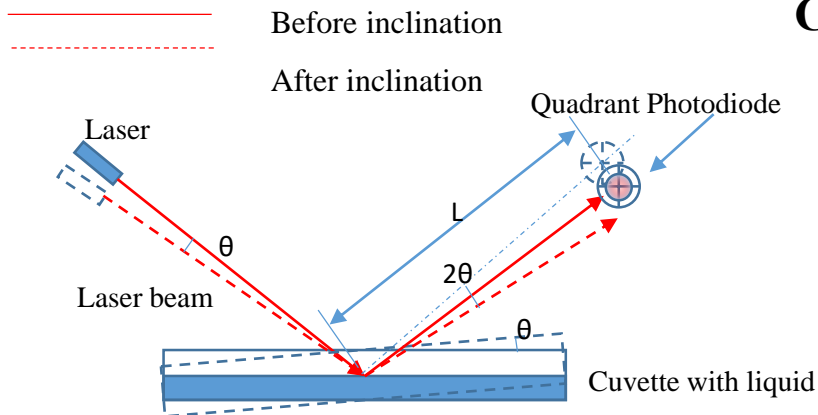


# **Стабилизация мощности излучения лазерного источника для Малогабаритного Прецизионного лазерного инклинометра с помощью АЦП и ЦАП. Часть I**

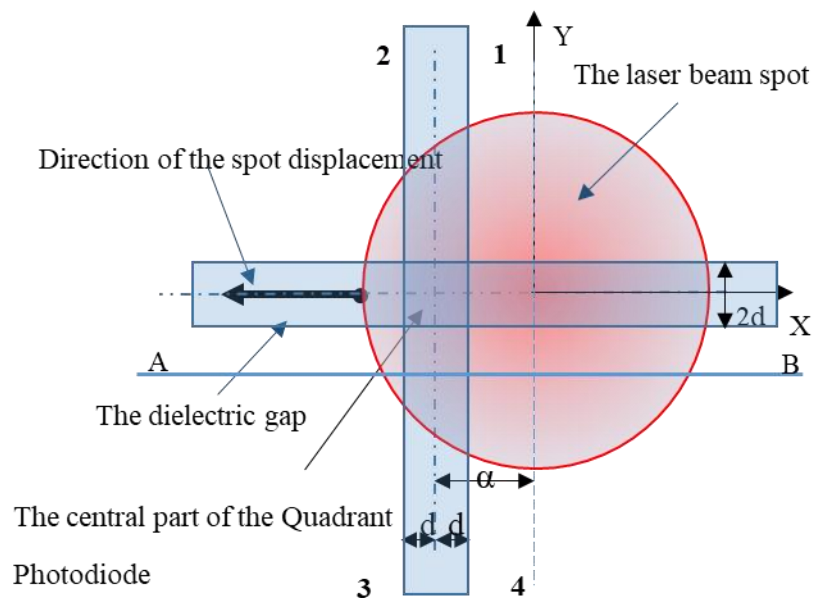
М.В.Ляблин, Ю.В.Клемешов

## Смещение лазерного луча на квадрантном фотоприёмнике в ПЛИ



### Принцип работы Прецизионного Лазерного Инклинометра

- Лазер, кювета с жидкостью и позиционно-чувствительный (квадрантный) фотоприёмник находятся на основании.
- При наклоне основания на угол  $\theta$  положение поверхности жидкости не изменяется,
- Отражённый от поверхности жидкости лазерный луч наклоняется относительно квадрантного фотоприёмника на угол  $2\theta$
- Пятно лазерного луча смещается на квадрантном фотоприёмнике и изменяет сигналы на его фотоприёмниках.

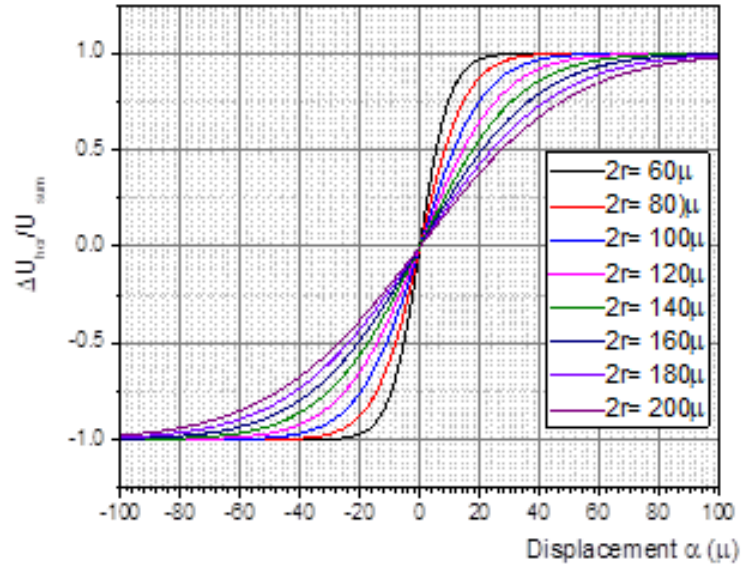


$$\frac{\Delta U_{\text{гор}}}{U} = \frac{(U_2 + U_3) - (U_1 + U_4)}{U_1 + U_2 + U_3 + U_4} = \frac{\Delta P_{\text{гор}}}{P}$$

$$\frac{\Delta U_{\text{гор}}}{U} = \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{(a+d)\sqrt{2}}{r}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{(a-d)\sqrt{2}}{r}\right)}{2\operatorname{erf}\left(\frac{300\sqrt{2}}{r}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{(a-d)\sqrt{2}}{r}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{(a+d)\sqrt{2}}{r}\right)}$$

Положения одномодового лазерного луча в центре квадрантного фотоприёмника

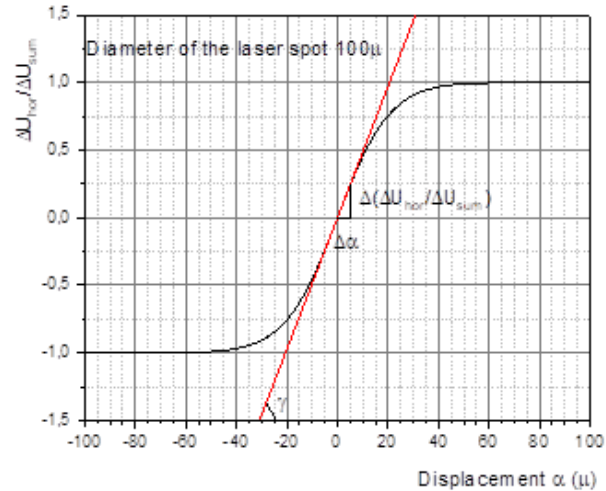
## Смещение лазерного луча на квадрантном фотоприёмнике в ПЛИ 2



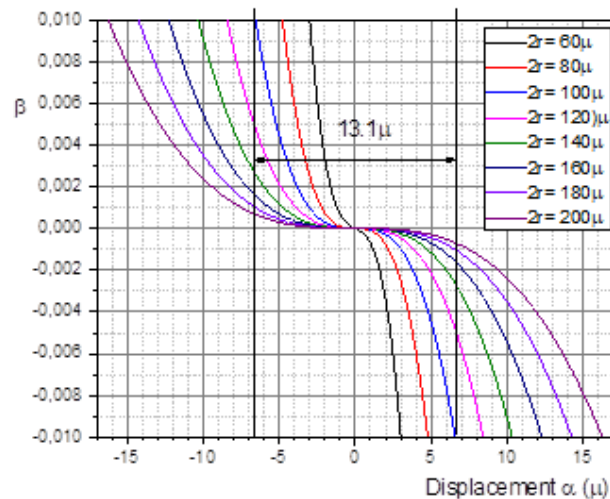
Зависимость сигнала с квадрантного фотоприёмника от смещения  $\alpha$  пятна лазерного луча для различных диаметров  $2r$  лазерного луча

$$\frac{\Delta U_{\text{гор}}}{U}$$

## Смещение лазерного луча на квадрантном фотоприёмнике в ПЛИЗ



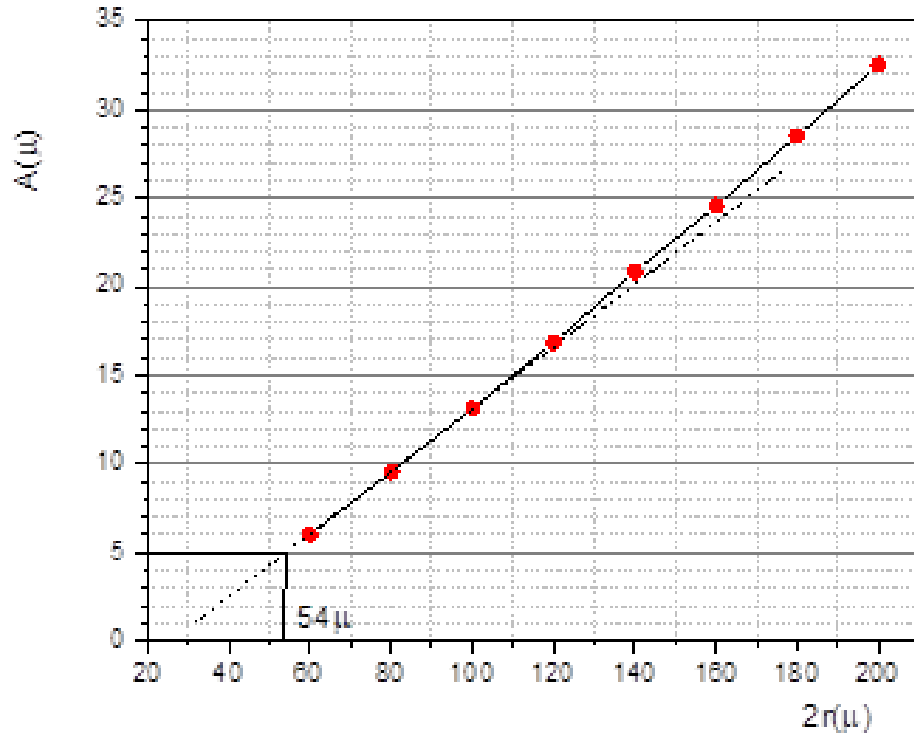
Нелинейности  $\beta$  относительного сигнала  $\frac{\Delta U_{top}}{U}$  с КФ в зависимости от смещения  $\alpha$  для различных диаметров  $2r$  лазерного луча



$$\beta = \frac{\Delta U_{top}}{\Delta U_{sum}}(\alpha) - tg(\gamma)\alpha$$

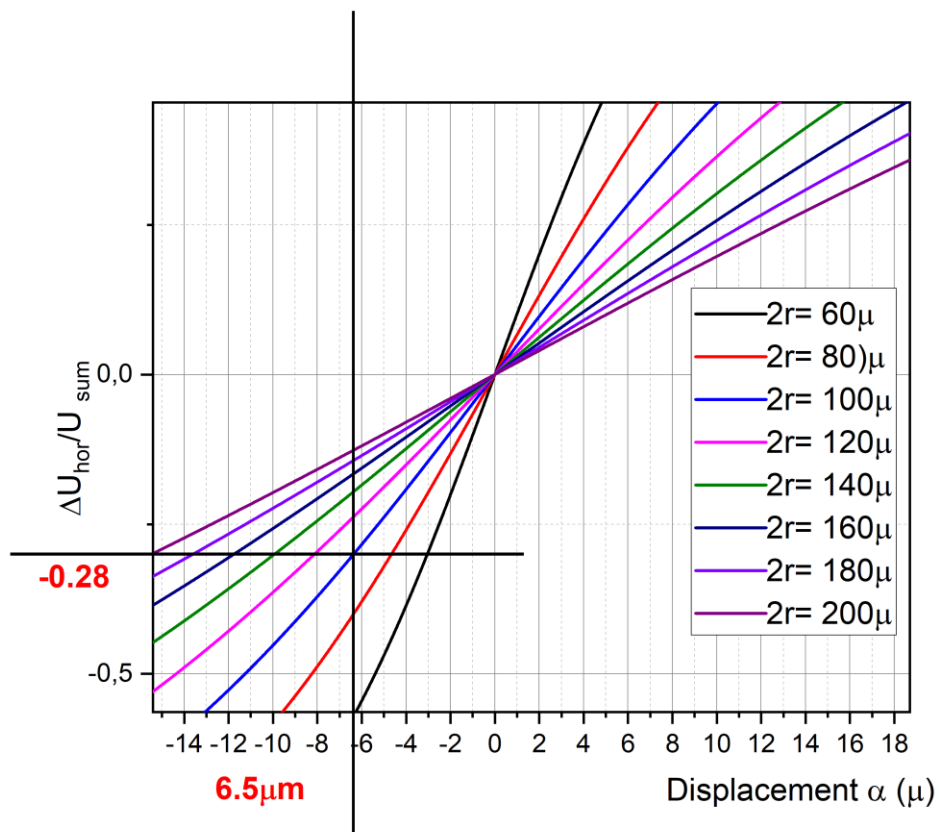
- Для диаметра лазерного луча **100 мкм** диапазон смещения  $\Delta$  пятна лазерного луча с возможной нелинейностью  **$\beta=0.01$**  достигает **13 мкм**.

## Смещение лазерного луча на квадрантном фотоприёмнике в ПЛИ 4



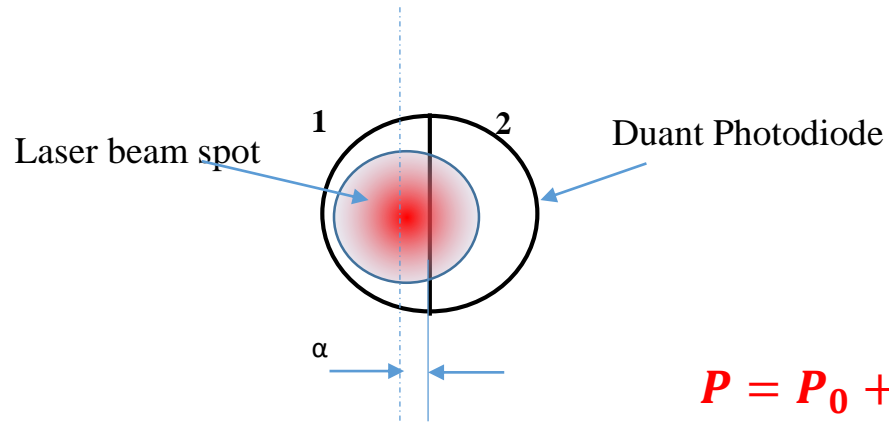
Диапазон смещений  $A$  лазерного луча с нелинейностью в сигнале с квадрантного фотоприёмника  $\beta=0.01$  в зависимости от диаметра  $2r$  пятна лазерного луча

- Наблюдается практически линейная зависимость диапазона смещения  $A$  лазерного луча в зависимости от его диаметра  $2r$ .
- При изменении расположения пятна лазерного луча на квадрантном фотоприёмнике происходит разномасштабное распределение мощности лазерного луча на фотоприёмниках квадранта.
- При изменении интенсивности лазерного луча этот фактор даст прямое проникновения шума нестабильности мощности в регистрируемый сигнал.
- Определим степень влияния шума нестабильности мощности, на чувствительность ПЛИ.



- Максимальное изменение относительного сигнала  $\frac{\Delta U_{гор}}{U}$  В зоне с нелинейностью **1%** составляет величину **28%** .

# Определение зависимости относительного амплитудного шума лазера от шума измерения угла наклона



Смещение пятна лазерного луча на дуантном фотоприёмнике

$$P = P_0 + \delta P$$

$P_0$  постоянная мощности,  $\delta P$  переменной составляющей мощности

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \Delta U_0 + \delta U_n = \Delta U_0 \left( 1 + \frac{\delta U_n}{\Delta U_0} \right)$$

$\Delta U_0$ -постоянная составляющая сигнала,  $\delta U_n$  -переменная составляющая сигнала

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \Delta P_0 + \delta P_n = \Delta P_0 \left( 1 + \frac{\delta P_n}{\Delta P_0} \right)$$

$\Delta P_0$ -постоянная разности мощности,  $\delta P_n$  - переменная составляющая разности мощности

Поскольку  $P = \frac{\eta e}{h\nu} I = \frac{\eta e}{h\nu} \frac{U}{R}$  получим  $\frac{\delta U_n}{\Delta U_0} = \frac{\delta P_n}{\Delta P_0} = \frac{\delta P}{P_0}$

$$\frac{\delta P}{P_0} = \frac{\delta U_n}{\Delta U_0}$$

Зависимость относительного шумового изменения мощности сигнала от относительного изменения шума разностного сигнала на фотоприёмниках

## Определение зависимости относительного амплитудного шума лазера от шума измерения угла наклона<sup>2</sup>

Поскольку относительное изменение сигнала равно относительному изменению углов наклона

$$\frac{\delta U_n}{\Delta U_0} = \frac{\delta \varphi_n}{\Delta \varphi} \quad \Delta \varphi \text{ максимальный линейно измеряемый угол} \quad \delta \varphi_n \text{ шум измеряемого угла}$$

$$\frac{\delta P}{P_0} = \frac{\delta \varphi_n}{\Delta \varphi}$$

Поскольку длина лазерного луча от точки отражения от поверхности жидкости до позиционного квадрантного фотоприёмника  $L=0.7\text{м}$  а максимально допустимое смещение 100мкм пятна лазерного луча равно  $A=13\text{мкм}$ .

угол  $\Delta \varphi = A/L = 2 \cdot 10^{-5} \text{рад}$ ,  
при максимальной точности измерения, ограниченной шумами 24 битного АЦП шум измерения максимального угла наклона земной поверхности составит  $\delta \varphi_n = 5 \cdot 10^{-10} \text{рад}$ .

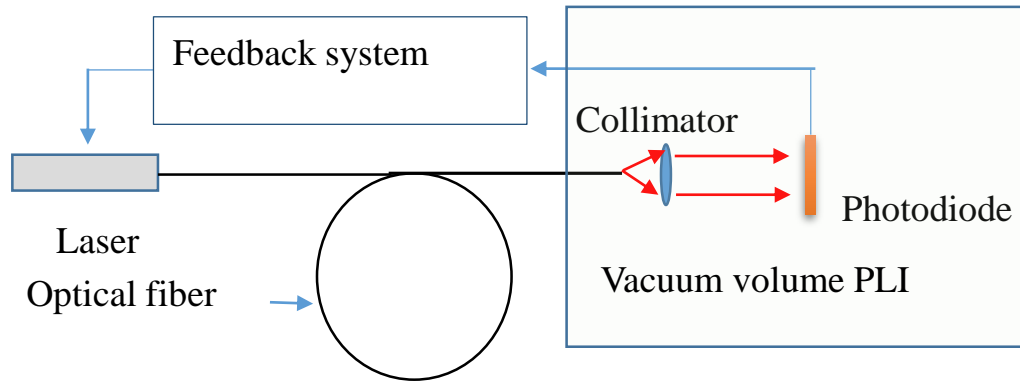
$$\frac{\delta P}{P_0} = 1.2 \cdot 10^{-5}$$

Для измерения в рамках амплитуды Микросейсмического Пика  $\Delta \varphi = 10^{-7} \text{рад}$

$$\frac{\delta P}{P_0} = 1 \cdot 10^{-3}$$



## Стабилизация мощности лазерного источника с оптоволоконным выходом



- Изначально стабилизированный по мощности лазерный луч становится нестабильным после прохождения волокна. В этой ситуации необходимо стабилизировать мощность используя её измерение на выходе оптического волокна.
- На выходе оптического волокна производится прецизионное измерение мощности. При помощи фотоприёмника регистрируется её переменная составляющая, которая используется в цепи обратной связи для стабилизации лазерного источника.
- В этой схеме мы стабилизируем мощность лазера в том числе и от возникших в оптическом волокне сопутствующих шумов, что является принципиально важным фактором при использовании этой схемы в ПЛИ.