

АКУСТИКА ПОМЕЩЕНИЙ

Выполнили:
студенты группы 4204
Галлямова Альфина
Мартьянов Глеб

Акустика - основные понятия

АКУСТИКА (греч. akustikos — слуховой) — учение о звуке; раздел физики, изучающий свойства, возникновение, распространение и прием упругих волн в газообразных, жидких или твердых средах.

Одна из самых древних областей физики — зародилась в связи с потребностью дать объяснение явлениям слуха и речи



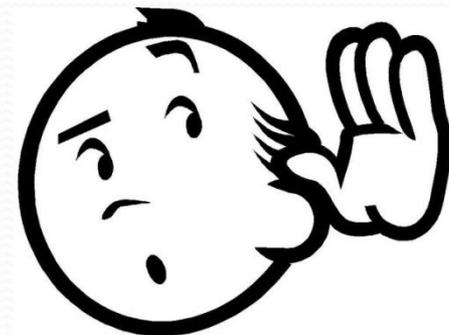
Звуковые волны (звук) — это упругие продольные волны, которые, воздействуя на слуховой аппарат человека, вызывают определенные (слуховые) ощущения.

Звуковые волны в воздухе — чередующиеся области сжатия и разрежения.

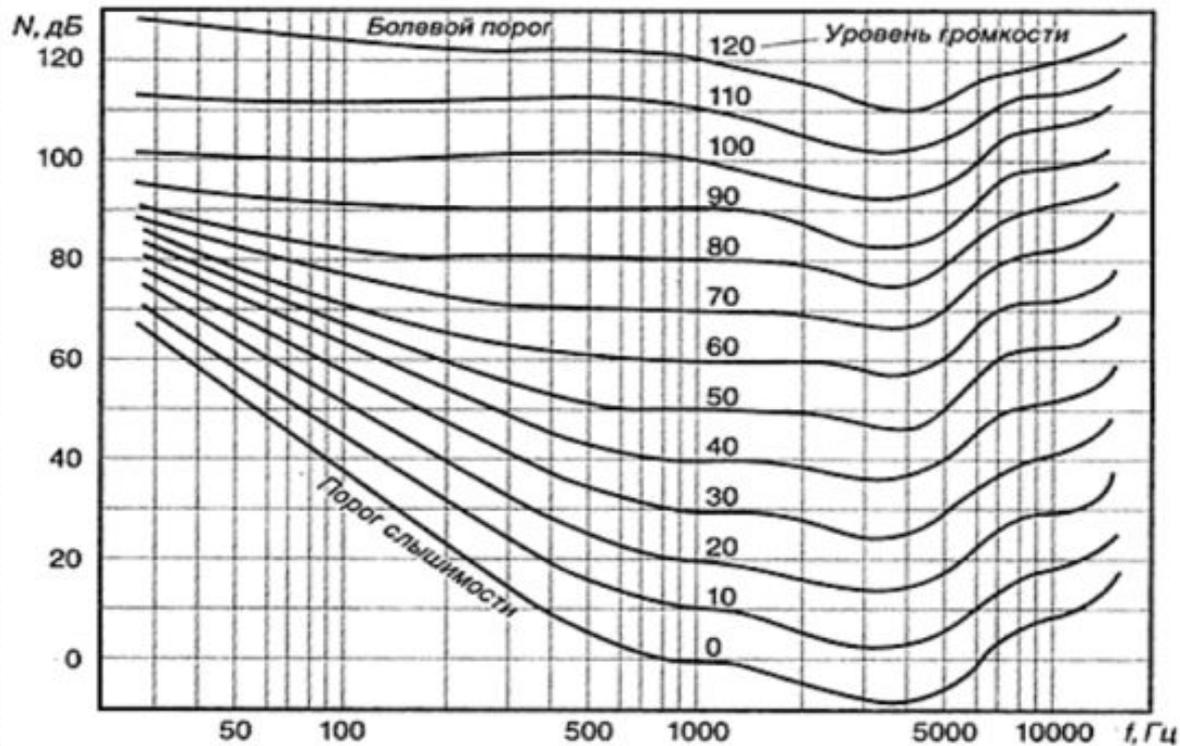
Громкость звука – это численная характеристика возмущения давления при распространении звука, то есть кратковременное увеличение давления относительно нормального, чем больше прирост давления, тем громче звук.

Минимальный порог слышимости уха человека
0,00002 Па.

Человеческое ухо способно слышать звуки частотой от 17 до 20000 Герц.



Максимальное слышимое значение громкости называется болевым порог, при превышении которого происходит повреждение барабанных перепонок.



Зависимости уровней громкости от частоты

Выражение для громкости в децибелах где $P_{\text{порог}}$ – пороговое значение возмущения давления, P – текущее значение возмущения давления.

$$l = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_{\text{порог}}} \right)$$

Звук	Громкость	Давление
Порог слышимости	0дБ	20 мкПа
Шелест листвы и слабого ветра Тиканье наручных часов Дыхание	10-20дБ	60 - 200 мкПа
Тихий шепот Тиканье настенных часов	20-30дБ	200 - 600 мкПа
Шум в помещении	30-40дБ	0.6 - 2 мПа
Тихий разговор	40-50дБ	2 - 6 мПа
Разговор средней громкости	50-60дБ	6 - 20 мПа
Громкий разговор	60-70дБ	20 - 60 мПа
Шумная улица	70-80дБ	60 - 200 мПа
Двигатель грузового автомобиля	~80дБ	200 мПа
Шум в метро во время движения Отбойный молоток	~90дБ	600 мПа
Громкая дискотека	100-120дБ	2 - 20 Па
Самолет на взлете	120дБ	20 Па
Болевой порог	130дБ	60 Па

Волновая поверхность (фронт волны) – это геометрическое место точек среды, колеблющихся в одинаковых фазах.



Звуковой луч – это линия, в каждой точке совпадающая с направлением распространения волны. В однородной изотропной среде звуковой луч является прямой линией, перпендикулярной к волновой поверхности.

Скорость распространения звуковой волны V – расстояние, которое за единицу времени проходит любая точка волновой поверхности. Скорость распространения звуковых волн в газе прямо пропорциональна корню квадратному абсолютной температуры газа.

Длиной волны λ называется расстояние между двумя ближайшими точками среды, колеблющимися со сдвигом фаз $\Delta\phi=2\pi$.

Период колебания T – время, за которое источник совершает одно полное колебание.

Частотой колебания f называется число полных колебаний, совершаемых за единицу времени.

СПЕКТР ЗВУКА - выражает частотный состав звука и получается в результате звука анализа. Спектр звука представляют обычно на координатной плоскости, где по оси абсцисс отложена частота f , по оси ординат - амплитуда A или интенсивность I гармонической составляющей звука.

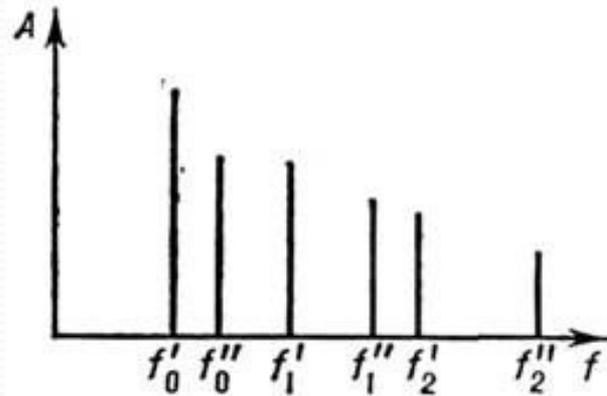


Рис. 1. Линейчатый спектр, полученный при сложении двух периодических волн с основными частотами и

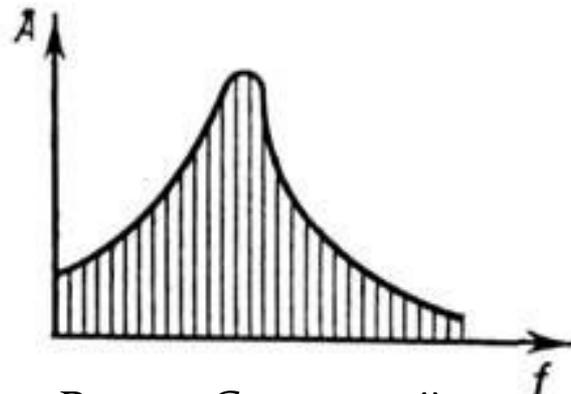
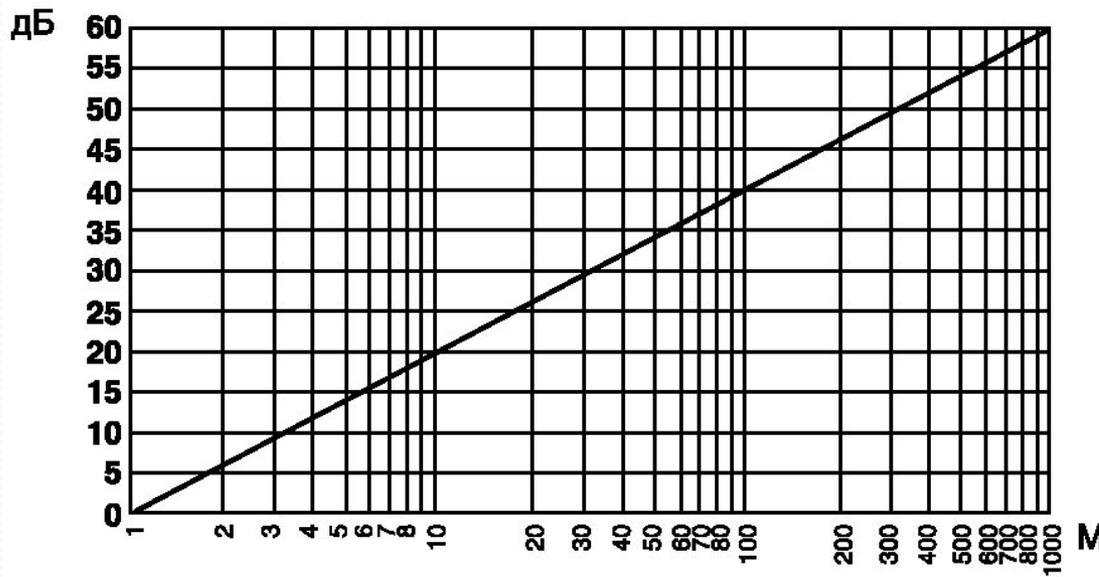


Рис. 2. Сплошной спектр затухающего колебания

Звуковым давлением называется величина, примерно равная (при гармоническом колебании) 70% от максимальной разности между статическим давлением и давлением, создаваемым звуковыми колебаниями. Звуковое давление измеряется в н/м² (или, что то же самое, в Па).



Звуковое давление в данной точке, следовательно, пропорционально увеличению расстояния точки до источника.

Элементы геометрической акустики

Законы отражения и преломления звуковых лучей аналогичны законам геометрической оптики.

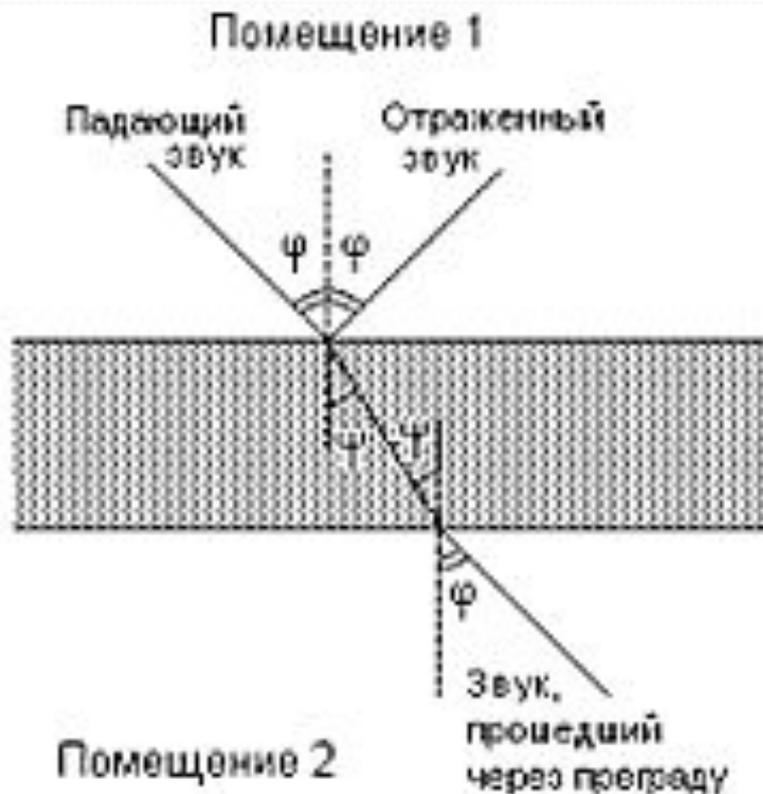


Схема отражения и поглощения звука при встрече с плоской преградой конечной толщины.

Коэффициент поглощения

$$\underline{\alpha = (E_{\text{погл}} + E_{\text{пр}}) / E_{\text{пад}}}$$

Коэффициент отражения

$$\underline{\beta = E_{\text{от}} / E_{\text{пад}}}$$

Коэффициент звукопроводности

$$\underline{\gamma = E_{\text{пр}} / E_{\text{пад}}}$$

$E_{\text{пад}}$ – энергия звука, падающего на данную преграду

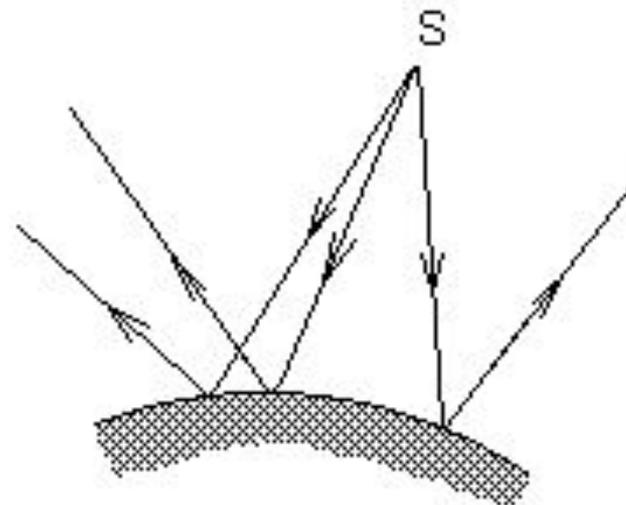
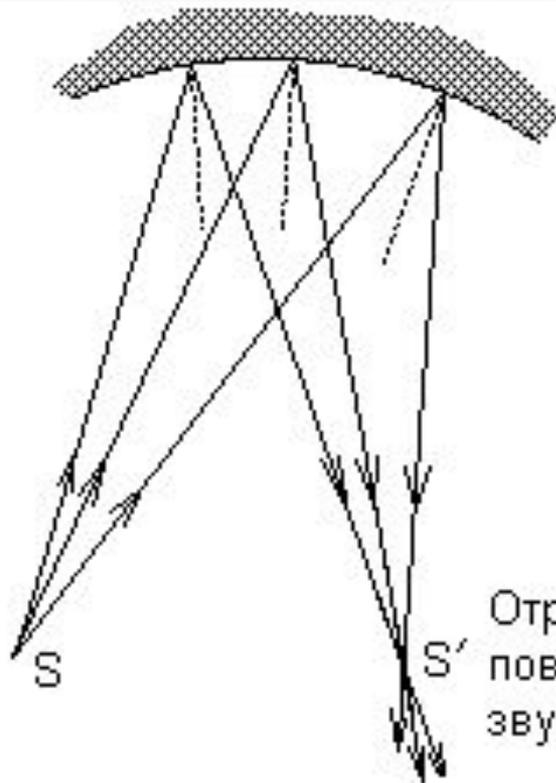
$E_{\text{от}}$ – энергия отраженного звука

$E_{\text{пр}}$ – энергия звука, прошедшего сквозь преграду

$$\alpha + \beta = 1$$

Коэффициенты звукопоглощения α_k различных материалов.

	Частота, Гц					
	128	256	512	1024	2048	4096
Кирпичная стена, некрашенная	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05
Пол бетонный	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Пол деревянный	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Пол, покрытый линолеумом	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Стекло в рамах	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
Мрамор или плитка	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
Деревянные панели	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
Занавеси легкие	0,04	0,08	0,11	0,25	0,30	0,30
Занавеси тяжелые	0,10	0,27	0,50	0,80	0,82	0,75
Вентиляционная решетка	0,50	0,50	0,40	0,35	0,30	0,25
Ковер	0,09	-	0,30	-	0,37	-
Щиты Бекешы (холст на вате толщиной 40 мм)	0,80	0,81	0,73	0,51	0,46	0,45



Отражения от выпуклых и вогнутых поверхностей. S - реальные источники звука, S' - мнимый источник.

При отражении от вогнутой поверхности может произойти фокусировка отраженных лучей с образованием мнимого источника звука в точке S' , в которой увеличивается плотность звуковой энергии

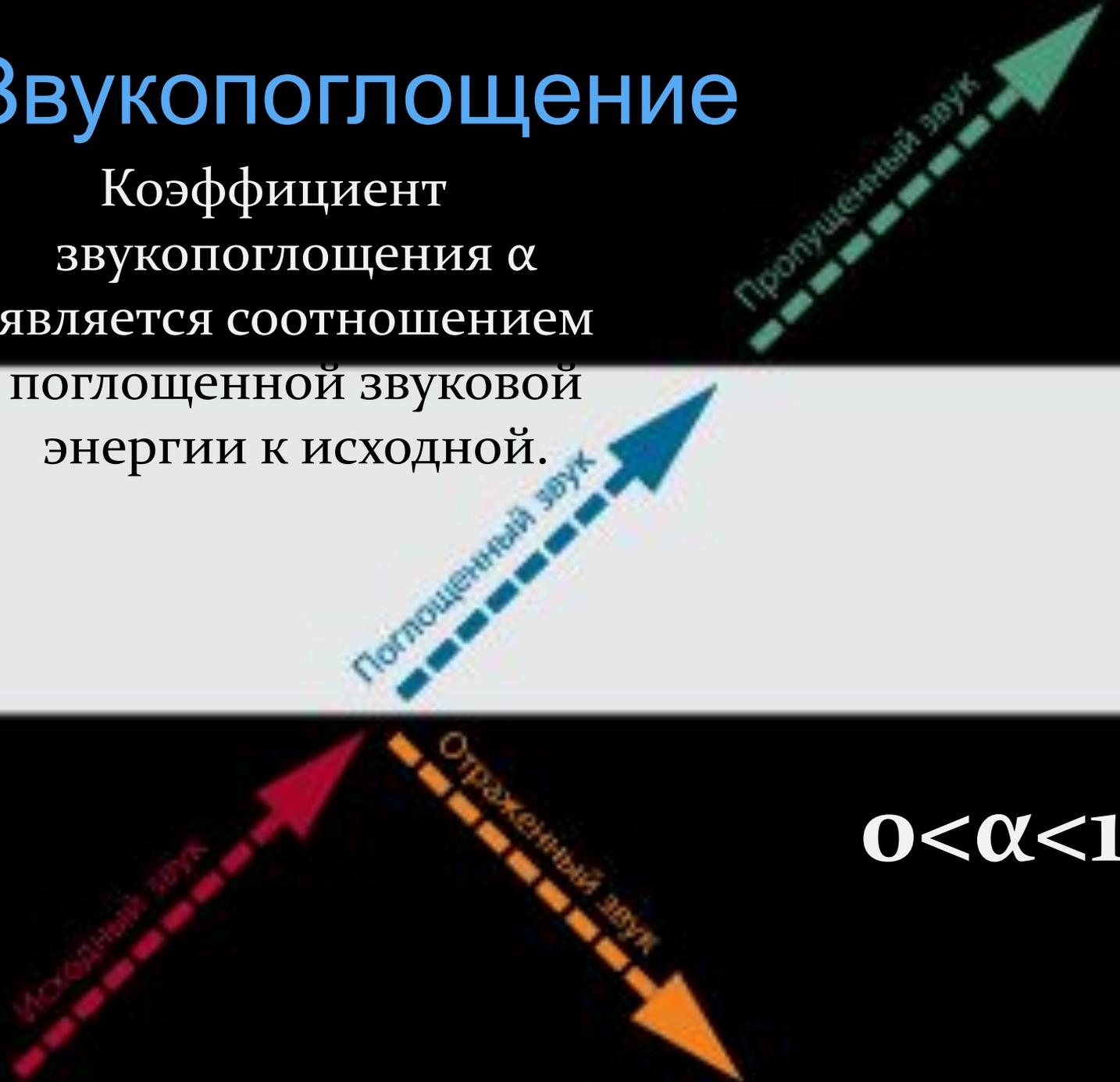
Акустика помещения

Состояние звука в пространстве, главным образом,
зависит от двух факторов:

- Звукопоглощение
- Звукоизоляция

Звукопоглощение

Коэффициент
звукопоглощения α
является соотношением
поглощенной звуковой
энергии к исходной.



$$0 < \alpha < 1$$

В помещениях с низким или с нулевым уровнем звукопоглощения образуется эхо. **Эхо** является следствием отражения звука от поверхностей и объектов в пространстве.

Существует три главных проблемы, вызываемых слишком сильным эхом:

- **Дезориентация:**

Звуковая волна достигает слушателя со всех направлений приблизительно с одинаковым уровнем звука. Уровень звука в пространстве фактически одинаков. Направление источника звука не может быть определено, и в результате возникает дезориентация, оказывающая отрицательное влияние на концентрацию.

- **Низкая разборчивость речи:**

Множество отражений звука накладываются друг на друга, делая речь неразборчивой или трудной для понимания.

- **‘Эффект вечеринки’:**

В неформальной обстановке, одновременно говорящие люди создают помехи друг другу, так как уровень звука практически одинаков во всем пространстве. Люди начинают говорить громче, до тех пор, пока не переходят на крик. Это называется “эффектом вечеринки”. Эффект вечеринки является причиной установления в детских садах уровня звука выше 90 дВ, при котором может происходить вынужденная шумом тугоухость.

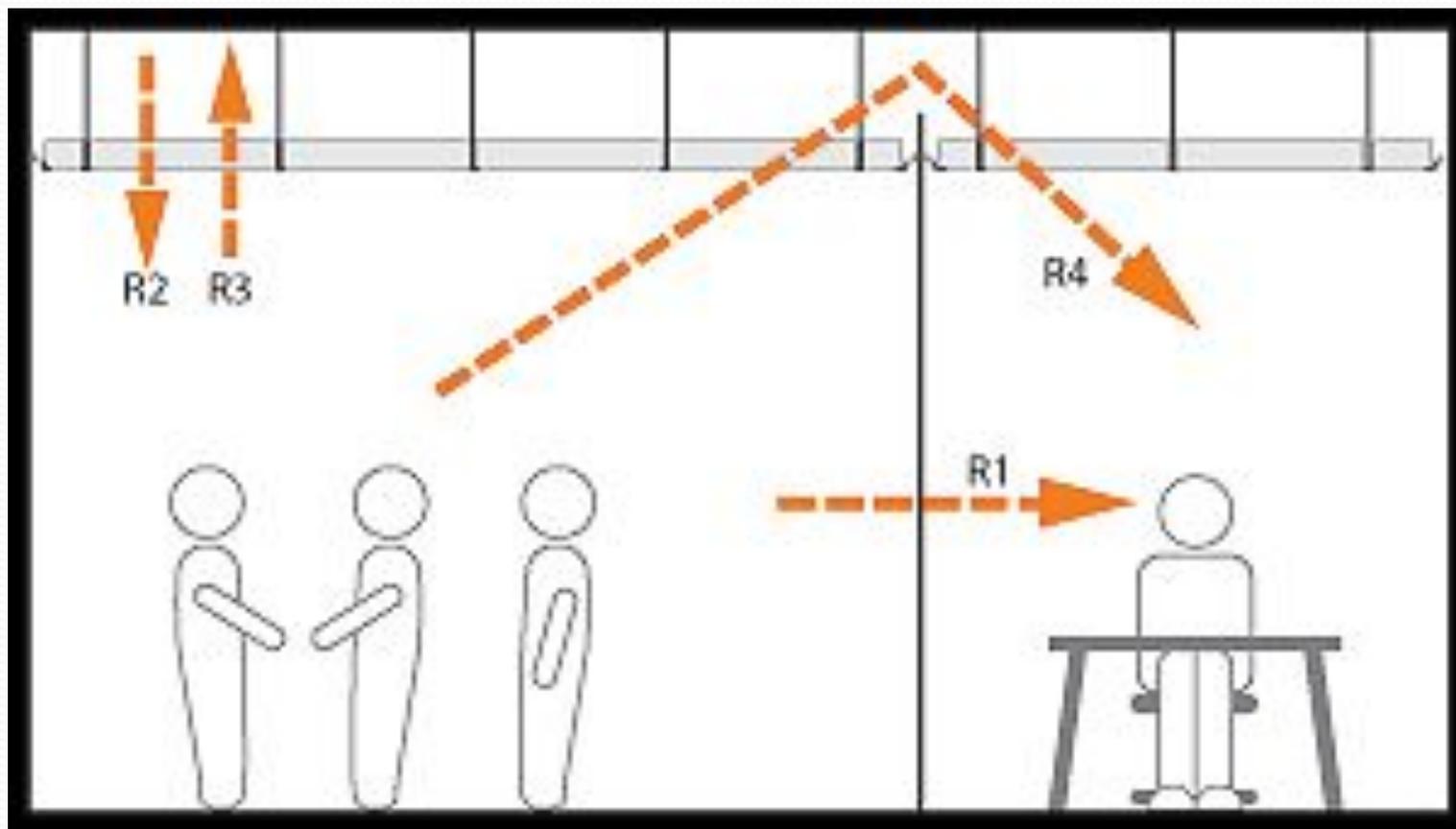
Звукоизоляция

Звукоизоляция – это степень проникновения звука в другое помещение. Звукоизоляция влияет на уровень звука в пространстве помещения, и поэтому влияет на:

- конфиденциальность;
- концентрацию внимания.

В зданиях звук может проникать в помещения разными путями

- Прямой звук(возникающий внутри помещения)
- Продольный звук(проникает в помещение через подвесные потолки, вентиляционные системы)
- Ударный звук (проникающий в помещение от ударов по строительным конструкциям)
- Побочный звук(проникающий в помещение через обходные пути)



R₁, R₂ и R₃ - прямая звукоизоляция

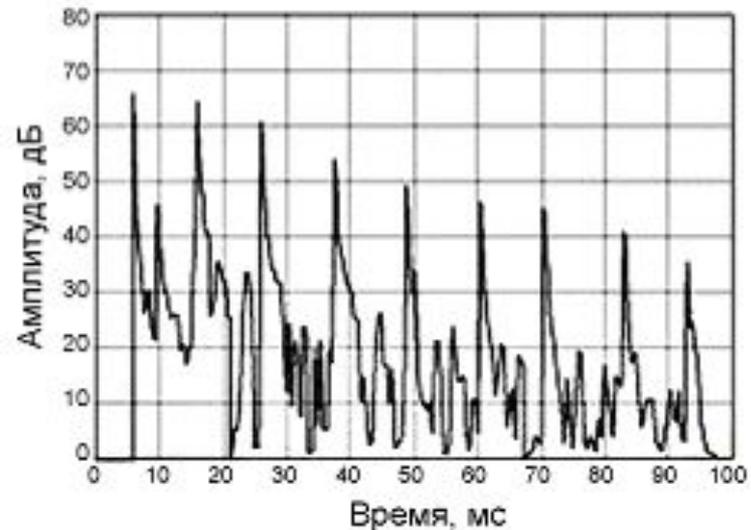
R₄ - продольная звукоизоляция

Порхающее эхо

Если существуют две параллельные отражающие поверхности, то при появлении звукового сигнала звук, отраженный одной поверхностью, возвращается к другой, отражается от нее, и начинает метаться, как бы порхать между ними, постепенно затухая. Возникает порхающее эхо

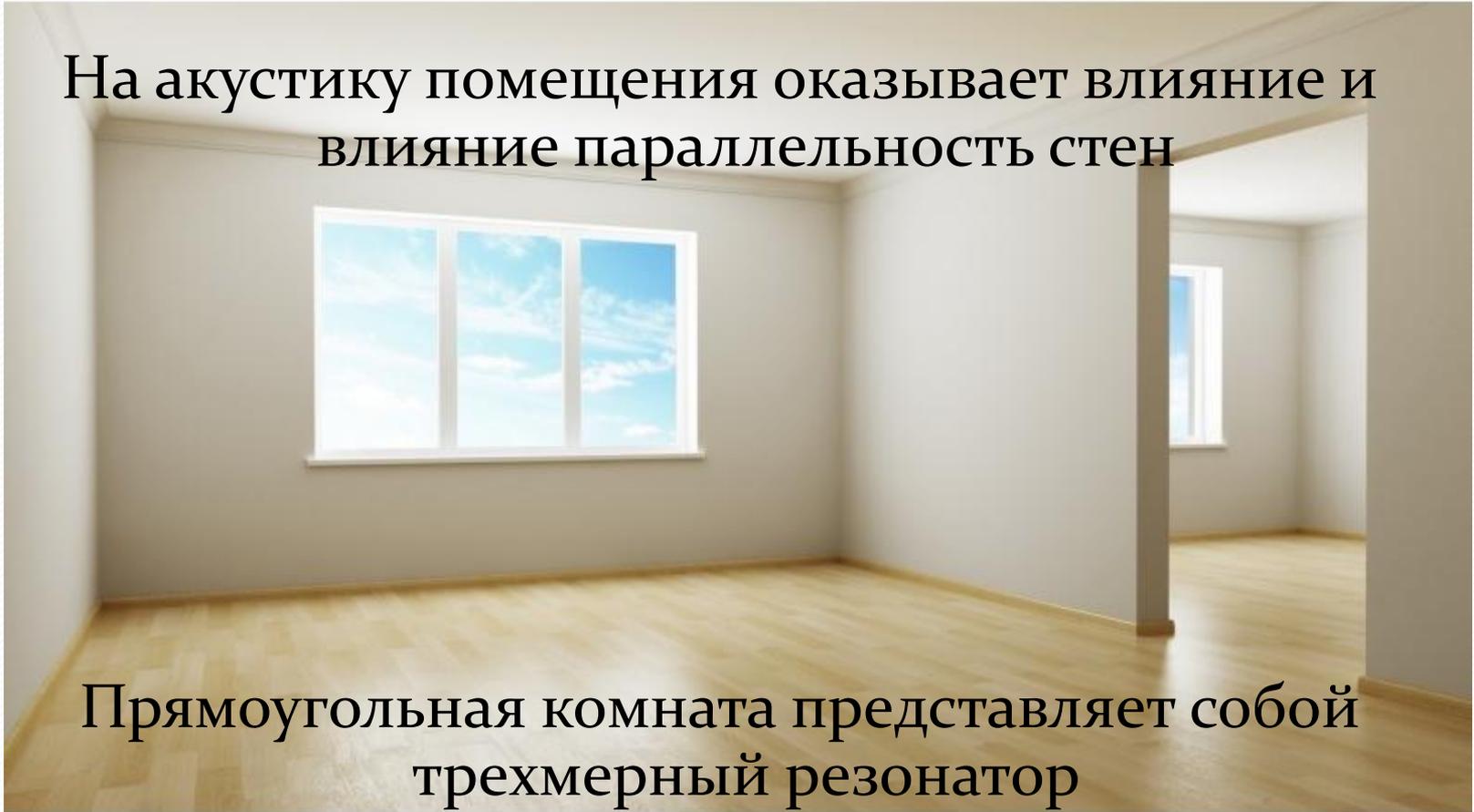


Порхающее эхо, возникшее после размещения источника звука между параллельными, гладкими поверхностями с высокой отражающей способностью



Стоячие волны в помещении

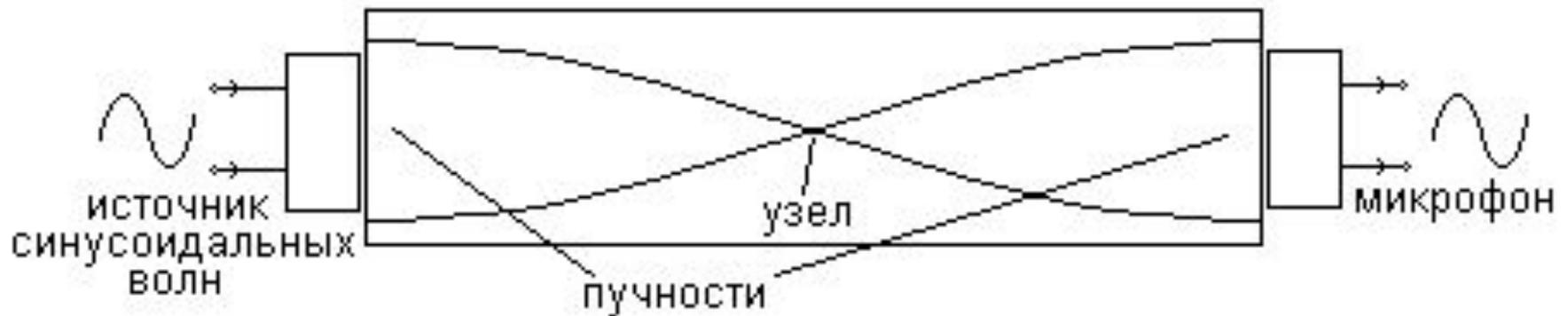
На акустику помещения оказывает влияние и влияние параллельность стен



Прямоугольная комната представляет собой трехмерный резонатор

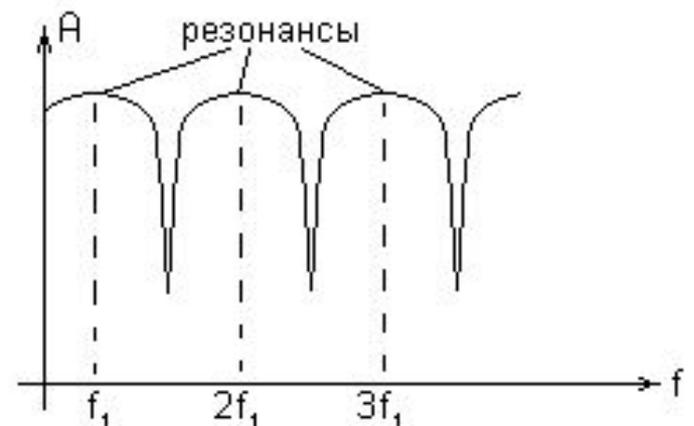
Проведем опыт

1. В качестве одномерного резонатора представим узкую трубу, закрытую с двух сторон.
2. Поместим источник синусоидальных колебаний.
3. Вдоль трубы со скоростью звука будет перемещаться синусоидальная звуковая волна, отражаясь от закрытых стенок.
4. Поместим возле другой стенки трубы микрофон.
5. Изменяя частоту генератора, можно заметить, что при изменении частоты амплитуда звука, то нарастает, то падает почти до нуля



Образование стоячей волны в закрытой трубе на частоте ее резонанса.

Труба демонстрирует амплитудно-частотную характеристику, по виду напоминающую гребенку, причем каждый ее зубец представляет собой акустический резонанс.



АЧХ одномерного резонатора длиной L .
 $f_1 = v_{зв}/2L$ - частота первого резонанса.

Резонанс образуется, если длина трубы кратна половине длины волны возбуждаемых колебаний. Это явление носит название гребенчатой фильтрации.

Прямоугольное помещение с физической точки зрения ведет себя точно так же, как закрытая с двух сторон труба.

Волны, создающие резонансы, подразделяют на три категории



→ Касательные волны, которые распространяются, последовательно отражаясь от четырех стен.

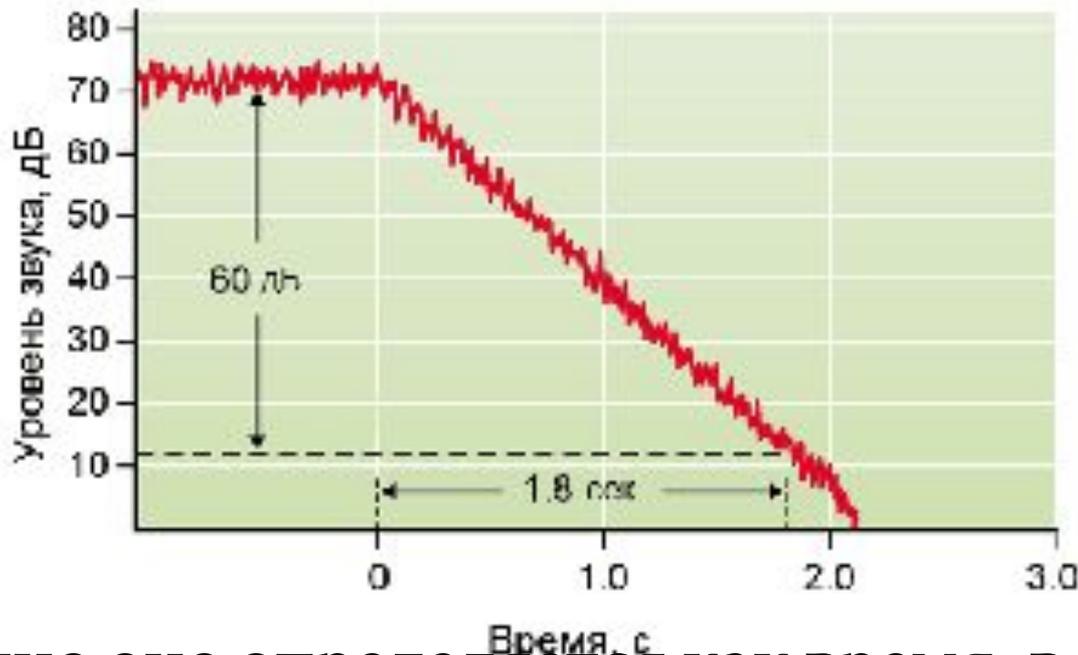
→ Косые волны, отражающиеся последовательно от всех шести ограждающих поверхностей.

Физик-теоретик Филипп Морз подсчитал, сколько в помещении должно быть резонансов в заданном интервале частот для того, чтобы без заметных искажений нести форму звука длительностью порядка 0,1 с. Результат его расчетов таков: в интервале $\Delta f=10$ Гц должно быть не менее 10 резонансов.

Борьба с вредными резонансами и излишней реверберацией помещения происходит в основном посредством заглушения комнаты пористыми материалами.

Время реверберации

Время реверберации помещения служит показателем продолжительности сохранения в нем звуковой энергии.



Обычно оно определяется как время, в течение которого происходит снижение интенсивности звука в миллион раз (60 дБ).

Формула Сабина

Для определения времени реверберации небольшого помещения может использоваться эмпирическая формула

$$T = 0.16 * V / A$$

T = время реверберации, с

V = объем помещения, м³

$A = (\sum \text{площадь поверхности } (S) \times a) = \text{площадь поглощения помещения, м}^2$

Пример:

Если заданное время реверберации в помещении размерами 6х10х3 м составляет 0,8 с, то какой коэффициент поглощения должен иметь звукопоглощающий материал, который планируется использовать для звукоизоляции потолка площадью 45 м²?

Решение: $A = 0.16 * V/T$

$$A = 0.16 * 180/0.8 = 36 \text{ m}^2 * \alpha = 36/45 = 0.8$$

Ответ: $\alpha = 0.8$

**БЛАГОДАРИМ
ЗА ВНИМАНИЕ**