

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

13-85-533

М.В.Ляблин, Д.Е.Шабалин*

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ
ПО ВИБРОЗАЩИЩЕННОСТИ
ОПТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ
ДЛЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

* Московский инженерно-физический институт

1985

В качестве измерительной схемы для определения колебаний платформы в низкочастотном диапазоне использовался оптический интерферометр Майкельсона, собранный на ВОП /см.рис.1/. Луч от лазера 1 раздваивался делителем \mathbb{D} и подавался на зеркала 3-1 и 3-2. Отразившись от них, лучи совмещались с помощью делителя и интерферировали на фотокатоде ФЭУ. В результате смещения одного плеча интерферометра относительно другого происходил сдвиг интерференционной картины, который регистрировался ФЭУ в виде переменного токового сигнала.

Определим предельную чувствительность интерферометра Майкельсона к регистрации шумовых колебаний оптической платформы. В результате колебания интерференционной картины в ФЭУ вырабатывается токовый сигнал

$$i = \frac{\eta e}{h\nu} [P_1 + P_2 + 2\sqrt{P_1 P_2} \cos(\phi_1(t) - \phi_2(t) + \theta)] \quad /1/$$

где η - квантовая эффективность ФЭУ; e - заряд электрона, h - постоянная Планка, ν - частота колебаний световой волны; P_1, P_2 - мощности световой волны, попадающие на фотокатод ФЭУ от первого и второго плеча интерферометра; $\phi_1(t), \phi_2(t)$ - сдвиги фаз световых волн, обусловленные колебаниями длины плеч интерферометра; θ - постоянный сдвиг фаз, появляющийся из-за разности усредненной длины плеч интерферометра. Используя равенство интенсивности световых потоков $P_1 = P_2 = P$ (изменение длины плеч значительно меньше длины волны лазерного излучения $\phi_1(t) \ll 1, \phi_2(t) \ll 1$; длина второго плеча значительно меньше первого $\phi_2(t) \ll \phi_1(t)$) и выбирая $\theta = \pi/2$, получим сигнальную переменную составляющую тока

$$\bar{i}_c = \frac{\eta e}{h\nu} P \phi_1(t) \quad /2/$$

Шумовая составляющая на выходе ФЭУ состоит из суммы шумовых токов различной природы^{1/}:

$$\langle i_{ш}^2 \rangle = \langle i_d^2 \rangle + \langle i_{\phi}^2 \rangle + \langle i_T^2 \rangle + \langle i_B^2 \rangle \quad /3/$$

где $\langle i_d^2 \rangle = 2e \frac{\eta e}{h\nu} P \Delta f$ - дробовой шум; Δf - ширина полосы частот принимаемого сигнала; $\langle i_{\phi}^2 \rangle = \left(\frac{\eta e}{h\nu} P\right)^2 \frac{B}{f} \Delta f$ - фликкер-шум; B - постоянная, f - частота, на которой регистрируется сигнал;

$\langle i_T^2 \rangle = \frac{4kT}{R} \Delta f$ - тепловой шум; k - постоянная Больцмана; T - температура фотокатода; R - сопротивление нагрузки;

$$\langle i_{\text{ш}}^2 \rangle = \left(\frac{\eta e}{h\nu} \right)^2 \cdot \sum_{n=1} \bar{\rho}_n \Delta f \cdot \rho_{n+f/\Delta f} \Delta f \quad - \text{шум биений частотных}$$

составляющих лазерного излучения; $\Delta\Omega$ - ширина полосы лазера; $\bar{\rho}_n$ и $\bar{\rho}_m$ - усредненные в интервале Δf спектральные плотности лазерного излучения, разделенные друг относительно друга частотой регистрируемых колебаний.

Отношение S/N запишется в виде

$$S/N = \frac{\langle i_{\text{с}}^2 \rangle}{\langle i_{\text{ш}}^2 \rangle} = \frac{\eta P \cdot \phi_1^2(t)}{h\nu \Delta f \left(2 + \frac{\eta}{h\nu P} \cdot \sum_n \bar{\rho}_n \rho_{n+f/\Delta f} \Delta f + \frac{\eta}{h\nu} P \frac{B}{f} + \frac{4kT}{R\eta e^2} h\nu \frac{1}{P} \right)} \quad /4/$$

При определенных условиях /ширина полосы лазерного излучения существенно меньше частоты измеряемого сигнала и мощность лазерного излучения значительно больше мощности теплового шума/ определяющим является дробовой шум. Отношение S/N в этом случае равно

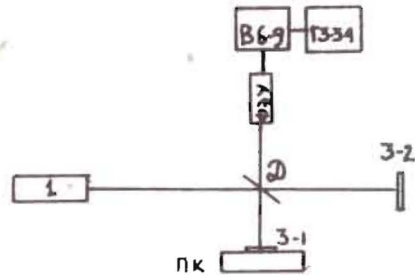
$$S/N = \frac{\eta P}{2h\nu \Delta f} \phi_0^2(t). \quad /5/$$

При $S/N = 1$ и в предположении, что в полосе Δf находится одна мода гармонических акустических колебаний с частотой регистрируемого сигнала, получим предельно измеримую амплитуду смещений

$$\Delta l = \lambda \cdot \sqrt{\frac{2h\nu \Delta f}{\eta P}}. \quad /6/$$

Примем: $h\nu = 2,5 \cdot 10^{-19}$ Дж; $\Delta f = 10$ Гц; $\eta = 0,2$; $P = 10^{-3}$ Вт; $\lambda = 0,4 \cdot 10^{-6}$ м; амплитуда смещений $\Delta l = 1,4 \cdot 10^{-14}$ м. Если частота измеряемого сигнала значительно меньше ширины полосы лазера, доминирующим шумом является шум биений частотных составляющих лазерного излучения. Тогда

$$S/N = \frac{P^2 \cdot \phi_1^2(t)}{\sum_n \bar{\rho}_n \Delta f \cdot \rho_{n+f/\Delta f} \Delta f}. \quad /7/$$



Вид шума биений зависит от конкретного типа лазера. В области низких частот $10 \div 100$ Гц преобладающим является фликкер-шум, и отношение S/N имеет вид:

Рис. 1

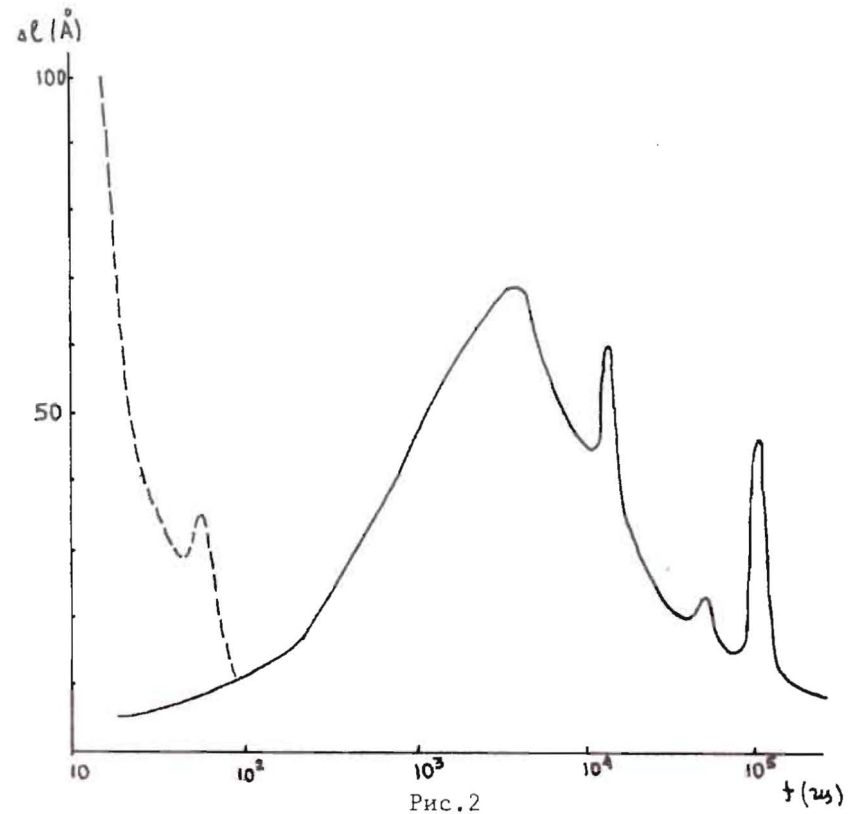


Рис. 2

$$S/N = \frac{f \phi_1^2(t)}{B \cdot \Delta f}. \quad /8/$$

Предельно измеряемая величина смещений равна

$$\Delta l = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{B \cdot \Delta f}{f}}. \quad /9/$$

При $B = 10^{-12}$ /для фоторезистора/, $f = 10$ Гц, $\Delta f = 1$ Гц, $\lambda = 0,44$ мкм, $\Delta l = 2,2 \cdot 10^{-14}$ м. На частотах колебаний порядка $1-100$ Гц существенным является шум, вносимый колебаниями интенсивности лазерного излучения.

Экспериментальное исследование шумовой амплитуды колебаний ВОП проведено по схеме, изображенной на рис.1. В качестве элементов схемы использовались следующие приборы и устройства: одномодовый лазер; делитель - оптический куб; фотоэлектронный умножитель - ФЭУ-79. Токовый сигнал с ФЭУ подавался на селективный вольтметр, который позволял измерить величину сигнала на определенной частоте, контролируемой частотометром.

Для калибровки интерферометра одно из зеркал было подклеено на пьезоэлектрическую пластинку /ПК/, выполненную из пьезокерамики ЦТС-19^{1/2}. Пьезокерамическая пластинка, в свою очередь, крепилась на массивном основании. Селективный вольтметр "вырезал" шумовой сигнал исследуемой частоты, а частота колебаний ПК подстраивалась таким образом, чтобы регистрируемый сигнал был максимальным. Доля сигнала, создаваемого ПК, $U_{ПК}$, вычислялась по формуле $U_{ПК} = U_{ПК+ш} - U_{ш}$, где $U_{ПК+ш}$ - полный сигнал; $U_{ш}$ - уровень шума. Смещение ПК, соответствующее $U_{ПК}$, вычислялось по формуле $\Delta = d \cdot U$, где U - амплитуда напряжения, питающего ПК, d - пьезоэлектрический модуль.

Измерения проводились в частотном диапазоне от 20 до 10^5 Гц. Результаты измерений приведены на рис.2. Проводились также измерения шума биений частотных составляющих лазерного излучения. Данные представлены на рис.2. Видно, что на частотах $f > 70$ Гц доминирующим является шум биений.

Из приведенных предварительных измерений видно, что максимальные шумовые колебания оптической платформы на частотах $f = 14$ Гц составляют $\Delta l_{\text{м}} = 20 \text{ \AA}$ на метр длины платформы.

В заключение авторы выражают благодарность А.Ф.Писареву за постановку задачи и постоянную помощь в проведении эксперимента. Мы благодарим также наших коллег С.Г.Башу, А.А.Сазонова и В.В.Ужинского за оказанную помощь в подготовке эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирошничников В.М. Теоретические опыты оптико-электронных приборов. "Машиностроение", Л., 1983.
2. Плужников В.М., Семенов В.С. Пьезокерамические твердые схемы. "Энергия", М., 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 июля 1985 года

Ляблин М.В., Шабалин Д.Е.
Предварительные экспериментальные данные
по виброзащищенности оптической платформы
для гравитационного эксперимента

13-85-533

Сообщаются результаты предварительного измерения виброзащищенности оптической платформы /ВОП/, предназначенной для выполнения на ней гравитационно-волнового эксперимента. Результаты получены с помощью оптического интерферометра Майкельсона. Для калибровки установки использовались пьезодатчики. Амплитуда шумовых колебаний ВОП составила 20 \AA на метр длины платформы в диапазоне частот 15-70 Гц.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Lyablin M.V., Shabalin D.E.
Preliminary Experimental Data on the Vibration
Immunity of the Optical Platform for a Gravitation
Experiment

13-85-533

The vibration immunity of the optical platform (VOP) designed for the gravitation-wave experiment has been tentatively measured using Michaelson's optical interferometers. The results are presented. To adjust the set-up piezoelectric transducers were employed. The VOP noise oscillation amplitude was 20 \AA per metre of the platform length in the 15-70 Hz frequency range.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1985