

В задаче не требуется оценка погрешностей!

Уважайте других и не создавайте шум, извлекая из металлофона лишние звуки без необходимости!

Теоретическая справка.

Любой звуковой сигнал можно представить в виде совокупности гармонических колебаний разных частот. Спектром называется график зависимости амплитуды (или величины, однозначно определяющей амплитудой) этих колебаний от их частоты.

При ударе пластиковым молоточком по планке металлофона она издает звук. Спектр звучания одной планки состоит из нескольких узких пиков. Будем называть тот из них, который имеет наименьшую частоту и заметную амплитуду, основным. Помимо него в спектре каждой планки присутствует еще несколько пиков, называемых обертонами. При повышении основной частоты (то есть при смене планки металлофона) частоты каждого из обертонов тоже монотонно меняются. Из всех обертонов нас будут интересовать только те два, которые, например, для планки, соответствующей ноте fa , находятся между 6 и 8 кГц. Другие пики рассматривать не будем.

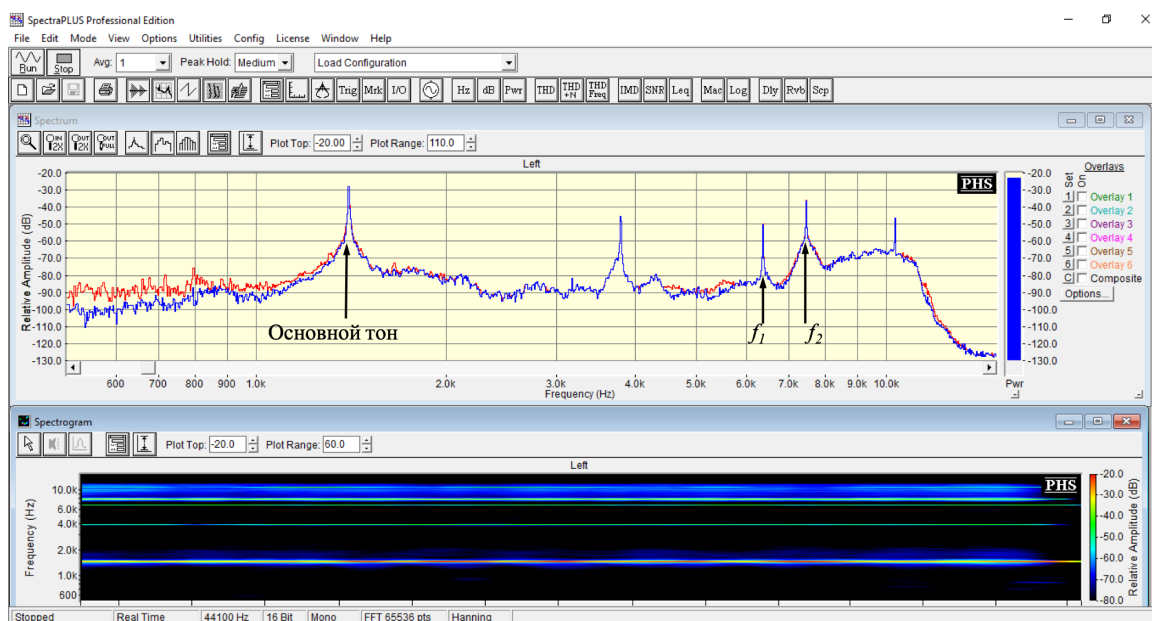


Рис. 1. Спектр звучания планки металлофона, соответствующей ноте fa .

Планки металлофона соответствуют нотам: do , re , mi , fa , sol , la , si . В музыке две последующие ноты с одинаковыми названиями образуют музыкальный интервал, называемый октавой. Например, do и следующая do отличаются на октаву.

Указания.

1. Чувствительность микрофона сильно ослабевает при частотах выше 11 кГц. Измерения на частотах, выходящих за эту границу, проводить не требуется.

2. Вы можете изменять настройки анализирующей спектр программы и отображать различные виды спектрограммы. Подробно эти возможности описаны в прилагающейся к условию инструкции.

Задание.

1. Измерьте частоты основного тона металлофона f для всех его 12-ти планок.
2. Рассчитайте, как соотносятся частоты нот, отличающихся друг от друга на одну октаву. Сформулируйте физическое определение музыкального интервала в одну октаву.
3. Базисным в музыке считается интервал в один тон, также используется интервал в один полутон. Например, нота *do* и нота *re* отстоят друг от друга на один тон. Любые две соседние ноты отличаются либо на тон, либо на полутон. Для каждой пары последовательных нот рассчитайте отношение их частот. Укажите соответствующие музыкальные интервалы. Как связаны музыкальные интервалы в одну октаву и в один тон? Сформулируйте физические определения музыкальных интервалов в один тон и в один полутон.
4. Измерьте длину l каждой из планок металлофона. Зависимость частоты основного тона планки металлофона от ее длины имеет вид степенной зависимости $f \sim l^\alpha$. Определите степень α .
5. Измерьте частоты f_1 и f_2 двух обертонов для каждой из планок. Зависимость частоты обертона планки металлофона от ее длины имеет вид степенной зависимости: $f_1 \sim l^{\alpha_1}$, $f_2 \sim l^{\alpha_2}$. Определите степени α_1 и α_2 .

Оборудование. Металлофон, пластиковый молоточек, линейка, ноутбук с установленным программным обеспечением для анализа спектра.

Просьба не оставлять в этой инструкции своих записей/пометок!
После завершения работы оставьте инструкцию на столе.

Представленная вам программа предназначена для отображения спектра аудиосигнала и проведения спектральных измерений в режиме реального времени.

Если на вашем компьютере не открыто окно программы SpectraPLUS, откройте ее ярлык на рабочем столе и во всплывающем после загрузки окне нажмите кнопку «ОК».

Перед началом измерений среди верхних вкладок меню выберите Options→Settings и проверьте, что выставленные настройки совпадают с изображенными на рисунке 2. В первую очередь сверьте поля в разделе «Frequency Range and Resolution».

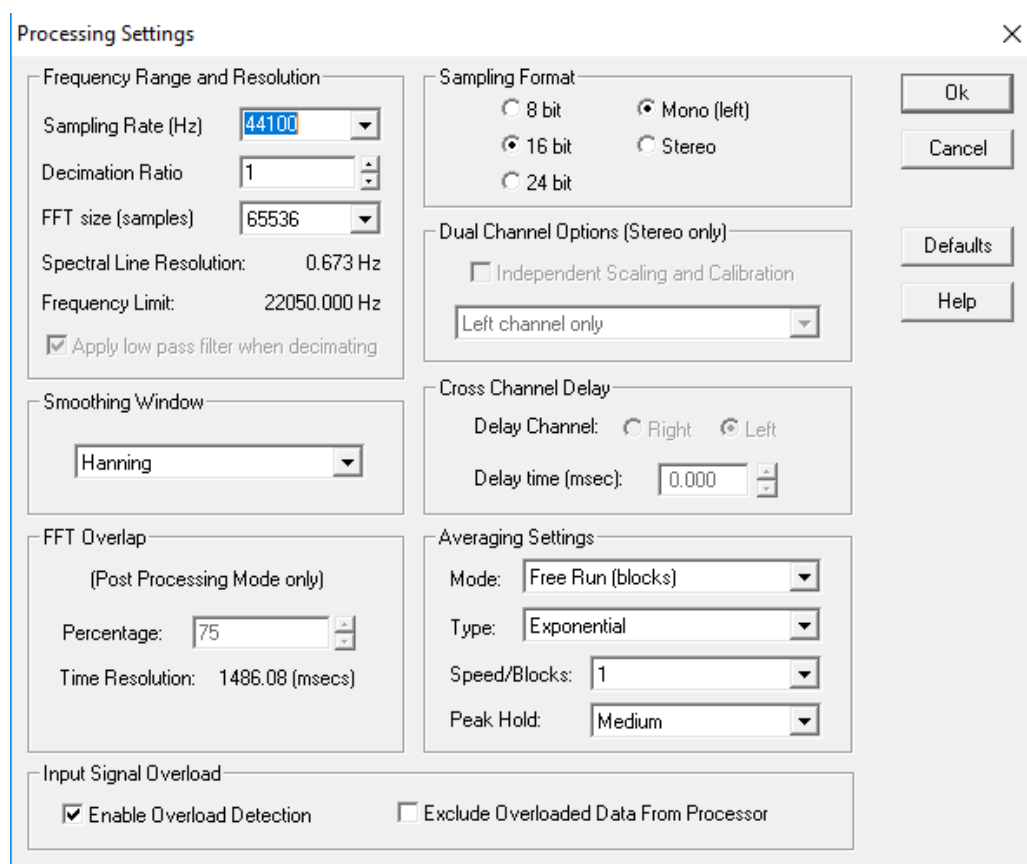


Рис. 2. Настройки программы.

Для начала измерений используется кнопка «Run» в левом верхнем углу окна, для остановки – «Stop». Названия кнопок отображаются при наведении курсора на них.

Для анализа частот можно пользоваться двумя режимами:

- спектр (кнопка «View Spectrum Plot»);
- спектрограмма (кнопка «View Spectrogram Plot»).

Режим спектра.Рис. 3. Спектр планки металлофона, соответствующей ноте fa , в режиме спектра.

В режиме спектра отображается распределение амплитуд по частотам записываемого звука. Для увеличения/уменьшения различных областей изучаемого спектра используйте инструмент «Zoom» (кнопка над левым верхним углом графика). Для быстрого возвращения к исходному масштабу используется кнопка «Out Full».

Чтобы измерить частоту, наведите курсор на интересующую деталь спектра и нажмите левую клавишу мыши. У вас появится две направляющие с подписями: одна отвечает за частоту (в Hz), другая – за амплитуду (в dB).

Для быстрого настраивания диапазона рассматриваемых частот нажмите правой кнопкой мыши в любой точке области графика и выберите Properties. Откроется окно, как на рисунке 4.

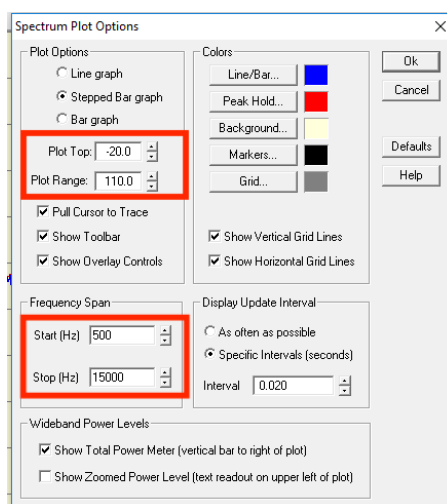
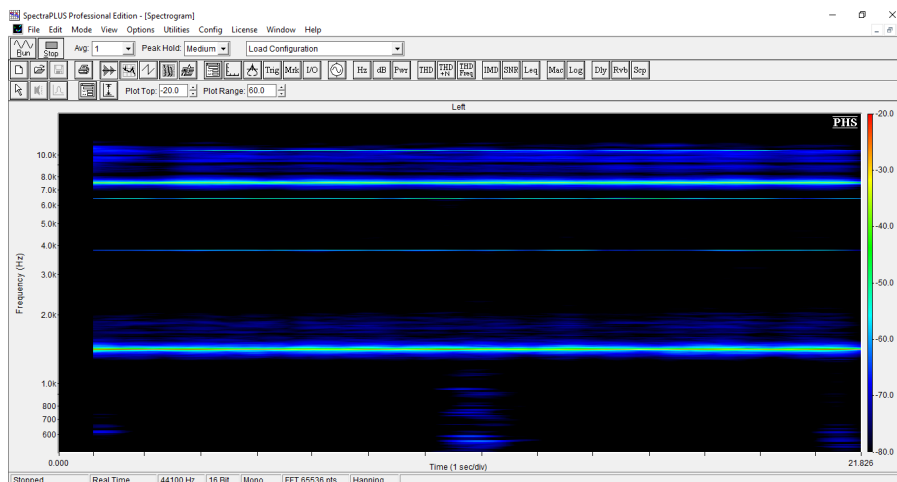


Рис. 4. Меню Properties в режиме спектра.

В этом окне «Start (Hz)» и «Stop (Hz)» отвечает за начало и конец диапазона. «Plot Top» задает максимальное значение рассматриваемой амплитуды, а «Plot range» – диапазон различных амплитуд. Например, если у вас «Plot Top» выставленно на -20 dB , а «Plot Range» на 60 dB , то программа не различает амплитуды ниже -80 dB .

Режим спектрограммы.Рис. 5. Спектр планки металлофона, соответствующей ноте fa , в режиме спектрограммы.

В режиме спектрограммы отображается распределение амплитуд различных частот во времени. То есть внизу располагается шкала времени, а слева - шкала частоты. Наиболее интенсивные (громкие) частоты помечаются красным цветом, менее интенсивные – желтым и синим, неразличимые (то есть находящиеся вне Plot Range) помечаются черным.

Для настройки спектрограммы нажмите правую клавишу мыши и выберите Properties.

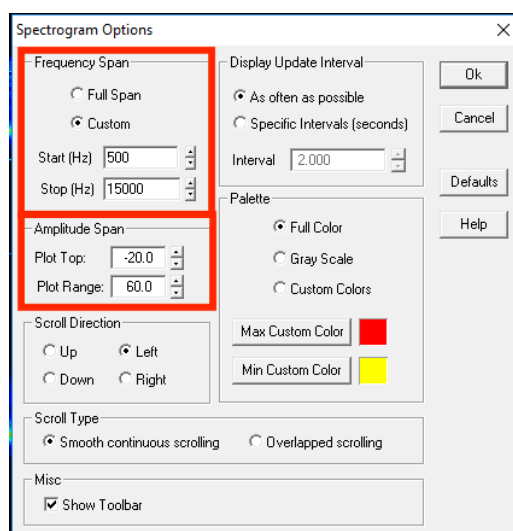


Рис. 6. Меню Properties в режиме спектрограммы.

«Start (Hz)» и «Stop (Hz)» отвечают за начало и конец диапазона рассматриваемых частот. «Plot Top» задает максимальное значение рассматриваемой амплитуды, а «Plot Range» – диапазон различных амплитуд. Например, если у вас «Plot Top» выставленно на -20 dB , а «Plot Range» на 60 dB , то программа не различает все амплитуды ниже -80 dB и помечает их черным цветом.

Аналогично режиму спектра, если в окне спектрограммы навести и зажать курсор, то будут показаны частота и амплитуда. Если же навести на некоторый интересный момент времени и нажать дважды левой кнопкой мыши, то в окне режима спектра откроется спектр, измеренный в этот момент времени. Помимо окна режима спектра откроется ещё одно окно, в текущей задаче оно нас не интересует и его можно спрятать вне поле экрана. (Если его закрыть, то оно будет открываться каждый раз, поэтому лучше просто спрятать его).

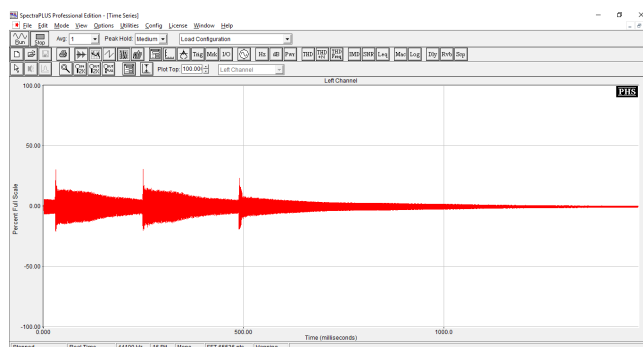


Рис. 7. Окно, которое надо спрятать.

Одна из особенностей режима спектрограммы состоит в том, что требуется время для отрисовки спектрограммы при каждом изменении настроек и/или размера окна.

*Решение*

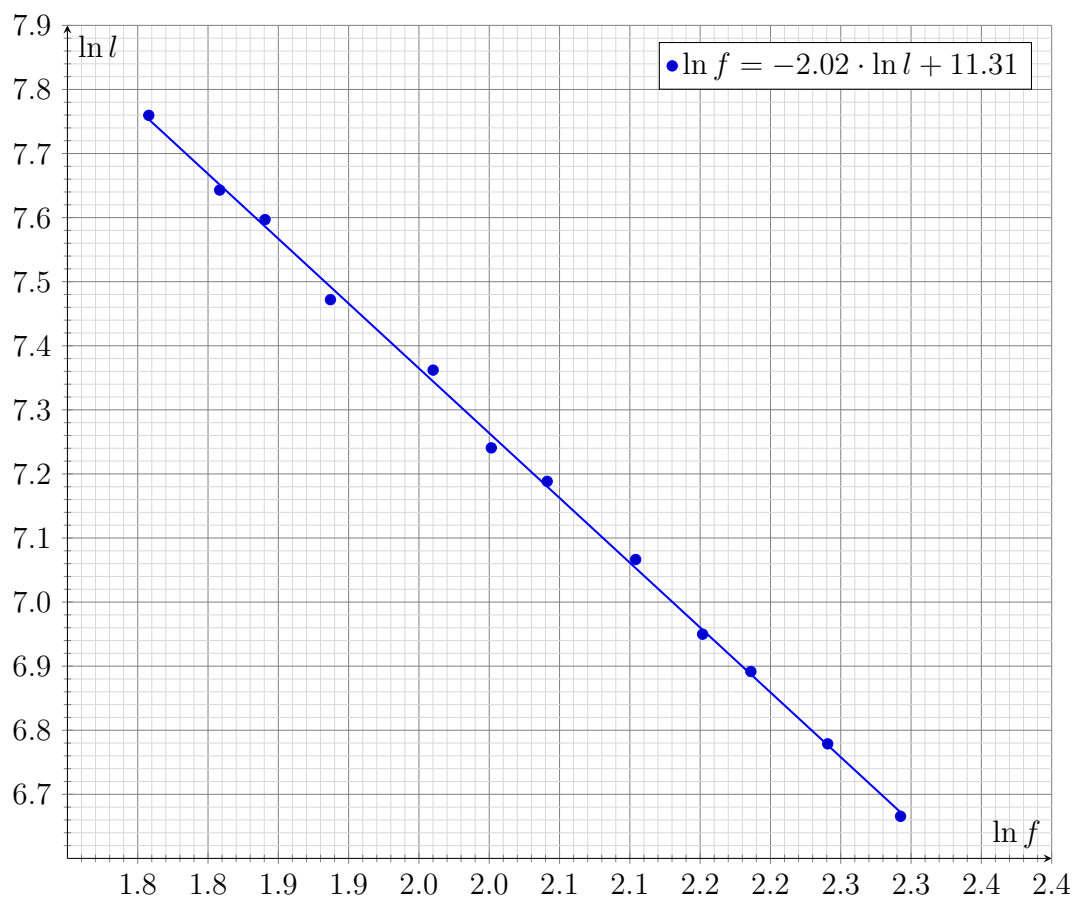
1. Измерим частоты основного тона металлофона.

Планка	f , Гц	$k = f^{(i)} / f^{(i-1)}$
sol	785	1.000
la	879	1.120
si	984	1.119
do	1043	1.060
re	1172	1.124
mi	1324	1.130
fa	1395	1.054
sol	1575	1.129
la	1758	1.116
si	1992	1.133
do	2086	1.047
re	2344	1.124

2. Заметим, что частоты нот, отличающихся на октаву, относятся как 1:2. Таким образом, музыкальный интервал говорит об отношении частот. Так, одна октава с точки зрения частот – это увеличение частоты в два раза.
3. Рассмотрим отношение частот двух последовательных нот. Заметим, например, что частота ноты *do* больше частоты ноты *si* в ≈ 1.06 раза. Такое же соотношение между частотами нот *fa* и *mi*. Между остальными нотами соотношение частот ≈ 1.12 раза. С другой стороны, между двумя нотами двух ближайших октав находится шесть тонов, поэтому интервал в один тон – это изменение частоты в $2^{\frac{1}{6}}$ раз, а один полутон – изменение частоты в $2^{\frac{1}{12}}$ раз.
4. Измерим длины всех планок.

l , см	f , Гц	$\ln l$	$\ln f$
9.9	785	2.293	6.67
9.4	879	2.241	6.78
8.9	984	2.186	6.89
8.6	1043	2.152	6.95
8.2	1172	2.104	7.07
7.7	1324	2.041	7.19
7.4	1395	2.001	7.24
7.1	1575	1.960	7.36
6.6	1758	1.887	7.47
6.3	1992	1.841	7.60
6.1	2086	1.808	7.64
5.8	2344	1.758	7.76

Построим в логарифмическом масштабе график зависимости частоты основного тона колебаний планки от ее длины.

График зависимости $\ln f$ от $\ln l$ 

Найдем степень $\alpha \approx -2$.

5. Снимем зависимость частоты первого и второго обертонов от длины планки. Отметим, что стоит быть аккуратным при снятии данных, так как на низких нотах и на высоких нотах порядок по возрастанию этих обертонов разный. Для степеней получаем: $n_1 \approx -1$ и $n_2 \approx -2$.

l , см	f_1 , Гц	f_2 , Гц	$\ln l$	$\ln f_1$	$\ln f_2$
9.9	4734	4219	2.29	8.46	8.35
9.4	4969	4729	2.24	8.51	8.46
8.9	5344	5256	2.19	8.58	8.57
8.6	5531	5566	2.15	8.62	8.62
8.2	5766	6246	2.10	8.66	8.74
7.7	6188	6949	2.04	8.73	8.85
7.4	6375	7371	2.00	8.76	8.91
7.1	6750	8285	1.96	8.82	9.02
6.6	7219	9293	1.89	8.88	9.14
6.3	7688	10430	1.84	8.95	9.25
6.1	7969	11062	1.81	8.98	9.31
5.8	8250	12398	1.76	9.02	9.43

График зависимости $\ln f_i$ от $\ln l$ 