

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ДО ЛУНЫ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

**Ю.Л.Кокурин, В.В.Курбасов, В.Ф.Лобанов, В.М.Можжерин,
А.Н.Сухановский, Н.С.Черных**

**Световая локация небесных тел может быть применена для целей
астрометрии. Ниже описывается опыт измерения расстояния до поверхно-**

сти Луны при помощи оптического локатора. Работа выполнена как очередной этап (см. [1]) измерений, конечной целью которых является исследование параметров орбиты и фигуры Луны и ряда других астрометрических постоянных с использованием в будущем искусственных светотражателей на Луне [2]. Ввиду этого, кроме основной цели — измерения расстояния, — ставилась задача дальнейшей отработки аппаратуры и методики.

Схема установки приведена на рис. 1. Оптический квантовый генератор (ОКГ) на рубине 1 и фотоэлектронный умножитель 2, служащий приемником отраженного от Луны светового сигнала, установлены неподвижно в фокусе Куде телескопа 3. Перед фотокатодом ФЭУ установлен настраивающийся интерференционный фильтр 4. Диафрагма 5 определяет поле зрения приемной части. Для переключения установки с передачи на прием служит автоматически откидывающееся зеркало 6.

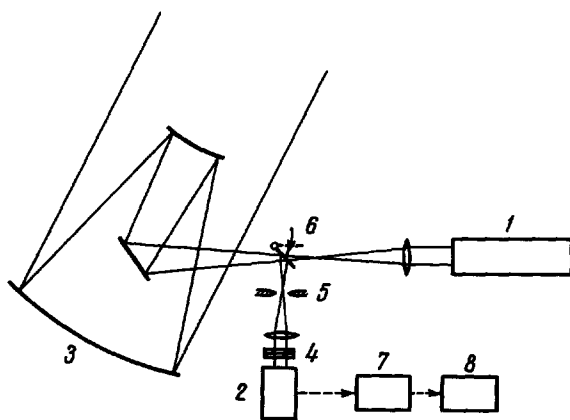


Рис. 1. Схема установки

В блоке 7 осуществляется усиление и формирование импульсов, поступающих с ФЭУ. Измерение временных интервалов между моментами послышки импульса ОКГ и приема отраженного сигнала производится при помощи счетчика временных интервалов 8. Счетчик запускается импульсом ОКГ путем отвода части энергии светового пучка на ФЭУ. Регистрация отраженного сигнала (вместе с фоном) производится только в течение строб-импульса, середина которого совмещена с расчетным моментом прихода отраженного сигнала. Поскольку тракт от зеркала

6 до счетчика времени 8 является общим для посылаемого и отраженного сигналов, ошибка в измерении времени за счет этой части аппаратуры исключена.

Параметры установки. Длина волны ОКТ $\lambda_r = 6943\text{Å}$; энергия в импульсе $W_r = 5 + 7$ дж; длительность импульса $\tau_r = 5 \cdot 10^{-8}$ сек; диаметр пучка $d_r = 13$ мм; диаметр главного зеркала телескопа $D_T = 2,6$ м; фокусное расстояние (Куде) $F_T = 104$ м; расхожимость пучка на выходе из телескопа $\theta_T \cong 3''$. Полоса пропускания интерференционного фильтра $\Delta\lambda = 10\text{Å}$; квантовая эффективность ФЭУ $k_\varphi = 0,04$; аппаратная ошибка измерения времени $\delta t_a = \pm 10^{-7}$ сек; длительность строб-импульса $T = 150$ мксек.

Оценка ожидаемой величины сигнала и возможных ошибок измерений. Объектом локализации была выбрана площадку с селенографическими координатами центра $\lambda - 3^0,57$; $\varphi - 2^0,98$ на дне кратера Фламарион. Величину отраженного сигнала можно оценить по формуле:

$$n_c = \frac{W_r \lambda_r D_T^2}{4R^2 k_c} \rho k_{\text{пер}} k_{\text{пр}} k_{\text{атм}}^2 k_\varphi,$$

где n_c - число импульсов на выходе ФЭУ на один посланный импульс; h - постоянная Планка; c - скорость света; R - расстояние до Луны; ρ - альbedo Луны; $k_{\text{пер}}$, $k_{\text{пр}}$ и $k_{\text{атм}}$ - коэффициенты потерь в передающей и приемной установках и в атмосфере. Для приведенных выше параметров установки, приняв $\rho = 0,15$, $k_{\text{пер}} = 0,6$, $k_{\text{пр}} = 0,25$ и $k_{\text{атм}} = 0,8$, получим $n_c \cong 0,12$. Во время измерений, проведенных 19 октября 1965 г. с $5^h 17^m$ по $5^h 47^m$, было послано $n = 82$ импульса. Ожидаемый ответный сигнал $N_c = n n_c \cong 10$ импульсов.

Распределение отраженного сигнала во времени определяется аппаратной ошибкой измерения времени $\delta t_a \cong 10^{-7}$ сек, ошибкой, связанной со способом обработки $\delta t_r \cong 10^{-6}$ сек (см. ниже) и размытием за счет естественной глубины лоцируемого объекта $\delta t_\lambda = \frac{\theta R}{c} \tan \omega$, где $\theta \cong 5''$ - суммарная расхожимость светового пучка, в том числе за счет атмосферного рассеяния и ошибок наведения; $\omega \cong 4^0$ - угол падения луча на площадку. Отсюда $\delta t_\lambda \cong 2 \cdot 10^{-6}$ сек. Ожидаемая суммарная полуширина распределения сигнала $\delta t \cong 2,5 \cdot 10^{-6}$ сек.

Результаты измерений представлены на рис. 2 в виде распределения величины $t_3 - t_T$, где t_3 — показания счетчика времени, t_T — теоретически рассчитанное время распространения сигнала до цели и обратно. Кривая изменения t_T сглажена так, что в пределах сеанса относительная ошибка $\delta t_T \cong 10^{-6}$ сек. Средний фон, отнесенный к интервалу осреднения $5 \cdot 10^{-6}$ сек, равен $N_\Phi = 1,35$ (для $n = 82$). Он определен путем многократного в течение сеанса измерения его в интервалах длительностью 10 сек. Очевидно, что центр распределения полезного сигнала лежит в пределах $t_3 - t_T = +15 + +20$ мксек.

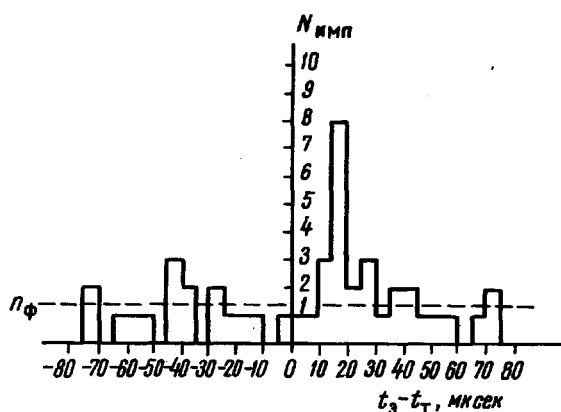


Рис. 2

Имея в виду приведенную выше оценку δt , следует считать, что все сигнальные импульсы сосредоточены в интервале $t_3 - t_T = +5 + +30$ мксек. Часть гистограммы в этом интервале, лежащая выше N_Φ , содержит $N_s \cong 11$ точек и имеет полуширину распределения $\delta t_s = 4 \cdot 10^{-6}$ сек. Будем рассматривать эту оценку как завышенную, так как интервал $t_3 - t_T$ выбран с очевидным запасом. Отношение полезного сигнала к фону равно ~ 5 . Положение центра распределения сигнальных точек определяется со среднеквадратичной статистической ошибкой измерений $\Delta t_N = \delta t_s / \sqrt{N_s} = 1,2 \cdot 10^{-6}$ сек. Ввиду невозможности строгого разделения сигнала и фона имеется дополнительная неопределенность положения центра, связанная с флуктуациями фона в сигнальном интервале гистограммы. Среднеквадратичная величина этого

смещения, оцененная на основании экспериментальных данных о фоне, составляет $\Delta t_{\phi} \cong 0,5 \cdot 10^{-6}$ сек. Суммарная ошибка в положении центра распределения равна $\Delta t \cong (\Delta t_N^2 + \Delta t_{\phi}^2)^{1/2} \cong 1,3 \cdot 10^{-6}$ сек, что соответствует ошибке измерения расстояния $\Delta r \cong 200$ м.

Авторы выражают глубокую благодарность чл.-корр. АН СССР Н.Г.Басову за повседневную помощь и постоянный интерес к работе, Чл.-корр. АН СССР А.Б.Северному за большую помощь в работе и полезные дискуссии, а также сотрудникам ФИАН В.С.Зуеву, П.Г.Крыжову и А.З.Грасюку за ценные консультации.

Физический институт

им. П.Н.Лебедева

Академии наук СССР

Поступило в редакцию

22 января 1966 г.

Литература

- [1] А.З.Грасюк, В.С.Зуев, Ю.Л.Кокурин, П.Г.Крыжов, В.В.Курбасов, В.Ф.Лобанов, В.М.Можжерин, А.Н.Сухановский, Н.С.Черных, К.К.Чуваев, Докл. АН СССР, 154, 1303, 1964.
- [2] С.О.Alley, P.L.Bender, R.H.Dicke, J.E.Faller, P.A.Franken, H.H.Plotkin, D.T.Wilkinson. J.Geoph.Res., 70, 2267, 1965.
- [2] Д.Л.Кокурин, В.В.Курбасов, В.Ф.Лобанов, В.М.Можжерин, А.Н.Сухановский, Н.С.Черных. Космические исследования, № 4, 1966.