

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГБОУ СОШ №217 Красносельского района Санкт-Петербурга

**Выявление характеристик звука и отражающих преград, которые
обеспечивают восприятие человеком отчетливого эха в
окрестностях ГБОУ СОШ №217 Красносельского района
Санкт-Петербурга**

Автор: Дубовик Александра, ученица 11А класса
ГБОУ СОШ №217

Руководитель: Холодова М. Л., учитель физики
ГБОУ СОШ №217

2017

Санкт-Петербург

Оглавление

Введение.....	3
Глава I	
Расстояние от отражающей преграды до человека, воспринимающего эхо.....	4
Взаимное расположение преграды и человека, воспринимающего эхо.	4
Поведение звуковых волн разной частоты в замкнутом пространстве.....	5
Особенности восприятия звука человеком.....	6
Глава II	
Выбор места.....	7
Выбор источников звука.....	7
Программа <i>Спектр</i>	8
Запись звука и отбор графического материала.....	8
Систематизация измерений.....	9
Заключение	
Результаты.....	10
Выводы.....	10
Источники информации.....	11
Приложения	
1. Карта района исследования.....	12
2. Размеры лестничной шахты дома по адресу: проспект Ветеранов, 122.....	12
3. Источники звука, использованные в исследовании.....	13
4. Таблица наблюдений.....	13
5. Графики наблюдений	
5.1. Фоновый шум	14
5.2. Звук от камертона.....	14
5.3. Звук от бумажной трещотки.....	15
5.4. Звук от пластиковой бутылки.....	15
5.5. Звук от ремня	16
5.6. Звук от теннисного мяча.....	16
5.7. Звук голоса (пение).....	17
5.8. Звук голоса (шипение).....	17

Введение

Не всегда в школьном классе можно показать опыт по физике, демонстрирующий даже простые явления природы. Иногда это проблема технического обеспечения кабинета, а иногда сами условия наблюдения и демонстрации требуют выхода за рамки кабинета и даже школьного здания. Эта проблема актуальна для всех, даже хорошо оборудованных школ.

Меня заинтересовало такое явление как эхо. Обычно эхо хорошо слышно в горах или в лесу, где большие расстояния до препятствий позволяют легко уловить разницу времени приема прямой и отраженной звуковых волн. В жилых микрорайонах плотная застройка не позволяет звуку распространяться похожим образом. Но эхо здесь тоже есть.

Поскольку звук распространяется от источника звука в пространстве в виде сферической волны, то можно поискать отражающие препятствия, лежащие не в горизонтальной, как в горах или лесу, а в вертикальной плоскости. Это могут быть шахты лифтов, места под мостами дорожных развязок, лестничные пролеты высотных зданий.

Целью настоящей работы является выявление таких характеристик звука и отражающих препятствий, которые позволили бы услышать отчетливое эхо в городе. Я хочу найти в радиусе километра от школы место, где можно услышать различимое эхо, и дать рекомендации наблюдения эха для будущих учеников.

Глава I

Расстояние от отражающей преграды до человека, воспринимающего эхо. Эхо становится различимым на слух, если интервал между прямой и отраженной звуковой волной будет 50-60 мс, следовательно, расстояние до препятствия составит 15-20 м (Wikipedia). Предлагаются различные объяснения величины минимального интервала в 50 мс. Считается, что за это время отраженные волны возвращаются уже после рассеяния падающих (IT News). Кроме того, есть объяснения, основанные на особенностях работы нашей системы ухо-мозг. Все отражения, достигшие ушей слушателя в течение первых 50 мс вслед за прямым звуком, воспринимаются человеческим ухом слитно с прямым сигналом, т.е. как один общий сигнал (рис. 1). Если же отражения поступают с задержкой больше, чем 50 мс, и имеют сопоставимый уровень с прямым сигналом, человеческое ухо воспринимает их как повторение прямого сигнала, т.е. в виде отдельных звуковых сигналов (SoundHouse Pro).

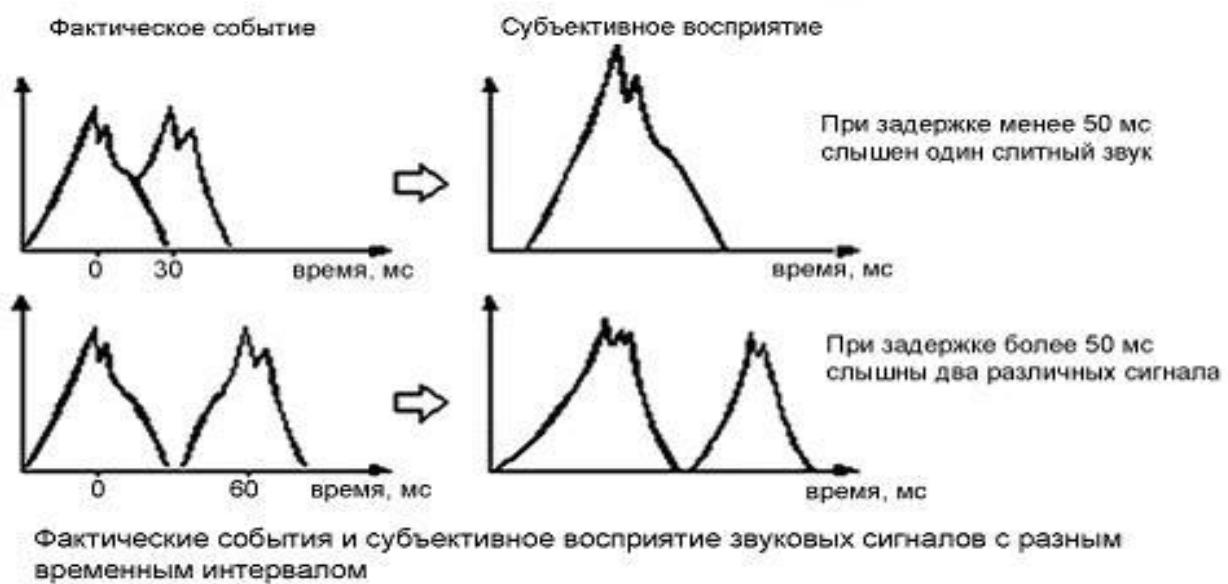


Рис. 1. Фактические события и субъективное восприятие звуковых сигналов с разным временным интервалом (SoundHouse Pro).

Взаимное расположение преграды и человека, воспринимающего эхо. Для обнаружения эха важно не только расстояние до преграды, но и расположение человека на уровне препятствия или даже чуть выше него. На рис. 2 показана ситуация, при которой эхо отсутствует даже при достаточном расстоянии до препятствия. Видно, что звуковые волны, отражаясь, не достигнут уха человека, находящегося у подножия горы, а рассеются в пространстве по направлениям aa, bb, cc (Перельман).

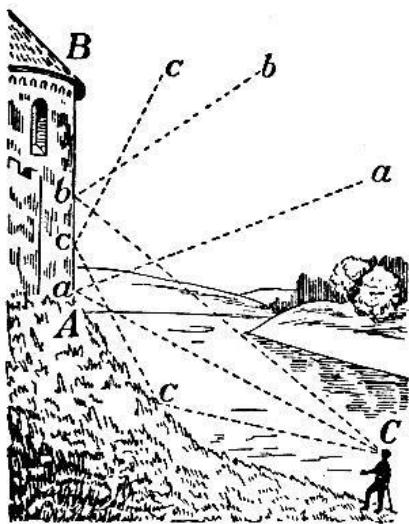


Рис. 2. Эхо отсутствует

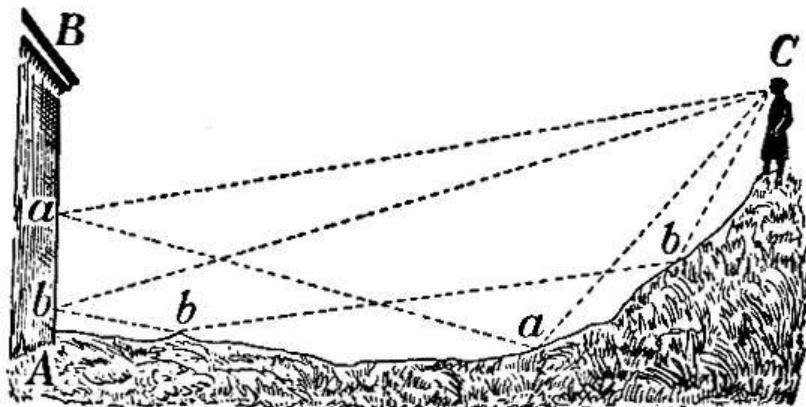


Рис. 3. Отчетливое эхо

На рис. 3 видно, что звук, идущий по направлениям Сa, Сb, возвратиться к человеку по ломанным линиям СaaС, СbbС, отразившись от земли один или два раза. Углубление между точками В и С усиливает эхо, действуя как вогнутое зеркало. Напротив, выпуклость поверхности земли между точками В и С будет рассеивать звук, ослабляя эхо и действуя как выпуклое зеркало (Перельман).

Поведение звуковых волн разной частоты в замкнутом пространстве.

1. Средне- и высокочастотные волны. Звуковые волны этого диапазона обладают выраженной направленностью, которая растёт с увеличением частоты сигнала, достигая максимума на самых высоких частотах. Такие звуки легко рассеиваются, поскольку хорошо отражаются от твёрдых поверхностей, и легко поглощаются тонкими мягкими поверхностями, такими как, например, шторы.

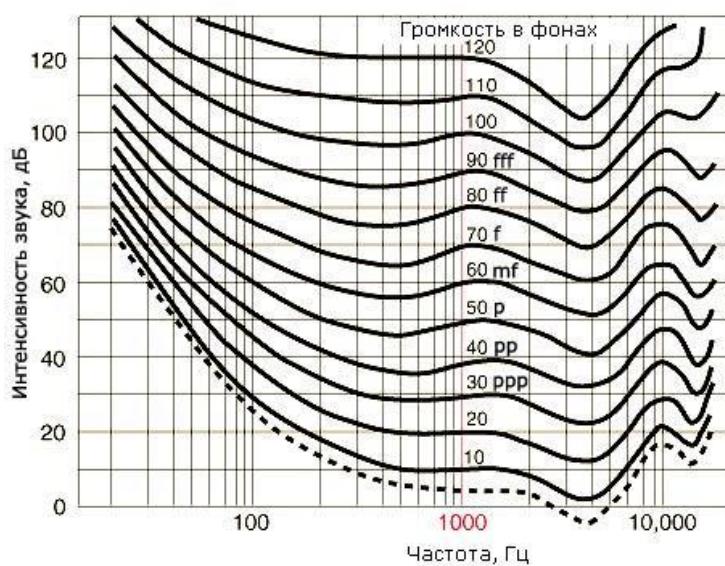
2. Низкочастотные волны. Звуковые волны этого диапазона являются всенаправленными, именно поэтому, с закрытыми глазами невозможно определить местоположение источника звука. Помимо этого, благодаря большой длине волны и высокой энергии, НЧ волны способны не только огибать препятствие, но и, частично отражаясь, проходить сквозь даже через бетонные стены. Таким образом, в отличии от ВЧ, которые легко отражаются от твёрдых поверхностей, басовые волны отражаются гораздо хуже, частично поглощаясь и частично проходя сквозь препятствие, причём с понижением частоты они всё больше утрачивают способность к отражению и повышают проходимость через любые препятствия (SoundHouse Pro).

Особенности восприятия звука человеком. Человек воспринимает как звук колебания в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц. Указанные границы звукового диапазона условны, так как

зависят от возраста. Обычно с возрастом верхняя частотная граница значительно понижается: некоторые пожилые люди могут слышать звуки с частотами, не превышающими 6 кГц (Основы электроакустики).

Низкие и высокие частоты мы слышим значительно хуже, чем средние. Например, в районе средних частот (1–3 кГц) мы способны улавливать звуковое давление в 20 мкПа. На низких и высоких частотах человеческое ухо менее чувствительно. Например, на частоте 100 Гц минимально различимое звуковое давление составляет уже около 300 мкПа. Это связано с тем, что именно в диапазоне средних частот лежит человеческая речь (StudFiles).

Кривые Флетчера-Мэнсона. Это семейство кривых равной громкости, объясняющие интересный феномен человеческого слуха (рис. 4). С изменением фактической громкости воспринимаемая громкость изменяется по-другому, в зависимости от частоты:



- на низкой громкости средние частоты звучат более отчетливо, в то время как высокие и низкие становятся как бы фоновыми;
- на высокой громкости низкие и высокие частоты становятся отчетливыми, а средние – мягче (E-home Recording Studio)

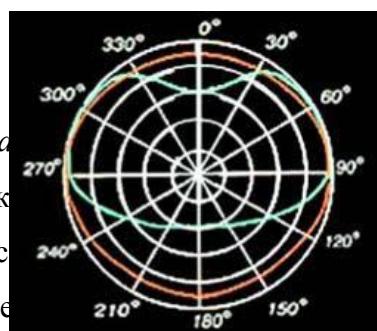


Диаграмма направленности человеческого уха. Диаграмма показывает, что чувствительность к звукам, имеющим частоту менее 1 кГц (красная линия, рис. 5), одинакова со всех сторон (Макаров, 1980). Для задания преимущественного направления (например, вниз) следует подбирать источники звука с частотой основных обертонов более высокой, чем 1 кГц.

Рис. 5. Диаграмма направленности человеческого уха

Глава II

Выбор места. Для исследования был выбран район, подходящий для совершения учебной экскурсии из школы №217 в течение одного урока. В данном районе нет открытых пространств с отражающими стенами в виде гор и лесов, поэтому я предположила, что эхо можно обнаружить в замкнутых помещениях, имеющих хотя бы один линейный размер более 20 м. Таким размером может быть только высота. Следовательно, надо обратить внимание на многоэтажные здания не менее 10 этажей. Здания по адресам: проспект Ветеранов, 128; 130 и 122 оказались удовлетворяющие этим условиям. Наиболее перспективными местами в этих зданиях мне представлялись пожарные лестницы, поскольку они простой внутренней формы и на них отсутствуют излишне поглощающие звук предметы. Я выбрала 13-этажный дом № 122, на перекрестке улицы Партизана Германа и проспекта Ветеранов (рис. 6), поскольку проживающий там мой одноклассник мог обеспечить мне постоянный доступ к месту исследования. В приложении 1 показано расположение этого дома на карте. В приложении 2 показаны размеры лестничной шахты этого дома.

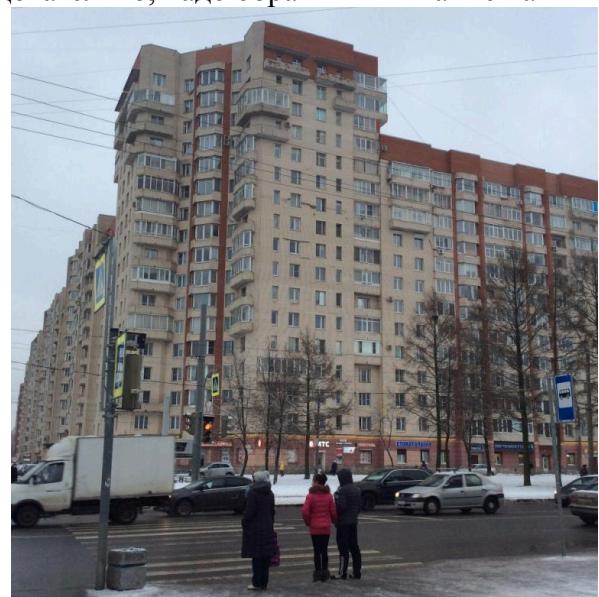


Рис. 6. Дом по адресу: проспект Ветеранов, 122

Выбор источников звука. Стены лестничной шахты дома кирпичные, а на полу – керамическая плитка. Значит, они будут отражать звуки высоких и средних частот. Поэтому в качестве источников звука я подбирала объекты, издающие короткие резкие звуки (приложение 3). Наибольший эффект был получен от следующих источников:

- звук от удара бумажной трещотки о перила лестницы;
- звук от удара пустой пластиковой бутылкой о перила лестницы;
- звук от удара отскакивающего от пола теннисного мяча;
- звук от щелканья ремнем;
- звук камертона (440 Гц), развернутого открытой частью резонаторного ящика вниз, в пространство шахты;
- голос 1 (пение);
- голос 2 (шипение).

Сначала я определяла степень слышимости эха непосредственно на слух. Максимальные результаты различимого эха были получены для камертона, высокого голоса и ремня. Чем же хуже остальные источники? Для ответа на этот вопрос я использовала программу *Спектр*,

чтобы количественно оценить зависимость качества эха от частоты, громкости и степени затухания звукового сигнала.

Программа Спектр. Для получения спектров звучания различных источников использовалось приложение к iPhone/iPad программы Елены Полянской *Спектр*. На экране планшета в реальном времени можно наблюдать по горизонтальной оси весь набор частот, составляющих данный звук, в Гц и кГц. По вертикальной оси в дБ указана относительная энергия (громкость), соответствующая каждой частоте (рис. 7). Значения громкости отрицательные, т.к. за 0 дБ принята максимальная громкость, допустимая для данного устройства. Можно выбрать режим просмотра в виде столбчатой диаграммы или функционального графика. Кроме того, программа позволяет так настроить анализатор, что на экране будут видны два графика: более высокий, площадь которого окрашена голубым/светлым цветом, соответствует звуку, который был зафиксирован вначале измерения, а более низкий – соответствует звуку, зафиксированному спустя 1-2 секунды. Такой двойной график позволяет судить о скорости затухания различных звуковых частот.

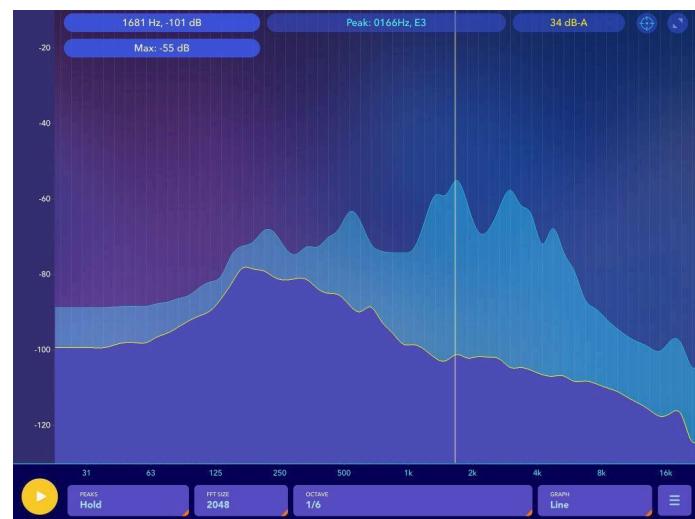
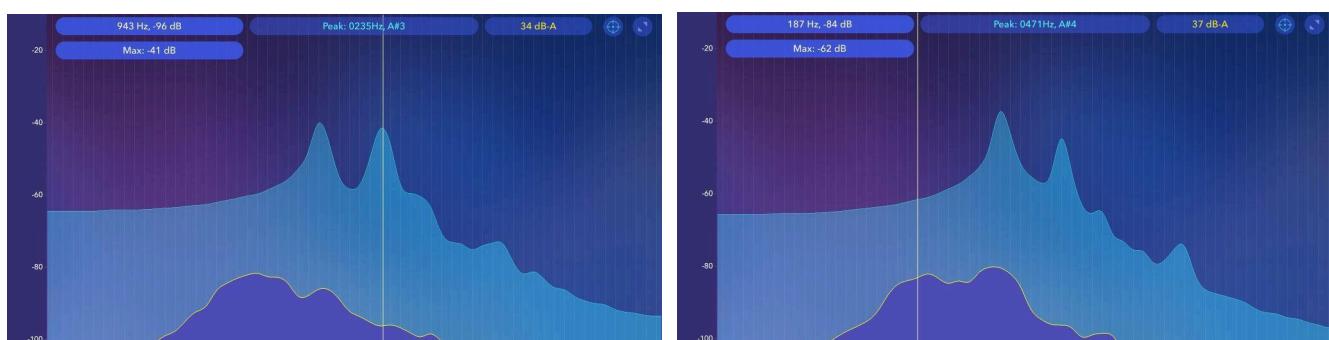


Рис. 7. Вид диаграммы звукового сигнала, выполненной спектральным анализатором

Запись звука и отбор графического материала. Перед началом измерений был зафиксирован фоновый шум и сохранен его график, который приведен в приложении 5.1. Значения громкости фонового шума менялись от – 100 до – 80 дБ. Запись звука для анализатора проводилась с помощником. Запись останавливалась стоп-кнопкой сразу же, как только издавался звук. Поэтому фиксировалось самое начало полного процесса затухания. Запись каждого звука повторялась 2-3 раза. Из всех графиков отбирался тот, на котором были более четко выражены частотные пики (рис. 8).



Систематизация измерений. Полученные графики (приложения 5.2 – 5.8) были отсортированы:

- по высоте основных тонов;
- по высоте обертонов;
- по громкости максимальной частоты;
- по скорости затухания звука.

Результаты сортировки представлены в таблице наблюдений в приложении 4.

Заключение

Результаты. Оценка эффективности различных источников звука для получения различимого эха наблюдателем не всегда совпадают с характеристиками этих источников, регистрируемых датчиками программы *Спектр*.

- *Для двух голосовых звуков*, эхо от которых достаточно хорошо воспринимается наблюдателем, программа *Спектр* тоже прогнозирует благоприятный результат. В частотном спектре присутствуют сильные обертоны от 4 до 5 кГц, а чем выше частота волны, тем больше направленность ее распространения. Поэтому звук сможет дойти до дна шахты и обратно и наблюдатель сможет услышать эхо, что и подтверждается в эксперименте.
- *Пластиковая бутылка и бумажная трещотка* тоже имеют сильные обертоны выше 2 кГц, но они очень быстро затухают, кроме того, малы мощности их звучания в дБ. Этим объясняется практически неразличимое эхо от этих источников.
- *Звук от щелканья ремнем*. С одной стороны, на слух эхо воспринимается, с другой стороны, по объективным измерениям, громкость низкая (– 55 дБ), основной тон только 250 Гц. Есть сильные высокочастотные (3,5 кГц) обертоны, но они быстро затухают. Почему же в этом случае слышно эхо? Вероятно, за счет отраженных от твердых кирпичных стен шахты и почти не затухающих частот основного тона. Кроме того, вероятно играет свою роль и резкость самого звука.
- *Звук камертона*. Как и в случае с ремнем, слышимое эхо объясняется звучанием на одной частоте (440 Гц), которая хотя и ниже 1 кГц, но почти не затухает. Кроме того, звук поддерживается и направляется резонаторным ящиком, на котором установлен камертон.
- *Звук от удара мяча*. Эхо практически не слышно, что подтверждается достаточно низкими частотами основного тона и обертонов, которые очень быстро затухают.

Выводы. Услышать различимое эхо в окрестностях школы №217 Красносельского района Санкт-Петербурга (проспект Ветеранов, 140) можно при соблюдении следующих условий:

1. *Нахождение в замкнутом помещении, высотой не менее 30 м*. Это лестничные шахты домов 122, 128, 130 по проспекту Ветеранов.
2. *Использование источников, издающих громкие (более – 40 дБ), высокие (сильные обертоны более 3 кГц) и резкие звуки*. Это высокий голос, щелканье ремнем. Хороший эффект дает моночастотное направленное звучание (камертон).

Источники информации

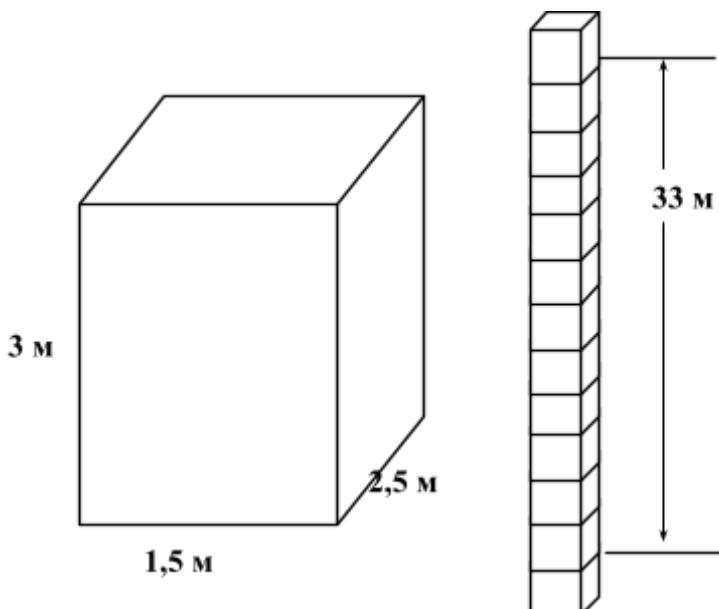
1. Wikipedia /ru.wikipedia.org/wiki/Эхо
2. IT News/Новости ИТ и высоких технологий/Почему появляется эхо?/information-technology.ru
3. SoundHouse Pro/Основы распространения звука/electrovoice.com.ua
4. Перельман Я.И. Занимательная физика. Книга 1. Звук и слух. /Изд. Римис, 2015.
5. StudFiles/Слуховая система/studfiles.net
6. E-home Recording Studio/ehomerecordingstudio.com/ru/fletcher-munson-curve/
7. Основы электроакустики/audioakustika.ru/node/1249
8. В. Меркулов. В мире звуков. Как добывается истина.../Наука и жизнь, №5, 2007

Приложения



Крестиками на карте отмечены номера подходящих по высоте домов

Приложение 2



Размеры лестничной клетки на одном этаже и высота лестничной шахты между этажами, составляющими звуковой канал

Приложение 3



Источники звука в исследовании

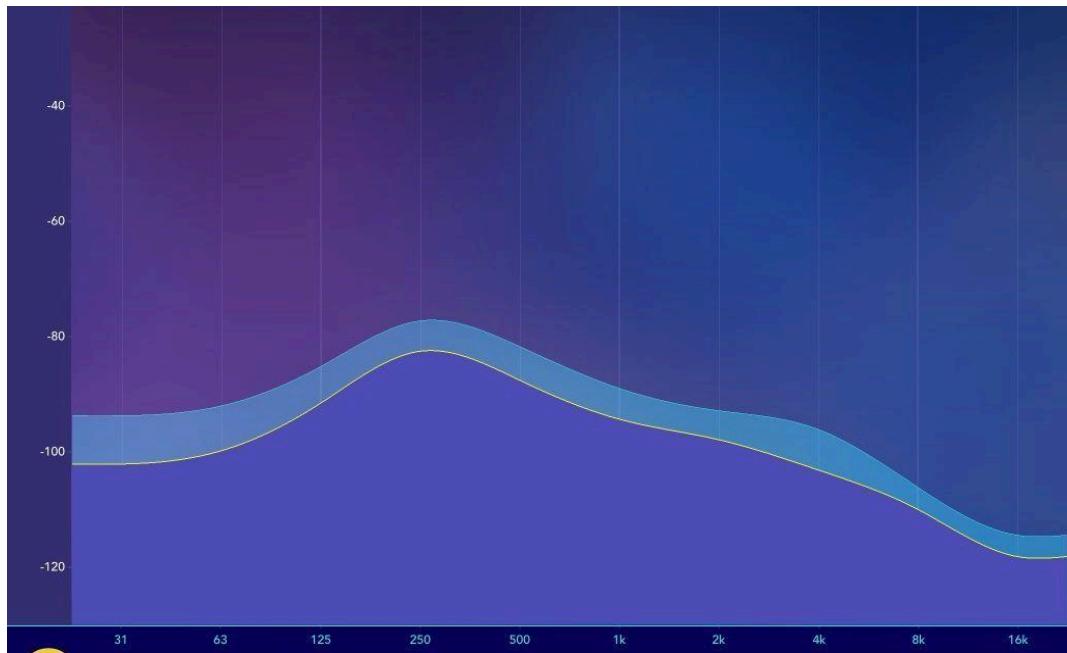
Приложение 4

Таблица наблюдений

Источник звука	Частота, Гц		Громкость, дБ	Затухание
	Основной тон	Громкий обертон		
Камертон	440		– 41	Равномерное
Трещотка	250	2118	– 56	Почти равномерное, достаточно сильное, с преобладанием обертонов
Пластиковая бутылка	235	2000	– 50	Равномерное, сильное
Мяч	180	750	– 39	Равномерное, очень сильное
Ремень	250	3500	– 55	Почти не затухают частоты основного тона, обертоны сильно затухают
Голос 1 (пение)	400	4000	– 41	Почти равномерное, достаточно сильное, с преобладанием основного тона
Голос 2 (шипение)	500	5500	– 40	Почти не затухают частоты основного тона, обертоны сильно затухают

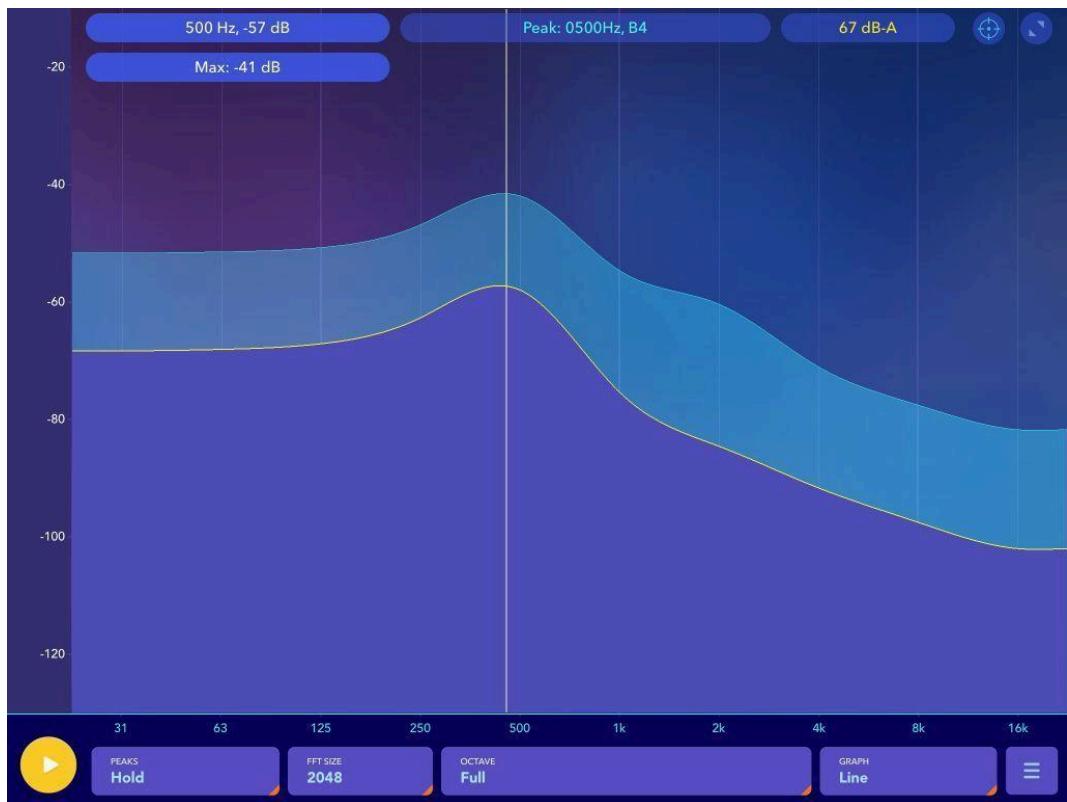
Приложение 5.1

График фонового шума



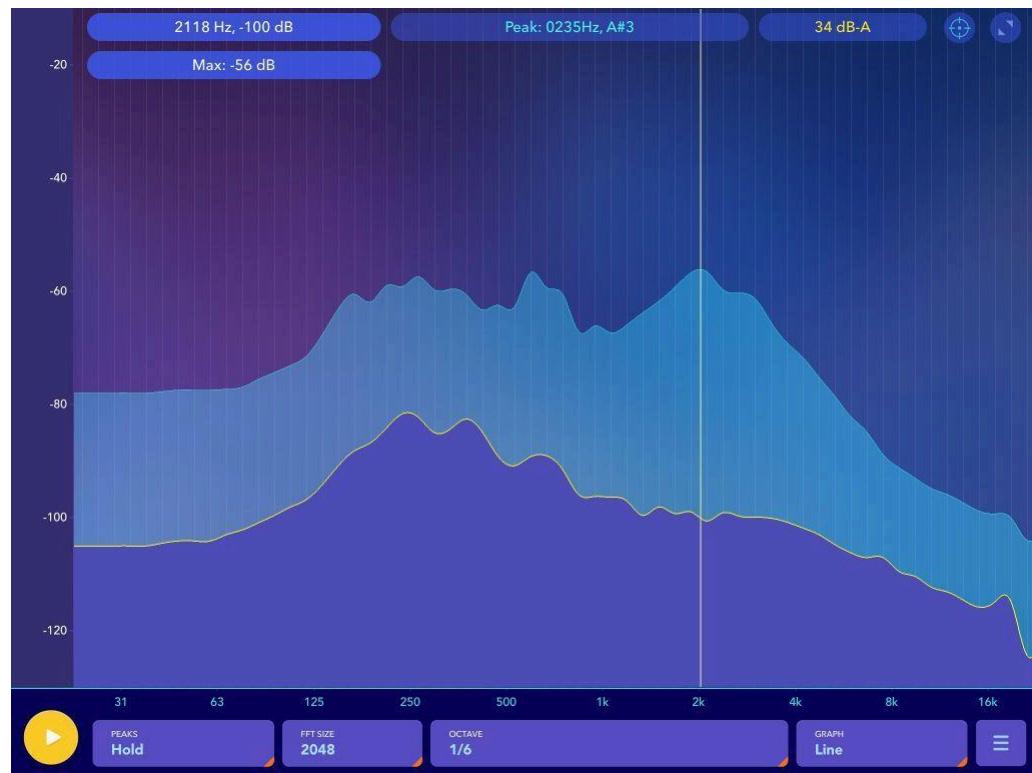
Приложение 5.2

График звука от камертона



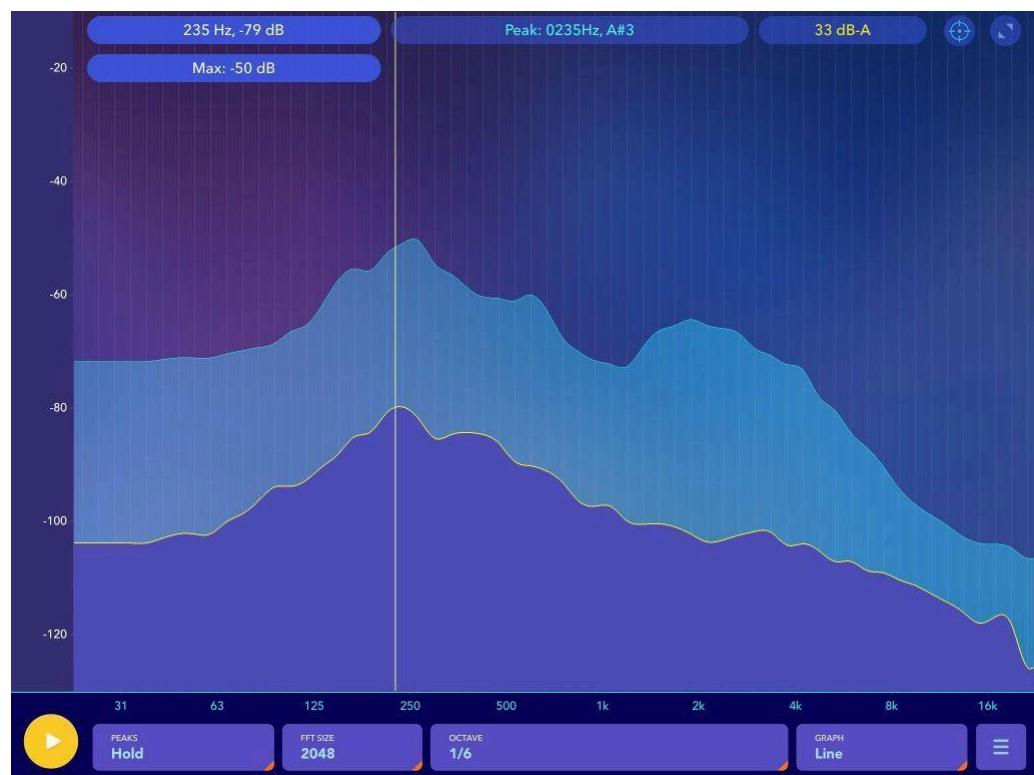
Приложение 5.3

График звука от бумажной трещотки



Приложение 5.4

График звука от пластиковой бутылки



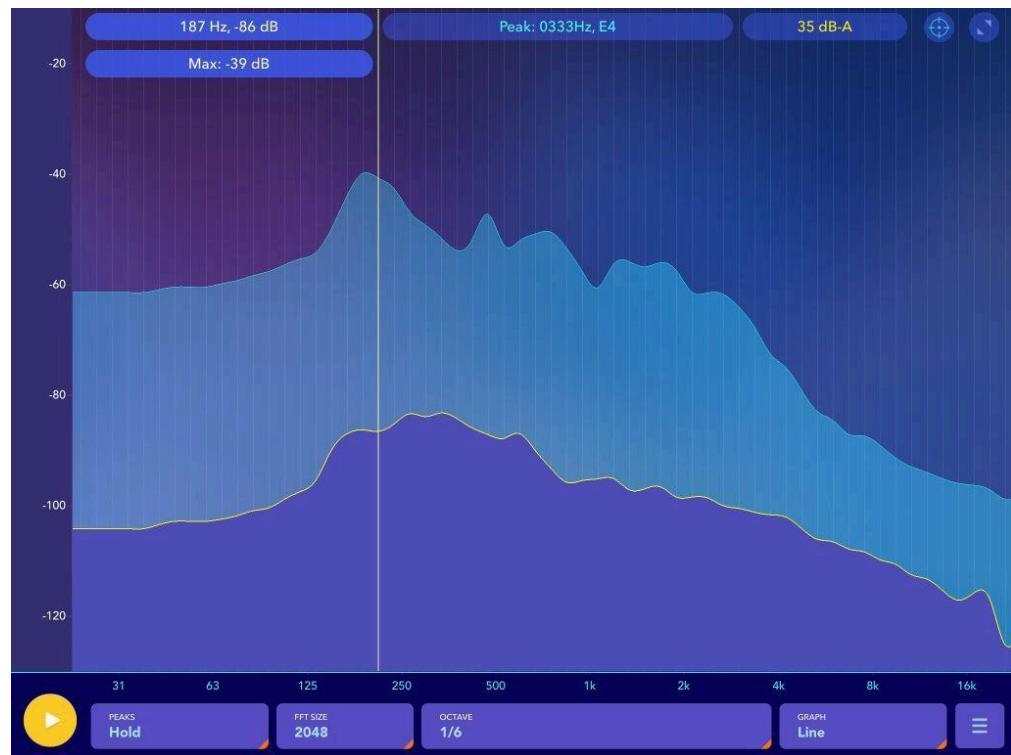
Приложение 5.5

График звука от ремня



Приложение 5.6

График звука от теннисного мяча



Приложение 5.7

График звука голоса (пение)



Приложение 5.8

График звука голоса (шипение)

