

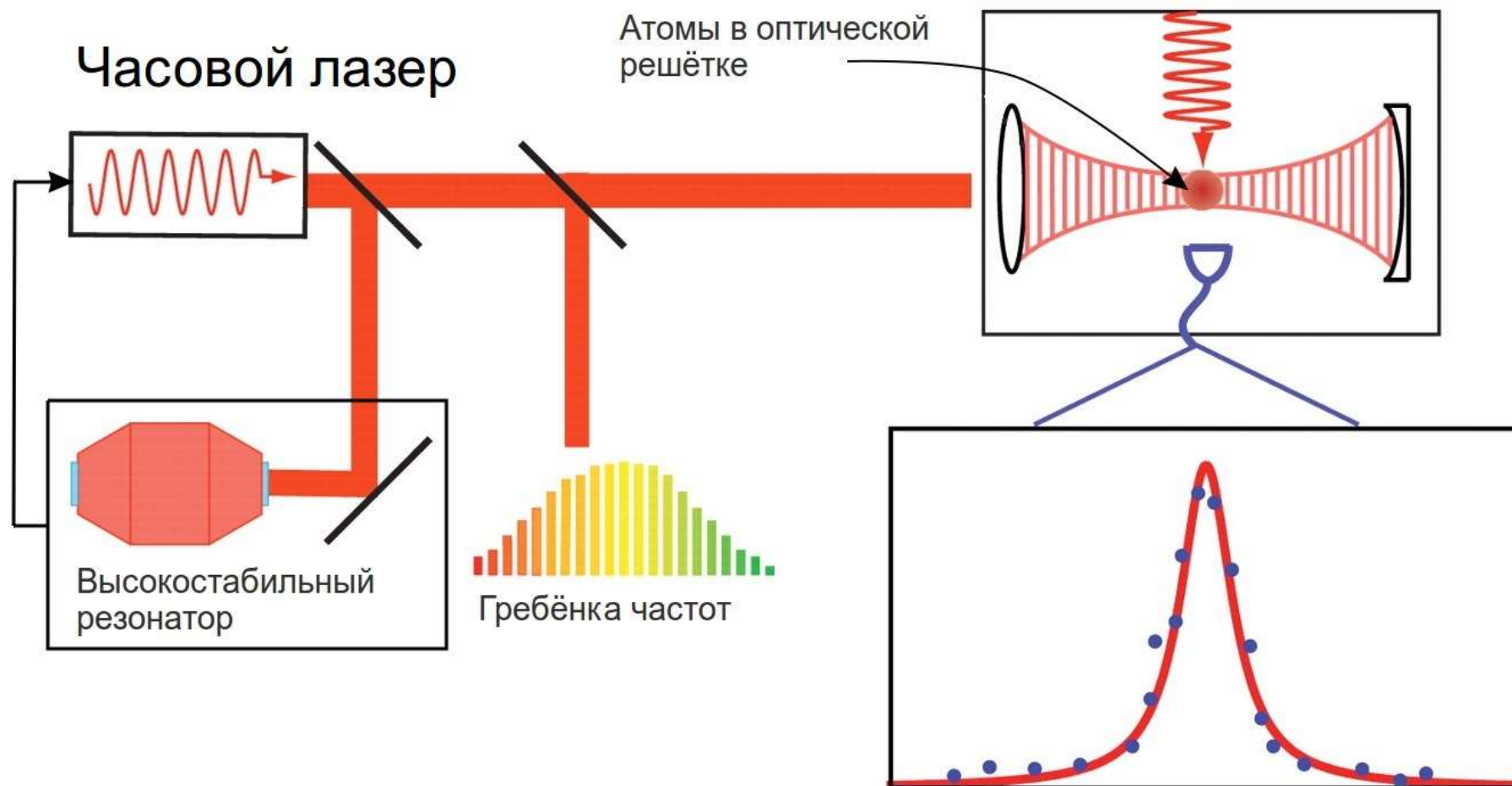
# Новое поколение высокостабильных лазеров для тулиевых оптических часов

Жаднов Н.О., Масалов А.В., Хабарова К.Ю.,  
Колачевский Н.Н., Сорокин В.Н.  
ФИАН, 2016

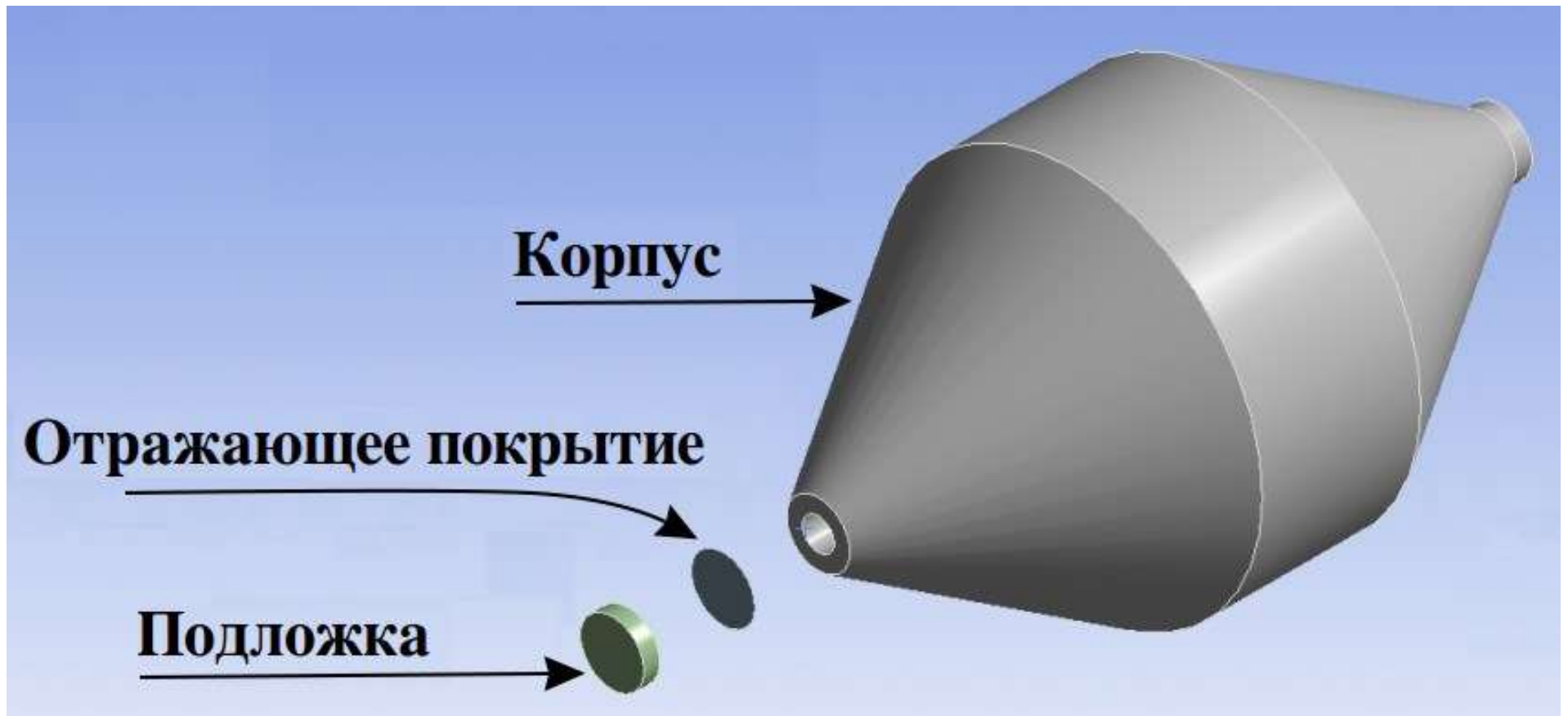
ФИАН



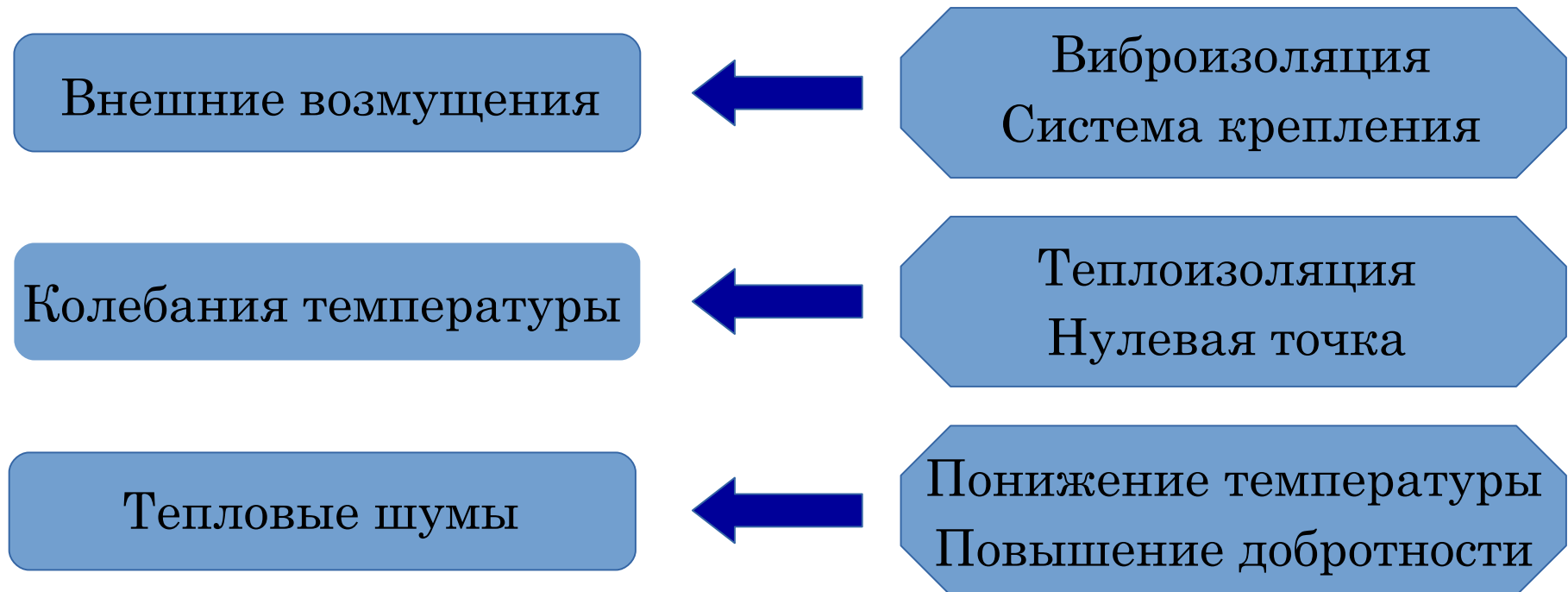
# Применение высокостабильных лазеров



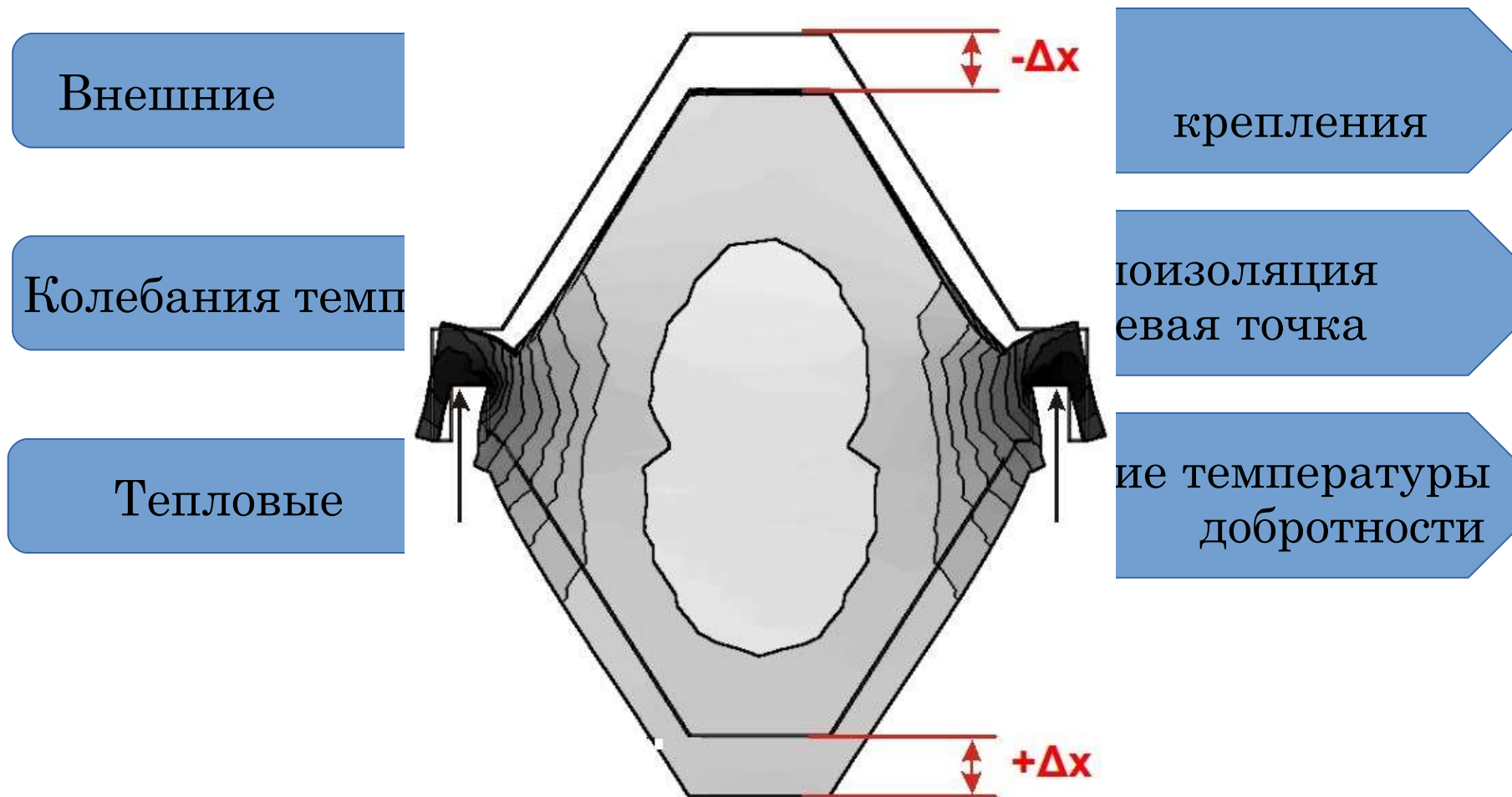
# Резонатор с высокой стабильностью



# Факторы, ограничивающие стабильность



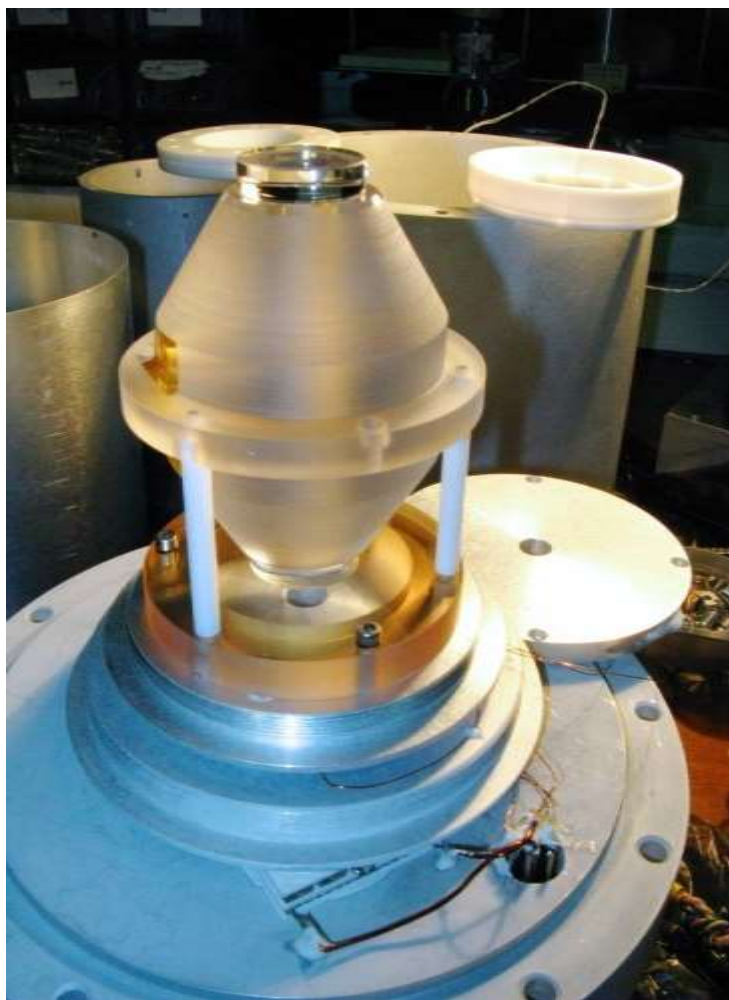
# Факторы, ограничивающие стабильность



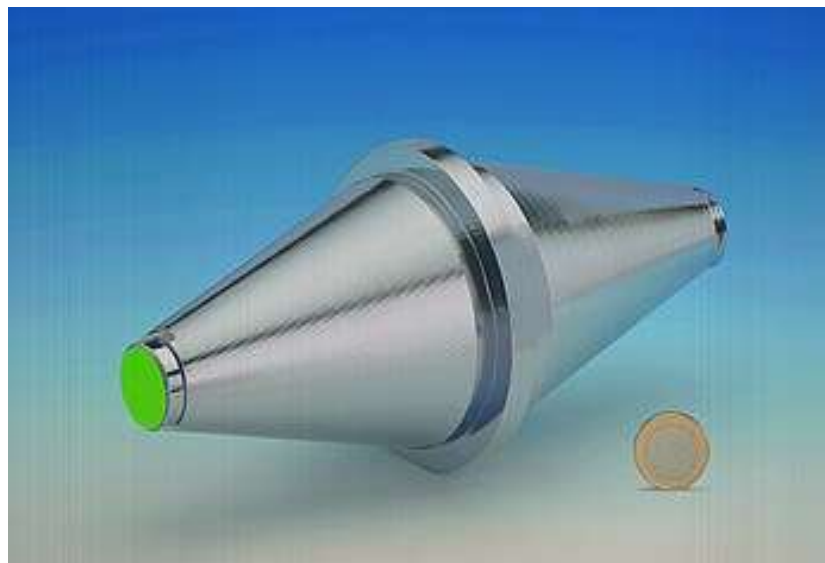
# Факторы, ограничивающие стабильность



# Высокостабильные резонаторы Фабри-Перо

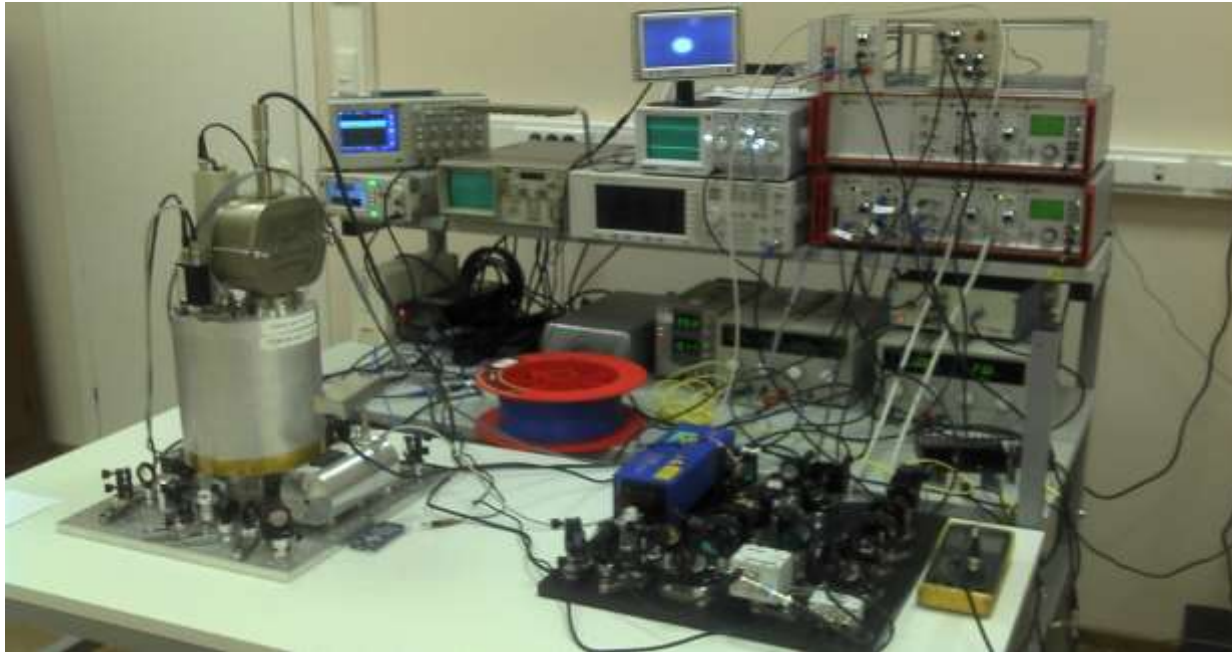


- ULE-стекло
- Кварц
- Сапфир
- Кремний





# Стабилизация по ULE- резонаторам



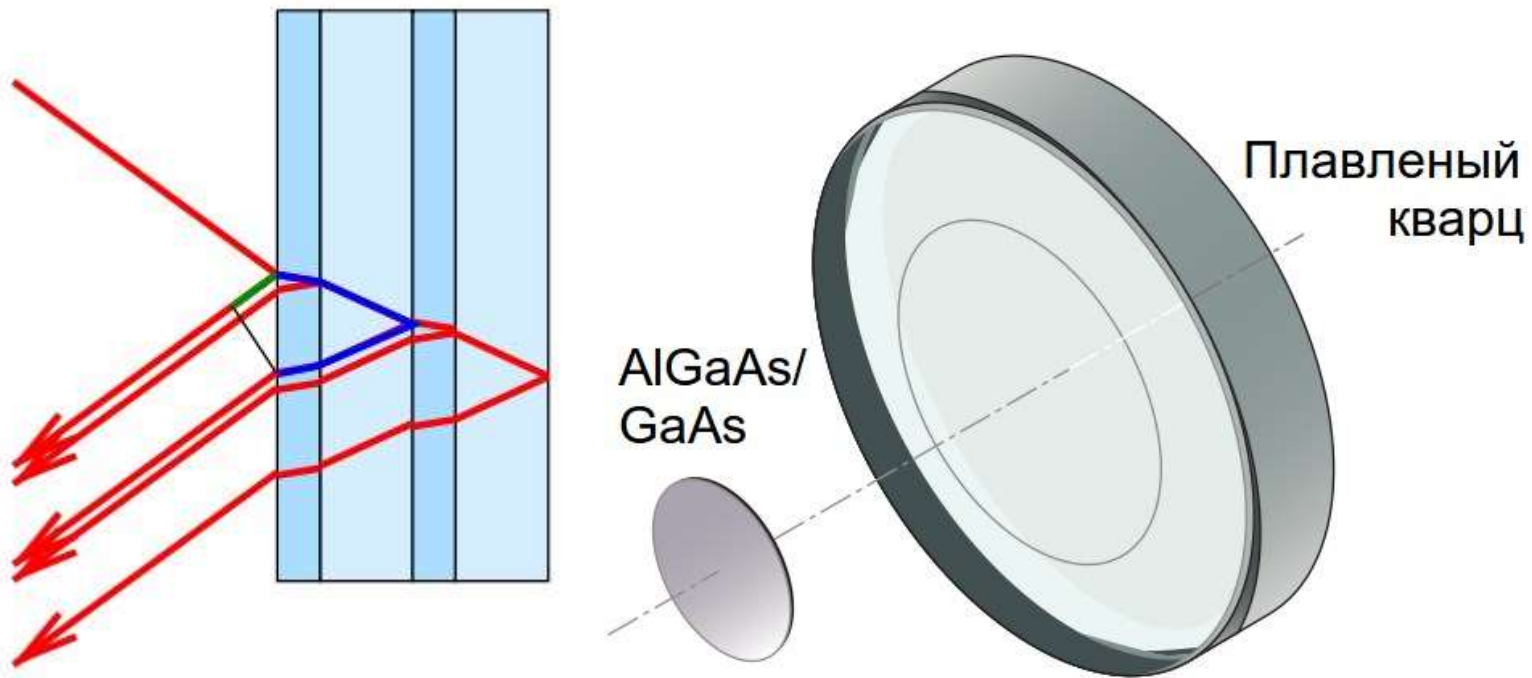
Система обеспечивает ширину  
линии генерации лазера в  $\sim 1$  Гц  
на длине волны  $1,14$  мкм.

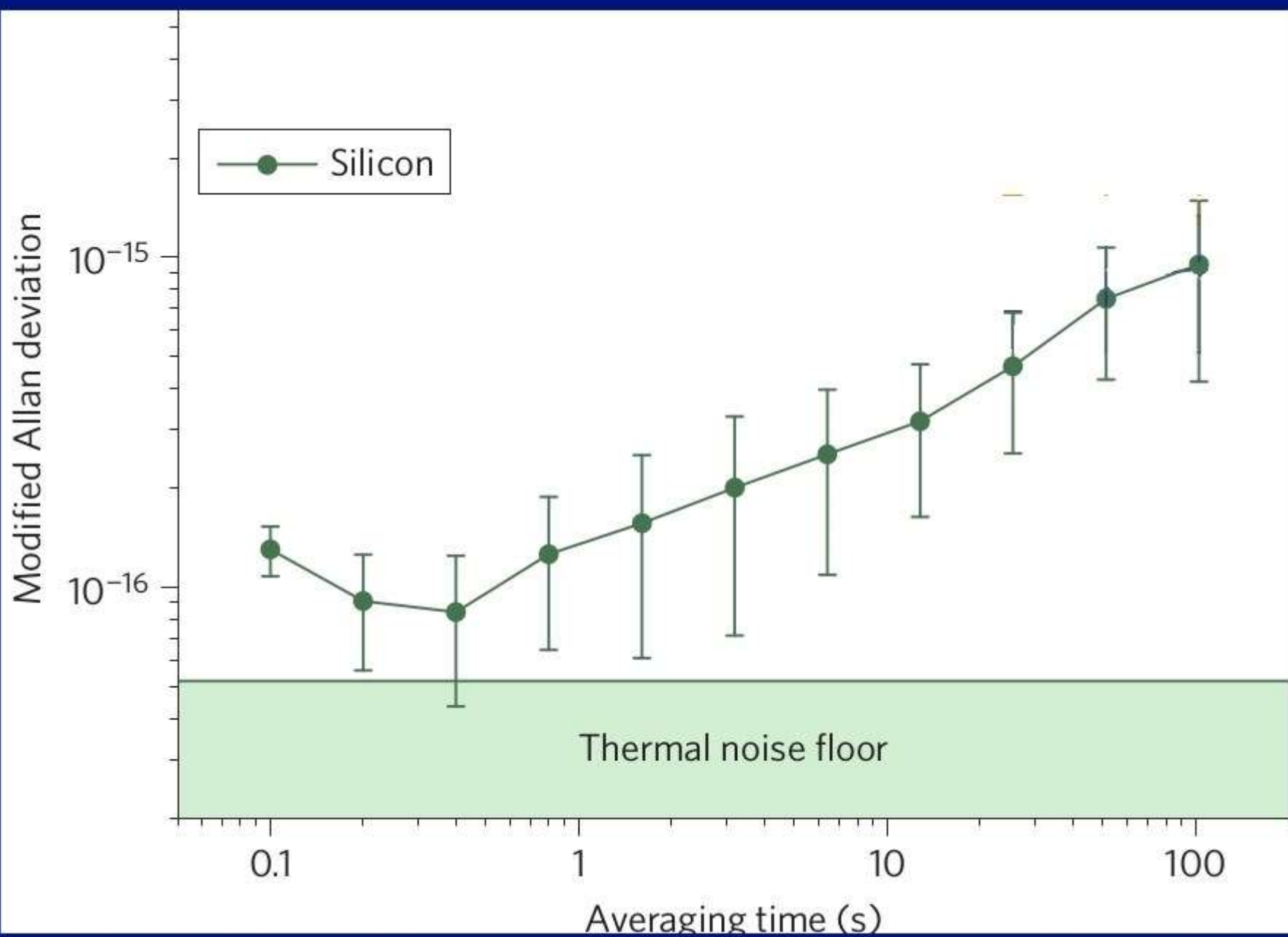




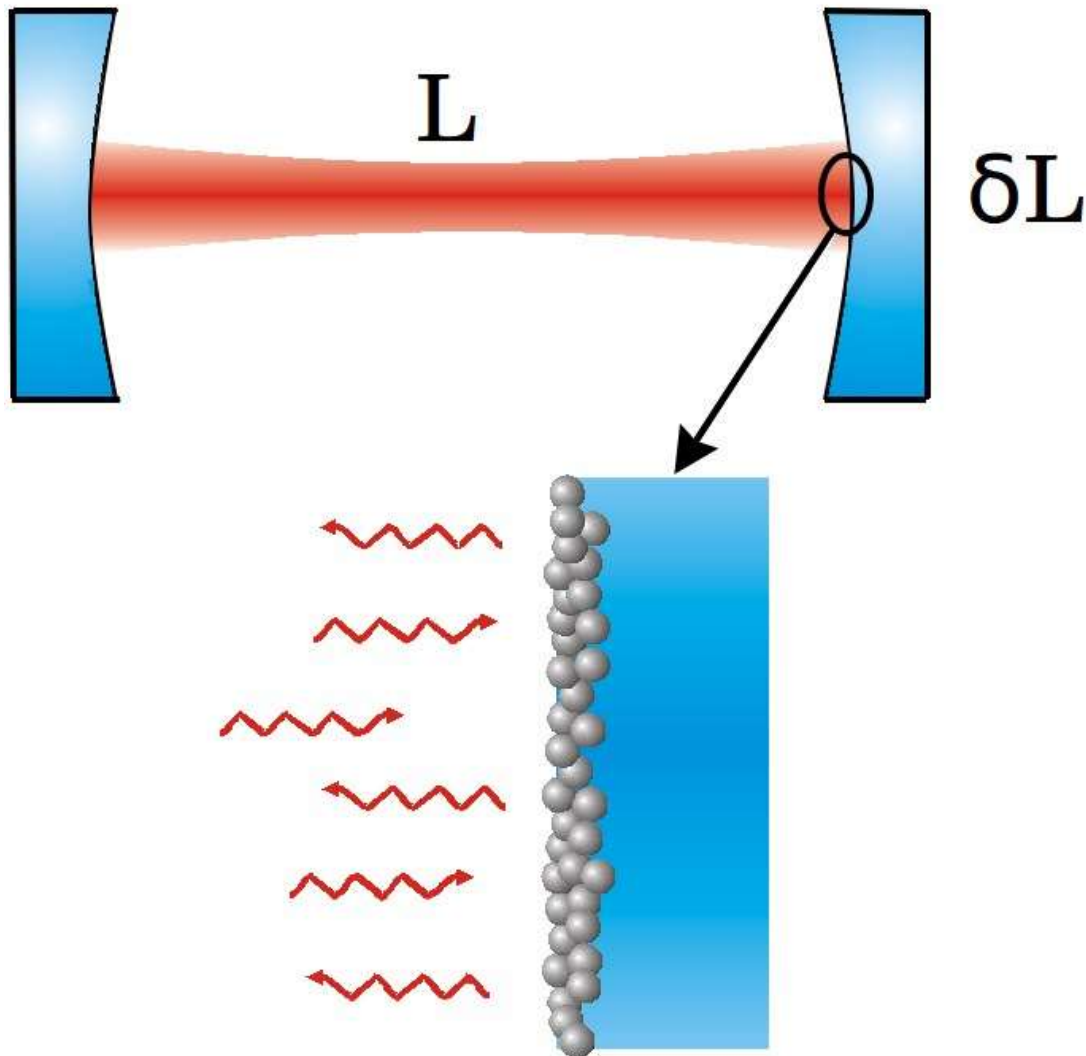
# Отражающие покрытия

## Интерференционные зеркала





# Природа тепловых шумов



$$\frac{\delta L}{L} = \frac{\delta \omega}{\omega}$$

Случайное движение поверхности зеркал из-за теплового возбуждения колебательных мод.

Смещение положения поверхности приводит к флуктуациям частот

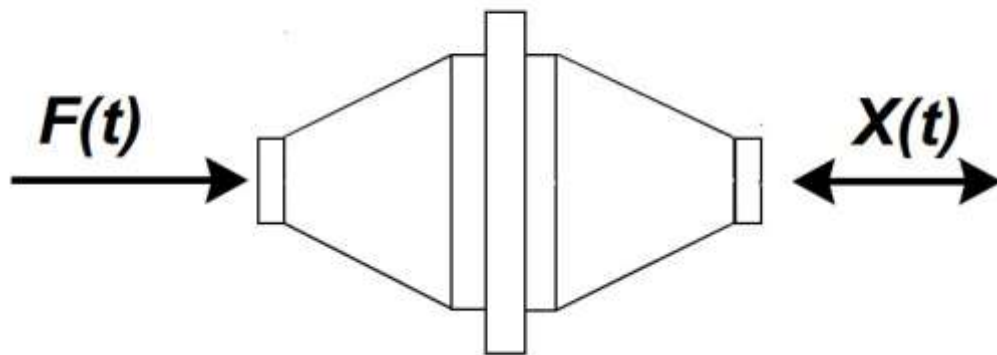
# Флуктуационно-диссипационная теорема

Диссипации



Тепловой шум

**System**



$$H(\omega) \equiv \frac{\tilde{X}(\omega)}{\tilde{F}(\omega)}$$

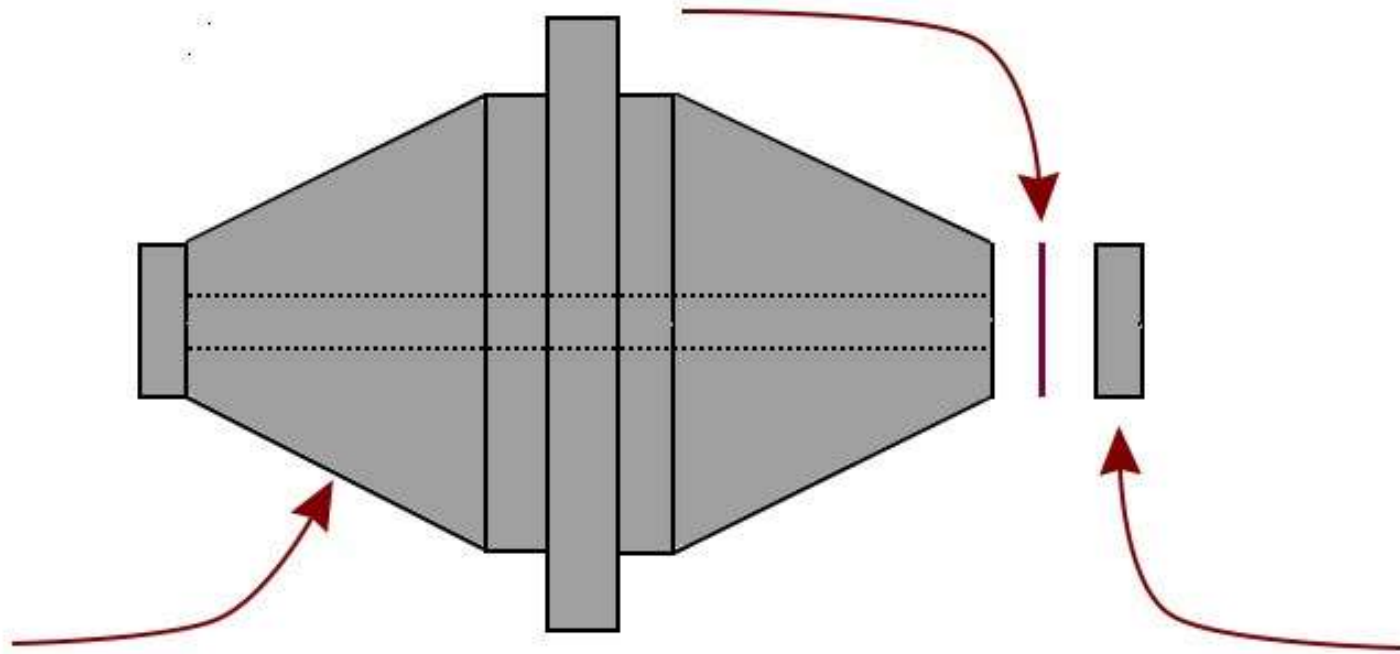
$$S_X(f) = -\frac{4k_B T}{\omega} \text{Im}[H(\omega)]$$



$$S_X(f) = \frac{2k_B T}{\pi^2 \omega^2} \frac{W_{\text{loss}}}{F_0^2}$$

# Формулы для частей резонатора

$$S_c(f) = S_{sp}(f) \frac{D}{w} \frac{1}{E \cdot E_c (1 - \sigma_c^2)(1 - \sigma^2)} \cdot \frac{\phi_c}{\phi}$$



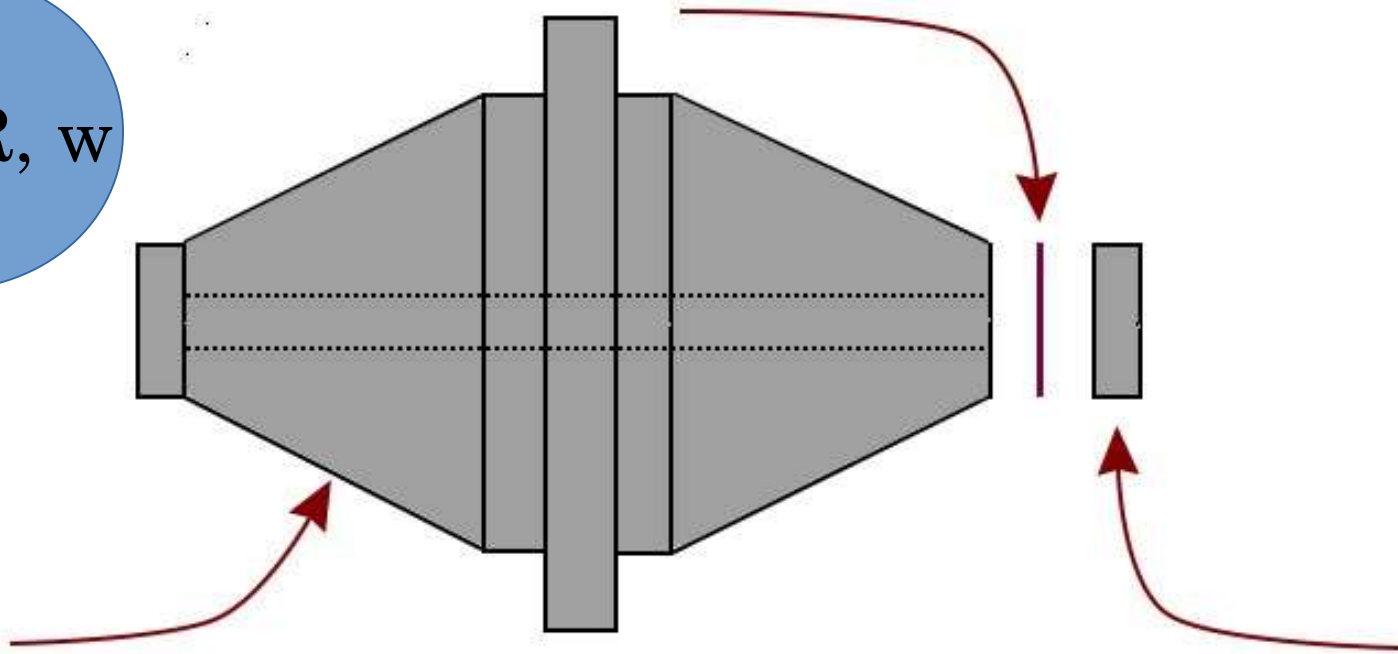
$$S_{sp}(f) = \frac{2kT}{\pi f} \cdot \frac{L}{3\pi R^2 E} \phi$$

$$S_{sub}(f) = \frac{2kT}{\pi f} \cdot \frac{1 - \sigma^2}{\sqrt{\pi w E}} \phi$$

# Формулы для частей резонатора

$$S_c(f) = S_{sp}(f) \frac{D}{w} \frac{1}{E \cdot E_c (1 - \sigma_c^2) (1 - \sigma^2)} \cdot \frac{\phi_c}{\phi}$$

L, D, R, w



$$S_{sp}(f) = \frac{2kT}{\pi f} \cdot \frac{L}{3\pi R^2 E} \phi$$

$$S_{sub}(f) = \frac{2kT}{\pi f} \cdot \frac{1 - \sigma^2}{\sqrt{\pi w E}} \phi$$

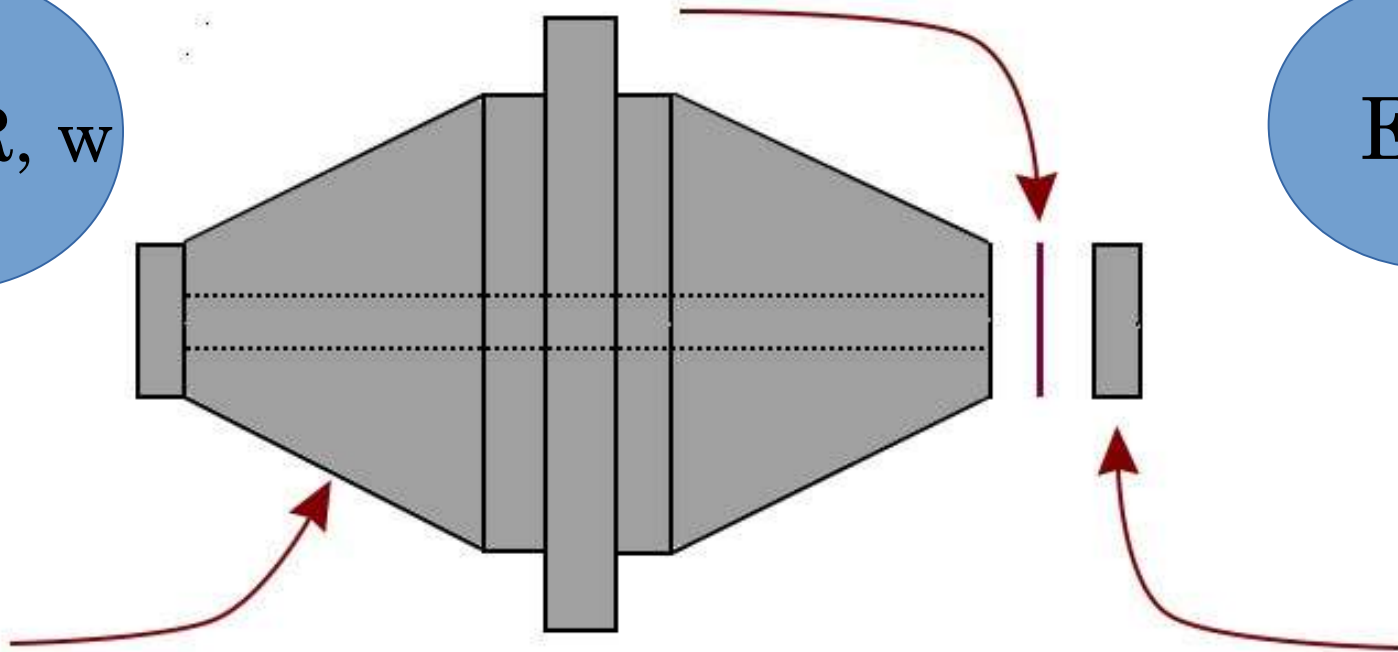


# Формулы для частей резонатора

$$S_c(f) = S_{sp}(f) \frac{D}{w} \frac{1}{E \cdot E_c (1 - \sigma_c^2)(1 - \sigma^2)} \cdot \frac{\phi_c}{\phi}$$

L, D, R, w

E, σ



$$S_{sp}(f) = \frac{2kT}{\pi f} \cdot \frac{L}{3\pi R^2 E} \phi \quad S_{sub}(f) = \frac{2kT}{\pi f} \cdot \frac{1 - \sigma^2}{\sqrt{\pi w E}} \phi$$

# Формулы для частот резонатора

$$S_c(f) = S_{sp}(f) \frac{D}{w} \frac{1}{E \cdot E_c (1 - \sigma_c^2)(1 - \sigma^2)} \cdot \frac{\phi_c}{\phi}$$

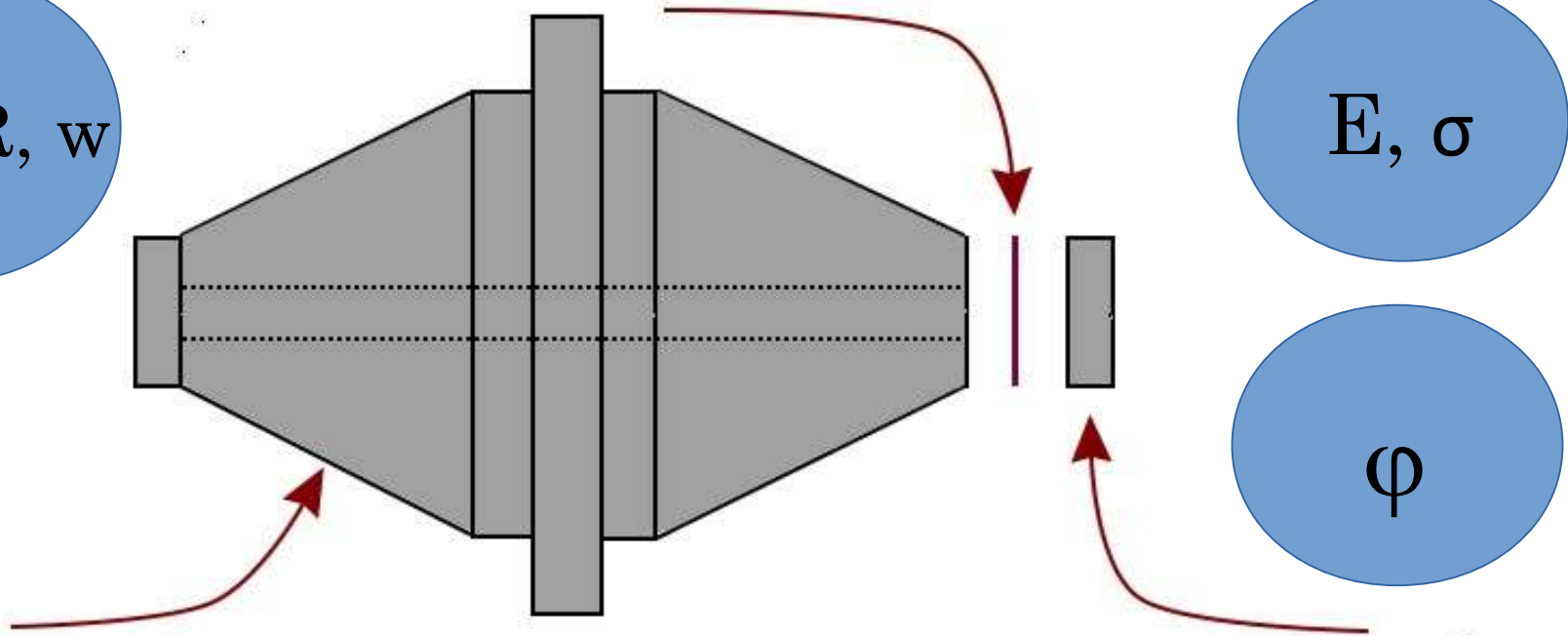
L, D, R, w

E,  $\sigma$

$\phi$

$$S_{sp}(f) = \frac{2kT}{\pi f} \cdot \frac{L}{3\pi R^2 E} \phi$$

$$S_{sub}(f) = \frac{2kT}{\pi f} \cdot \frac{1 - \sigma^2}{\sqrt{\pi w E}} \phi$$



# Результаты расчёта

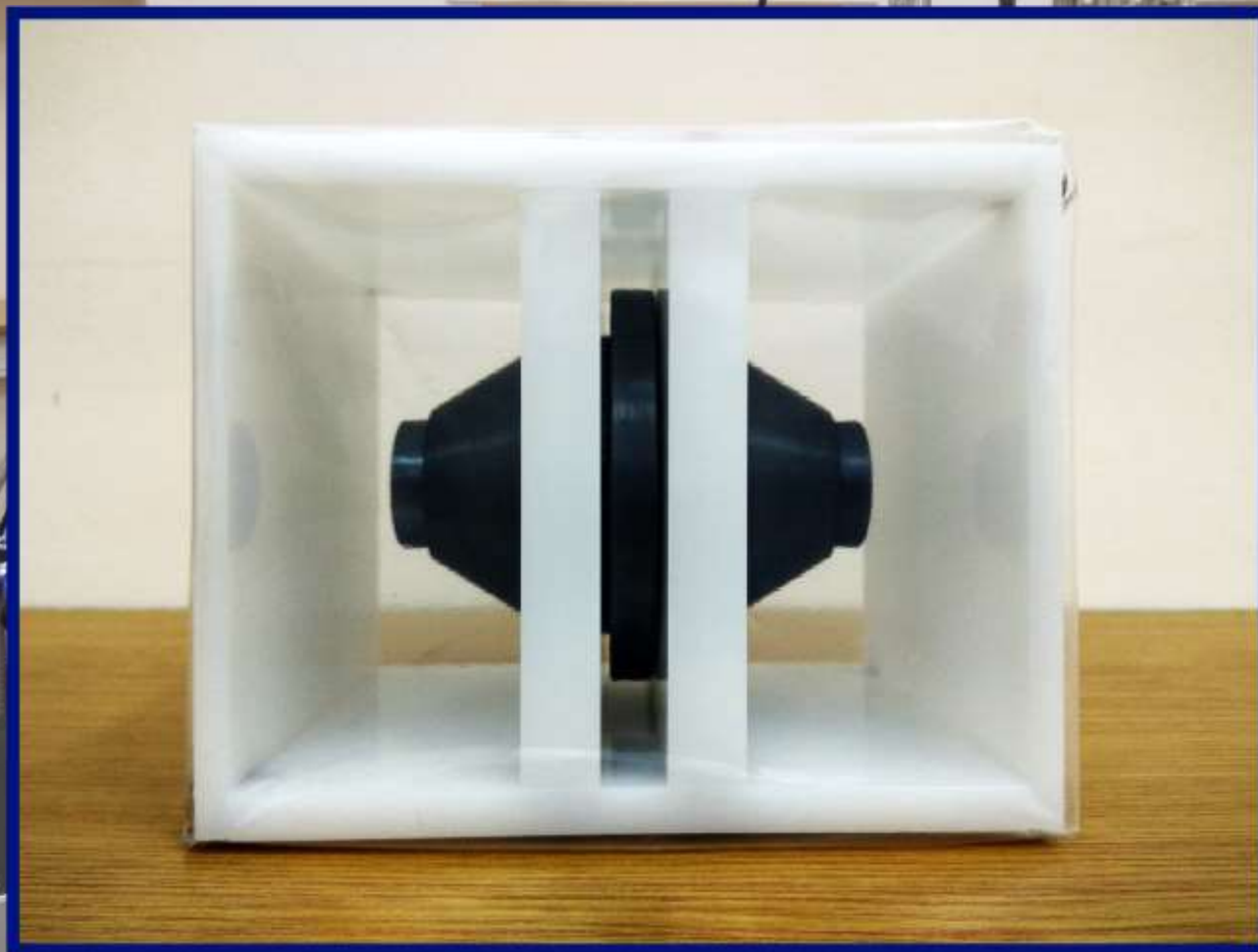
Материал корпуса и подложек	Материал зеркал	Шумы корпуса, %	Шумы подложки, %	Шумы покрытия, %	Стабильность частоты, м <sup>2</sup> /Гц
ULE	SiO <sub>2</sub> /Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.1	87		3,2·10 <sup>-16</sup>
				13	
Si	SiO <sub>2</sub> /Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.1	2	98	2,5·10 <sup>-17</sup>
				93	
Si	AlGaAs/ GaAs	<0.1	7		1,0·10 <sup>-17</sup>
GaAs	AlGaAs/ GaAs	<0.1	98(?)	2	1,3·10 <sup>-16</sup>

# Эксперимент с кремниевым образцом

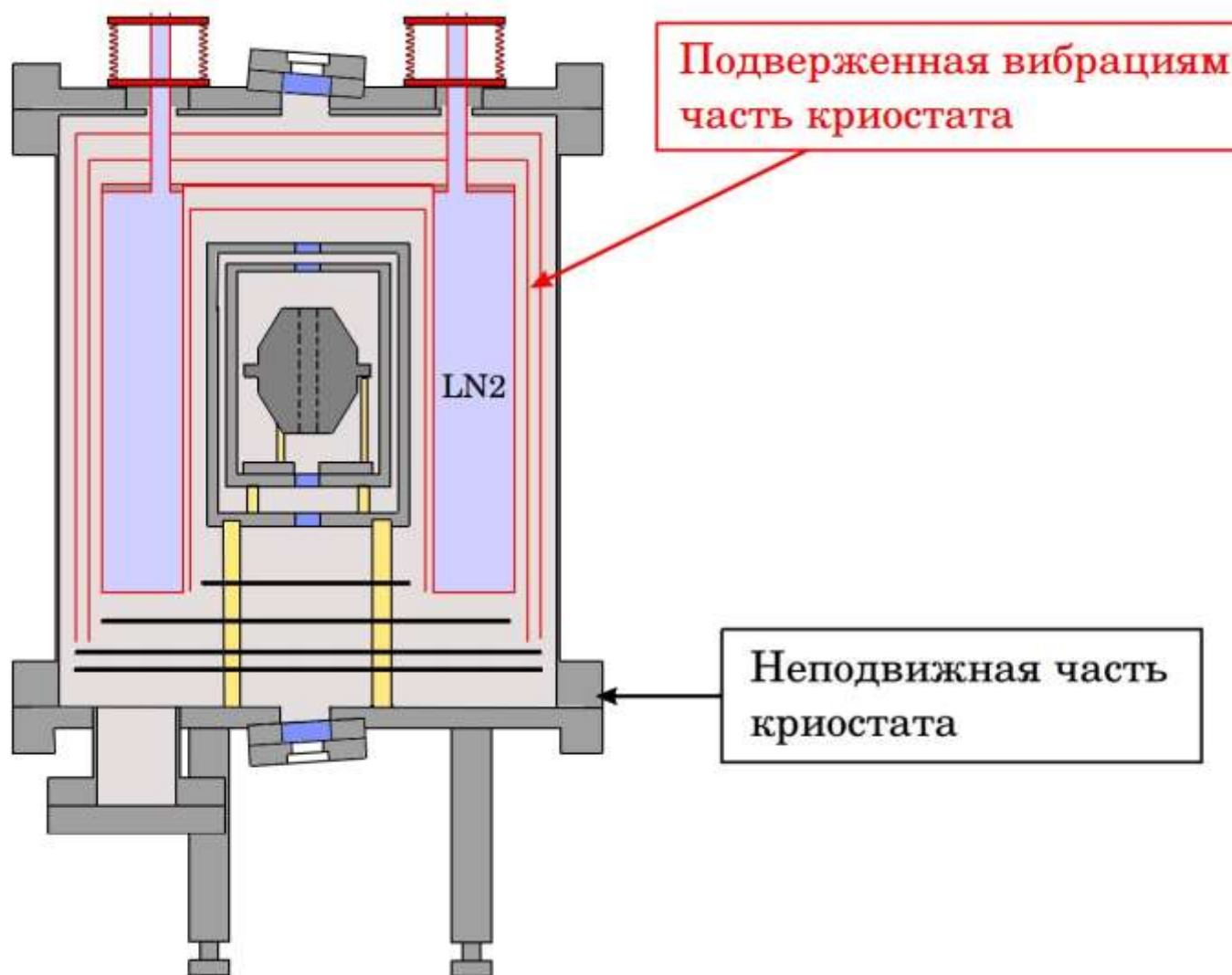




# Эксперимент с кремниевым образцом



# Конструкция криостата





Конец.

Спасибо за внимание!