Resonating glasses

by Chepel Dmytro

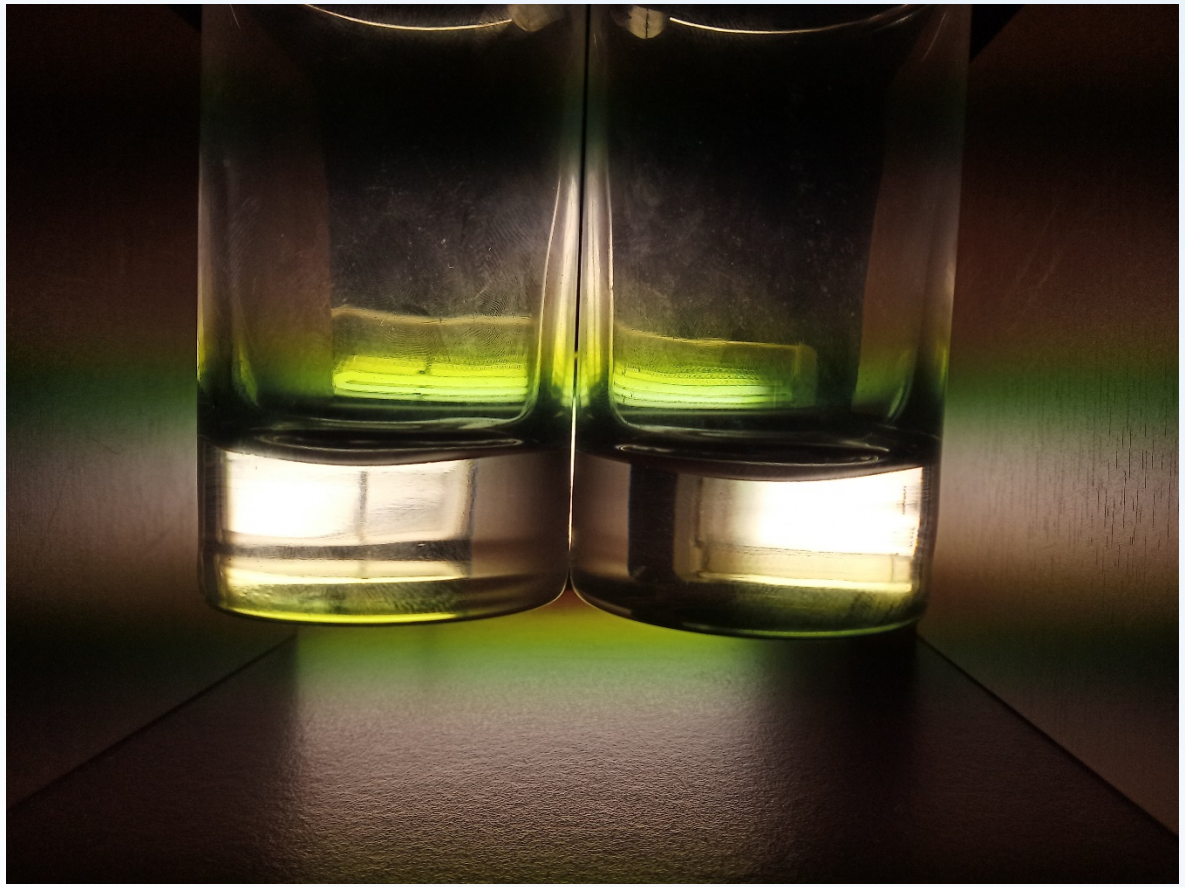
Statement of the problem

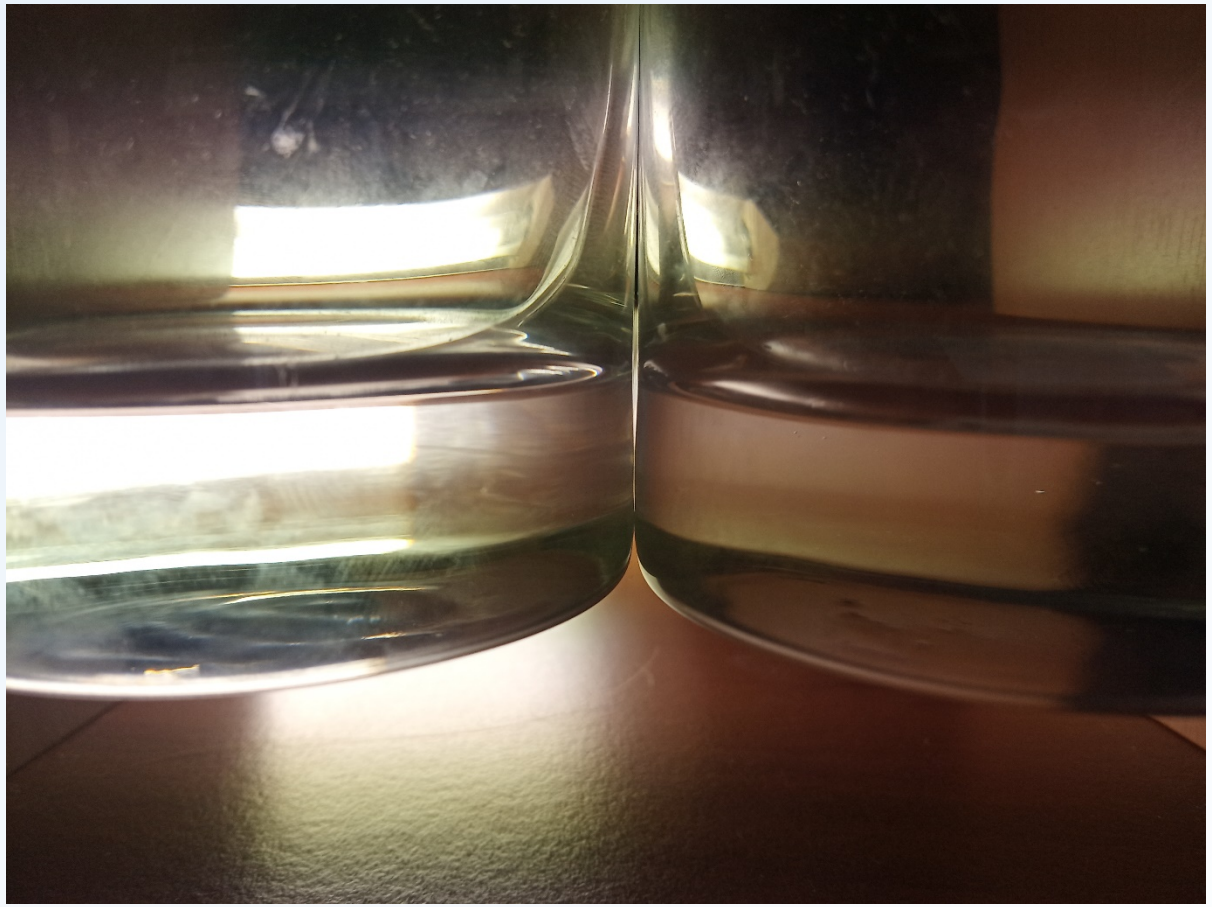
- When you take two glasses between your fingers, they sometimes emit a particular sound containing a frequency sweep. Investigate the phenomenon.

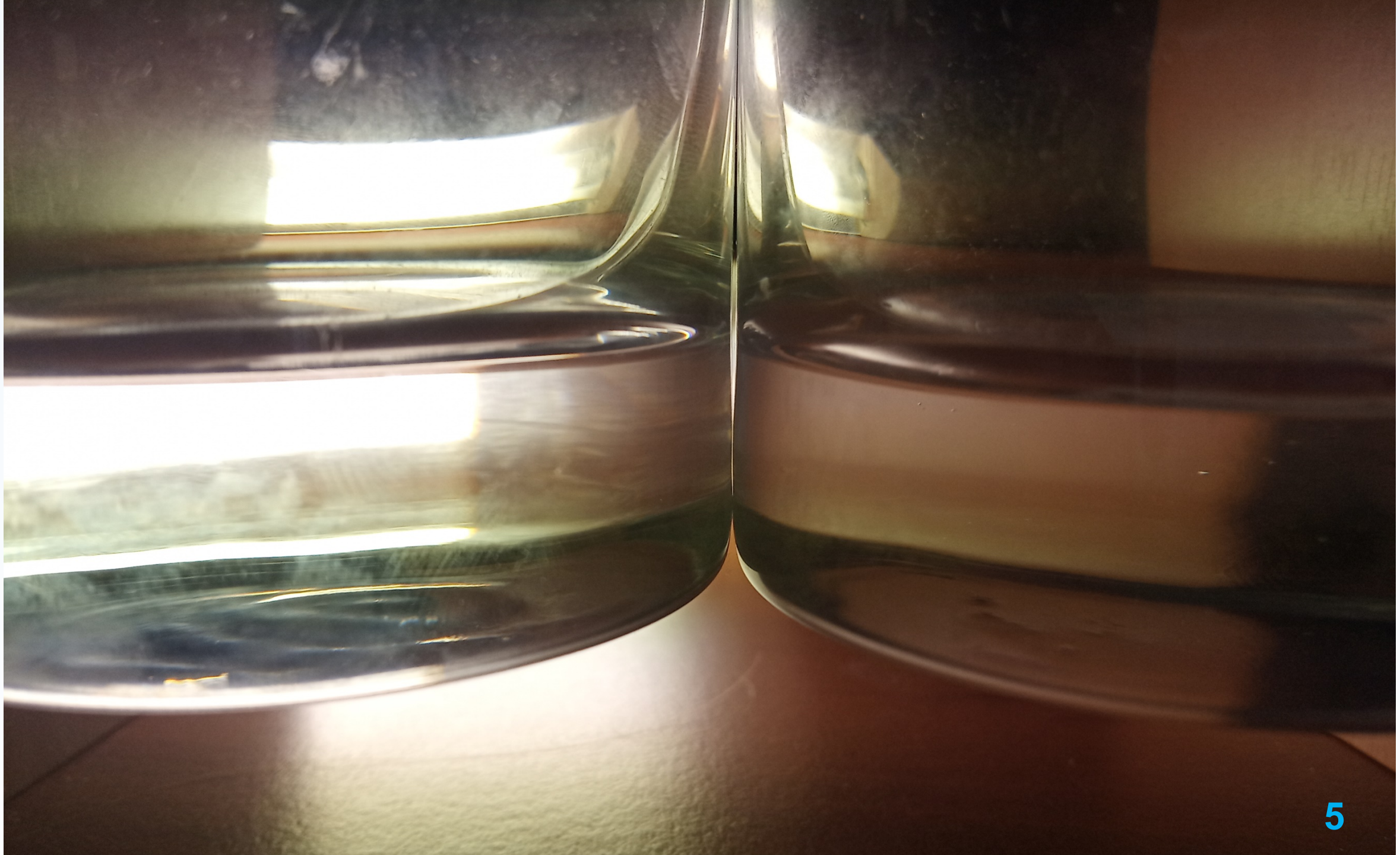
Mechanical part of the problem

Physical model:

- Glasses are colliding in a single point by their bottoms.





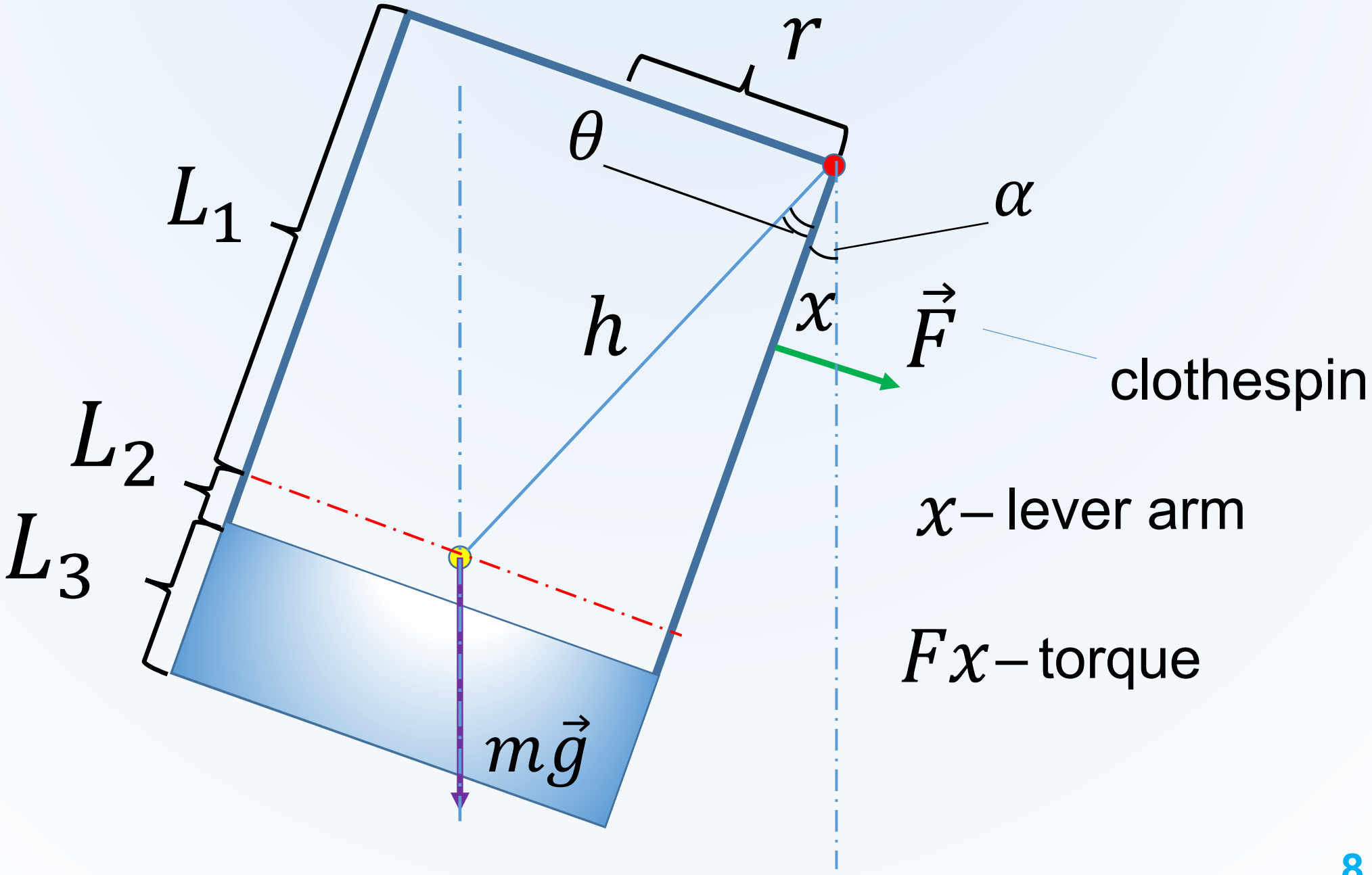


Colliding by *surface*

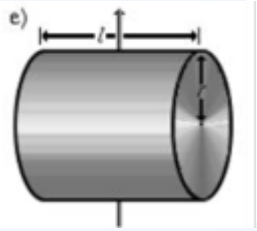
Single-point-bottom colliding

Physical model:

- Collisions are not elastic
- After each collision, the energy of the glasses decreases D times. D = const.
- The problem is symmetric, so I will consider the movement of only one glass.
- The glass is a physical pendulum.

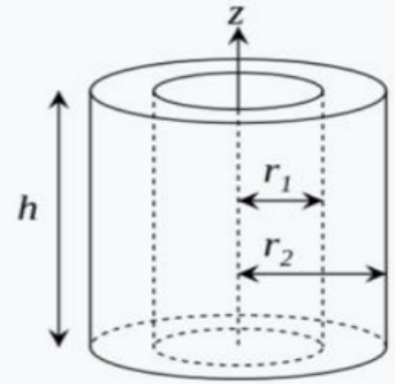

r
θ
L_1
α
h
x
$\vec{F}$
clothespin
L_2
L_3
$x-$ lever arm
$Fx-$ torque
$m\vec{g}$

Moments of inertia



$$\frac{1}{4}m \cdot r^2 + \frac{1}{12}m \cdot l^2$$

$$I_1 = m_1\left(\frac{5}{4}r^2 + \frac{1}{3}{L_3}^2 + {L_3}^2 + L_3 * (L_1 + L_2)\right)$$

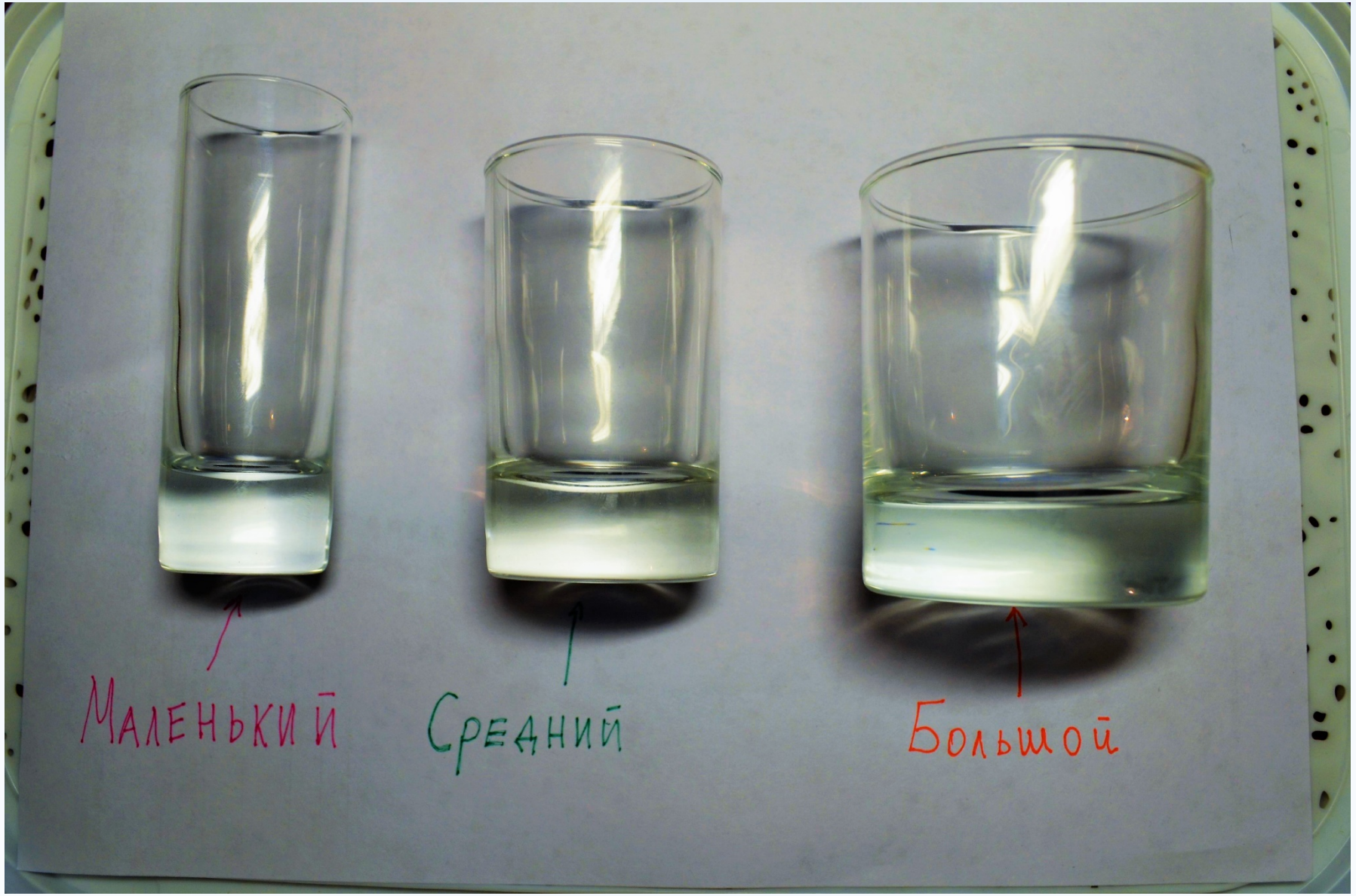


$$I_2 = \frac{1}{12}m_2(3(r^2 + (r - \Delta r)^2) + 4(L_1 + L_2)^2) + m_2 r^2$$

$$I_x = I_y = \frac{1}{12}m\left(3\left(r_2^2 + r_1^2\right) + 4h^2\right)$$

$\Delta r - wall\ thickness$

Test subjects



Finding the center of mass:

Parameters of the glasses in millimeters

$\Delta r = 1.3$

r=1.9

$L_3 = 19$

$L_2 = 12.7$

$L_1 = 54.3$

$\Delta r = 1.5$

r=49

$L_3 = 18.2$

$L_2 = 9$

$L_1 = 59.1$

$\Delta r = 1.6$

$r = 33.5$

$L_1 = 46.5$

$L_2 = 19.7$

$L_3 = 17.4$

Rotational equation

$$\mathrm{I} * \ddot{\varphi} = M$$

$$(I_1 + I_2) * \ddot{\varphi} = -mgh * sin\varphi - \mathrm{F} * \mathrm{x}$$

$$h = \sqrt{(r^2 + {L_1}^2)}$$

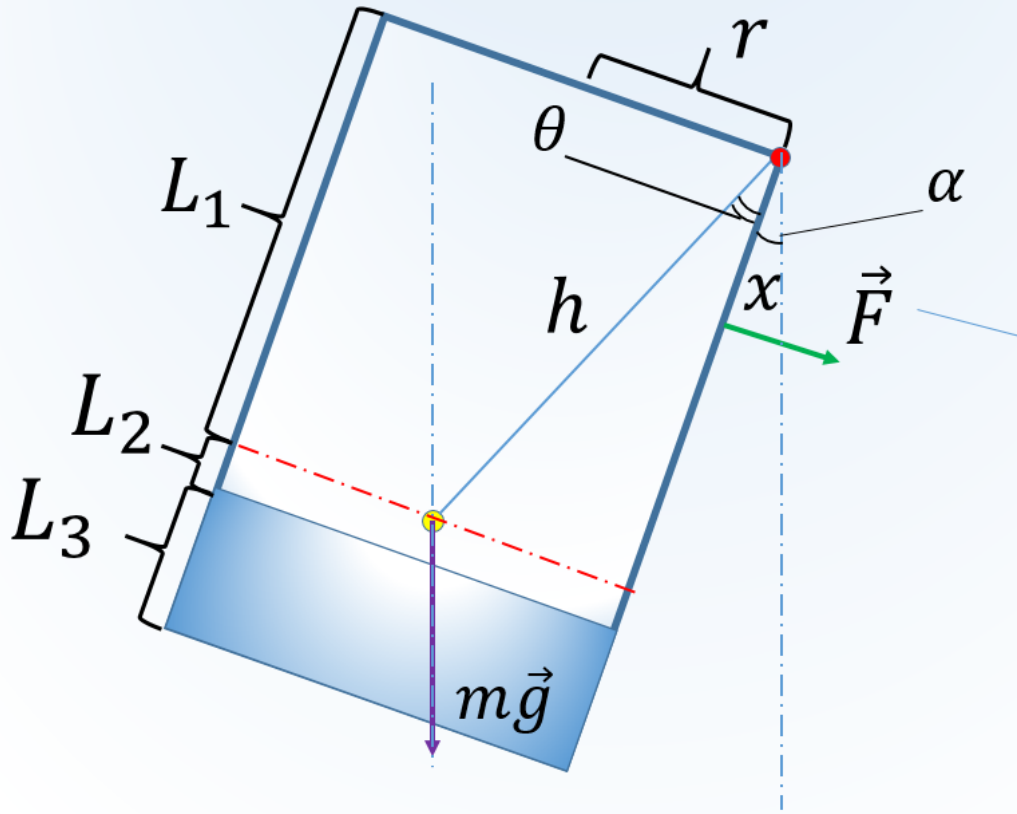
Numeric solving

$h = 64$ mm

$\theta = 0.393$ rad

$\alpha = 0.0423$ rad

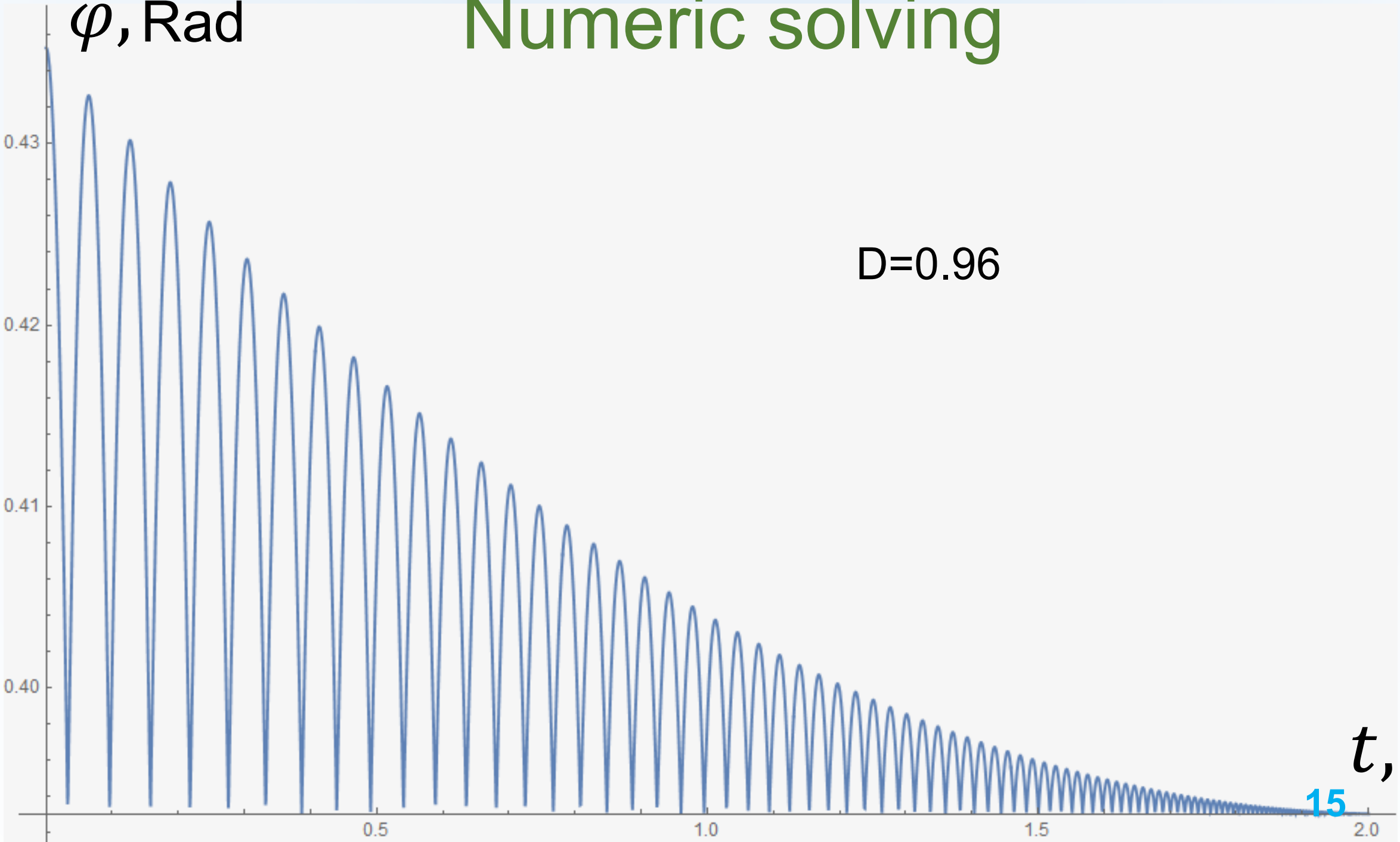
$F = 12.45\ N$



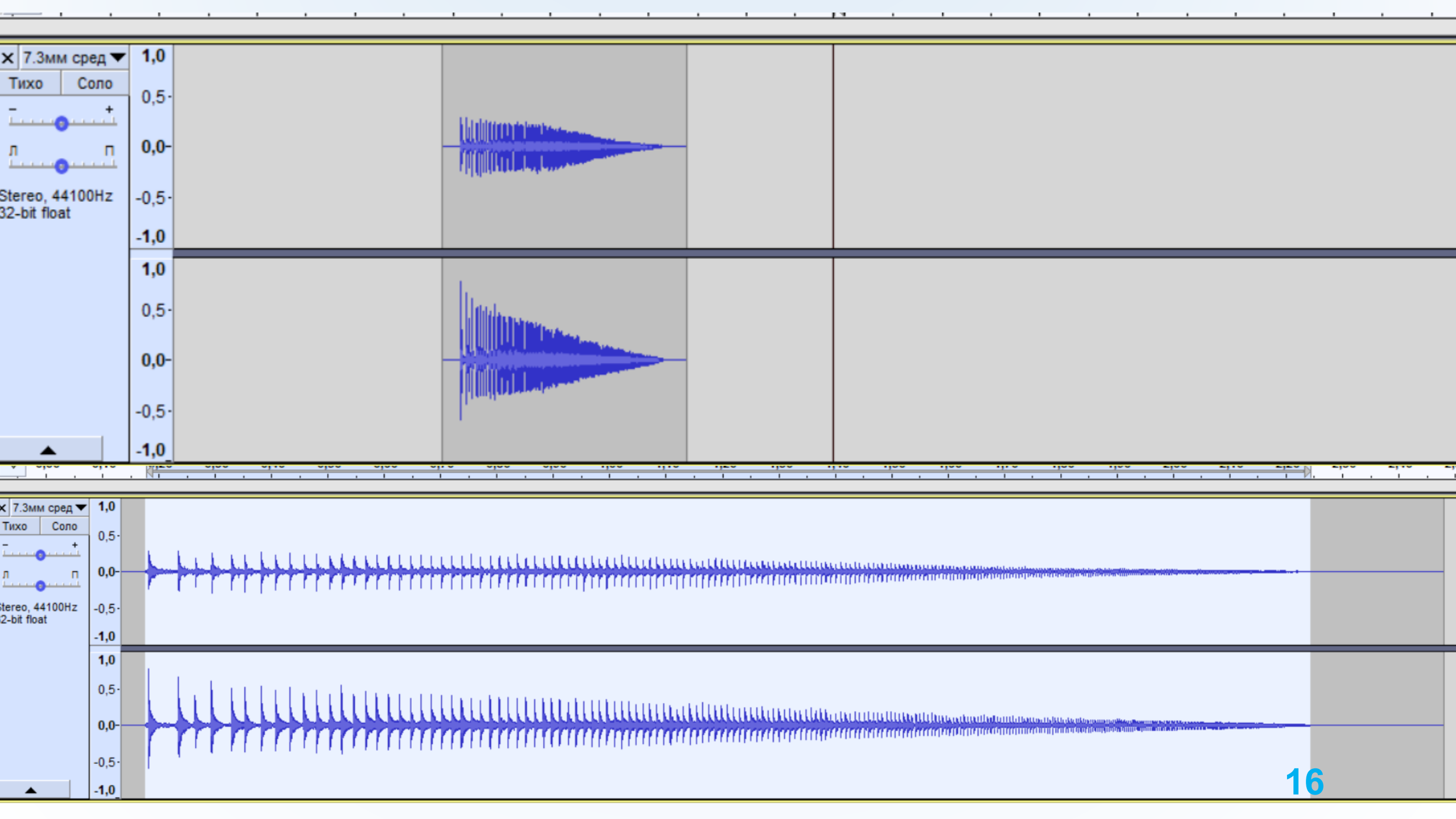

```
s=NDSolve[{(J1+J2)*y''[t] == -10*m*h*Sin[y[t]]-(12.45+k*(y[t]-ac))*x,y[0]==(ac+a0),y'[0]==0,WhenEvent[y[t]==ac,{y'[t]→-D*y'[t],i++}]},y,{t,0,1.5}]
Plot[Evaluate[y[t]/.s],{t,0,1.5},PlotRange->All]
i
```

```
WhenEvent[y[t]==ac,{y'[t]→-D*y'[t],i++}]},
```

Numeric solving



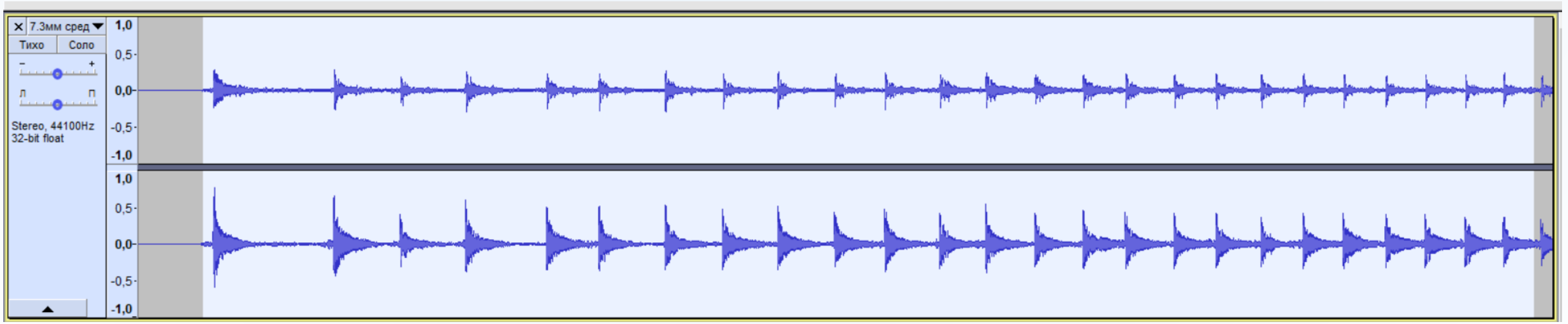
D=0.96


7.3мм сред
Тихо
Соло
Л
П
Stereo, 44100Hz
32-bit float
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
16

Conclusion:

In a reality : $d \neq const$

$$d = f(i)$$



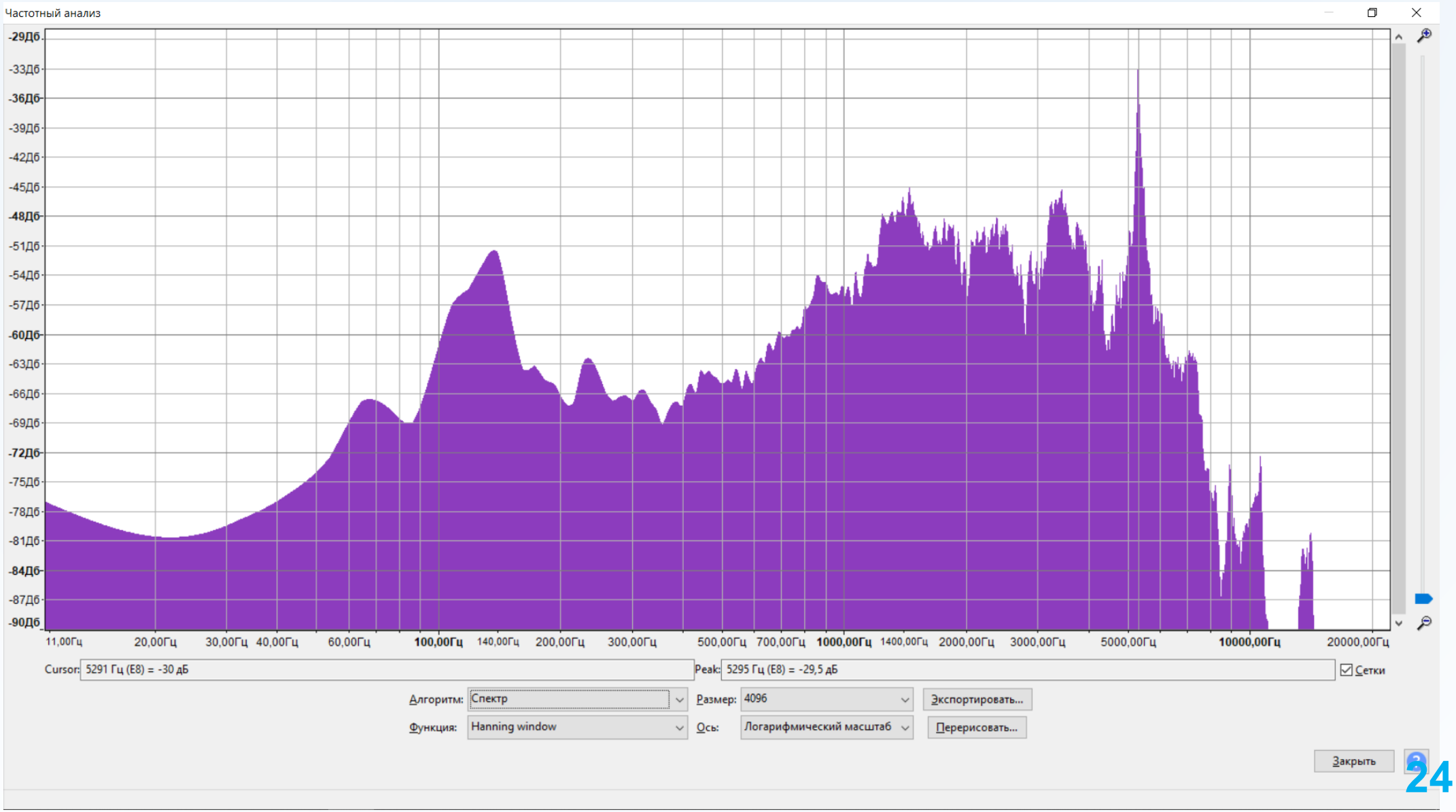
Acoustic part of the problem

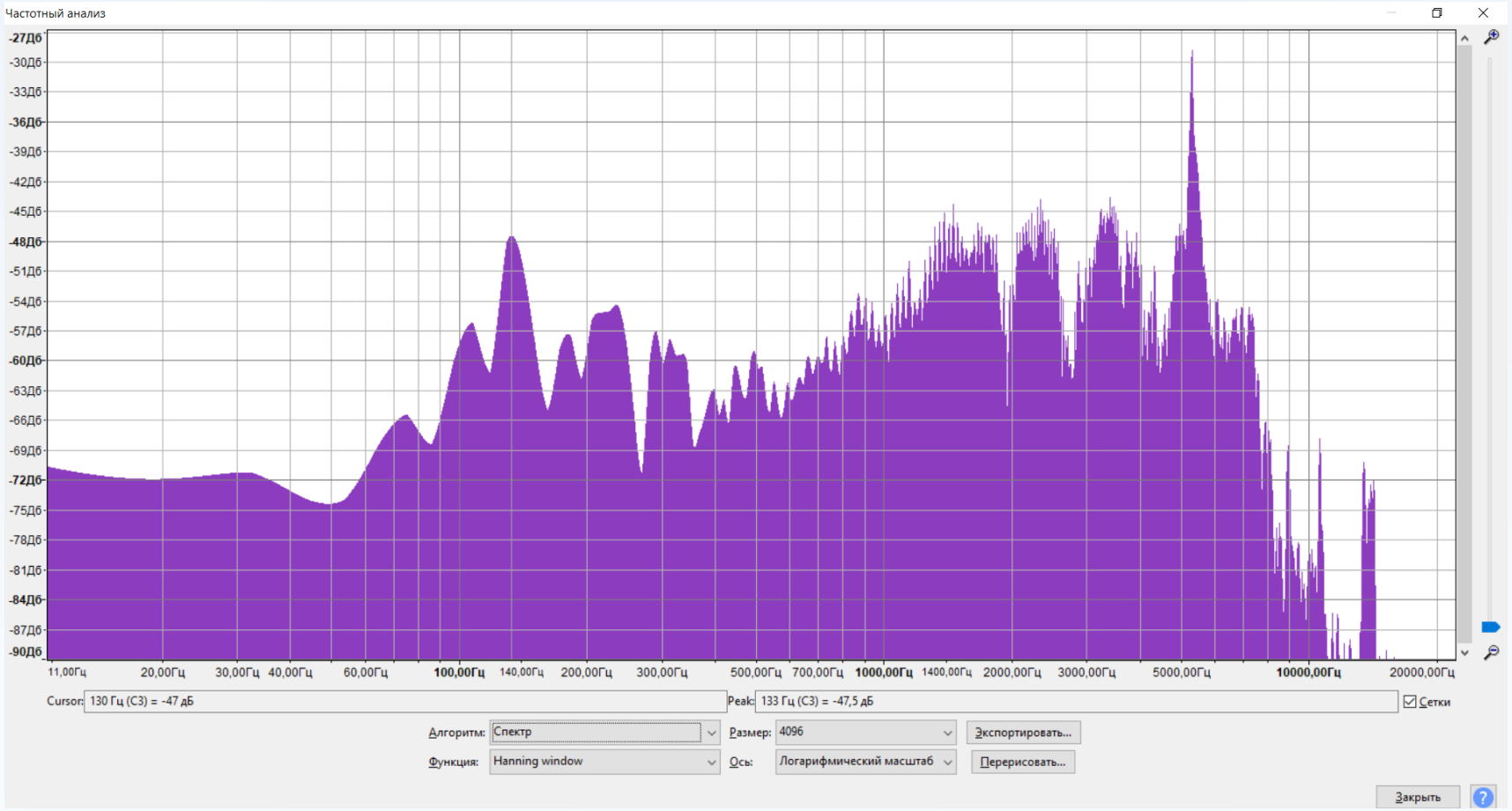
Ways to recreate the effect:

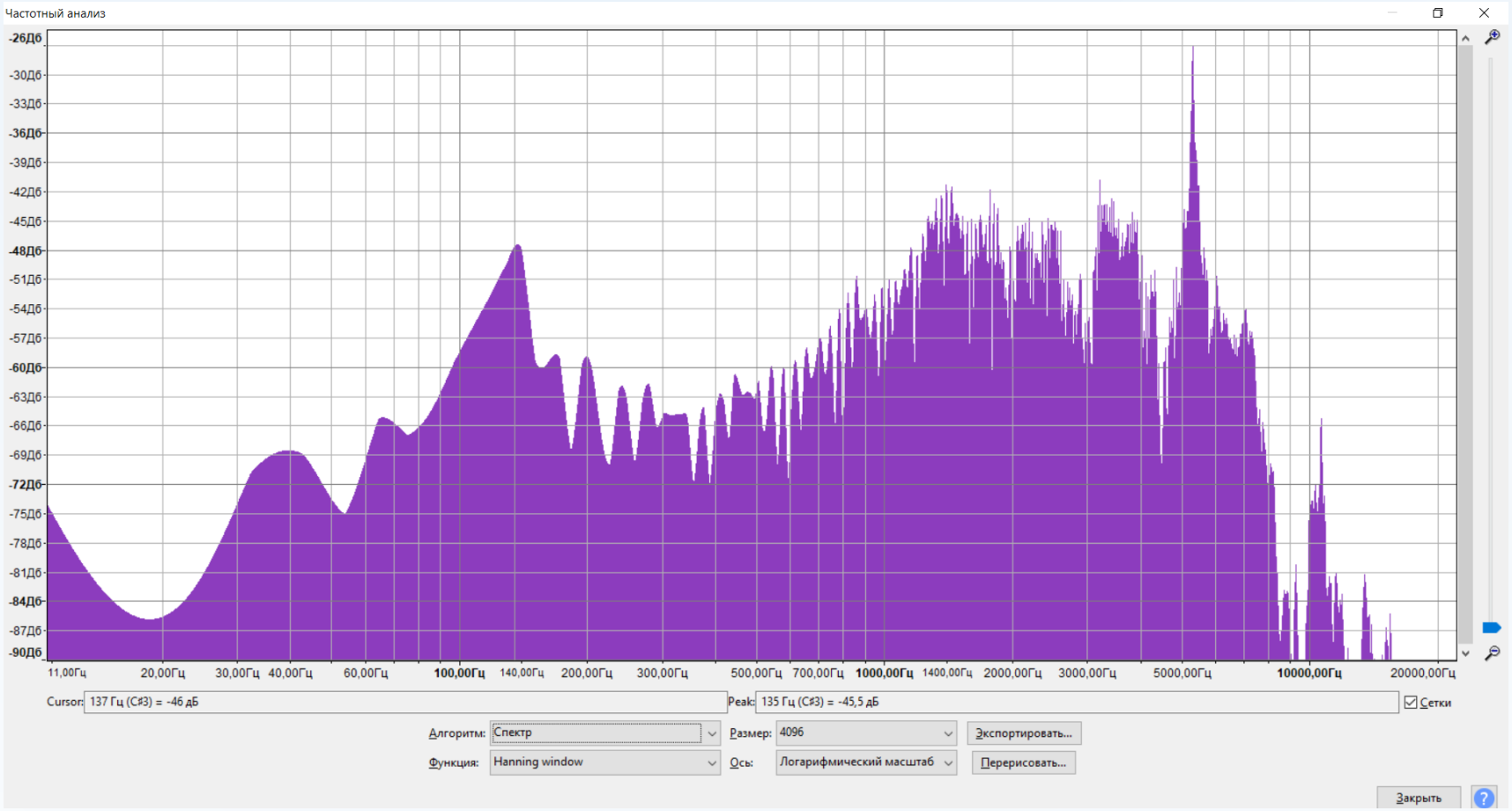
By fingers

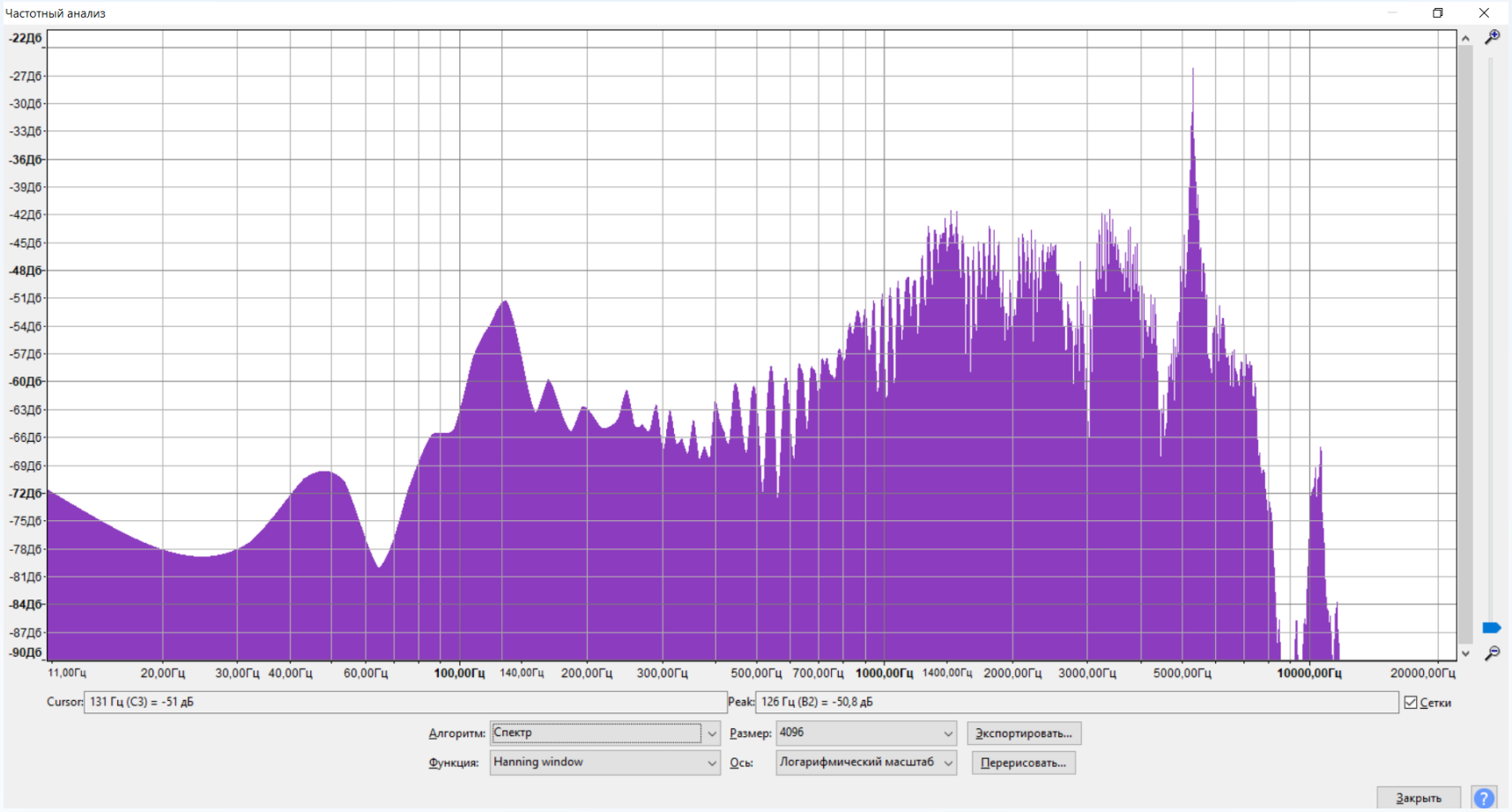
By clothepin:

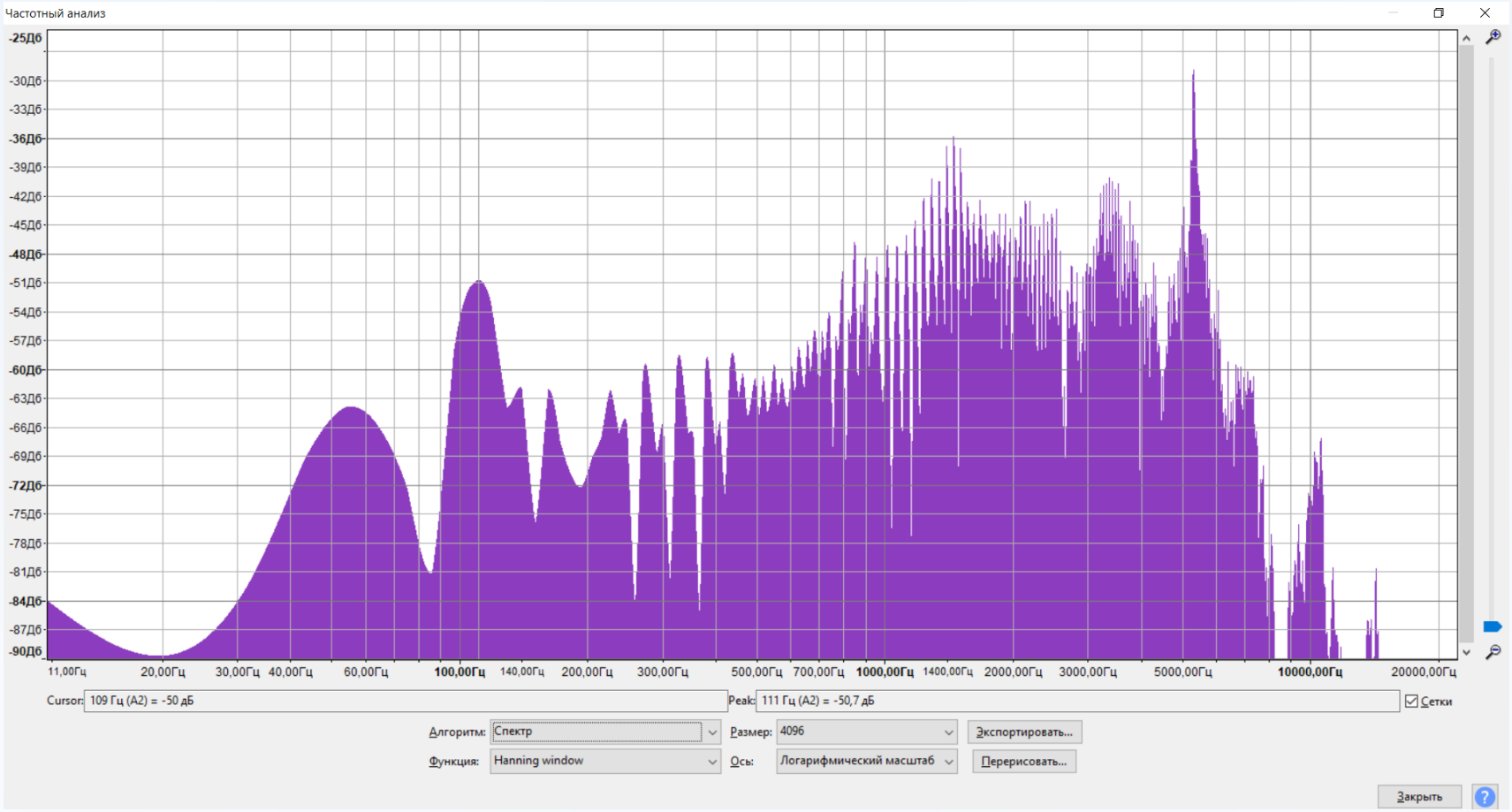
Спектр

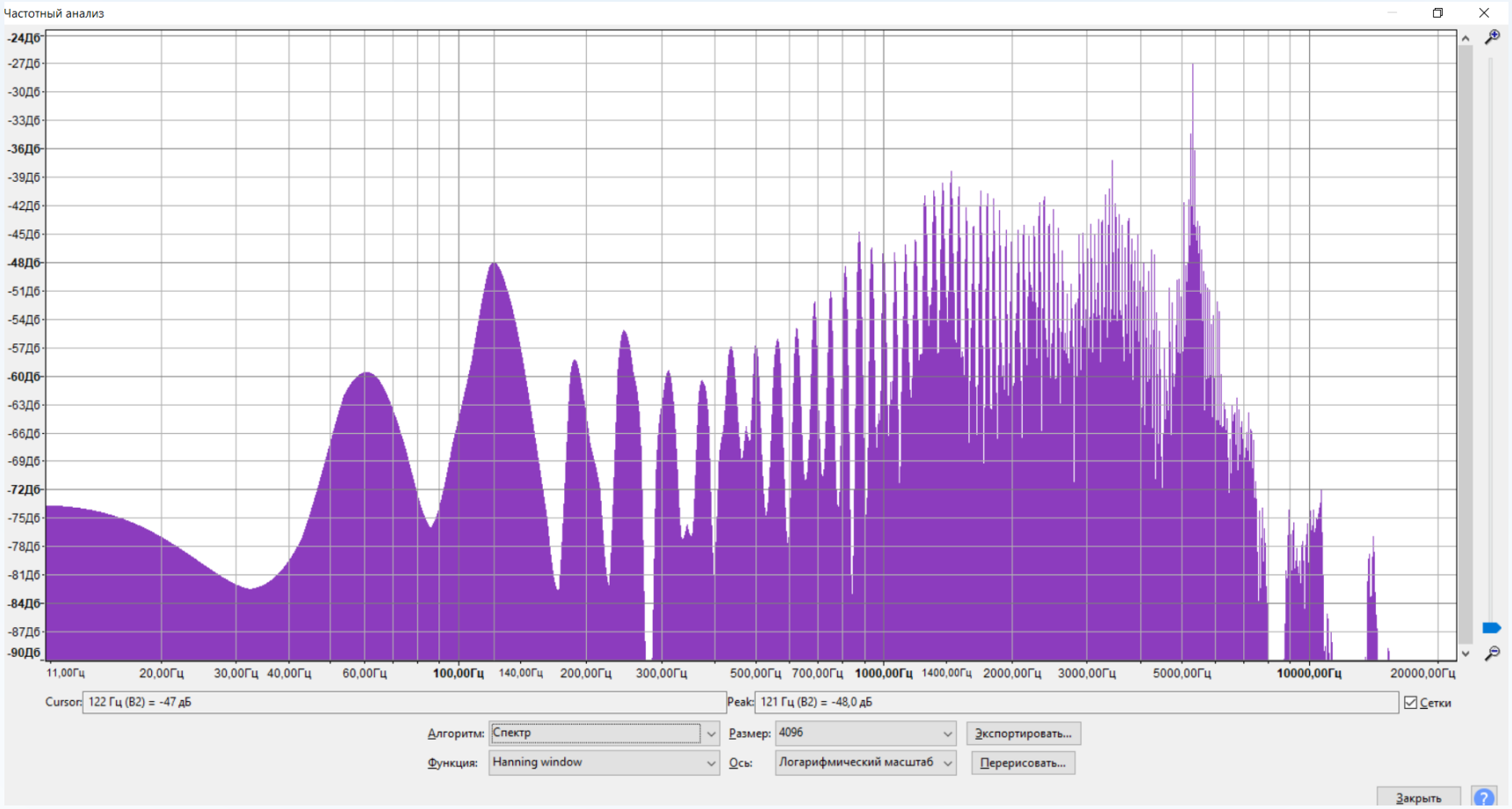

Частотный анализ
-29Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 5291 Гц (E8) = -30 дБ
Peak: 5295 Гц (E8) = -29,5 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

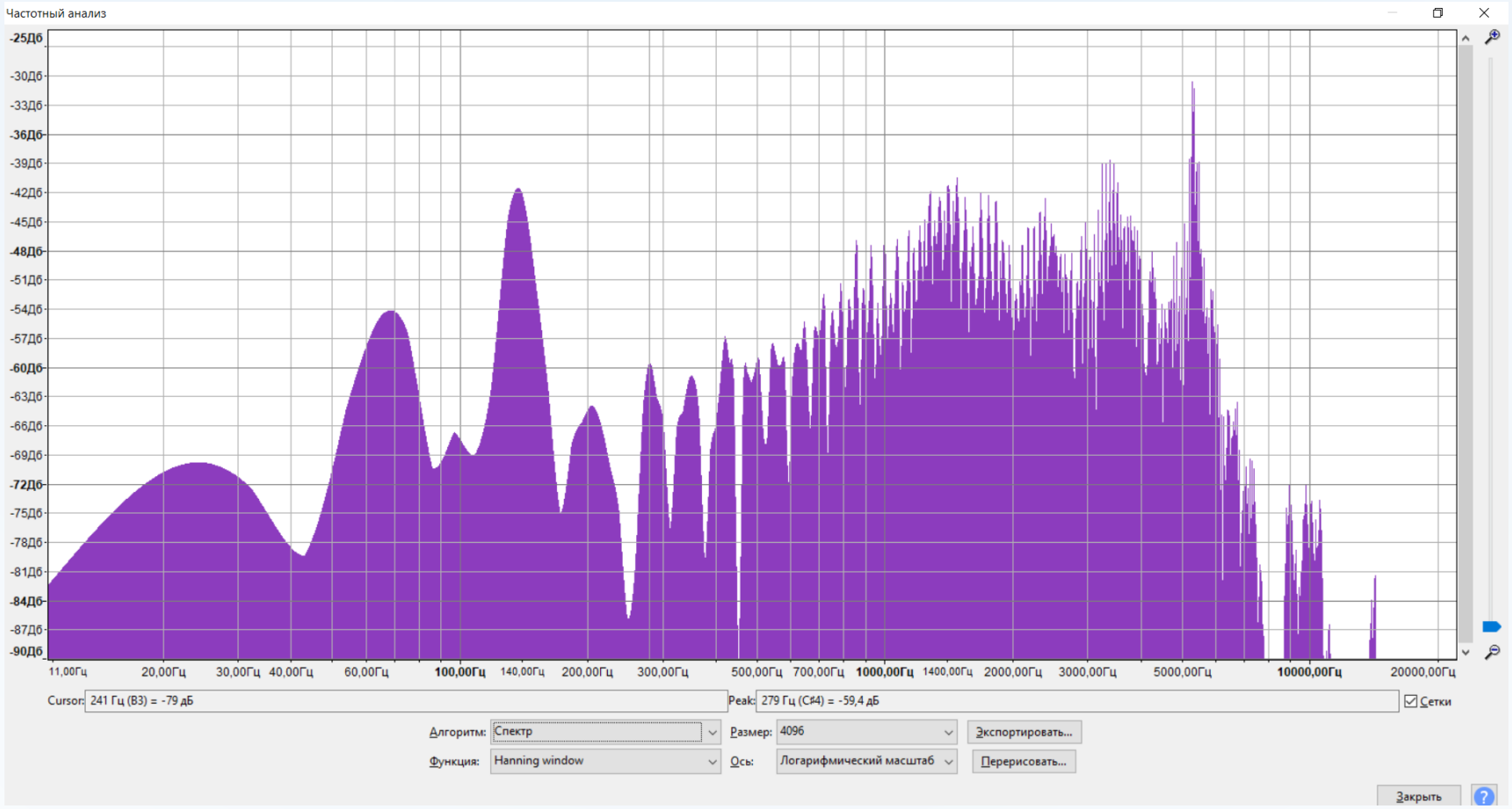

Частотный анализ
-27Дб
-30Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 130 Гц (C3) = -47 дБ
Peak: 133 Гц (C3) = -47,5 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

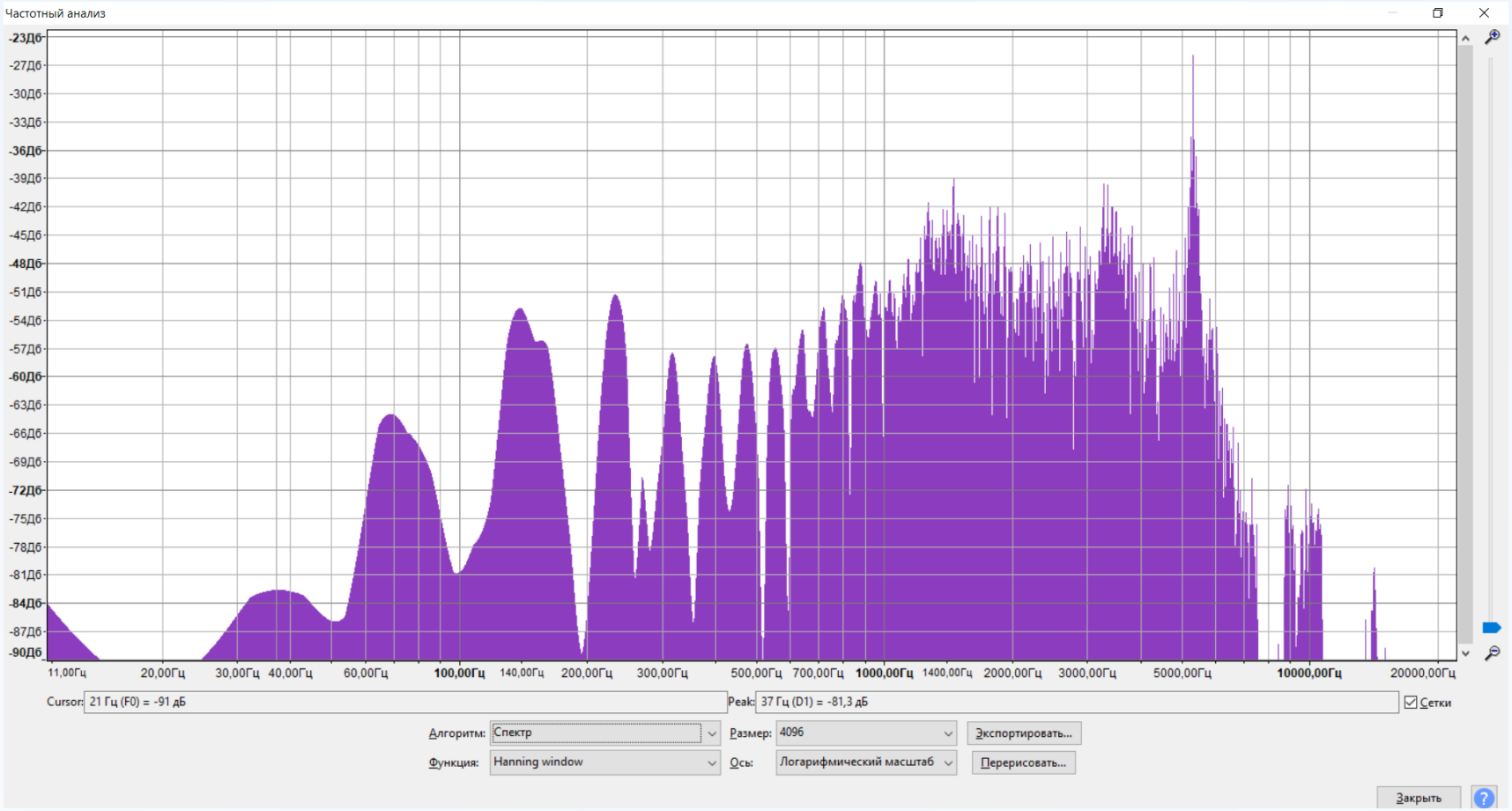

Частотный анализ
-26Дб
-30Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 137 Гц (C♯3) = -46 дБ
Peak: 135 Гц (C♯3) = -45,5 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

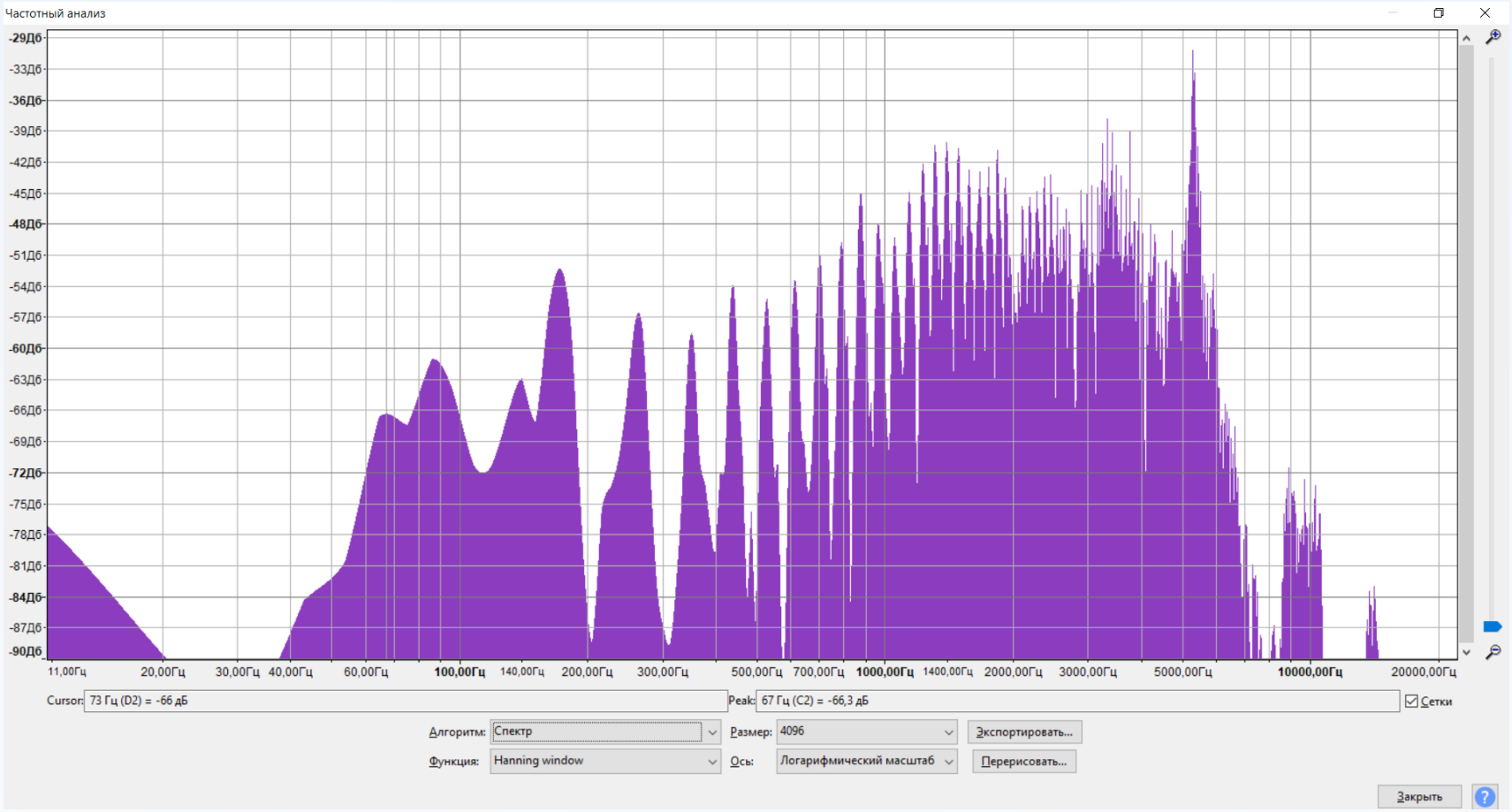

Частотный анализ
-22Дб
-27Дб
-30Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 131 Гц (C3) = -51 дБ
Peak: 126 Гц (B2) = -50,8 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

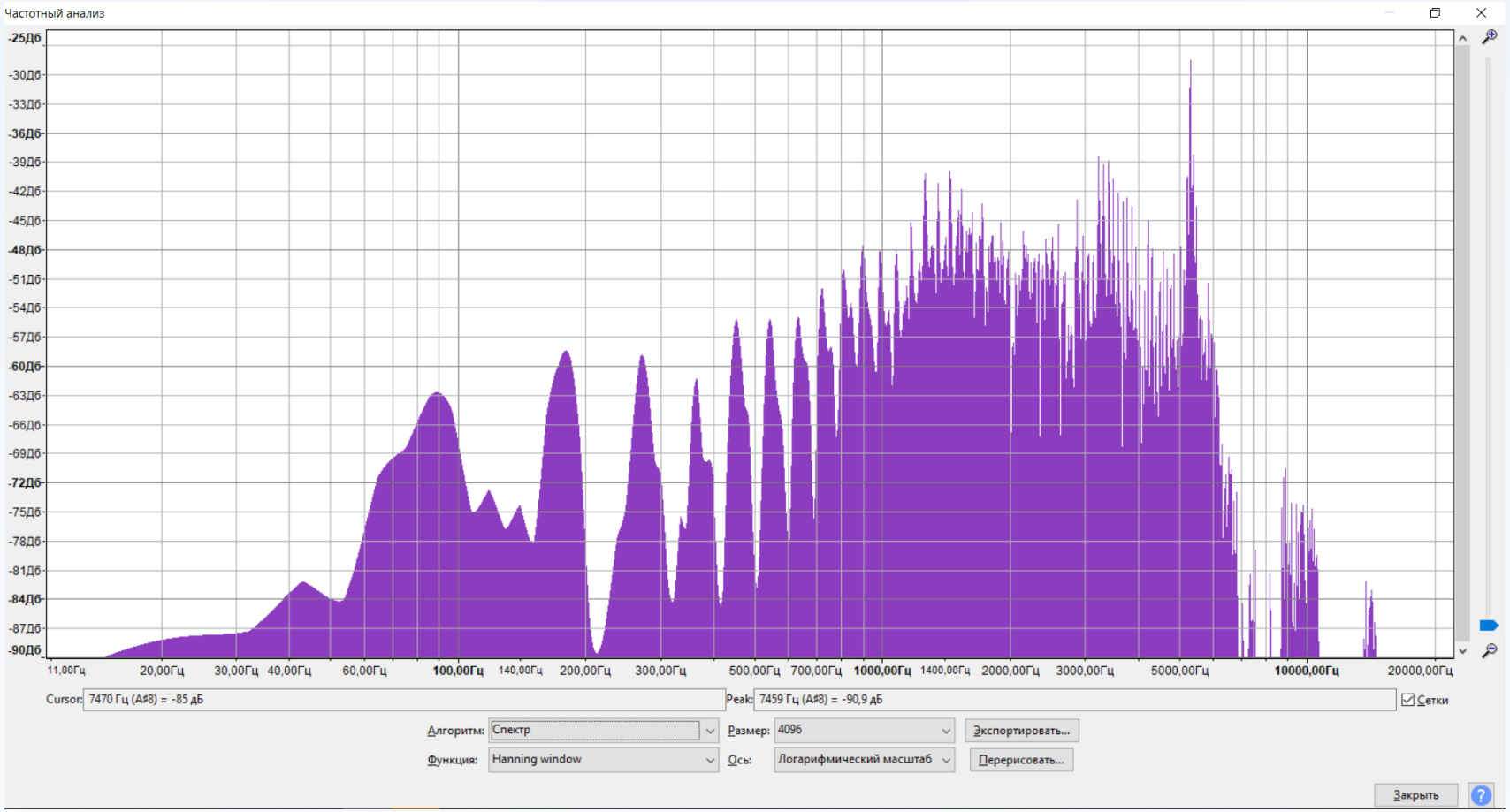

Частотный анализ
-25Дб
-30Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor:
109 Гц (A2) = -50 дБ
Peak:
111 Гц (A2) = -50,7 дБ
Сетки
Алгоритм:
Спектр
Размер:
4096
Экспортировать...
Функция:
Hanning window
Ось:
Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

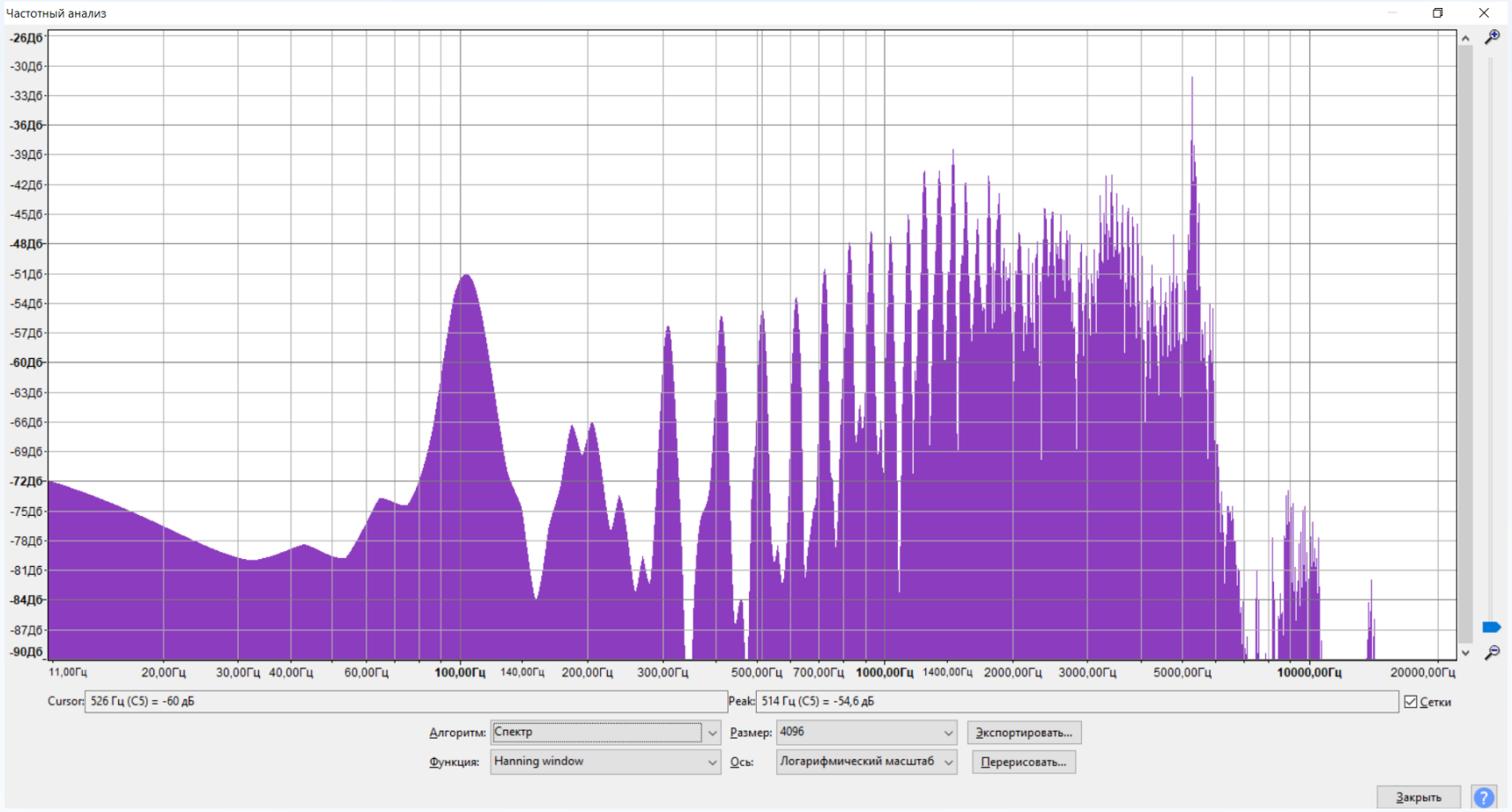

Частотный анализ
-24Дб
-27Дб
-30Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 122 Гц (B2) = -47 дБ
Peak: 121 Гц (B2) = -48,0 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

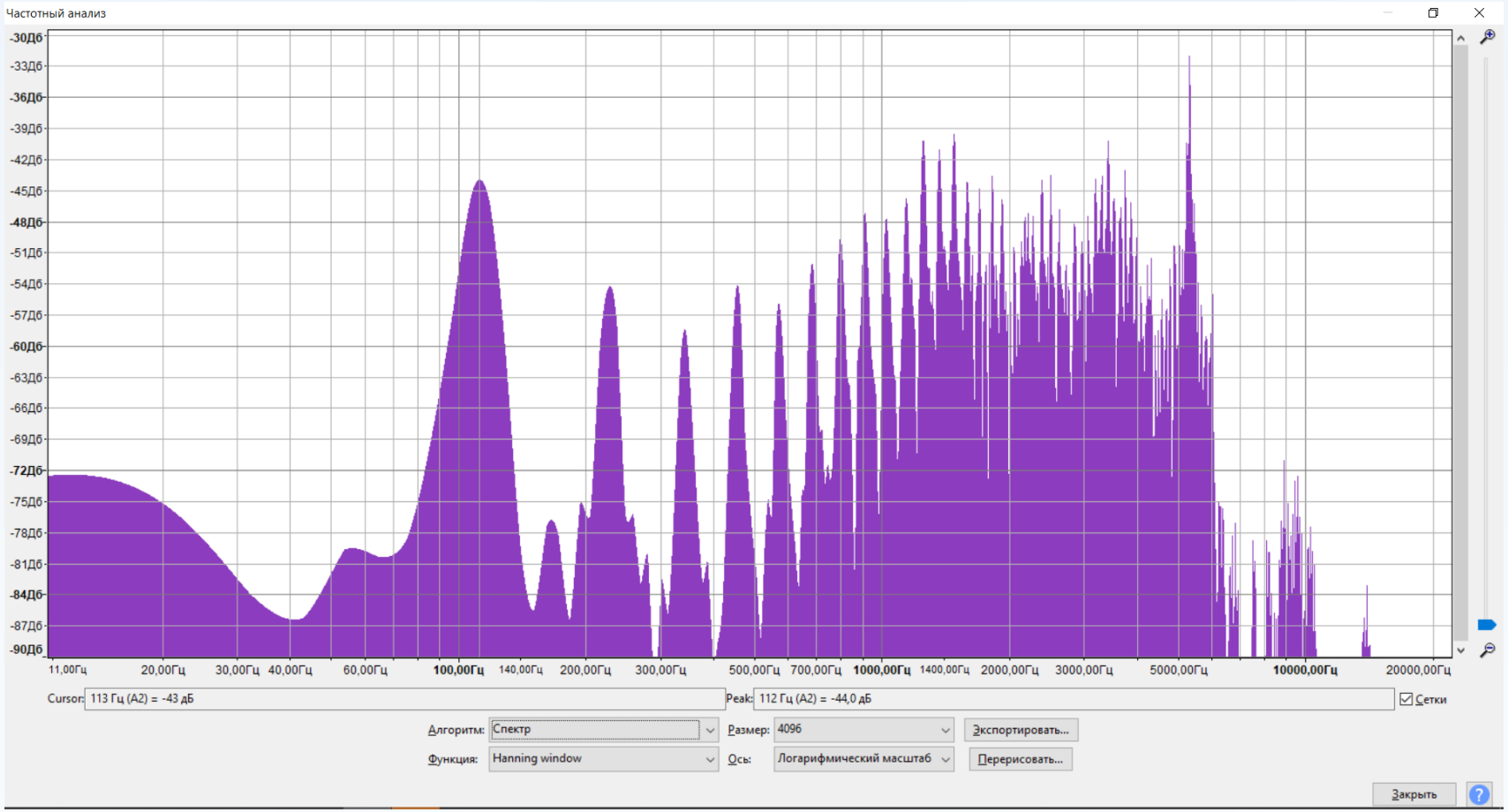

Частотный анализ
-25Дб
-30Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 241 Гц (B3) = -79 дБ
Peak: 279 Гц (C#4) = -59,4 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

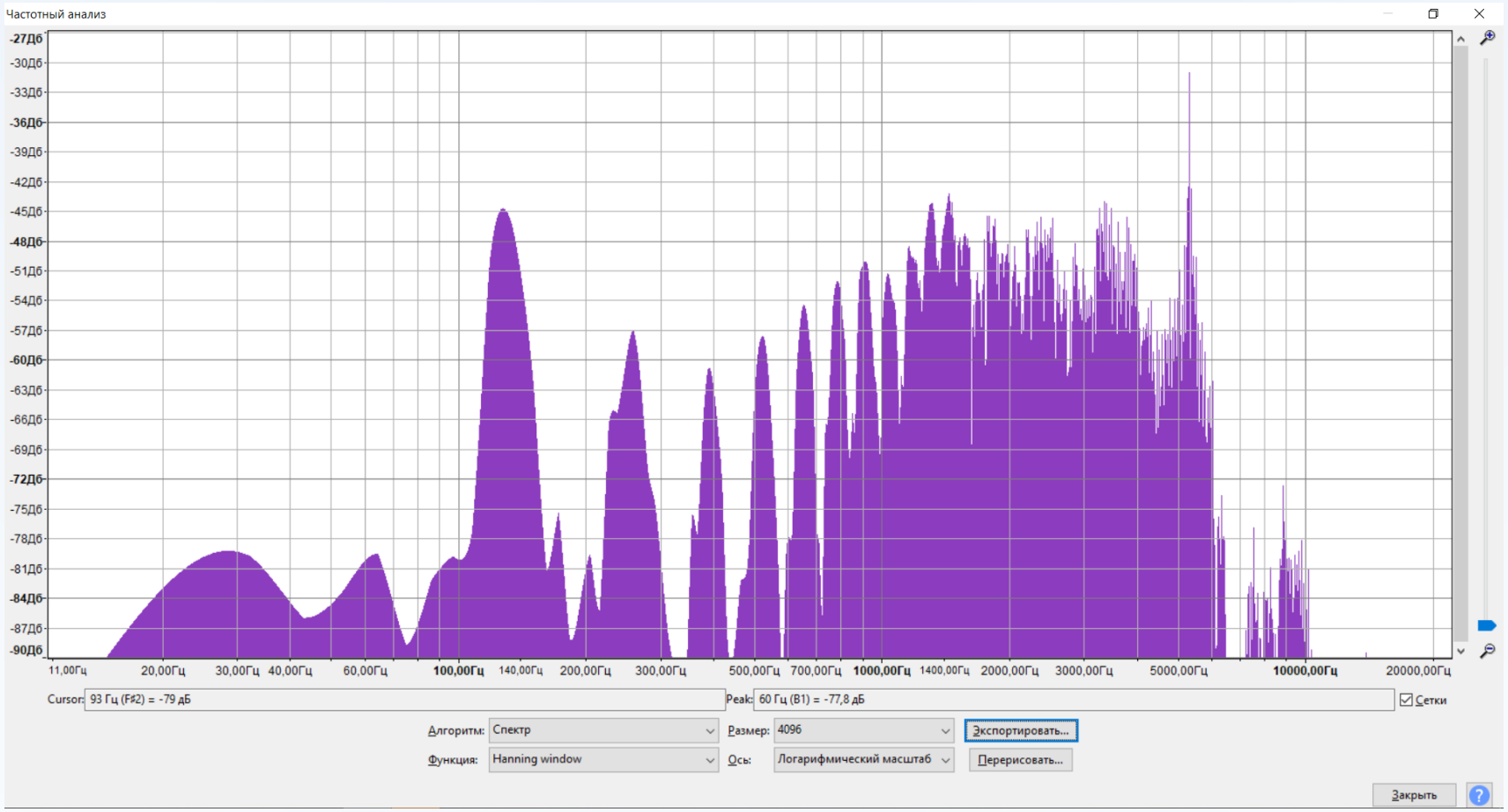

Частотный анализ
-23Дб
-27Дб
-30Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 21 Гц (F0) = -91 дБ
Peak: 37 Гц (D1) = -81,3 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

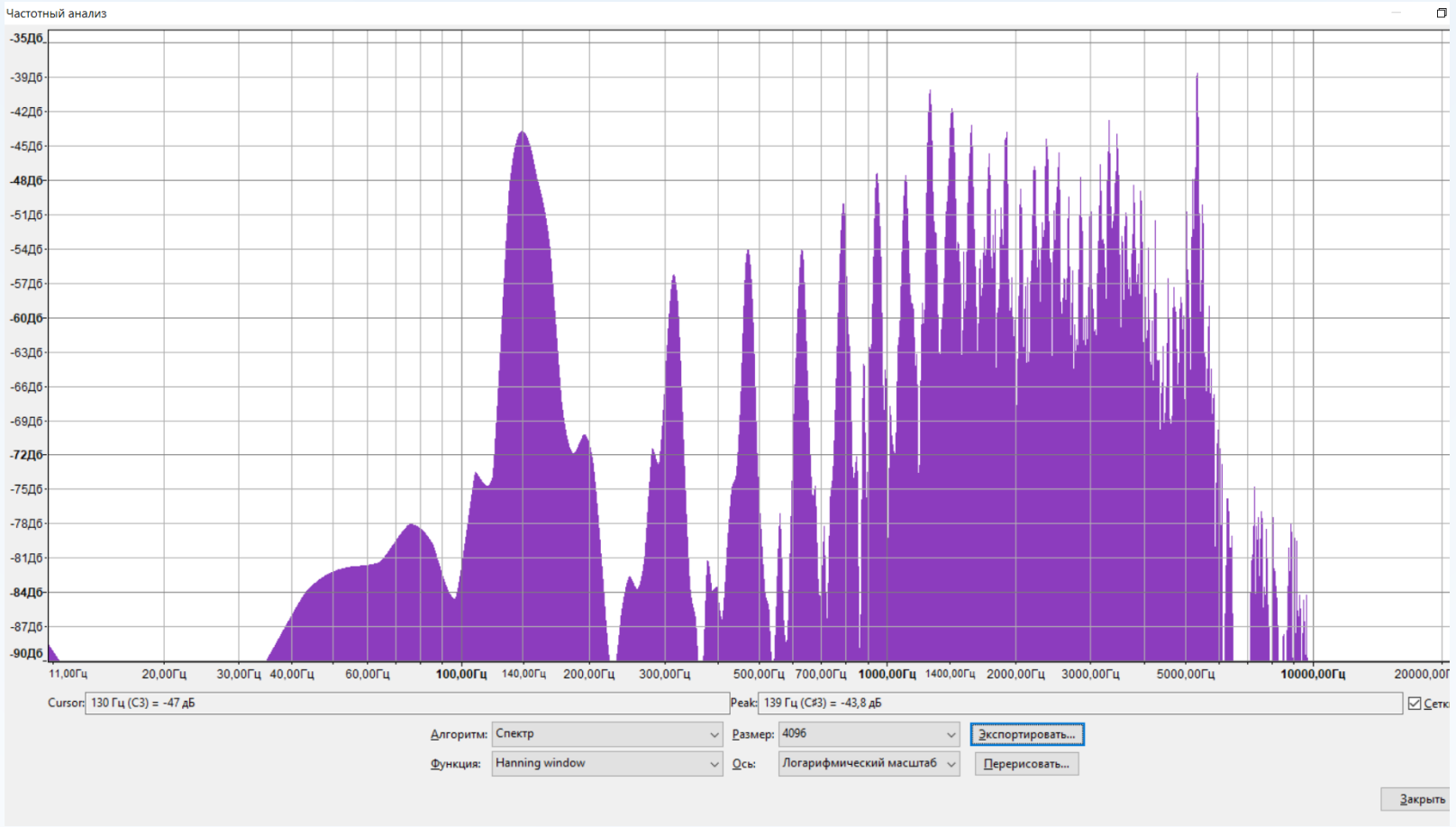

Частотный анализ
-29Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 73 Гц (D2) = -66 дБ
Peak: 67 Гц (C2) = -66,3 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

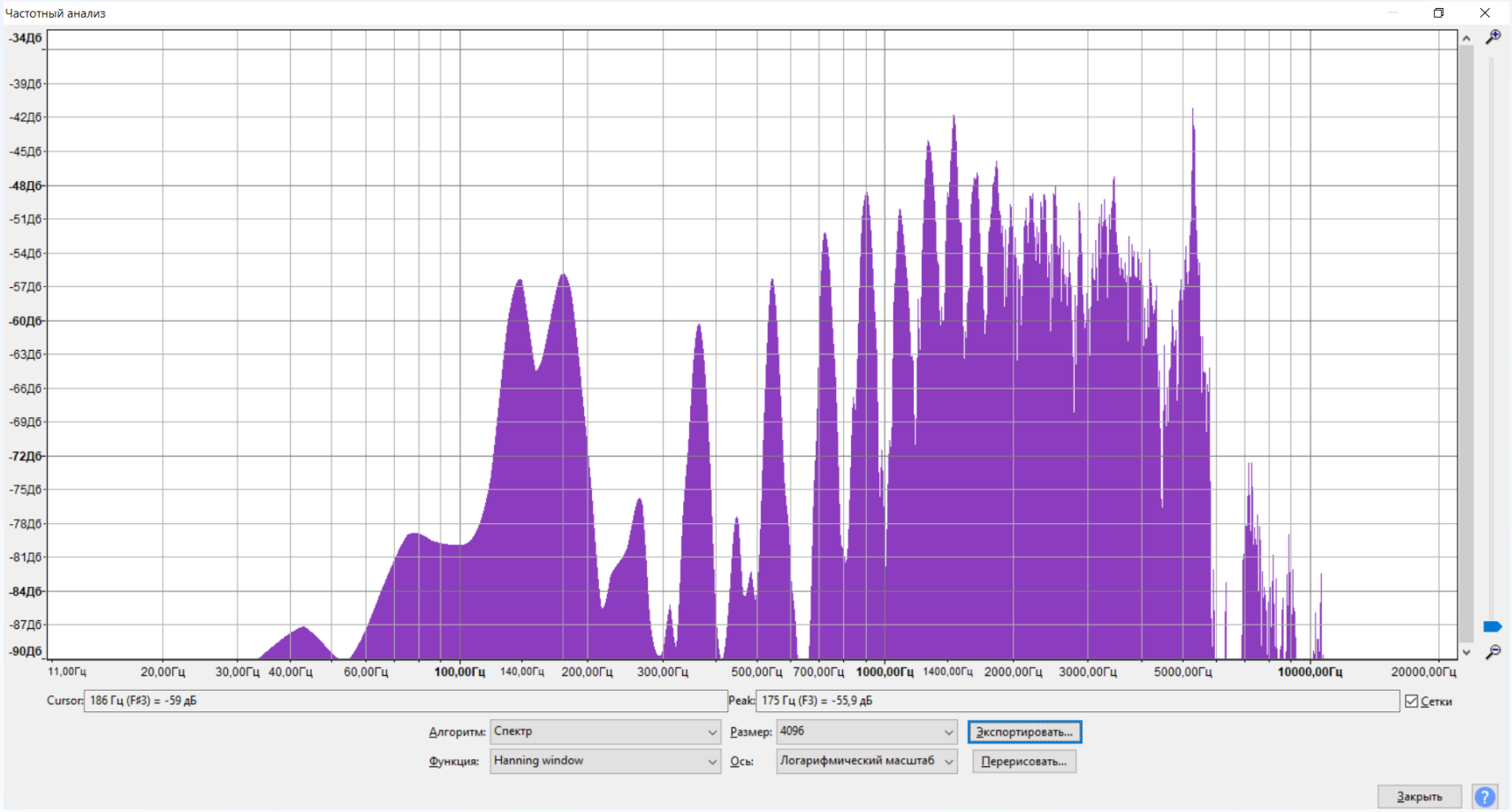

Частотный анализ
-25Дб
-30Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 7470 Гц (A#8) = -85 дБ
Peak: 7459 Гц (A#8) = -90,9 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

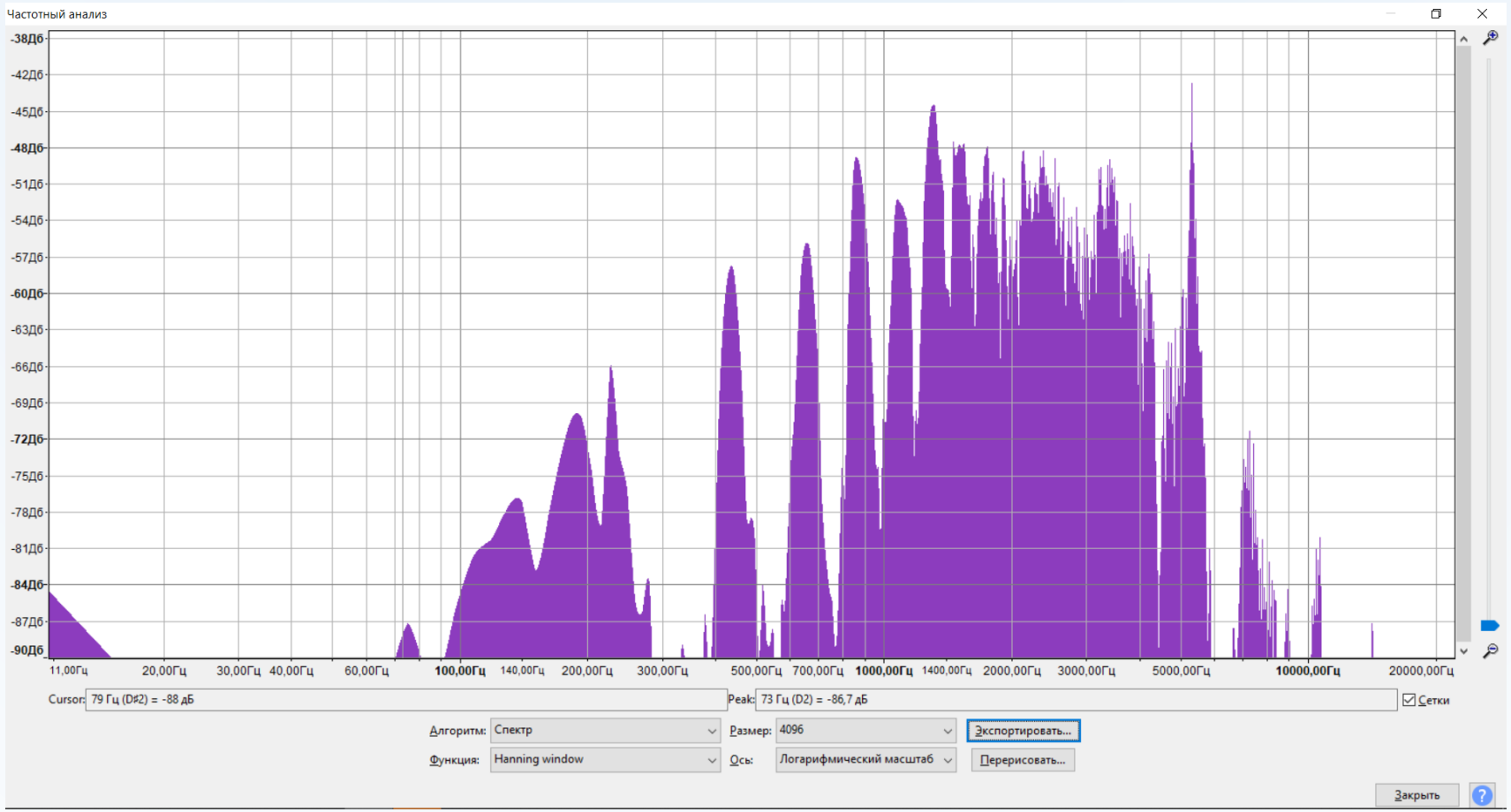

Частотный анализ
-26Дб
-30Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 526 Гц (C5) = -60 дБ
Peak: 514 Гц (C5) = -54,6 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

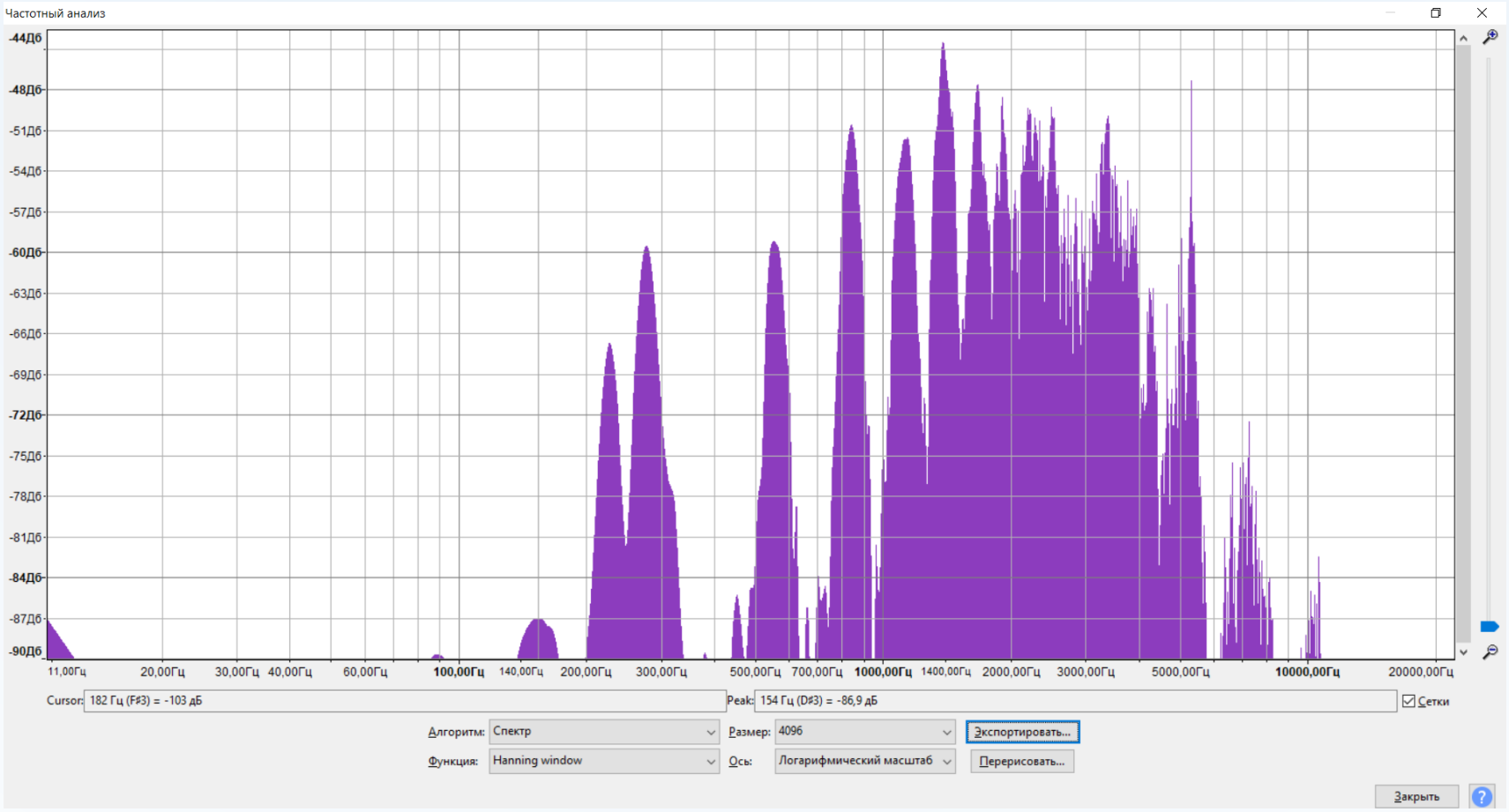

Частотный анализ
-30Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 113 Гц (A2) = -43 дБ
Peak: 112 Гц (A2) = -44,0 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

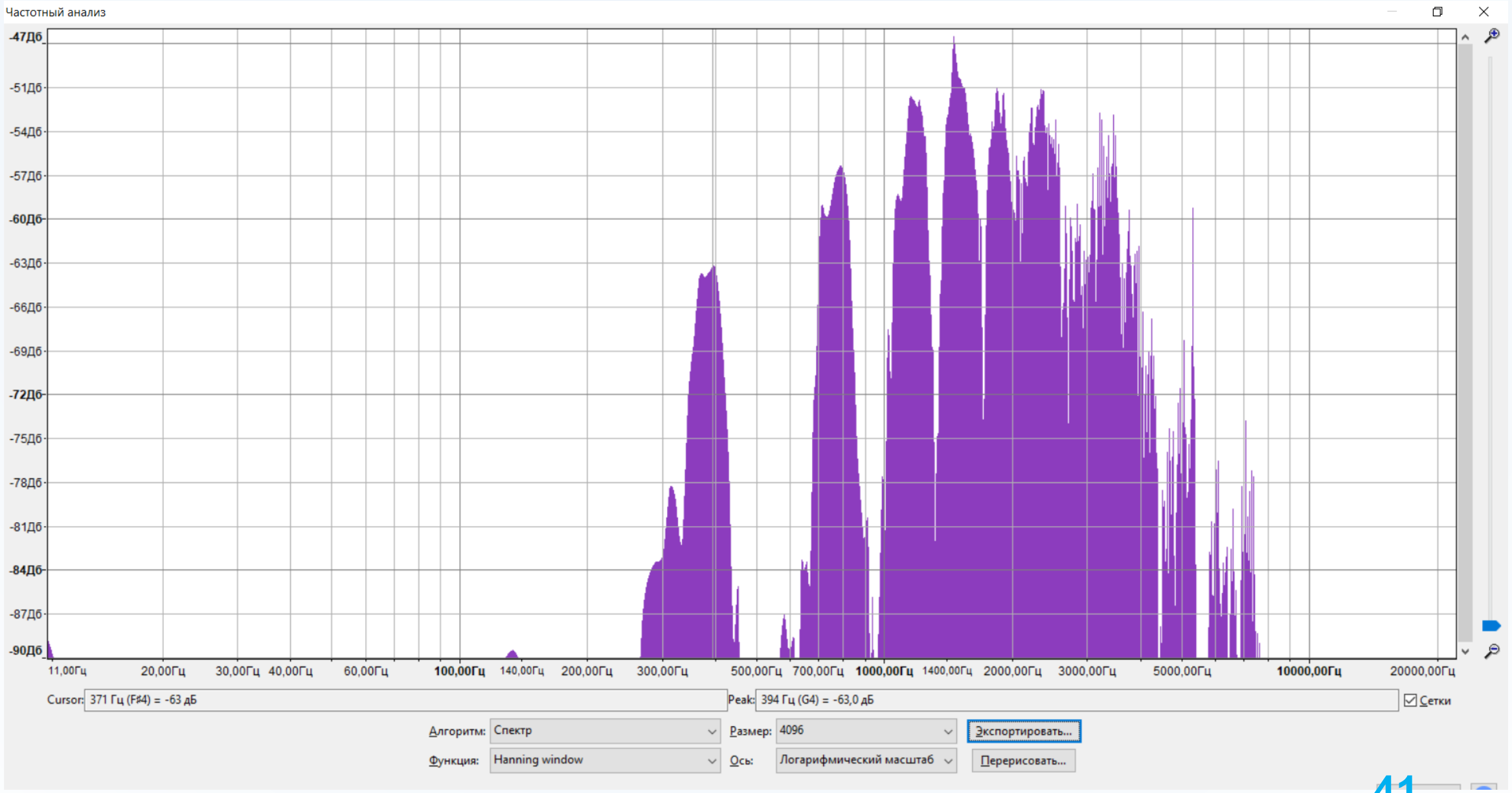

Частотный анализ
-27Дб
-30Дб
-33Дб
-36Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 93 Гц (F#2) = -79 дБ
Peak: 60 Гц (B1) = -77,8 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

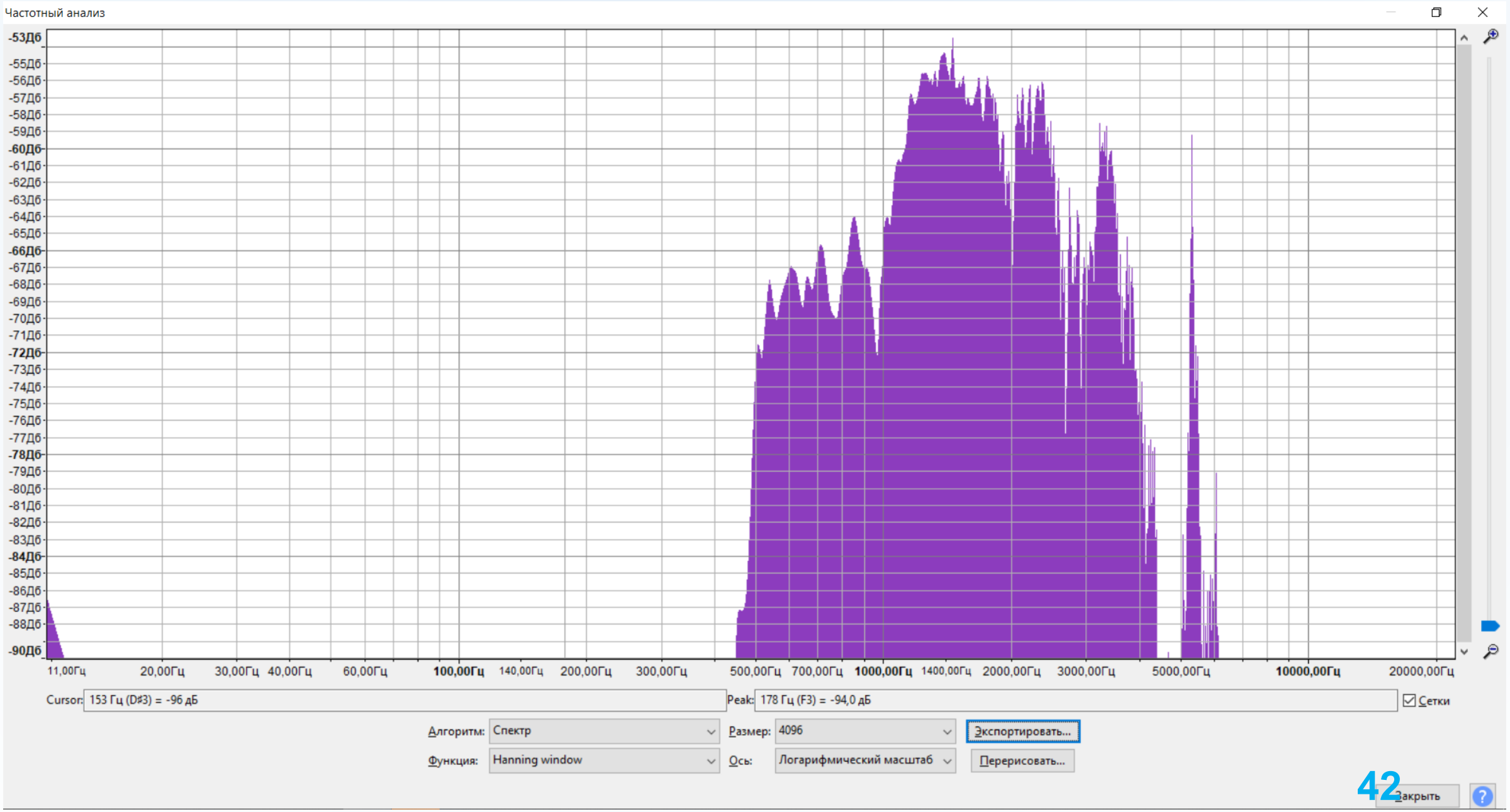

Частотный анализ
-35Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
Cursor: 130 Гц (C3) = -47 дБ
Peak: 139 Гц (C♯3) = -43,8 дБ
Сетк
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть


Частотный анализ
-34Дб
-39Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor:
186 Гц (F#3) = -59 дБ
Peak:
175 Гц (F3) = -55,9 дБ
Сетки
Алгоритм:
Спектр
Размер:
4096
Экспортировать...
Функция:
Hanning window
Ось:
Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

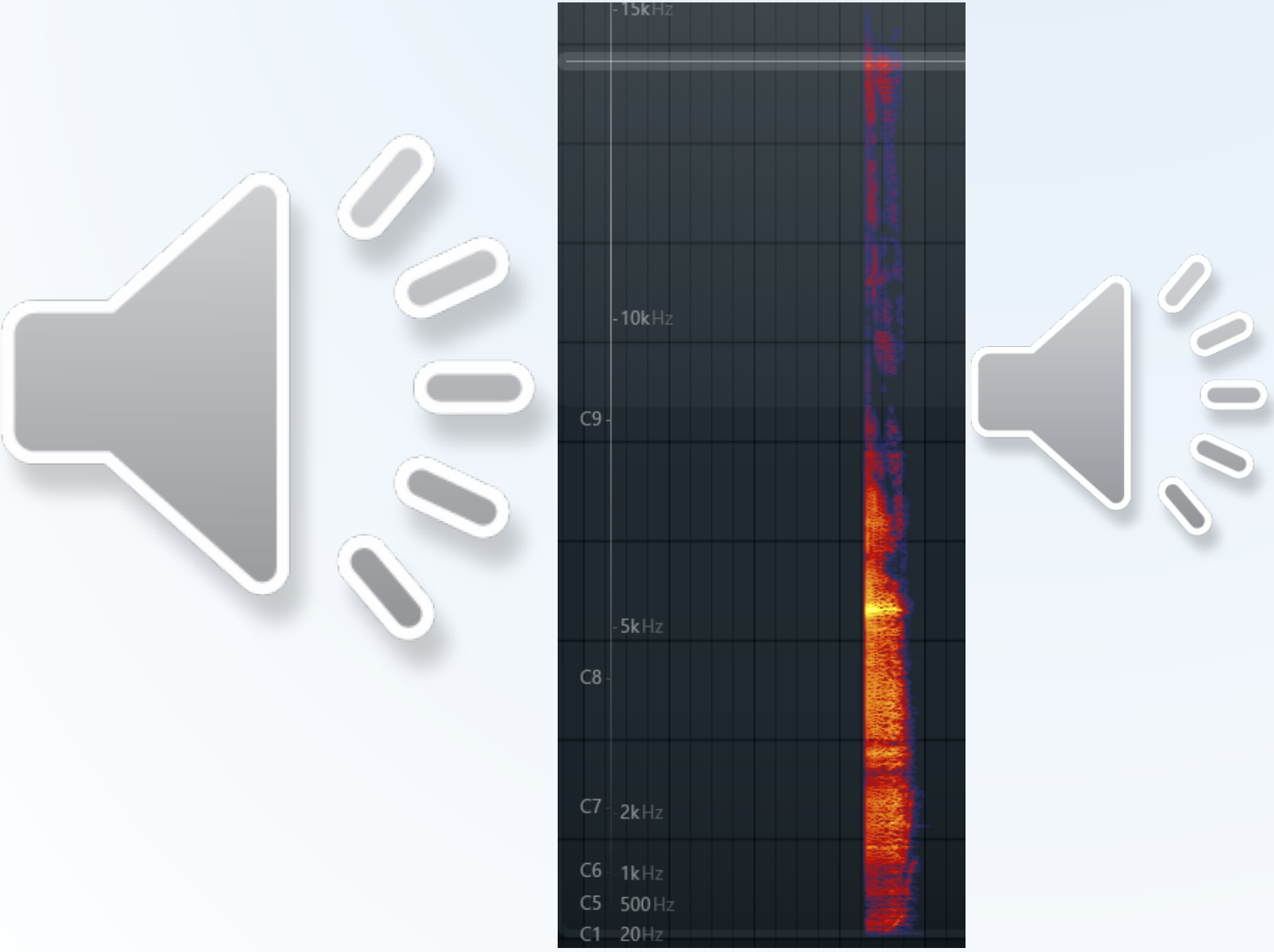

Частотный анализ
-38Дб
-42Дб
-45Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 79 Гц (D#2) = -88 дБ
Peak: 73 Гц (D2) = -86,7 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

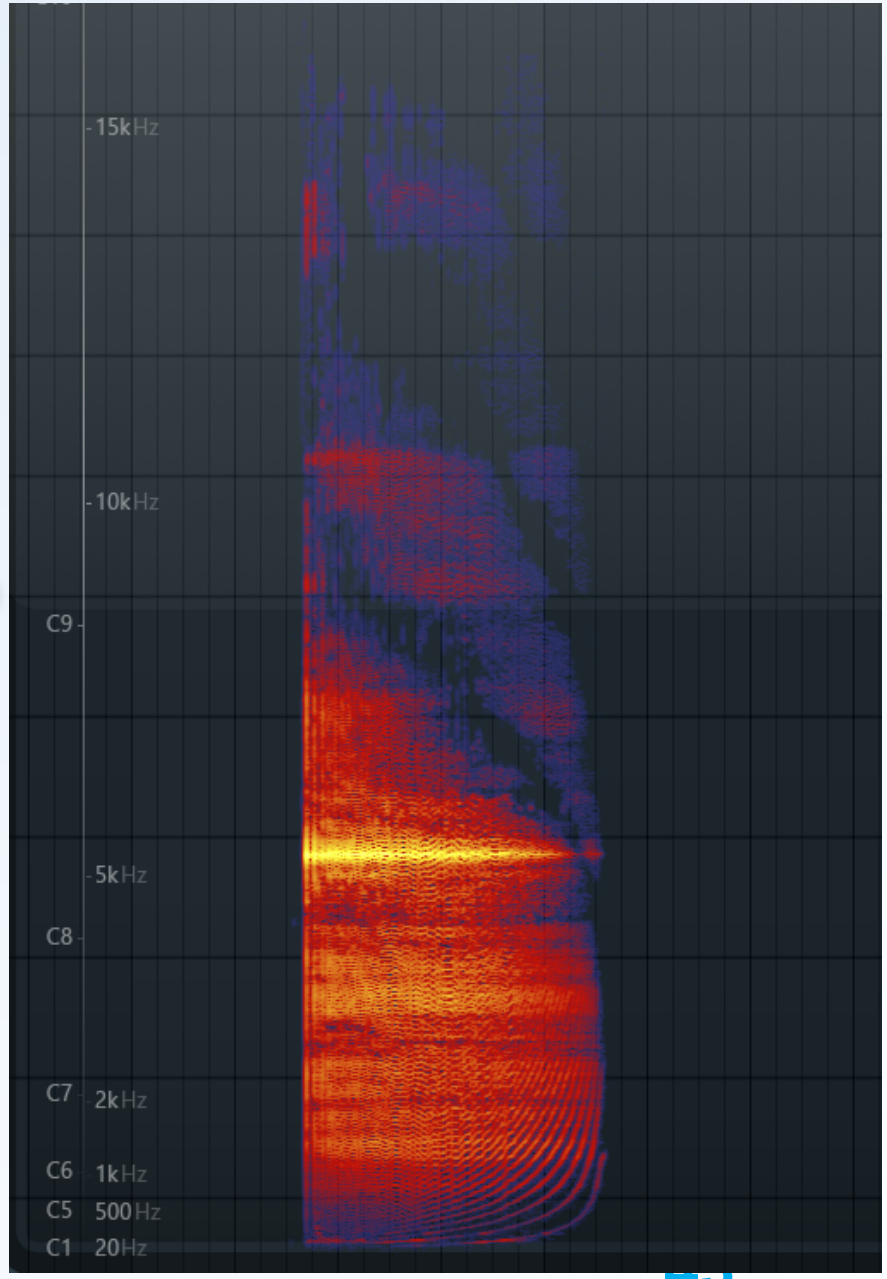

Частотный анализ
-44Дб
-48Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 182 Гц (F♯3) = -103 дБ
Peak: 154 Гц (D♯3) = -86,9 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

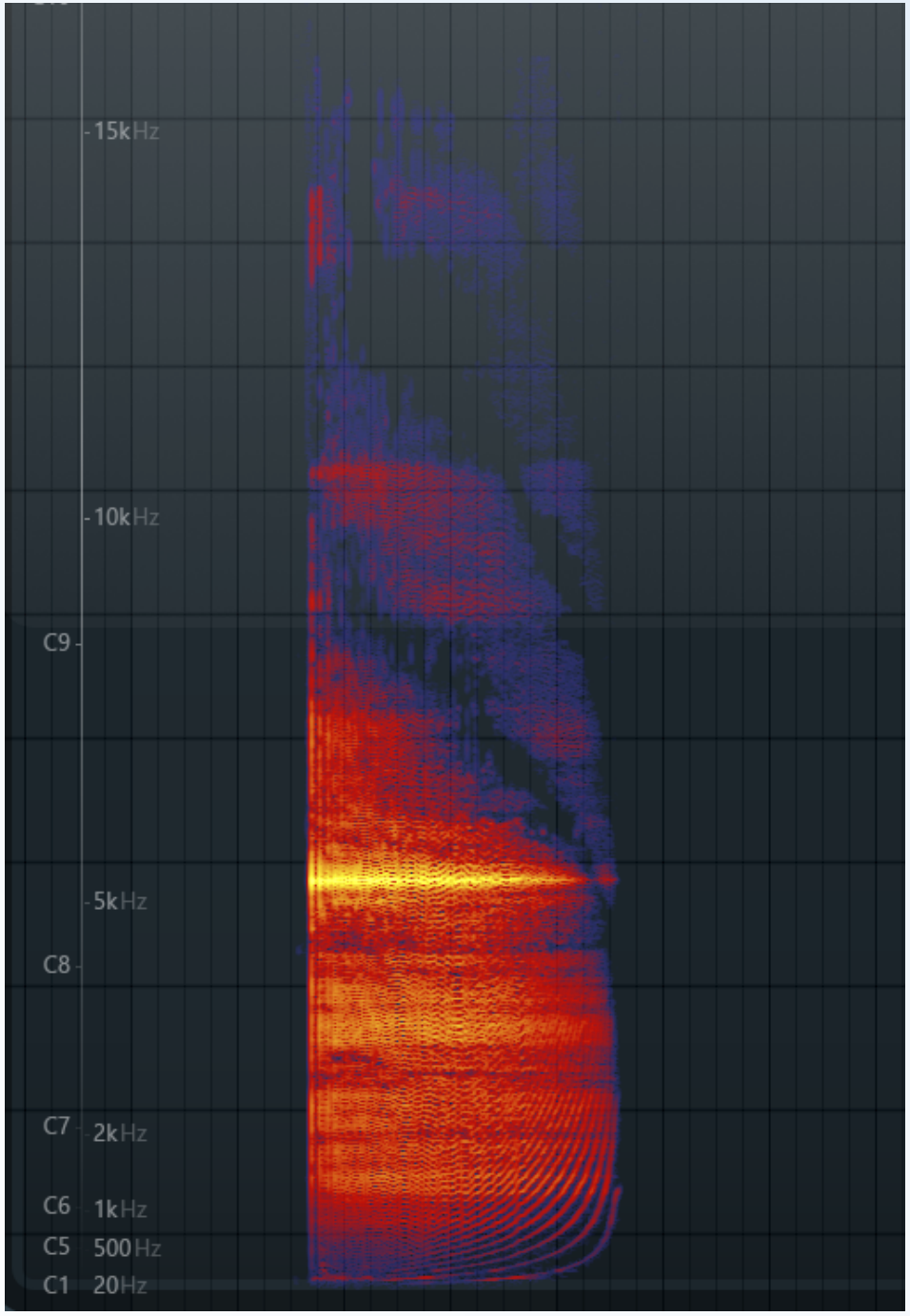

Частотный анализ
-47Дб
-51Дб
-54Дб
-57Дб
-60Дб
-63Дб
-66Дб
-69Дб
-72Дб
-75Дб
-78Дб
-81Дб
-84Дб
-87Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 371 Гц (F#4) = -63 дБ
Peak: 394 Гц (G4) = -63,0 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...


Частотный анализ
-53Дб
-55Дб
-56Дб
-57Дб
-58Дб
-59Дб
-60Дб
-61Дб
-62Дб
-63Дб
-64Дб
-65Дб
-66Дб
-67Дб
-68Дб
-69Дб
-70Дб
-71Дб
-72Дб
-73Дб
-74Дб
-75Дб
-76Дб
-77Дб
-78Дб
-79Дб
-80Дб
-81Дб
-82Дб
-83Дб
-84Дб
-85Дб
-86Дб
-87Дб
-88Дб
-90Дб
11,00Гц
20,00Гц
30,00Гц
40,00Гц
60,00Гц
100,00Гц
140,00Гц
200,00Гц
300,00Гц
500,00Гц
700,00Гц
1000,00Гц
1400,00Гц
2000,00Гц
3000,00Гц
5000,00Гц
10000,00Гц
20000,00Гц
Cursor: 153 Гц (D♯3) = -96 дБ
Peak: 178 Гц (F3) = -94,0 дБ
Сетки
Алгоритм: Спектр
Размер: 4096
Экспортировать...
Функция: Hanning window
Ось: Логарифмический масштаб
Перерисовать...
Закрыть

Large and not large dissipation

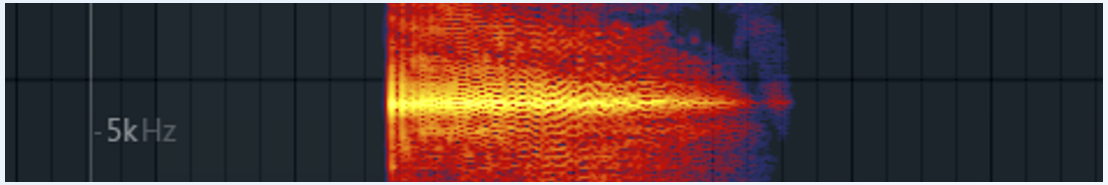




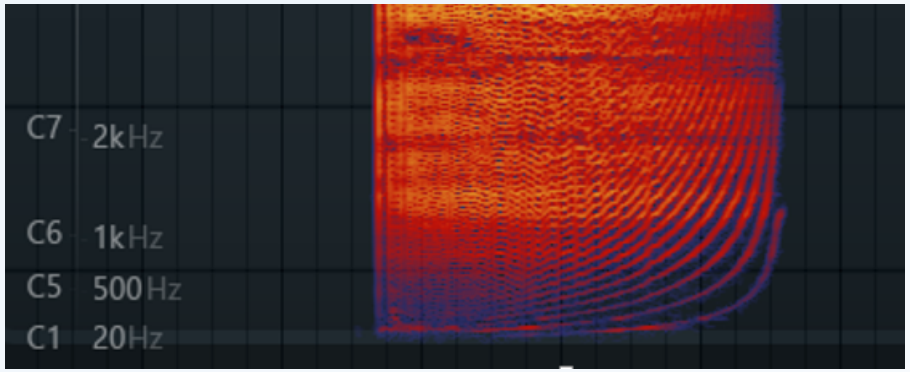


Spectrogram

«Clicks»



Effect



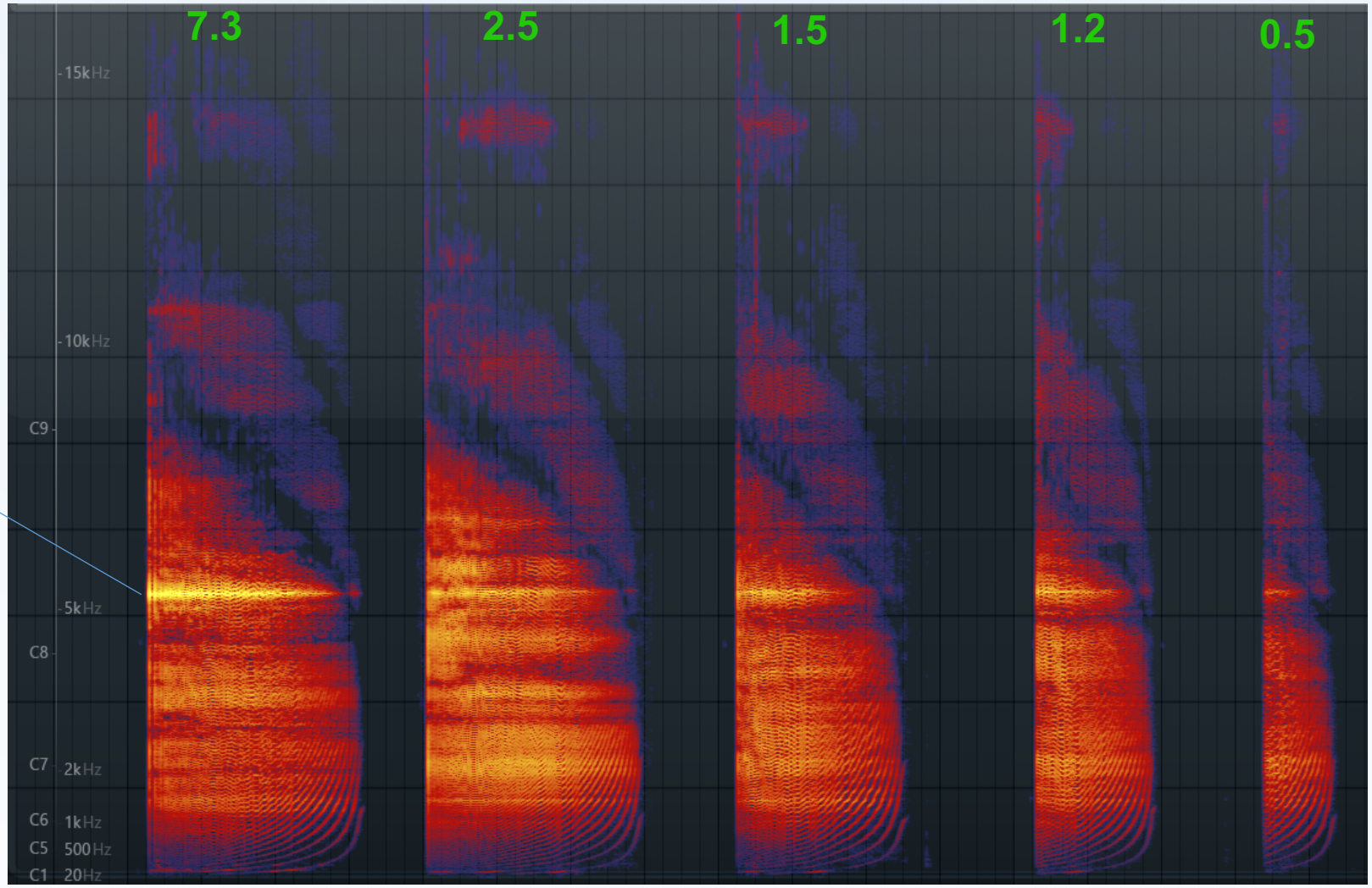
Explanation of the phenomenon

1. After the first collision, various types of damped oscillations arise.
2. The higher the frequency, the faster it decays.
3. The duration of sound of a particular mode is short enough to be detected by the ear (In one impact)

But we begin to hear these rapidly decaying frequencies because by collisions we constantly excite them, that is, we prolong their life, and, as a result, we begin to hear them.

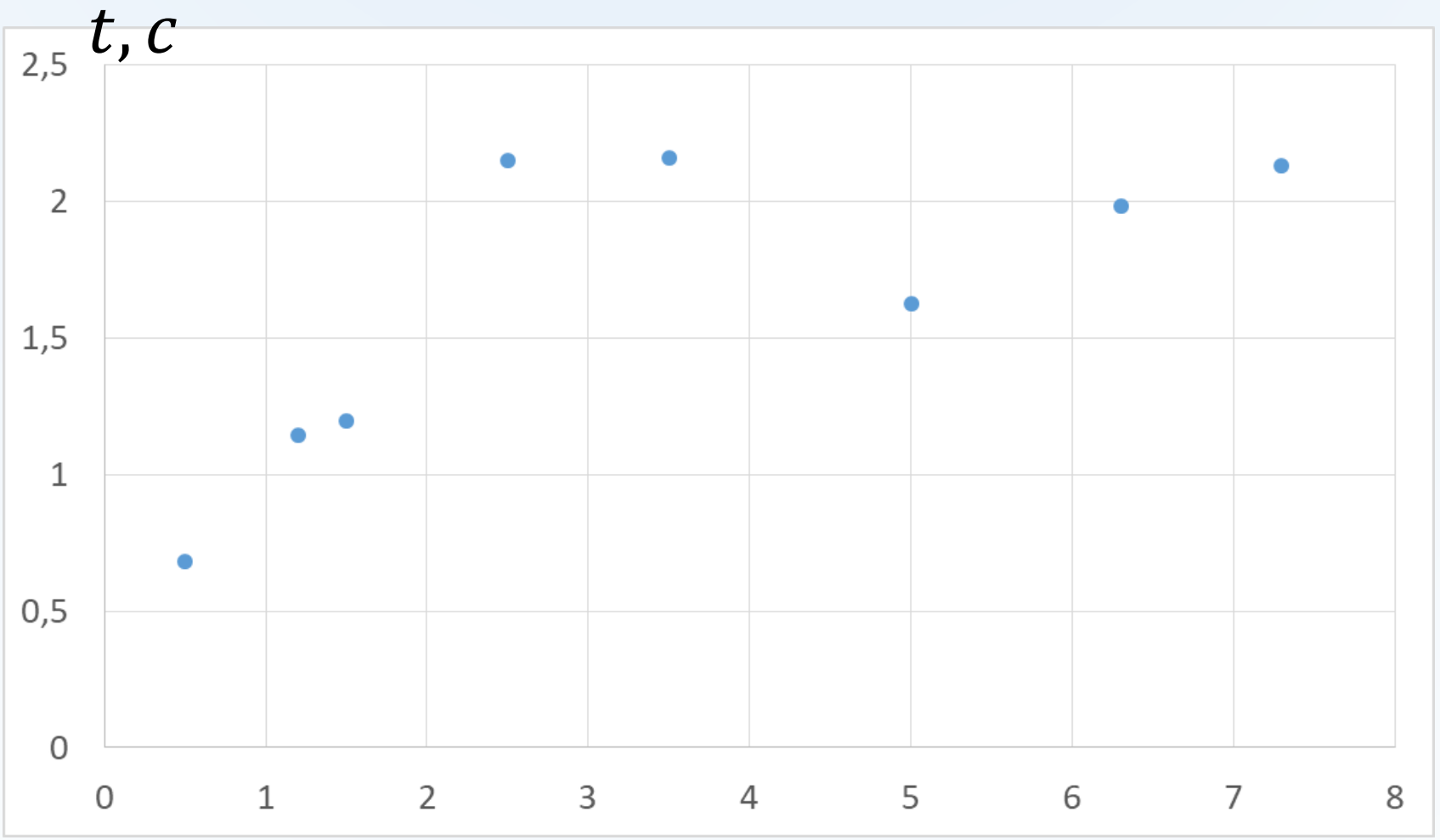
4.

Spectrograms at different initial deviations

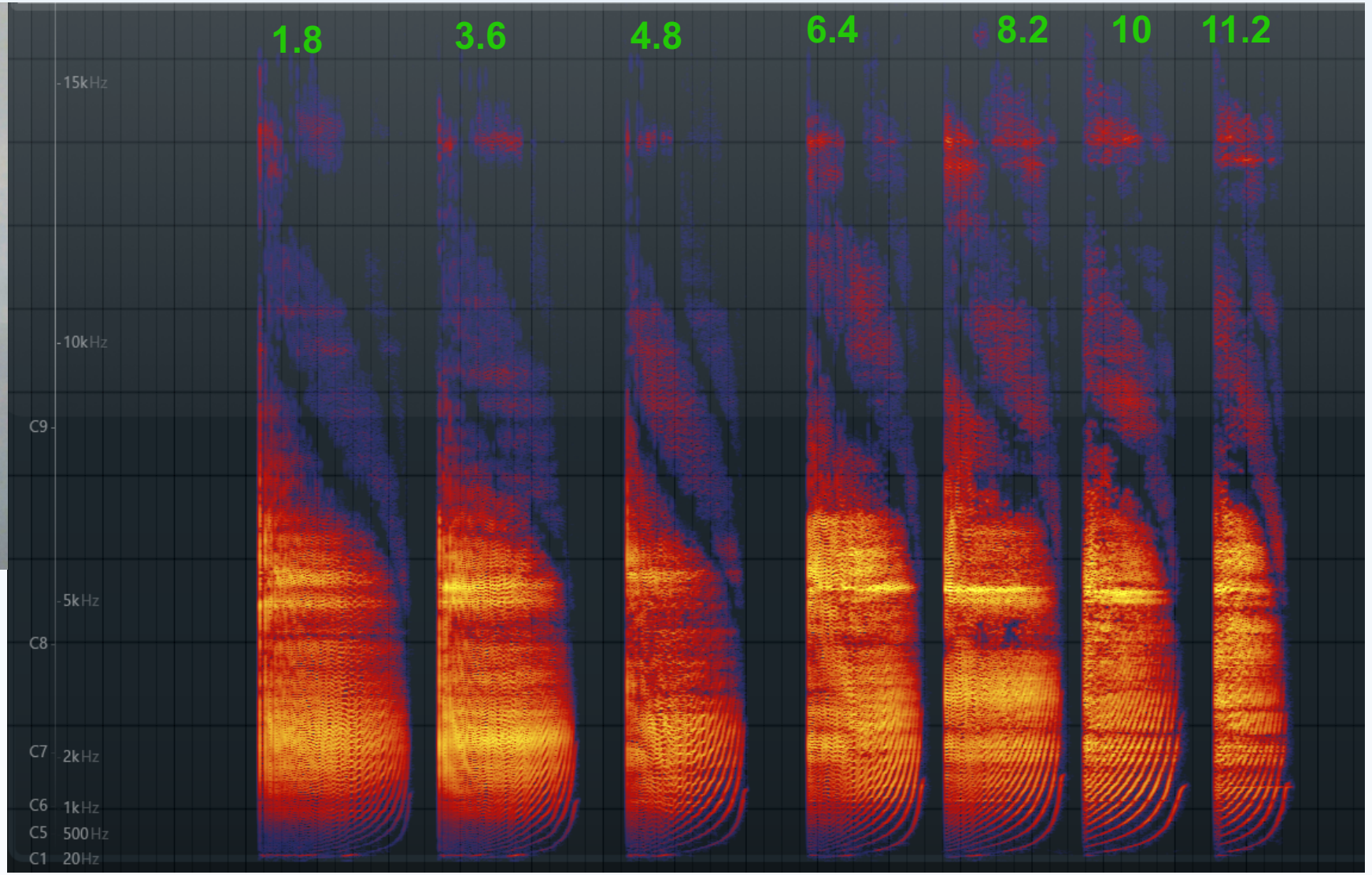


5295 Hz

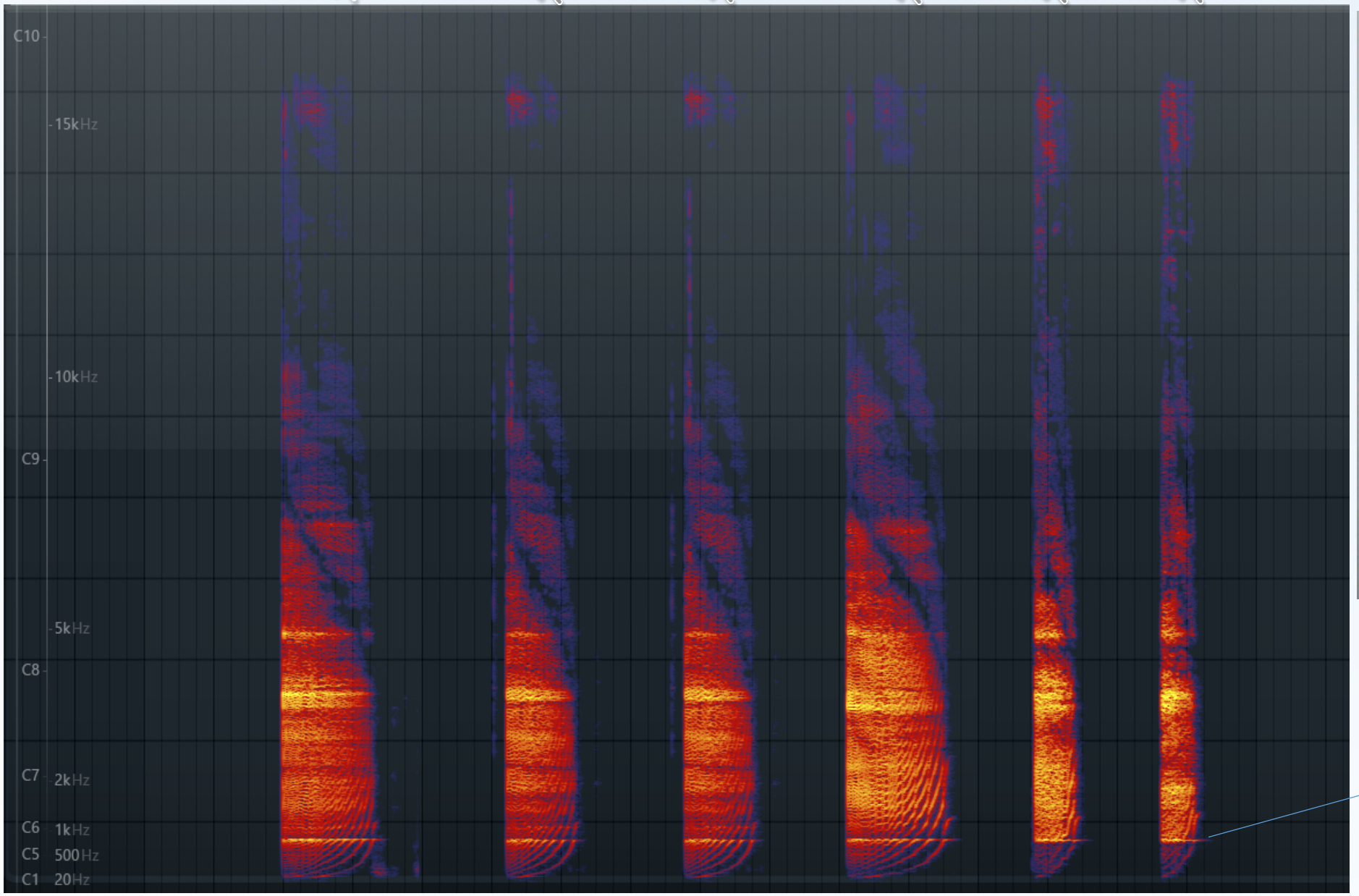
The sound duration versus initial deviation plot

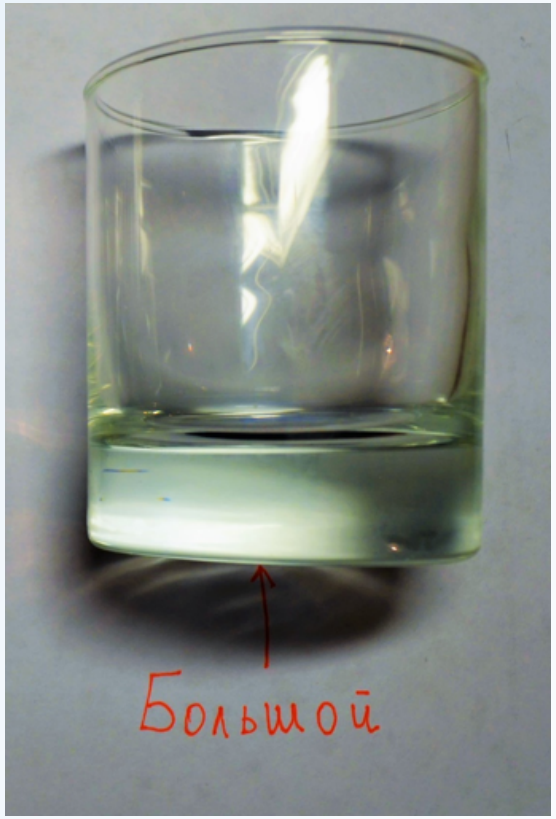


Spectrograms with different lever arms



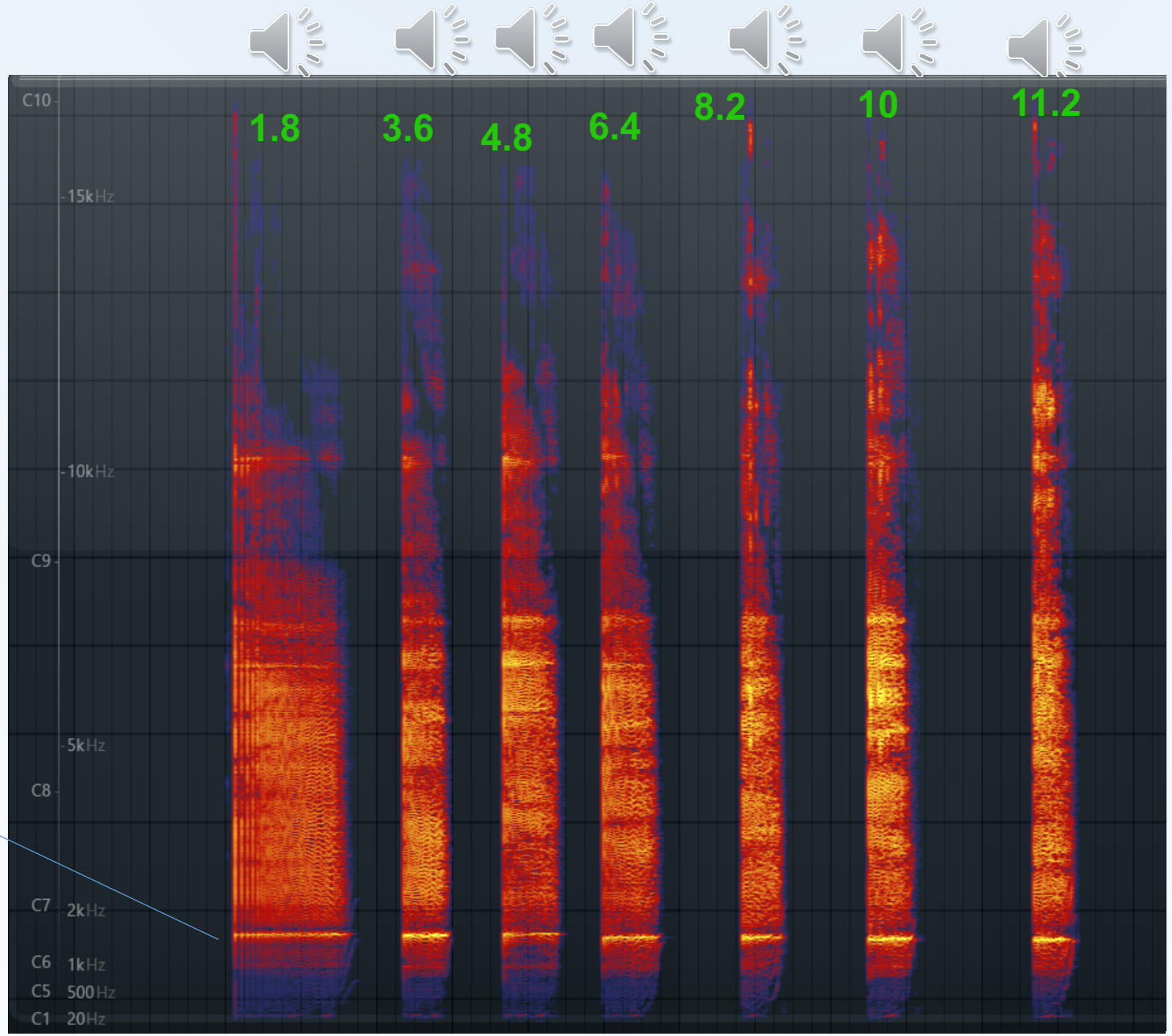
Spectrograms with different lever arms





838 Гц

Spectrograms with different lever arms



$f \approx 1536$Гц

Conclusions:

- The energy reduction factor of the glasses after each collision is NOT constant.
- The duration of the effect depends on the lever arm and on the initial deviation of the glasses.
- The duration of the effect also depends on the value of dissipation.
- The Spectrum depends on the applied force and lever arm.

Thanks for listening!

2. Since the strength of these collisions further decreases, the spectrum also changes.
3. Из экспериментов мы увидели, что «высокие» и «низкие» частоты затухают быстрее чем «средние»