическую энергию движущегося излучателя и затем в акустическую энергию волны в звуковом поле. На всех этапах работы колонки процессам трансформации сопутствуют потери части энергии, превращаемой в тепловую.

29. Чем отличаются интерференционные картины от разнесенной пары источников одного и того же сигнала в открытом пространстве и в закрытом помещении.

Слово "интерференция" подразумевает линейное сложение звуковых волн в пространстве. Для пары когерентных гармонических сигналов в свободном пространстве интерференционные картины показывают места усиления и ослабления итоговой волны.

В закрытом помещении увидеть классическую интерференционную картину не удастся, потому что в процессе участвует огромное количество волн, отраженных от ограждающих поверхностей. Слово интерференция здесь является синонимом понятия "линейное суммирование" этих волн.

30. Можно ли считать произвольную точку открытого пространства "вторичным" излучателем сферической или плоской волны.

Любую точку звукового поля в соответствии с принципом Гюйгенса можно считать вторичным источником сферической звуковой волны. Детальное следование этому принципу позволяет строить картины дальнейшего распространения волны, в том числе и дифракционные картины.

31. Как изменяется частота основного тона источника звука, движущегося мимо слушателя, в зависимости от расстояния до дороги, по которой движется источник.

Эффект Доплера проявляется в зависимости от скорости движущегося источника сигнала и удаления его от слушателя. Характер этой зависимости таков, что для сигналящего источника при удалении его трассы порядка 100 и больше метров от слушателя и скорости движения до 100 км/час скачок частоты тонального сигнала составляет примерно полутон, в то время как при прохождении вблизи слушателя при той же скорости скачок частоты соответствует примерно кварте - это является очень выразительным изменением.

32. Как зависит отражающая роль поверхностей, преграждающих путь звуковой волне, от частоты распространяющегося сигнала.

Отражающая роль поверхности зависит от ее так называемого "волнового размера". Линейному размеру L соответствует волновой размер L/λ , где λ - длина распространяющейся волны.

Поверхность большого волнового размера является значительным отражателем волны данной частоты. Поверхность малого волнового размера практически не повлияет на распространение волны вследствие явления дифракции.

33. Возможно ли, просуммировав несколько синусоидальных сигналов, получить единый модулированный по амплитуде синусоидальный сигнал.

Модулированный по амплитуде синусоидальный сигнал раскладывается именно в сумму синусоид. Еще более непосредственный ответ дает тригонометрическая формула $\sin(a) + \sin(b) = 2\sin\left[\frac{a+b}{2}\right] \cdot \cos\left[\frac{a-b}{2}\right]$, то есть сумма синусоид с различающимися частотами имеет вид синусоиды на полусуммарной частоте, модулированной по амплитуде косинусоидой полуразностной частоты.

34. Что нужно сделать при спектральном анализе сигнала, чтобы получить его спектрограмму.

Для формирования спектрограммы необходимо разбить звуковой сигнал на временные отрезки (кадры) равного размера. Кадры, как правило, перекрываются во времени. В каждом кадре следует выполнить процедуру анализа по Фурье. Размер кадров следует выбирать из компромиссных соображений - примерное постоянство тембра в пределах кадра и удовлетворительное разрешение спектра по частоте. Полученную покадровую последовательность спектров следует расположить на плоскости время*частота, отображая спектральные амплитуды цветом, зависящим от значений амплитуд.

35. При каких условиях слушатель может принять одиночный выстрел за два выстрела.

Присутствие эха, отстоящего во времени от выстрела примерно на 50 мсек создаст ощущение двух таких событий. Наличие реверберации в сцене не может потребовать несколько большего интервала времени между событиями.

36. При каких условиях слушатель может принять два выстрела за одиночный выстрел.

Если временной интервал между событиями составляет единицы миллисекунд, слух не различает эти события. При интервале порядка 10-15 мсек два выстрела тоже могут показаться одним протяжным звуком. Реверберационное окружение звуков влияет на величины пороговых интервалов, которые сами по себе являются лишь психофизиологическими ориентирами.

37. Почему для оценки характеристик сигнала, связанных с громкостью, выбрана логарифмическая шкала.

Закон Вебера-Фехнера установил логарифмическую зависимость между физическими воздействиями на органы чувств человека и ощущениями, которые возникают в ответ на эти воздействия. При этом параметры логарифмической связи могут быть выбраны произвольно для построения удобных "измерительных" шкал. Лишь сам логарифмический характер этой связи неизменен.

38. Чем объяснить тот факт, что восприятие мелодической высоты звука связано логарифмической зависимостью с его частотой, и в какой мере это является справедливым.

Закон Вебера-Фехнера признан универсальным и относится также и к восприятию мелодической высоты тона. Здесь, для прироста ощущения, например, октавного интервала необходимо изменить частоту тона на величину, зависящую от значения исходной частоты. С учетом роли октавы здесь более уместны не десятичные а двоичные логарифмы.

Как показали исследования, для частот выше примерно 700 Гц слуховое восприятие музыкальных интервалов начинает существенно отклоняться от предписанных математикой правил.

39. Какие условия нужно выполнить, чтобы в музыкальном глissандо слушатель ощутил интонационную высоту первого и последнего звуков.

Осознание свойств звука требует примерно 300 мсек. Следовательно глissандо должно быть исполнено с задержкой на первом и последнем звуке на время в несколько сот миллисекунд.

40. Что общего и какая разница между гармониками-обертонами музыкального звука и гармониками спектрального разложения сигнала.

Общее то, что такие гармоники образуют последовательности, частоты в которых составляют величины ряда арифметической прогрессии $f_k = k \cdot f_1$, где f_k -частота гармоники, k - ее номер, f_1 - частота первой "стартовой" гармоники.

Разница же состоит в том, что гармоники-обертоны органично присущи данному музыкальному звуку голоса или инструмента, исполняющего ноту с частотой f_1 , а гармоники спектрального разложения проявляются лишь в результате спектрального анализа и их стартовая частота зависит от длительности анализируемого звука: $f_1 = 1/T$, где T длительность звука.

41. Чем объяснить тот факт, что звуки, образующие интервал октавы, столь органично сливаются друг с другом.

Вторая гармоника (первый обертон) музыкального звука отстоит от первой гармоники (основного тона) точно на интервал октавы: $f_2=2*f_1$. Поэтому, в особенности для звуков с небогатым тембром, октавный тон сливается с первым обертоном более низкого звука. В этом, кстати, кроется опасность легко замечаемой фальши при неаккуратной игре в октаву.

42. В какой мере изменится громкость звукового сигнала, если интенсивность излучения увеличить на 25%.

Поскольку $\lg(1.25) = 0.097$, то прирост интенсивности на 25% дает прирост уровня интенсивности примерно на 1 дВ. Такой прирост не приводит к сколько-нибудь заметному изменению громкости сигнала.

43. Может ли быть ощутима на слух добавка к основному сигналу относительно слабой по мощности компоненты.

Добавка слабой по мощности компоненты не изменит ощущения громкости звука, но вполне может изменить тембровое ощущение, если спектр добавки находится в энергетически невыразительной области спектра основного сигнала. Здесь следует иметь в виду, что и такие добавки непрофессиональный слушатель склонен воспринимать как изменения в громкости. Слух звукорежиссера должен более тонко различать подобные изменения.

44. Где-то включили 2 источника звуков, каждый из которых создает уровень 70 дВ. Какой вопрос и почему нужно задать для того, чтобы правильно посчитать суммарный уровень звука.

В зависимости от того, являются ли источники когерентными или нет, в поле будут суммироваться либо интенсивности сигнала (некогерентные источники), либо давления (полностью когерентные источники). В первом случае суммарный уровень составит 73 дВ, во втором 76 дВ. Поэтому вопрос должен относиться к типу источников - когерентный или некогерентный сигнал они излучают.

45. Уровень интенсивности источника составлял 9 дВ. После вмешательства звукотехника этот уровень можно подсчитать по формуле $9 \text{ дВ} + 9 \text{ дВ}$. Что сделал звукотехник?

Суммирование децибел (логарифмических единиц) по определению всегда подразумевает перемножение факторов, породивших эти децибелы. Для осмысленных задач какой-то из членов этой суммы должен соответствовать безразмерному коэффициенту в произведении. Если исходный уровень составлял 9 дВ, то вторые 9 дВ соответствуют коэффициенту $10^{0.9} \approx 8$. Это значит, что, звукотехник увеличил излучаемую мощность в 8 раз

46. Сколько получится, если к уровню в 20 dB прибавить уровень 20 dB. Насколько громким будет звук с результирующим (суммарным) уровнем интенсивности.

Это провокационный вопрос в том смысле, что звукорежиссерский сленг склонен дать ответ 23 dB. Но очень важно различать ситуации, когда необходимо суммировать интенсивности, выраженные в Вт/м², и затем сумму переводить в децибелы, а когда речь идет о простом суммировании децибел.

В данном вопросе точное (без подтекстов) следование ему дает ответ 20 (чего угодно) + 20 (чего угодно) = 40 (чего угодно). Звук с уровнем 40 dB имеет громкость в 1 сон и примерно соответствует шепоту на расстоянии 1 м.

47. Что именно удваивается, если уровень звука одного источника увеличивается на 3 dB, 6 dB, 10 dB.

Удвоение интенсивности звука приводит к росту уровня на 3 dB, удвоение давления в точке поля приводит к росту уровня на 6 dB, удвоение громкости для сигнала в средней частотной области возникает при росте уровня на 10 dB,

48. В предыдущих вопросах сказано "уровень звука", а не "уровень силы звука" или "уровень звукового давления". К чему именно относится выражение "уровень звука" в этих вопросах - к интенсивности или давлению.

Формула $10\lg I = 10\lg(P^2) = 20\lg P$ снимает подобные вопросы. Уровень звукового давления, это, по сути, "уровень силы звука (интенсивности) в децибелах, вычисленный через величину давления". Предпочтение давлению оказано потому, что наиболее популярный измерительный прибор в аудиотехнике, это измерительный микрофон, напряжение на выходе которого отображает давление на его мембране.

49. Можно ли выбрать в качестве порога при вычислении децибел величину интенсивности звука, соответствующую уровню, например, в 80 дБ.

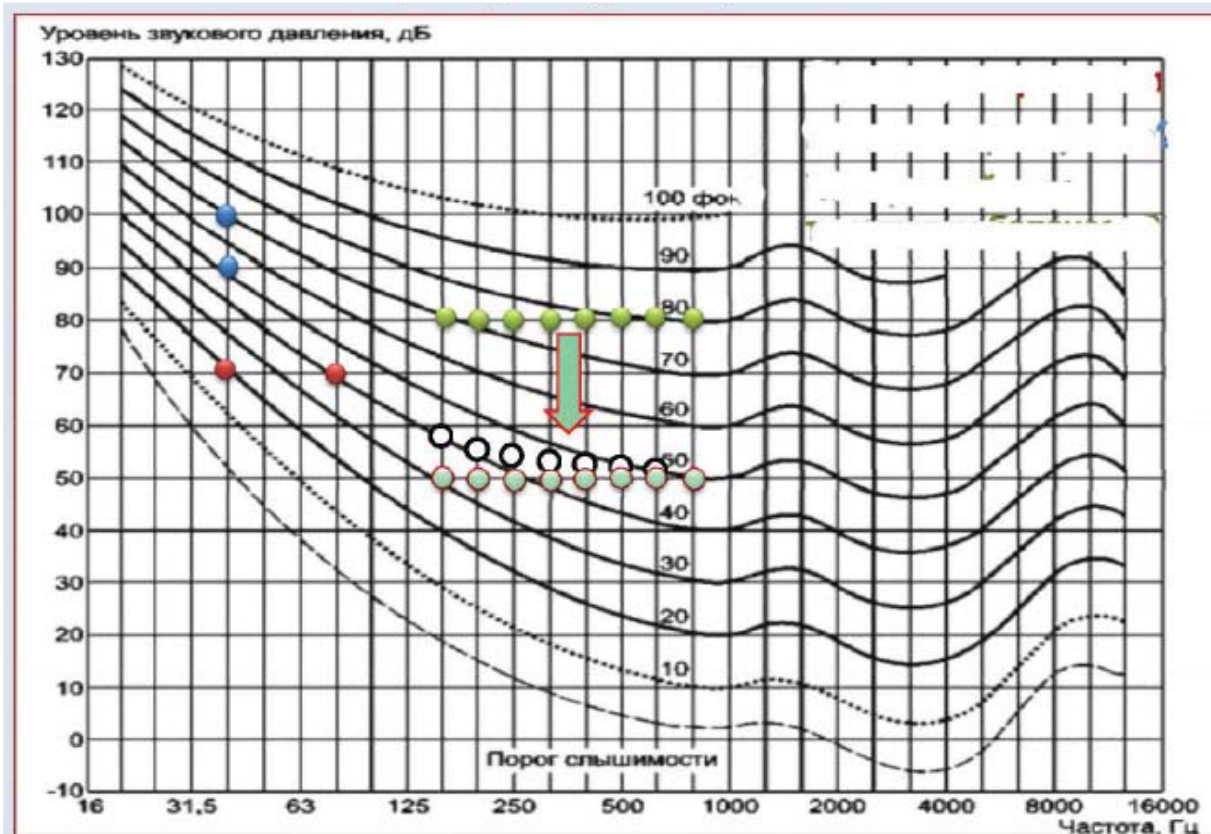
В качестве порога при вычислении децибел может быть выбрана любая величина интенсивности, однако это следует отразить в названии единицы. Так при выборе порога вычислений равного порогу слышимости децибелы обозначают dB SPL (Sound Pressure Level). Поскольку на входе микрофона давление практически всегда существенно превышает уровни 30..40 dB SPL, характеристики микрофонов часто приводят в терминах dB Pa, для которых порогом является уровень, соответствующий 1 Паскалю, а это 94 dB SPL. То есть $0 \text{ dB Pa} = 94 \text{ dB SPL}$.

50. Даны два синусоидальных сигнала, отмеченные красной меткой на рисунке ниже. Что нужно сделать, чтобы уравнять их по громкости.

Сигналы соответствуют кривым равной громкости с уровнями громкости 20 фон и 40 фон. Можно поднять уровень интенсивности более низкочастотного сигнала на 15 дВ, тогда оба сигнала станут равногромкими с уровнем громкости 40 фон.

51. Даны два синусоидальных сигнала, отмеченные синей меткой на том же рисунке. Разница между их уровнями звукового давления составляет 10 дВ. Во сколько раз один из них громче другого.

Разница между уровнями интенсивности сигналов составляет 10 дВ, но разница между уровнями их громкости при этом равна 20 фон. Это значит, что один из сигналов громче другого в 4 раза.



52. Дана группа синусоидальных сигналов, отмеченных зелеными метками на упомянутом ранее рисунке. Уровень силы звука общего сигнала снижен так, что каждая составляющая утрачивает 30 дВ. Что происходит с тембром составного сигнала (менее яркие зеленые метки).

Разница в уровнях громкости крайних элементов ярко-зеленой группы составляет 10 фон. После снижения энергетического уровня сигналов такая разница составит уже 20 фон. Следовательно, тембровый баланс в группе будет нарушен - наиболее низкочастотный сигнал группы будет звучать в два раза тише, чем в исходном состоянии.

53. Применительно к предыдущему вопросу - что характеризуют метки с белым заполнением, относящиеся к тем же синусоидальным составляющим.

Вновь ориентируясь на крайний левый элемент, видим, что для белых меток разница в уровнях громкости всех элементов в точности соответствует исходной, но в этом случае снижение уровня интенсивности для крайнего низкочастотного элемента должно составить не 30 а 20 dB. При этом условии тембровый баланс в группе будет сохранен.

54. Если уровень интенсивности шума составляет 40 дБ, а при включении сигнала суммарный уровень звукового давления повышается до 75 дБ, то какова величина уровня силы звука, создаваемого чистым сигналом.

Известно, что, если разница между уровнями интенсивностей совместно работающих источников звука составляет 20 и более dB, то менее мощный источник практически ничего не добавляет в суммарный уровень интенсивности. То есть, пользуясь сленговым выражением, "75 dB + 40 dB = 75 dB", а значит чистый сигнал имеет уровень 75 dB.

55. Чем различаются 80 фон и 80 dB.

Для гармонического сигнала частотой 1000 Гц эти две величины совпадают. Но, в принципе, 80 dB это результат измерений или вычислений физического энергетического уровня сигнала, в то время как 80 фон это "маркер уровня" тонального сигнала заданной произвольной частоты, равного по громкости тону частотой 1000 Гц с уровнем 80 dB.

56. Вычислите количественную разницу между уровнем в виде dB SPL и dB PA для одной и той же точки звукового поля.

Для dB SPL в качестве порогового давления принята величина $2 \cdot 10^{-5}$ паскаля, а для dB PA 1 паскаль. Соотношение этих величин составляет $10^5/2$, что переведенное в децибелы (напомним, речь идет о давлениях) дает значение $20 \lg(10^5) - 20 \lg(2) = 100 - 6 = 94$ dB. Таким образом, 0 dB SPL = -94 dB PA, 0 dB PA = 94 dB SPL, 60 dB SPL = -30 dB PA.

57. Почему частотные характеристики корректирующих фильтров в измерителях звуковых уровней (SLM - Sound Level Meter, называемых еще шумомерами) являются "выпуклыми вверх" во всей области слышимости человека.

Шумомеры появились как средства охраны труда, и должны показывать реальные энергетические уровни шума, травмирующие слуховую систему человека. Поэтому предварительные фильтры этих устройств формируют измеряемый сигнал в соответствии с частотной характеристикой слуха человека, которая является зеркальным отражением кривых равной громкости относительно горизонтальной оси.

58. Что показывает измеритель звукового уровня (SLM) при включенных упомянутых корректирующих фильтрах и при отключенных (режим Flat там, где он имеется).

Поскольку кривые равной громкости не параллельны между собой, в шумомерах существует несколько переключаемых фильтров, рассчитанных как на слабые (типа "А" - 30 ..50 dB), так и на более сильные (типа "В" - 60 .. 80 dB, и типа "С" - 90 ..110 dB) сигналы. Формы АЧХ фильтров типа "В" и "С" близки между собой, поэтому чаще в приборах присутствуют только фильтры типов "А" и "С".

При наличии режима "Flat" шумомер регистрирует физический уровень сигнала, не вполне доступный слуху человека.

59. Для расчета общего уровня шума от нескольких вентиляторов в литературе рекомендована формула:

Звуковое давление нескольких источников суммируется по формуле (3).

 можно считать, что формула (3) выполняется с достаточной точностью.

$$N = 20 \lg \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{p_0} \text{ db, (3)}$$

Объяснить, в каких случаях можно считать, что формула (3) верна для нескольких источников сигналов.

Формула (3) фактически суммирует интенсивности шумов создаваемых источниками,. Это означает, что источники некогерентны, и соответствует представлениям о характере шумов независимых вентиляторов. При равенстве мощностей вентиляторов, в количестве m штук, итоговый уровень звука в децибелах составит $N = 20 \lg (p/p_0) + 10 \lg(m)$.

Таким же образом может быть подсчитан общий уровень внутреннего шума на суммирующем выходе многоканального микшерного пульта.

60. Каков цифровой динамический диапазон сигнала при 8-битовом квантовании, при 16 битовом, при 24 битовом (можно вычислять приблизительно).

Самый простой способ подсчитать динамический диапазон учитывает три факта: 1- квантованию подвергается сигнал в виде электрического напряжения, которое отображает изменяющееся давление на входе микрофона; 2 - изменению напряжения (давления) в два раза соответствует изменение уровня этой величины на 6 dB; 3 - каждый дополнительный бит в двоичном представлении числа увеличивает уровень квантования вдвое.

Таким образом, динамический диапазон сигнала при 8-битовом квантовании составляет 48 dB, при 16 битовом 96 dB, при 24 битовом 144 dB.

61. Сколько необходимо взять независимых одинаковых генераторов шума, чтобы громкость, создаваемую одним из них, увеличить в четыре раза.

Для увеличения громкости в 4 раза необходимо увеличить уровень звука (с некоторыми условностями) на 20 dB. Следовательно излучаемая мощность должна быть увеличена в 10^2 раз, для чего потребуется 100 некогерентно излучающих генераторов.

62. Возможно ли на слух отличить биения от глубокой амплитудной модуляции.

Биения, по сути, и представляют собой глубоко амплитудно модулированное колебание.

63. Возможно ли на слух отличить биения от глубокой частотной модуляции.

Тембр сигнала с глубокой частотной модуляцией воспринимается как более насыщенный, "плотный" по сравнению с тембром биений, при этом он, в отличие от последнего, не содержит пульсаций громкости.

64. Какое свойство слуха определяет качество восприятия средних звуковых частот в наушниках, которые слабо (с малым коэффициентом передачи) воспроизводят относительно низкие частоты.

В таких наушниках слабо выраженные низкие частоты в меньшей степени маскируют вышележащую так называемую "низкую середину" частотного диапазона. Таким образом средние частоты (мелодико-аккордовая линия, которая сама по себе не маскирует басовую партию) более отчетливо воспринимается в процессе сведения музыкального материала.

65. Что мы услышим, если воспроизведем:

- 2 щелчка с интервалом между ними 6 мсек;
- 7 щелчков с интервалом между соседними 6 мсек;
- 50 щелчков с интервалом между соседними 6 мсек.

2 щелчка с интервалом 6 мсек слух воспримет один щелчок; при 7 щелчках на общем интервале 36 мсек слух воспримет короткое невнятное подобие хрипа; при 50 щелчках общей длительностью 254 мсек слух распознает интонированный звук со сложным тембром на основной частоте ~ 167 Гц..

66. Какими средствами и в каких пределах можно управлять кажущимся местоположением источника звука при формировании стереофонического звукового трека.

Угловую развертку в стереопанораме можно формировать за счет соотношения уровней соответствующего сигнала в левом и правом канале. В пределах примерно 80% стереобазы (в средней ее части) разница уровней порядка 2 dB создает впечатление смещения источника на 10% в сторону большего уровня. Смещение источника в глубину в закрытом помещении достигается не столько за счет снижения уровня звука, сколько за счет увеличения реверберационной составляющей сигнала. На открытом пространстве сдвиг в глубину можно регулировать более существенным уменьшением уровня и (при больших удалениях) снижением уровня высокочастотных составляющих сигнала. При малых удалениях можно идти на незначительную добавку реверберации, что искажает физическую суть картины, но может улучшить слуховое впечатление.

67. Какие факторы влияют на тембровый (частотный) баланс в сводимой звукорежиссером звуковой картине, содержащей большое количество независимых источников звука.

Значительную роль в таком балансе играет пространственная картина звука. Разделение источников по пространственному признаку повышает степень их независимости даже при сходстве тембровых характеристик. Однако при близости пространственного положения источников решающую роль играет свойство маскировки, которое, в общем, состоит в том, что каждый из сигналов практически не маскирует более низкочастотные элементы картины и существенно маскирует близкие по частоте более высокочастотные.

Это, в частности, подчеркивает роль в музыкальном материале басовых партий, являющихся "базой", над которой строится вся остальная гармоническая структура.

68. Какими должны быть временные интервалы между звуковыми событиями для решения различных смысловых задач, например - различение нескольких ударов, осознание их количества и т.д.

Для различения, то есть фиксации нескольких ударов без определения их количества, в зависимости, разумеется, от их характера и звукового окружения (шумы, реверберация), удары должны быть разделены интервалом в несколько десятков миллисекунд. Процесс осознания, как таковой, требует нескольких сотен миллисекунд при условии, что удары вообще можно подсчитать (то есть их должно быть не очень много). Осмысливание же обстоятельств, связанных с ударами, например, их происхождение, требует единиц секунд, порядка 2 ..3.

69. Каковы должны быть длительности исполняемых нот, чтобы можно было судить о правильности интонирования мелодии.

Как уже было отмечено в предыдущем ответе, процесс осознания физических свойств слышимого звука требует нескольких сотен миллисекунд. В качестве ориентира можно указать величину 300 мсек.

70. Можно ли шумовым (случайным) процессом исполнить записанную нотами кантиленную (напевную) мелодию.

Узкополосные строго шумовые процессы с достаточно высокой степенью интонационной сосредоточенности (pitch strength) и правильно настроенной шкалой центральных частот, как и любые интонированные звуки, могут быть использованы для исполнения мелодии.

71. На каком расстоянии от источника звука начинается "дальнее поле" для одноухого инвалида.

В этом случае дальнее поле начинается в непосредственной близости от источника (на нулевом удалении).

72. На каком удалении начинается дальнее поле у мониторов ближнего поля.

Мониторы ближнего поля имеют небольшой размер и, как показывают расчеты, дальним полем для для них можно считать удаление на несколько десятков сантиметров. Расположившись на естественном рабочем расстоянии от мониторов порядка 1 метра, звукорежиссер обеспечивает себе "дальнее поле" излучателя.

73. Где должен находиться звукорежиссер при сведении - в ближнем или дальнем поле мониторов ближнего поля.

Звукорежиссер должен находиться в дальнем поле излучателя, с которым выполняет работу, и, как следует из предыдущего ответа, это условие выполняется естественным образом при небольших размерах излучателя.

74. Можно ли сводить звук, пользуясь мониторами дальнего поля.

Формальных запретов для такого способа работы нет. Но, поскольку и в этом случае следует находиться в дальнем поле излучателя, то для таких мониторов (достаточно крупного размера) нужно находиться на существенном удалении от них. При этом возникнут неформальные препятствия - высокий уровень окружающего шума, некомфортный уровень громкости при сведении и прочее.

75. На каком расстоянии от источника звука нужно измерять его характеристику направленности.

Характеристику направленности следует измерять на таком удалении от источника, чтобы дифракция излучаемой волны на самом излучателе, зависящая от его формы и волнового размера) не влияла на результат измерений, который должен иметь устойчивый характер.

Измерение нужно проводить в т.н. "свободном поле" - без отражающего окружения. Наилучшие условия может обеспечить заглушенная акустическая камера. В этих условиях рекомендуется расположить измерительный микрофон на расстоянии, по крайней мере в 2 .. 4 раза превышающем наибольший размер излучателя.

76. Можно ли, не проводя измерений, указать в пространстве точки, в которых громкость звука, создаваемого одиночным излучателем, будет одинаковой.

Можно, если знать характеристику направленности источника. На достаточном удалении от источника (в "дальнем свободном поле") в точках пространства, находящихся на условно изображенной в этом пространстве характеристике направленности, давление будет одним и тем же, а значит и громкость будет одинакова. В условиях закрытого помещения такое утверждение относится только к "прямому" звуку, непосредственно излучаемому источником.

77. В чем состоит основное различие между прослушиванием звуковой программы с помощью наушников и с помощью акустической системы.

Основное различие состоит в формировании пространственной картины звукового сюжета. Наушники формируют угловую развертку в полупространстве (не считая возможностей т.н. холофонии), в то время как акустическая система сужает развертку до угла в пределах стереобазы колонок, причем такой угол уменьшается при удалении слушателя.

Глубина виртуального пространства при акустической системе также претерпевает изменения, поскольку к реверберации, сформированной звукорежиссером для создания картины, подмешиваются акустические особенности помещения.

78. Где должна располагаться микшерная консоль концертного звукорежиссера в помещении.

Концертный звукорежиссер со своим пультом должен располагаться на удалении от источников своих сигналов, существенно превышающем радиус гулкости помещения. Образно говоря, он должен слушать зал, а не исполнителей.

79. Где следует располагать экспертную комиссию при проведении музыкальных конкурсов в помещении.

Экспертная комиссия должна располагаться от источников звука на удалении, не превышающем радиуса гулкости помещения. Она должна слушать исполнителей, а не акустику зала.

80. Что нужно знать о частотной характеристике электроакустического преобразователя (например, микрофона или наушников) кроме чисел - границ полосы его пропускания: указанных в документации, например, в виде - "частотный диапазон - 80 Гц..16 кГц".

Приведенные в таком виде данные никак вообще не характеризуют полосу пропускания устройства. Например на частоте 80 Гц спад частотной характеристики может составлять -3 dB, может -6 dB, а может и -12, и -18 dB ... Этот спад может быть отсчитан от максимума частотной характеристики, а может от ее среднего уровня. Различные фирмы из конъюнктурных соображений устанавливают у себя разные корпоративные правила формирования документации на устройства. Кроме того, график частотной характеристики может иметь существенную неравномерность с выразительными подъемами или впадинами.

О частотной характеристике электроакустического преобразователя, применяемого в профессиональной практике, нужно знать полный график этой частотной характеристики.

81. Какими свойствами должен обладать диффузор акустической системы, чтобы эффективно излучать и низкие и высокие частоты.

Диффузор электродинамической акустической системы не может одновременно эффективно излучать как низкие так и высокие частоты. Такое излучение предъявляет к диффузору взаимно противоречивые требования. Для эффективного излучения низких частот высокое значение активной компоненты сопротивления излучения требует большого радиуса излучающей поверхности. Но увеличение радиуса влечет за собой увеличение массы диффузора, что препятствует эффективному излучению высоких частот.

82. Какие величины связывает между собой уравнение энергетического баланса в помещении.

Это дифференциальное уравнение в соответствии с законом сохранения энергии связывает изменения: излучаемой в помещение энергии, сосредоточенной в помещении энергии, и части энергии, поглощаемой ограждающими поверхностями.

83. Какие существуют формулы для расчета времени реверберации и в чем между ними разница.

Наиболее известны формулы Сэбина, Эйринга и Миллингтона. Формула Сэбина предполагает непрерывный процесс поглощения энергии поверхностями. Формула Эйринга получена для модели с учетом наличия дискретных актов поглощения\отражения. Формула Миллингтона учитывает также различия в поглощающей способности отдельных поверхностей.

84. Разумно ли выбран спад в 60 dB для расчета стандартной реверберации.

Учитывая, что минимальный уровень природного шума в помещении может составлять приблизительно 30 dB, стартовый уровень, с которого следует регистрировать начало реверберационного процесса равен величине порядка 90 dB. Таким образом, процесс в целом охватывает диапазон от весьма громкого состояния до весьма тихого, что можно считать разумным решением.

85. Можно ли оценить время стандартной реверберации, если вам известно лишь время спада энергии в помещении на 40 dB.

Большая часть реверберационного процесса в логарифмическом (децибельном) изображении имеет вид, близкий к прямой линии. Эта прямая может быть искусственно продолжена еще на 20 dB для оценки времени стандартной реверберации.

86. Какую роль играют отражатели над сценой и по ее бокам в концертных залах при формировании диффузного поля в помещении.

Все перечисленные элементы играют негативную роль в формировании диффузной компоненты поля, они препятствуют выполнению обоих условий диффузности. Однако формирование потока "прямого" звука от источников имеет самостоятельную ценность для слухового восприятия, поэтому залы с такими дополнительными элементами всегда выполняют с большим количеством акустических усовершенствований, предназначенных для создания качественного реверберационного сопровождения.

87. Является ли оптимальное время реверберации временем стандартной реверберации.

Да, его полное название - оптимальное время стандартной реверберации.

88. Что такое эквивалентная (эффективная) реверберация, какова ее роль в акустических свойствах помещения.

Эквивалентная или эффективная реверберация - субъективно ощущаемая реверберация, свойства которой зависят не только от акустических характеристик помещения, но и от доли "прямого" излучаемого звука в данной точке звукового поля. Эта доля учитывается величиной т.н. "акустического отношения".

89. Является ли время эквивалентной (эффективной) реверберации временем стандартной реверберации.

Нет, не является. Время эквивалентной реверберации характеризует субъективное ощущение, зависящее от конкретного расположения источника звука и слушателя, в то время как время стандартной реверберации является характеристикой исключительно помещения.

90. Почему "первыми отражениями" считают отзвуки, приходящие на интервале до 30..35 мс вслед за прямым сигналом. Какова роль первых отражений.

На этом интервале времени слух фиксирует наличие различных звуковых событий, но не в состоянии разделить их между собой. Поэтому он воспринимает ранние отражения как несколько более протяженный исходный звук от источника, энергия (а значит и громкость) которого увеличена за счет добавок отраженных сигналов. Таким образом, первые отражения усиливают прямой сигнал.

91. В чем состоит различие между терминами: "реверберация", "стандартная реверберация", "оптимальная реверберация", "эквивалентная реверберация".

Реверберация - процесс затухания энергии в помещении после отключения источника звука.

Стандартная реверберация - процесс спада энергии в помещении на стандартизованную величину 60 dB.

Оптимальная реверберация - имеется в виду рекомендованное время стандартной реверберации для данного вида целевого помещения.

Эквивалентная реверберация - понятие, которое указывает на наличие связи между субъективным восприятием времени реверберации в помещении и долей энергии прямого звука от источника в воздействующей звуковой смеси.

92. Какими свойствами должен обладать синтезированный звук стука каблуков проходящего мимо и затем удаляющегося человека в гулком коридоре для того, чтобы этот звук выглядел реалистичным.

Поскольку коридор гулкий, то, видимо, отражающая способность его стен велика. Значит громкость стука каблуков будет изменяться по мере прохождения, но значительно меньше, чем это было бы в открытом пространстве. Однако весьма значительно будет изменяться эквивалентная реверберация при приближении и затем удалении шагов, потому что доля прямого звука будет существенно расти вблизи слушателя, и это приведет к практически "сухому" звуку рядом со слушателем в отличие от весьма реверберированного стука на удалениях от него.

93. В каком случае замена реальных поглощающих свойств помещения средним коэффициентом звукопоглощения при расчете времени стандартной реверберации приведет к некорректному результату.

В случае, если поглощающие свойства поверхностей в помещении сильно различаются между собой, такая замена будет некорректной, поскольку будет нарушено условие диффузности звукового поля, что является условием верности расчетных формул.

94. Как именно будет записан звук, если в гулком помещении кинооператор осуществит крупный план говорящего актера "наездом" с помощью зум-объектива, а звукооператор при этом будет записывать звук рядом с кинокамерой.

По мере наезда крупный план имитирует приближение к актеру, при этом доля прямого звука от него должна расти и запись должна учитывать это в соответствии с изменяющейся величиной акустического отношения. Однако рядом с кинокамерой величина акустического отношения будет сохраняться постоянной.

95. Как именно будет записан звук в этой же ситуации, если звукооператор будет осуществлять "чистовую" запись голоса с петличного микрофона, закрепленного на актере.

В этом примере, наоборот, прямой звук будет постоянно доминировать, в то время, как акустическое отношение должно изменяться во времени, сопровождая изменение картины в кадре.

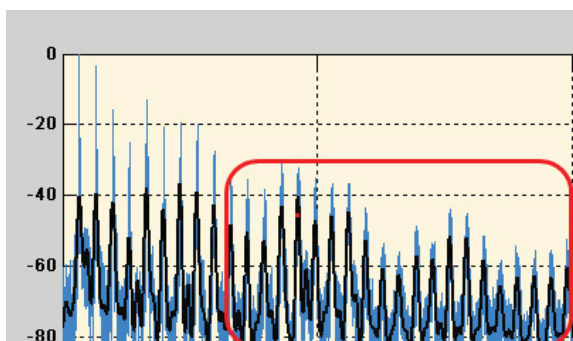
96. Можно ли представить себе реальную ситуацию, в которой отзвук сформирован только "ранними" отражениями без диффузной компоненты поля.

Да, при наличии ряда ограждающих разрозненных отражателей достаточно большого волнового размера вполне может сложиться картина, содержащая большое количество ранних отзвуков без диффузного поля.

97. Можно ли представить себе реальную ситуацию, в которой отзвук сформирован только диффузной компонентой поля без "ранних" отражений.

Нет, формирование диффузного поля происходит с участием поверхностей ограждающих помещение, а они непременно создадут и "ранние" отраженные сигналы.

98. Каков вклад отмеченной высокочастотной части спектра сигнала в его общую громкость?



Отметим, что ширина отмеченной полосы примерно в два раза больше ширины низкочастотной части. Для приближенной оценки возьмем среднюю высоту обертонов в отмеченной части и, сузив полосу вдвое, увеличим эту среднюю высоту на 6 dB. Можно согласиться, что результатом окажется не более -38..-40 dBFS. Средний же уровень обертонов в низкочастотной части можно оценить примерно в -15 dBFS. Не учитывая сложные взаимные акустические влияния компонентов спектра, можно, тем не менее, утверждать, что при такой разнице (> 20 dB) высокочастотные компоненты спектра этого сигнала не внесут никакого вклада в его общую громкость (см. также вопросы 43 и 54).

99. Какова роль верхней певческой форманты для качества голоса певца.

Помимо специфического тембрового оттенка, верхняя певческая форманта, располагаясь в области максимальной чувствительности слуха человека, вместе с хорошо поставленным вибрато придает голосу певца свойство, которое вокалисты называют "полетностью" - это следствие именно специфической тембровой пронзительности и повышенной чувствительности слуха к ней.

100. Как измеряют разрешающую способность слуха по частоте и чему она равна.

Разрешающую способность по частоте невозможно измерить, предложив слуху два тональных сигнала близких частот - в этом случае возникает явление биений, которое представляет собой самостоятельный феномен.

В качестве выхода из положения предложено оценивать разрешающую способность по минимально заметному размаху частоты при частотной модуляции тонального сигнала. Примерно до 500 Гц (заметим: 523 Гц = нота до 2 октавы) этот размах составляет величину порядка 3,5 Гц, а далее, с ростом частоты - порядка 0,7% от величины частоты или (в терминах музыкальных интервалов) примерно 10 центов (в степенях двойки $\sim 1/16$ тона).

101. Что такое критические полосы слуха и какую роль они играют в восприятии звуков.

Критические полосы (иногда называемые частотными группами) это "плавающие" интервалы на оси частот, у которых определена лишь ширина интервала. Эта ширина в области ниже 500 Гц составляет примерно 100 Гц, а выше этой частоты - порядка 20% от точки на оси частот. Считается, что слух аккумулирует энергию гармонических компонент сигнала в пределах этих полос, формируя целостное ощущение громкости от каждого такого участка.

102. Почему возникла необходимость в единицах dBFS и когда они употребляются.

Для оцифрованных сигналов, упакованных в N битовых разрядов, наибольшим возможно представимым числом является $(2^N - 1)$. Эта фиксированная величина выбрана в качестве пороговой при вычислении децибелных уровней для сигналов в дискретном представлении. Децибелы, отсчитываемые от такого порога, обозначают dBFS (Full Scale), они всегда отрицательны, либо равны нулю, если значение сигнала составляет величину $(2^N - 1)$.

103. Что такое элайзинг (aliasing), оверсемплинг (oversampling), дитзеринг (dithering).

элайзинг (aliasing) - наложение спектральных копий дискретизованного сигнала вследствие неверно выбранной частоты дискретизации;

оверсемплинг (oversampling) - дискретизация с завышенной частотой, в несколько раз превышающей т.н. частоту Найквиста. Позволяет, в частности, последующее каскадное снижение частоты дискретизации с перефильтрацией относительно более простыми фильтрами;

дитзеринг (dithering) - подмешивание к сигналу небольшого количества шума для уменьшения эффекта резких переходов в цифровых представлениях сигналов.

104. Какие проблемы решает равномерно темперированная музыкальная шкала.

Равномерная темперация, развивая более ранние исторические темперации, устанавливает принцип энгармонизма, и тем самым значительно расширяет возможности модуляции в иные тональности при исполнении музыкальных произведений.

105. В каких частотных пределах возможно точное мелодическое интонирование интервалов, построенных на математической основе.

Считают, что точное соответствие музыкальных интервалов математически установленным соотношениям соблюдается до 500 Гц. Для более высоких частот связь между математически вычисленными и фактически ощущаемыми интервалами становится все более нелинейной и оценивается с помощью единиц высоты тона, называемых "мел".

106. Каковы интервальные соотношения между низшими обертонами музыкального звука.

Интервалы между младшими шестью обертонами музыкального звука в порядке следования таковы: октава, квинта, кварта, большая терция, малая терция.

107. Как связано тембровое восприятие музыкального звука с положением его обертонов относительно верхней певческой форманты.

Верхняя певческая форманта (ВПФ) располагается в области от 2 до 4 кГц. Основной тон баритона в средней тесситуре составляет примерно 200 Гц. До 2 кГц расположатся нижние 10 его гармоник, а в зону ВПФ попадут более высокие диссонирующие обертоны. Таким образом, при ярко выраженной ВПФ баритона его тембр будет иметь плотный густой характер с пронзительными призвуками, заметными на форте.

Основной тон колоратурного сопрано в средней тесситуре имеет частоту порядка 500 Гц, а в высокой тесситуре и того выше - примерно 700..800 Гц. При этом в область ВПФ попадают 5-я..6-я гармоника, а в высокой тесситуре - 3-я..4-я гармоника. Нижняя певческая форманта колоратурного сопрано бедна обертонами. Исполнительским достоинством становится в этом случае точность интонирования, красота вибрато, которое расширяет спектр звука и обогащает тембр, а также напряженность голоса за счет энергии ВПФ.

108. Что такое амплитудное и частотное вибрато музыкального звука.

Вибрато - искусствоведческий синоним технического термина "модуляция".

109. Каково может быть взаимное расположение нижней певческой форманты, верхней певческой форманты и обертонов звука певческого голоса.

Разумеется, конкретных вариантов взаимного расположения этих объектов может быть много. Но, вероятно, в качестве типового благоприятного расположения можно указать такое, при котором нижние 5..7 обертонов формируют полноценную нижнюю форманту, а последующие негармонично сочетающиеся обертоны попадают в область верхней форманты. В качестве примера такого расположения можно указать качественно звучащие независимо от исполняемой партии изолированные ноты, принадлежащие известному тенору С.Лемешеву.

110. Какую роль играет раструб в духовых музыкальных инструментах.

Раструб является существенным оконечным элементом для амбушюрных духовых инструментов. Вместе с расширяющимся волноводом инструмента он соответствует изучаемому в акустике рупору. Рупор является согласующим элементом, который повышает эффективность излучения звука во внешнюю среду.

111. Почему у кларнета раструб маленький, а у валторны большой.

В конструкции валторны можно усмотреть цилиндрическую часть с вентилями, и далее расширяющуюся часть, которая вместе с оконечным раструбом вполне соответствует представлениям о рупоре. Сходную структуру имеют почти все амбушюрные инструменты. Длина и степень раскрытия рупора зависят от типа инструмента, но в силу конечной длины рупора завершающая его часть должна, насколько возможно, согласовать размер выходного отверстия с наименьшими излучаемыми частотами и раструбы амбушюрных инструментов это демонстрируют.

У кларнета же излучение происходит не только через выходное отверстие, что учитывают, например, при установке на инструмент звукоснимателей. Поэтому рупорная функция в нем слабо выражена и раструб, влияя на тембровые свойства звука, отчасти играет также декоративную роль.

Вопросы, относящиеся к акустике музыкальных инструментов, находятся за пределами нашей программы. Но тех, кого это может заинтересовать, можно направить к книгам Л.А.Кузнецов "Акустика музыкальных инструментов", М. 1989; И.А.Алдошина, Рой Приттс, "Музыкальная акустика", С-Пб, 2006, а также к Интернет-ресурсам websound.ru и www.paintpit.ru .