ВЕСТН. МОСК, УН-ТА. СЕР. ФИЗИКА, АСТРОНОМИЯ. Т. 19, № 1— 1978

$$\theta = 2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \sqrt{1 - \frac{1}{2} \sin^2 \varphi} + F(k, \varphi) - 2E(k, \varphi).$$
(7)

В нерелятивистском случае $(U \rightarrow 0, t \rightarrow 0, \phi \rightarrow 0)$ имеем $\theta^2 = \frac{1}{144} \phi^6$

зили

$$j = \frac{4}{9x^2} \varepsilon_0 \sqrt{\frac{2e}{m_0}} V^{3/2}$$

зизвестный закон Чайльда-Лангмюра.

В релятивистском приближении $(U \gg 1, t \cong U \rightarrow \infty, \phi \rightarrow \pi)$ можно пренебречь под корнем в (7) значением sin $\phi \cong 0$ по сравнению с единицей, а также функциями $F(k, \phi)$ и $E(k, \phi)$, которые при $\phi \cong \pi$ являются величинами порядка единицы и много меньше, чем $\operatorname{tg} \frac{\phi}{2} \rightarrow \infty$. В таком случае получается

$$\theta^2 \cong 4 \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2} \cong 4U,$$

т. е. известная ультрарелятивистская формула с линейной зависимостью от потенциала

$$j=\frac{2\varepsilon_0 c}{x^2}V.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Boers J. E., Kelleher D. «J. Appl. Phys.», 1969, 40, N 6, 2409. 2. Смирнов В. И. Курс высшей математики, т. 3, ч. 2. М., 1958.

> Поступила в редакцию 19.8 1977 г. Кафедра радиофизики СВЧ

УДК 531.7.052.5

Л. А. Шенявский ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР В. И. Шмальгаузен ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ МАЛЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Принцип поляризационного интерферометра [1] был успешно использован для исследования степени пространственной когерентности излучения лазера [2]. Достоинства этой скемы — высокая идентичность лучей и возможность плавно регулировать их разнесение в пространстве обеспечили большую чувствительность метода. Модификация -схемы поляризационного интерферометра позволяет использовать достоинства этого прибора при исследовании деформаций колеблющихся объектов. Принцип действия измерителя малых деформаций поясняется рис. 1.

Плоскополяризованный луч от лазера Л попадает в электрооптическую ячейку Э. В ячейке между обыкновенным и необыкновенным лучами возникает сдвиг фаз $\Delta \phi_m$, зависящий от напряжения, подаваемого на вход ячейки (Вх). Пройдя через ячейку и полупрозрачное зеркало З, луч попадает на пластину из кальцита перпендикулярно ее естественной грани. Из пластины выходят два параллельных луча, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях, которые попадают на объект О в точках *а* и б. Исследуемая поверхность объекта перпендикулярна направлению лучей и поэтому отраженные от объекта (или рассеянные им) лучи сходятся после прохождения пластины П в обратном направлении. Эти лучи, отражаясь от полупрозрачного зеркала З, попадают на анализатор А, представляющий собой модифицированную призму Франка—Риттера. В результате интерференции поляризованных лучей на поверхностях фотодиодов Д₁ и Д₂ образуются взаимно дополнительные интерференционные картинки. Если при отражении от объекта свет частично деполяризуется, то деполяризованные

125

лучи при выходе из пластины П не совпадут с основными лучами и не попадут на анализатор. Это приведет лишь к уменьшению интенсивностей интерференционных картинок. Положение светлой полосы на фотодиоде $Д_1$ (и соответственно темной полосы на фотодиоде $Д_2$) зависит от $\Delta \phi_m$, от разности фаз поляризованных волн, приобретенной при распространении их в пластине $\Delta \phi_n$, а также от разности фаз $\Delta \phi_0$, приобретенной при распространении от пластины к точкам а и б объекта и при обратном ходе лучей до пластины П. Величина разнесения лучей (аб) зависит от величины пластины П и ее ориентации. Вращением кристалла вокруг оси, перпендикулярной к плоскости рисунка, можно плавно изменять величину (аб). При этом юстировка установки не будет нарушаться.



Рис. 1. Схема поляризационного интерферометра

Токи фотоднодов вычитались при помощи УПТ. Напряжение с выхода УПТ, пропорциональное разности токов, усиливалось и полученный сигнал подвергался снектральной обработке.

В экспериментах в качестве электрооптической ячейки применялся модулятор МЛ-3, анализатор которого использовался в качестве анализатора установки А. Тол-



Рис. 2. Распределение амплитуды деформаций при изгибных продольных колебаниях пластины на втором тоне щина пластины П составляла ~ 15 мм, что обеспечивало разнесение лучей, приблизительно равное 3 мм. В некоторых опытах между источником Л и ячейкой Э ставилась длиннофокусная линза так, что лучи идущие к объекту фокусировалисьвблизи точек а и δ .

Обозначим α_m — угол между плоскостью поляризации луча лазера и главным направлением электрооптической ячейки, α_n — угол между главными направлениями ячейки и пластины II и α_a — соответственно для пластины II и анализатора А. Как показывают расчеты наивыгоднейшие условия работы интерферометра выполняются при следующих условиях:

$$\alpha_m = \pi/4, \ \alpha_a = \pi/4, \ \alpha_n = 0$$
 или $\pi/2.$ (1)

В этом случае разность интенсивностей лучей, попадающих на фотоприемники, будет

$$\Delta I = I_0 \cos \left(\Delta \varphi_m + \Delta \varphi_0 + \Delta \varphi_n \right). \tag{2}$$

При выполнении условий (1) абсолютные измерения деформации объекта могут быть произведены путем подачи эталонного сигнала $u \sim = u_0 \cos \omega t$ на вход ячейки и сравнения соответствующих сигналов на выходе интерферометра. Для обеспечения

наибольшей чувствительности установки на вход ячейки кроме калибровочного сигнала. $u \sim$ подается еще постоянное регулируемое смещение u = такое, что

$$\Delta \varphi_m + \Delta \varphi_n = \pm k \pi/2, \qquad k = 0, \ 1, \ 2 \dots$$

При выполнении этого условия свет, падающий на анализатор, поляризован покругу. Одновременно происходит компенсация возмущений, вызываемых флуктуациями, интенсивности лазера, для чего в других установках приходится принимать специальные меры [3]. Измерение разности смещений точек объекта значительно уменьшает чувствительность установки к микросейсмическим помехам, затрудняющим измеренияпри обычных схемах интерферометров [4, 5]. Этому же способствует жесткая конструкция светоделительного элемента в виде единого кристалла.

При помощи установки с переменным разнесением лучей можно измерять пространственные корреляционные функции случайных деформаций объекта. Действительно, измеряя деформацию $\xi = x_8 - x_6$ пространственно однородного процесса x, можновычислить величину

$$D(\mathbf{r}) = \langle (x_{a} - x_{b})^{2} \rangle = 2\sigma_{x}^{2} [1 - \rho(\mathbf{r})], \qquad (4),$$

где г — вектор, соединяющий точки а и б, $\rho(r)$ — коэффициент корреляции смещений. x_a и x_5 а σ_x — их среднеквадратичное значение.



Рис. 3. Спектр собственных частот пластины в диапазоне 0,5-12 кГц

Работа интерферометра проверялась на специальном тест-объекте, представлявшем собой отрезок стальной пластины со слегка подполированной поверхностью. Колебания пластины возбуждались пьезокерамическим датчиком. На рис. 2 приведено. распределение амплитуды деформаций для изгибных колебаний пластины на втором тоне (232 Гц). Отклонение экспериментальных точек от теоретической кривой [6] связано с возбуждением крутильных и поперечных изгибных мод колебаний. На рис. 3; приведен спектр собственных частот пластины, определенный экспериментально при возбуждении тест-объекта белым шумом. Сплошными линиями показаны частоты, соответствующие изгибным продольным модам. Пунктиром — частоты, соответствующие другим типам колебаний.

В опытах с пластинкой измерялись значения § порядка нескольких ангстрем. Минимальные деформации, которые удавалось обнаружить в этих опытах, составляли ~3·10-2 Å при полосе анализа 7 Гц.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Арутюнян А. Г., Тункин В. Г., Чиркин А. С. «Квантовая электроника», 1973, № 1, 111.
- 2. Аракелян С. М., Арутюнян А. Г., Ахманов С. А., Тункин В. Г., Чир-кин А. С. «Квантовая электроника», 1974, № 1, 215. 3. Бондаренко А. Н., Маслов Б. Я., Рудая Б. Б., Троценко В. П. «При-боры и техника эксперимента», 1975, № 6, 211—213. 4. Siacoptic S. «Всер ИЕЕС», 1960, 57. № 7, 1912, 1914.
- Sizgoric S. «Ргос. IEEE», 1969, 57, N 7, 1313—1314.
 Захаров В. П., Евтихиев Н. Н., Снежко Ю. А., Тычинский В. П., «Акустический журнал», 1976, 22, вып. 1.
- 6. Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний. М., 1964.

Поступила в редакцию 14 сентября 1977 г. Кафедра общей физики для мехмата