

# Моделирование звуковых волн

*Математические модели реальных процессов в природе и обществе*

---

**Автор: Магерин Алексей Николаевич**

11в класс, Лицей 393, д.т. 752-11-13

198255, Санкт-Петербург, ул.Л.Голикова, 50-206

Руководитель: Зеленина Светлана Борисовна

e-mail: [szel@mail.ru](mailto:szel@mail.ru)

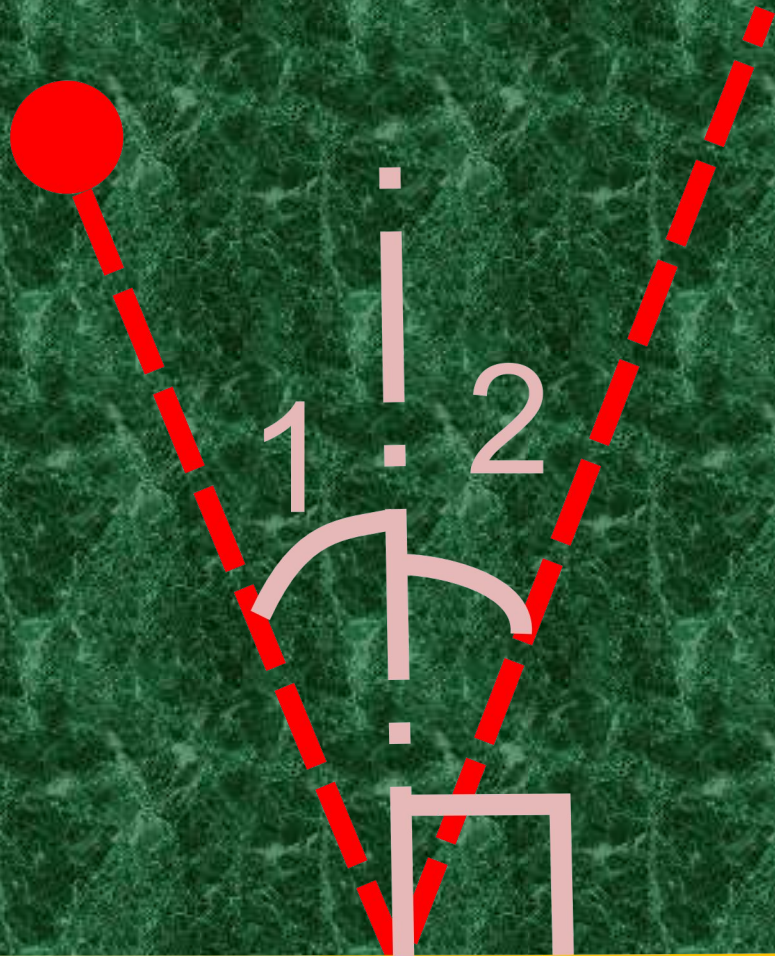
# Постановка проблемы:



В помещении звук не везде слышен одинаково.

Автор произвел моделирование распространения звука в помещении с учетом многократных отражений от стен.

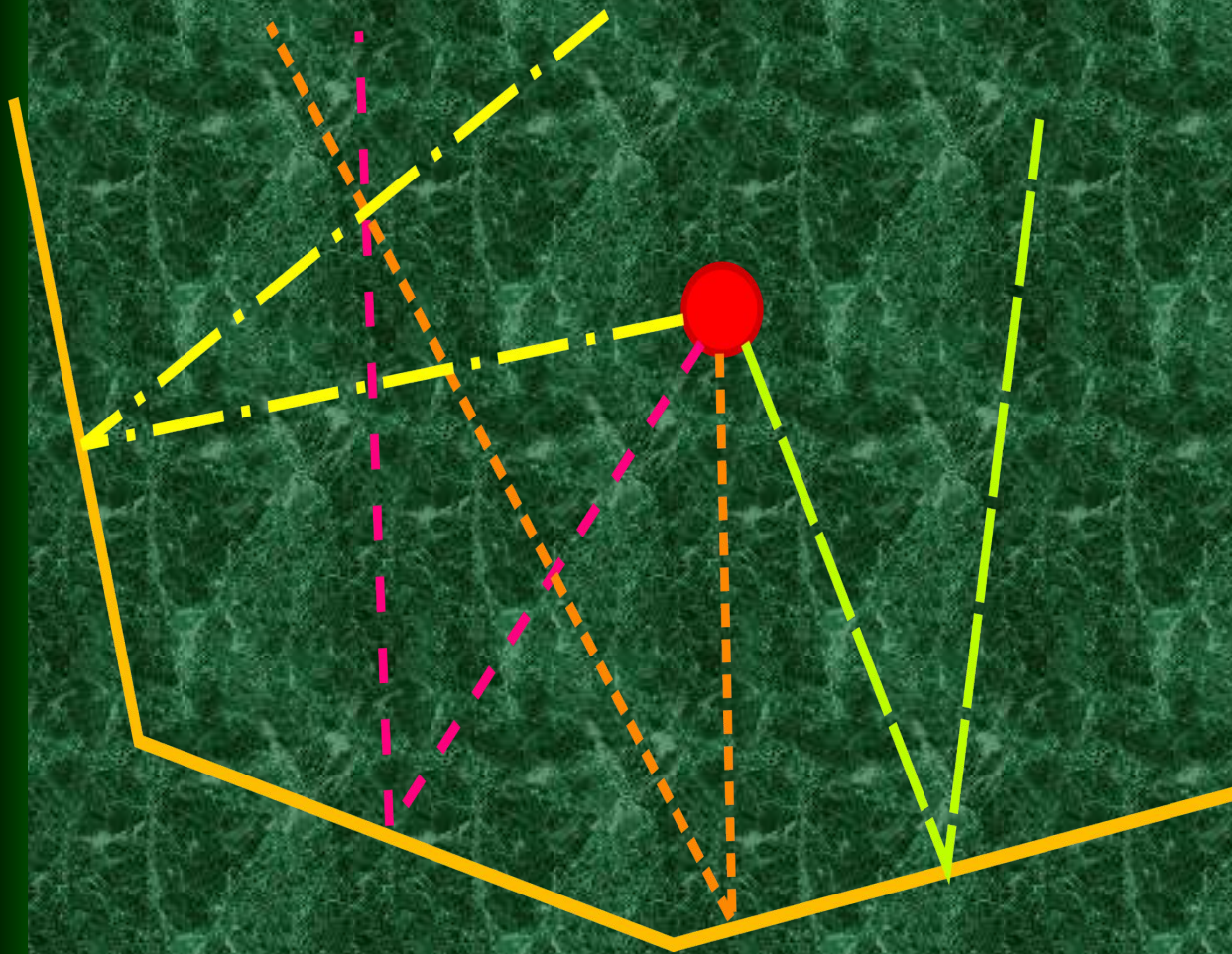
# Рассмотрим звук как волну



Звук изображен пунктирной линией — перпендикуляром к фронту волны. Источник звука — красный круг. При столкновении с препятствием звук отражается по принципу "угол падения равен углу отражения"



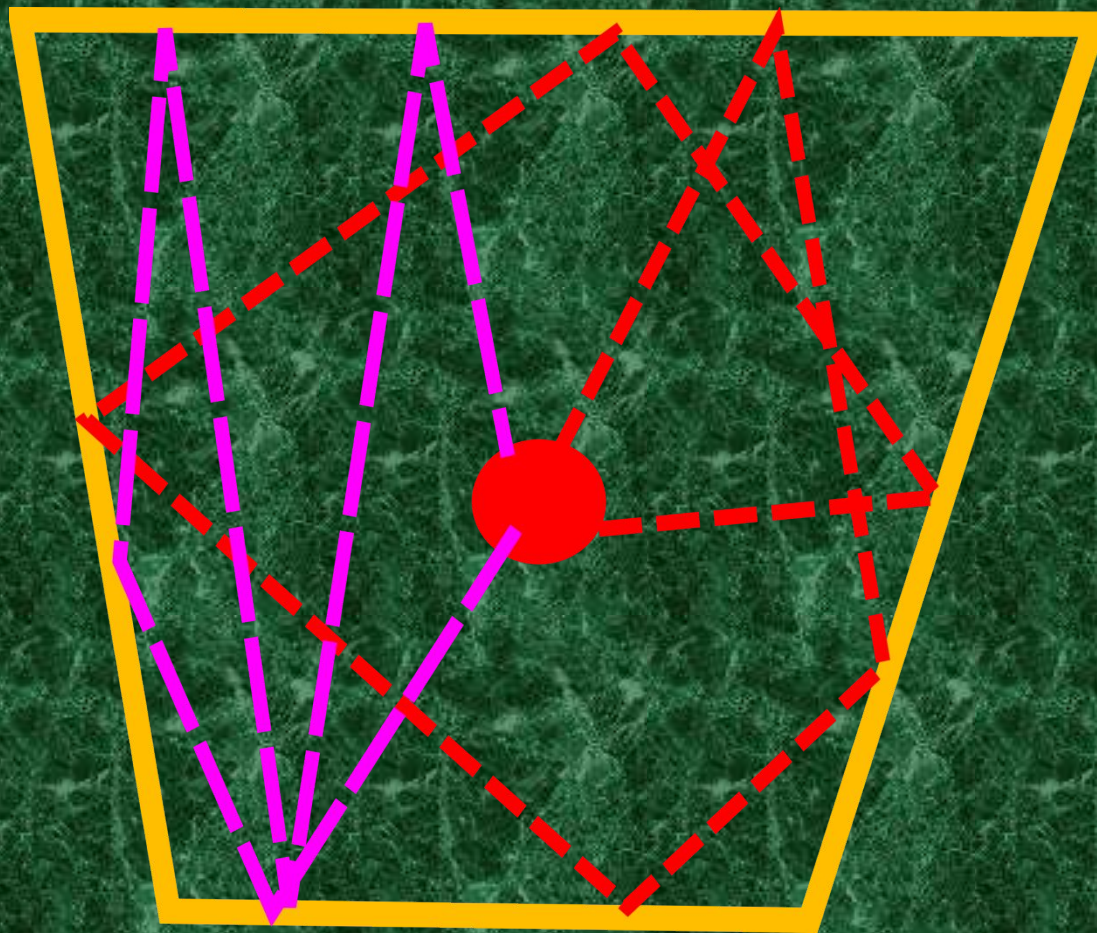
# В открытом пространстве многократные отражения отсутствуют



К звуку от источника добавляются отражения от стены.

В зависимости от фазы колебаний отражения усиливают или гасят звук.

# В замкнутом помещении ЭТОТ эффект гораздо сильнее



Как видно на рисунке — звуковая волна "догоняет" сама себя. Если стены хорошо отражают звук ("гулкие") возникает реверберация, качество звучания падает.

Борьба с реверберацией состоит в использовании звукопоглощающих элементов (окна, мягкие драпировки, сами слушатели)

Однако излишнее звукопоглощение приводит к ухудшению слышимости.

Автор смоделировал распространение звука в помещениях с различной геометрией и различными коэффициентами поглощения



# Моделирование

**основные этапы компьютерного моделирования:**

разработка концептуальной модели,  
выявление основных элементов системы  
формализация,  
создание алгоритма и написание программы;  
планирование и проведение компьютерных экспериментов;  
анализ и интерпретация результатов.

**Моделирование — циклический процесс**

# Физические свойства модели

Звук характеризуется:

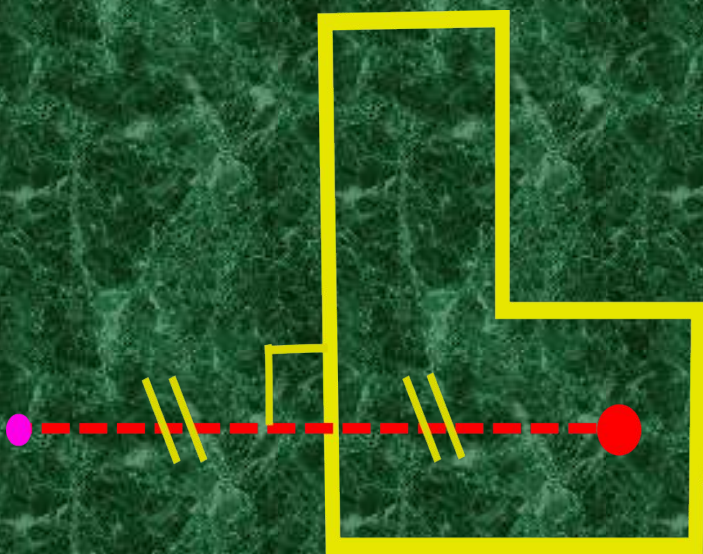
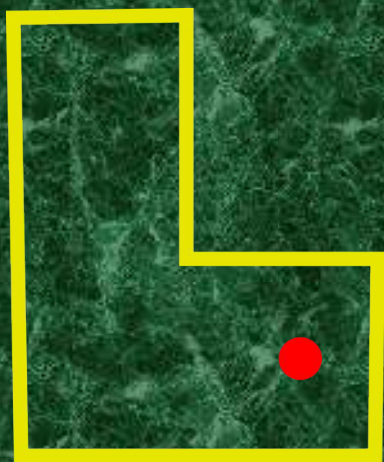
- 1) Частотой
- 2) Амплитудой
- 3) Скоростью распространения

В рамках нашей модели будем считать:

- скорость распространения звука одинаковой во всех экспериментах
- частоту звука 440Гц — нота "ля"
- амплитуду источника звука примем за

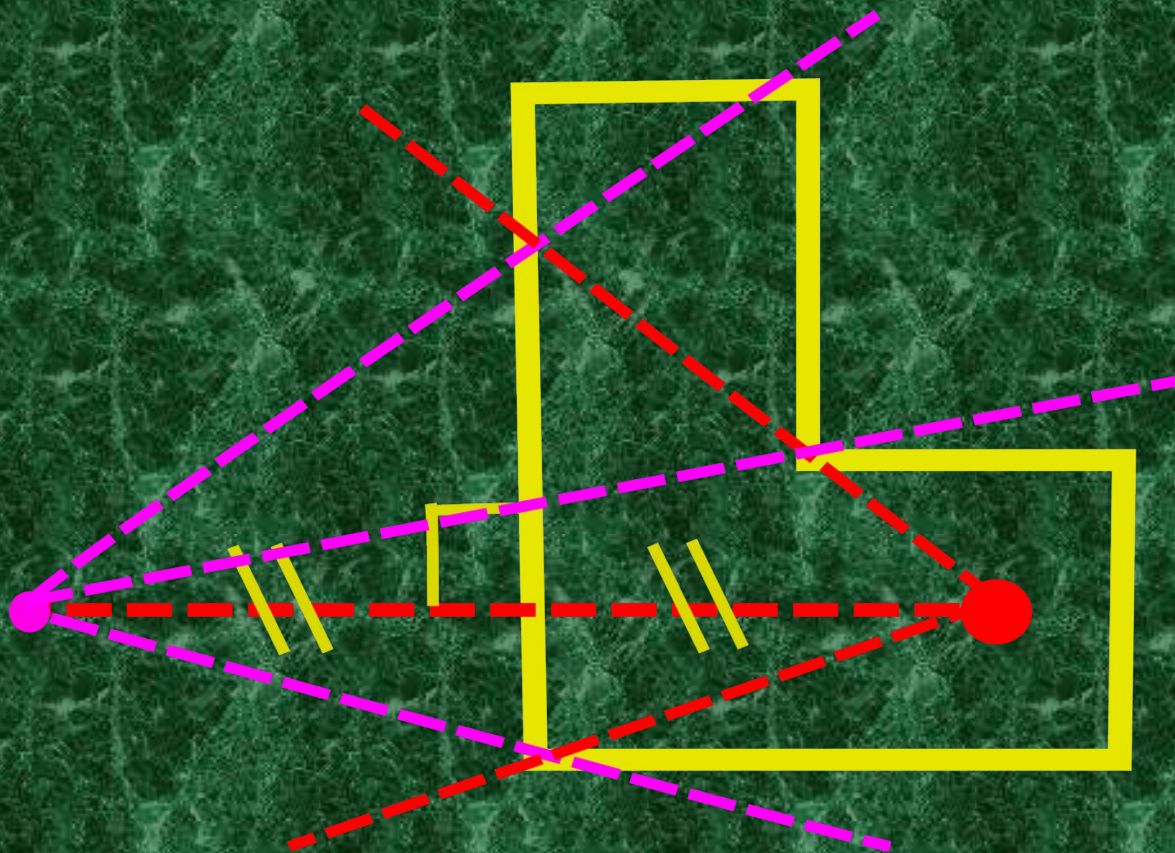


# Рассмотрим помещение с одним источником звука



Чтобы вычислить результат отражения звука от левой стены представим, что за стеной есть "мнимый" источник звука (построим его как отражение истинного). Назовем его отражением первого поколения. Амплитуда звука мнимого источника уменьшается пропорционально поглощающей способности стены.

# Теперь звук в каждой точке помещения состоит из суммы ИСТИННОГО ИСТОЧНИКА И МНИМОГО



Строим мнимые источники (в том числе — отражений отражений), пока амплитуда звука в них выше порога слышимости (мы взяли 5% исходного)

Для каждой точки помещения находим  
сумму "звуков" от всех источников:

$$\sum \cos(\omega t - \frac{d_i}{\lambda} * 2\pi) * \frac{k_i}{d_i^2} \quad \text{преобразуем к виду:}$$

$$x = A * (\cos(\omega t - \varphi)) \quad , \text{ где}$$

$$A = \sqrt{\left(\sum \sin\left(\frac{d_i}{\lambda} * 2\pi\right) * \frac{k_i}{d_i^2}\right)^2 + \left(\sum \cos\left(\frac{d_i}{\lambda} * 2\pi\right) * \frac{k_i}{d_i^2}\right)^2}$$

A — амплитуда звуковых колебаний

$d_i$  — расстояние от точки до источника

$\lambda$  — длина звуковой волны

$k_i$  — коэффициент отражения от стены



*Пожалуйста, рисуйте стены по часовой стрелке*



кирпич



бетон

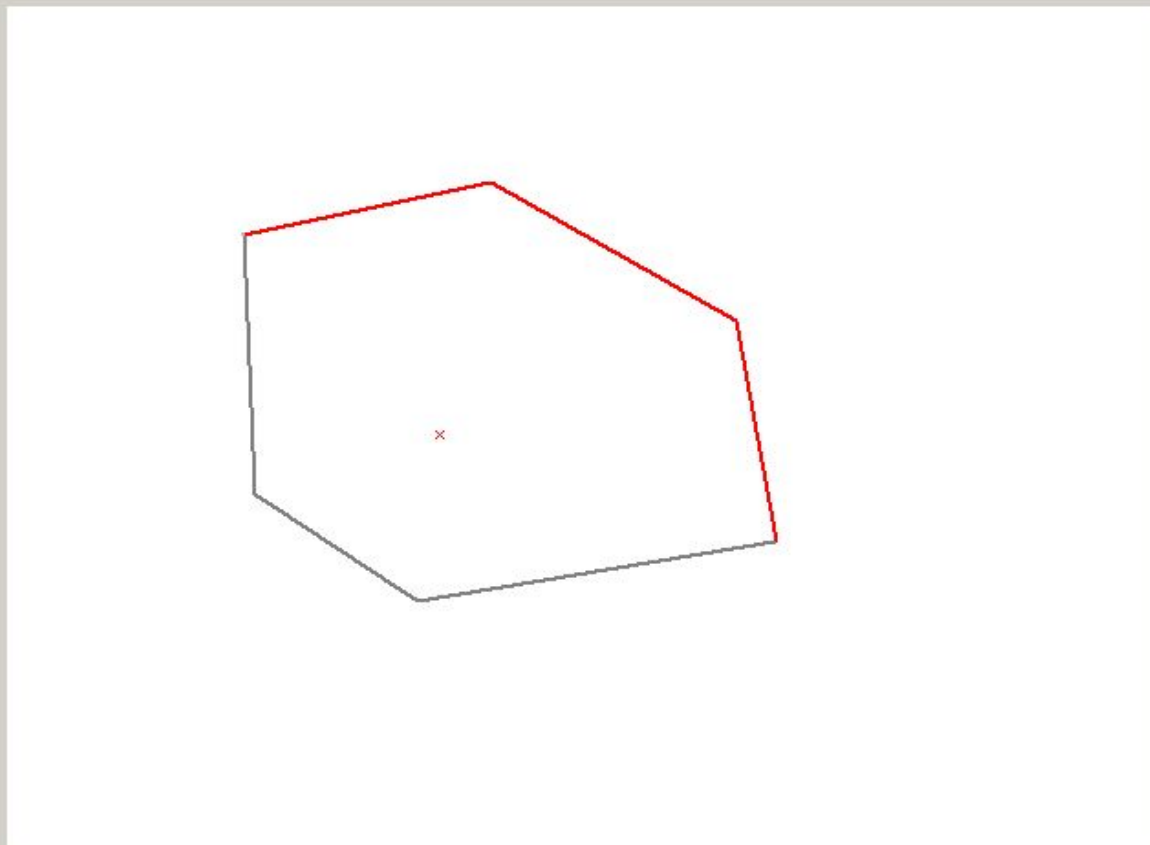


дерево



стекло

Источник звука



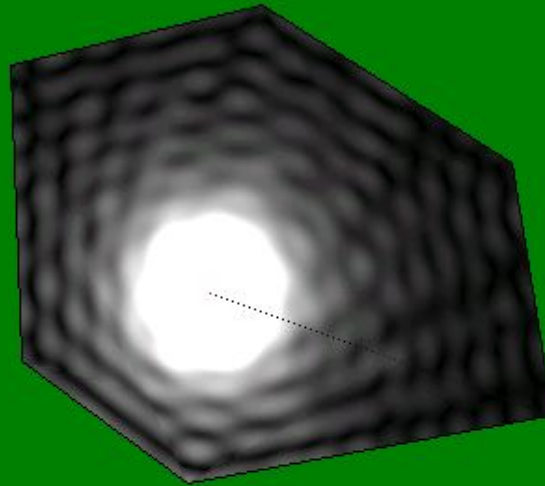
Save

Закрытие создателя комнат(несохранённые данные будут потеряны)

# Пример описания помещения

Отображение помещения

Моделирование звука



Амплитуда  
звуковой  
волны  
показана  
оттенком  
серого —  
чем громче,  
тем ярче

1

Ввод

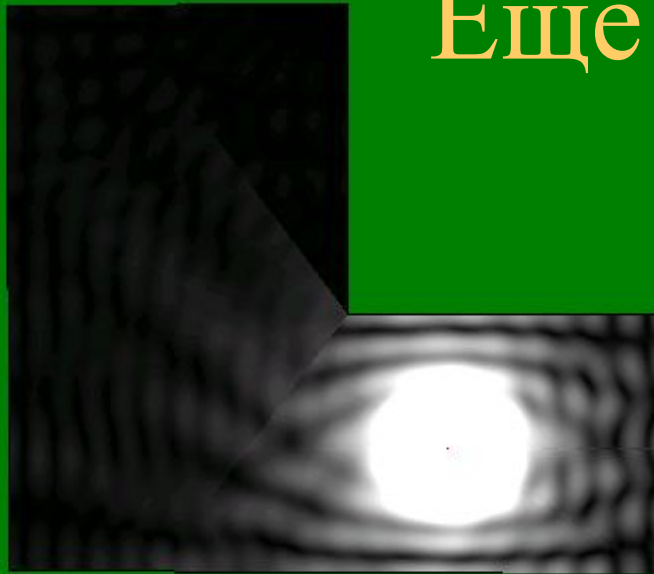
Нажмите ввод (по умолчанию будет открываться тестовая комната)

Покинуть режим заполнения помещения

Отображение помещения

Моделирование звука

# Еще пример



2

Ввод

Нажмите ввод (по умолчанию будет открываться тестовая комната)

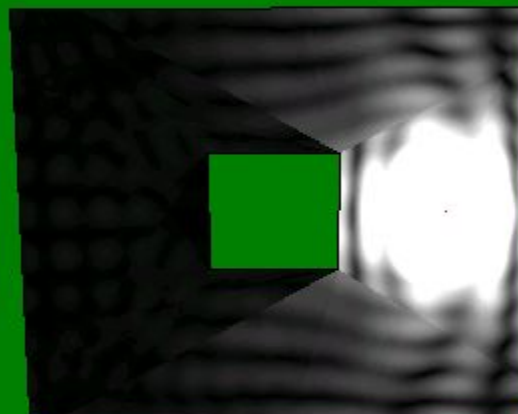
Покинуть режим заполнения помещения



# Помещение с колонной

Отображение помещения

Моделирование звука



4

Ввод

Покинуть режим заполнения помещения

Нажмите ввод (по умолчанию будет открываться тестовая комната)

## Выводы:

Расчет, произведенный программой с использованием описанной модели соответствует жизненному опыту автора (действительно в любом зале встречаются "мертвые" зоны, в которых звук со сцены не слышен, причем на минимальном расстоянии от "мертвой" зоны слышимость нормальная).

Однако расчет показывает быстрое угасание звука, что позволяет предположить, что модель нуждается в дальнейшем совершенствовании.

# Источники информации:

1. Богданов К.Ю. Физик в гостях у биолога. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986
2. Вуд А. Звуковые волны и их применения. -М. КомКнига. Перевод с английского. Изд.2. 2006.
3. Перельман А.И. Занимательная физика. В двух книгах. Книга 1. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983
4. Необычные свойства обычных металлов / Под ред. Л.Г. Асмалазова.- М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984
5. Лансберг Г.С. Элементарный учебник физики. Том III: Колебания, волны, оптика, строение атома. Издательство «Наука» Главная редакция физико-математической литературы, 1972
6. Фаронов В.В. Delphi 4 учебный курс. Издательство «Нолидж», 1999
7. <http://ru.wikipedia.org/wiki> энциклопедия «Википедия». Статьи об акустике и моделировании.