

**НАБЛЮДЕНИЯ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ЛУНЫ НА ВОЛНЕ  $\lambda = 2,3$  см ПРИ ПОМОЩИ БОЛЬШОГО ПУЛКОВСКОГО РАДИОТЕЛЕСКОПА**

*Н. Л. Кайдановский, В. Н. Ихсанова, Г. П. Апушкинский, О. Н. Шиврис*

Приводятся результаты обработки наблюдений радиоизлучения Луны при помощи Большого пулковского радиотелескопа на волне  $\lambda = 2,3$  см. Измерялось смещение центра тяжести излучения в течение лунации. Максимальное смещение центра тяжести излучения наступает через  $35 \div 40^\circ$  после квадратуры и достигает 0,17. При некоторых предположениях об излучательной способности и характере спада поверхностной температуры с широтой вычислена амплитуда радиотемпературы в центре диска Луны.

Измерение амплитуды яркостной температуры в центре диска Луны  $T_a$  позволяет, как показано в [1], оценить величину эквивалентной проводимости  $\sigma$  материала лунной коры. Амплитуда яркостной температуры  $T_a$  может быть определена при помощи радиотелескопов с высокой разрешающей силой путем непосредственных измерений яркостной температуры  $T_e$  в течение лунации. Такие измерения требуют неизменности коэффициента использования площади антенны и условий калибровки приемной аппаратуры в течение длительного периода наблюдений, что бывает трудно обеспечить. Ту же величину  $T_a$  можно определить путем измерения смещения центра тяжести излучения  $x_{цтн}$  [2]\*, которое возникает вследствие того, что переменная составляющая яркостной температуры, накладываясь на постоянную, искажает симметрию изофот относительно центрального меридиана и перемещает точку с максимальной яркостью из центра диска в направлении к подсолнечной точке, так как между  $T_a$  и  $x_{цтн}$  существует функциональная связь.

Измерение смещения  $x_{цтн}$  требует только постоянства коэффициента усиления приемника в течение одного наблюдения. Величина смещения центра тяжести излучения вдоль диаметра, перпендикулярного линии рогов,

$$x_{цтн} = \left( \int_0^{2\pi} \int_0^R T_e r^2 \sin \lambda dr d\lambda \right) \left( \int_0^{2\pi} \int_0^R T_e r dr d\lambda \right)^{-1}, \quad (1)$$

где  $r$  и  $\lambda$  — полярные координаты точек на диске Луны,  $R$  — радиус диска (рис. 1). Для вычисления  $x_{цтн}$  примем, что яркостная температура, согласно [1], равна

$$T_e = (1 - R) \left[ T_n + \frac{a_0}{2} D \tau(\psi) \right] + \sum_1^\infty (1 - R) \frac{a_n D \cos(n\omega t - n\varphi - \xi_n)}{\sqrt{1 + 2\delta_n \cos\alpha' + 2\delta_n^2 \cos^2\alpha'}}, \quad (2)$$

\* Вычисленные в [2] значения  $x_{цтн}$  сильно завышены, так как при расчете не принималось во внимание падение излучательной способности к краям диска.

где  $R$  — коэффициент отражения,  $T_n$  — ночная температура поверхности,  $D$  — разность между температурой подсолнечной и ночной точек,  $\varphi$  и  $\psi$  — соответственно селенографическая долгота и широта,  $\eta$  — функция, определяющая широтный и долготный ходы переменной составляющей температуры на поверхности,  $a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} \eta(z) \cos(nz) dz$  — коэффициенты Фурье,  $\omega$  — угловая частота вращения Луны,  $\xi_n = \arctg \frac{\delta_n}{1 + \delta_n}$  — сдвиг по фазе переменной составляющей яркостной температуры по сравнению с переменной составляющей температуры на поверхности,  $\delta = \beta/\chi$  — отношение глубин проникновения электромагнитной волны  $1/\chi$  к глубине проникновения температурной волны  $1/\beta$ ,  $\alpha'$  — угол падения луча из глубины коры на поверхность.

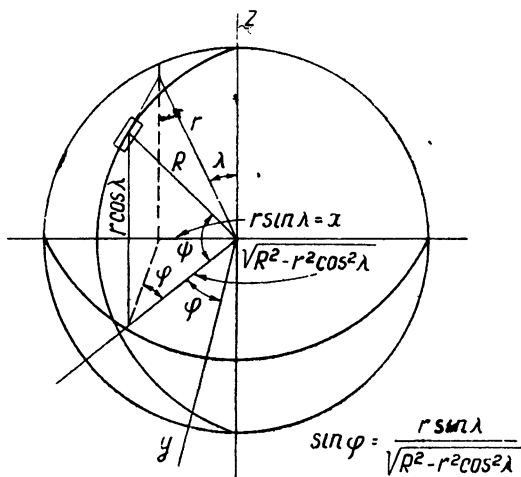


Рис. 1.

Максимальное смещение центра тяжести излучения наступает в моменты, когда

$$\omega t - \xi = \pi/2 = 3\pi/2$$

и яркостная температура диска, при условии пренебрежения без учета высших гармоник в (2) и отличия  $\cos \alpha'$  и  $\cos^2 \alpha'$  от единицы,

$$T_{e \pi/2; 3/2\pi} = (1 - R) \left[ T_n + \frac{a_0}{2} D \eta(\psi) \right] \pm (1 - R) \frac{a_1 D \eta(\psi)}{\sqrt{1 + \delta + 2\delta^2}} \sin \varphi, \quad (3)$$

откуда

$$x_{цтн} = \pm \left[ \frac{a_1 D}{\sqrt{1 + \delta + 2\delta^2}} \int_0^{2\pi} \int_0^{R_j} (1 - R) \eta'(r\lambda) \frac{r^3 \sin^2 \lambda}{\sqrt{R_j^2 - r^2 \cos^2 \lambda}} dr d\lambda \right] \times \left[ 2\pi T_n \int_0^{R_j} (1 - R) r dr + \frac{a_0}{2} D \int_0^{2\pi} \int_0^{R_j} (1 - R) \eta'(r\lambda) r dr d\lambda \right]^{-1}. \quad (4)$$

Зная вид функций  $(1 - R)$  и  $\eta(\psi)$ , можно вычислить интегралы в (4)

и определить численную связь между величиной максимального смещения центра тяжести излучения  $x_{цтн}$  и амплитудой переменной составляющей яркостной температуры в центре диска

$$T_{e_{aц}} = a_1 D (1 - R_{ц}) / \sqrt{1 + \delta + 2\delta^2}. \quad (5)$$

В теории радиоизлучения Луны [1] в целях упрощения задачи полагалось, что плоскость орбиты Луны лежит в плоскости эклиптики и либрации отсутствуют. Поэтому вывод о том, что центр тяжести излучения всегда находится на диаметре, перпендикулярном линии рогов, нельзя считать строгим. При быстром повороте линии рогов и оси вращения Луны от дня ко дню возможно отставание центра тяжести излучения вследствие запаздывания в изменении температуры излучающего слоя при изменении условий освещения Луны Солнцем.

Так как, однако, углы поворота оси Луны не превышают  $\pm 24^\circ$ , а быстрый поворот линии рогов имеет место только вблизи новолуния и полнолуния, когда смещение центра тяжести излучения вообще мало, то уходом центра тяжести излучения с диаметра, перпендикулярного линии рогов, в первом приближении можно пренебречь, по крайней мере, вблизи квадратуры. Координату центра тяжести радиоизлучения  $x_{цтн}$  можно определить при помощи радиотелескопа с узкой ножевой диаграммой направленности, у которой направление большего размера параллельно линии рогов. Температура антенны с узкой ножевой диаграммой при прохождении через нее Луны (рис. 2)

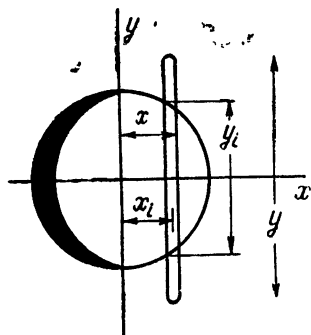


Рис. 2.

$$T_{ai} = \frac{T_{ei} y_i}{y}, \quad (6)$$

где

$$T_{ei} = \int_{y_i} T_e(x_i y_i) dy / y_i$$

— средняя яркостная температура полоски Луны, излучение которой принимается антенной,  $y_i$  — большой размер полоски, а  $y$  — эффективный раствор диаграммы направленности по большому размеру. Кривая прохождения Луны через ножевую диаграмму направленности повторяет кривую произведений средних яркостных температур полосок на их высоту.

Координата центра тяжести плоской фигуры, ограниченной кривой прохождения, относительно вертикали, проходящей через середину кривой по нулям,

$$x_{ц} = \int T_{ai} x dx / \int T_{ai} dx. \quad (7)$$

При достаточно узкой ножевой диаграмме, согласно (6),

$$x_{ц} = \iint T_e(xy) x dx dy / \iint T_e(xy) dx dy. \quad (8)$$

Эта величина совпадает с координатой  $x_{цтн}$  (формулы (1) и (4)) при условии, что линия рогов параллельна большому размеру ножевой диаграммы и перпендикулярна направлению прохождения. По мере расширения диаграммы направленности радиотелескопа по сравнению с угловым диаметром Луны координата центра тяжести излучения

начнет расходиться с координатой  $x_{ц}$  плоской фигуры, ограниченной кривой прохождения. При широкой диаграмме направленности кривая прохождения будет повторять форму диаграммы направленности, и смещение центра тяжести излучения будет вызывать только общее смещение кривой. Таким способом обнаружить смещение центра тяжести можно только тогда, когда оно не слишком мало по сравнению с раствором диаграммы.

В октябре—декабре 1959 г. на Большом пулковском радиотелескопе [3,4] были проведены наблюдения радиоизлучения Луны на волне  $\lambda = 2,3$  см. Использовалась часть рабочей поверхности радиотелескопа с отражателем переменного профиля, диаграмма направленности которого имела угловой раствор порядка  $2'$  в горизонтальном направлении и от  $20'$  до  $1^\circ$  по вертикали в зависимости от высоты Луны. Ось диаграммы направленности радиотелескопа была ориентирована по меридиану, причем запись кривых прохождения Луны через неподвижную диаграмму антенны производилась в момент кульминации в тех случаях, когда ось Луны и линия рогов были близки к вертикали.

На записи (см. рис. 3) фиксировался момент верхней кульминации Луны. Вследствие небольших ошибок в установке облучателя радиотелескопа (порядка  $\pm 10''$ ) момент прохождения центрального меридиана Луны через ось диаграммы направленности и момент верхней кульминации не всегда совпадали. Поэтому

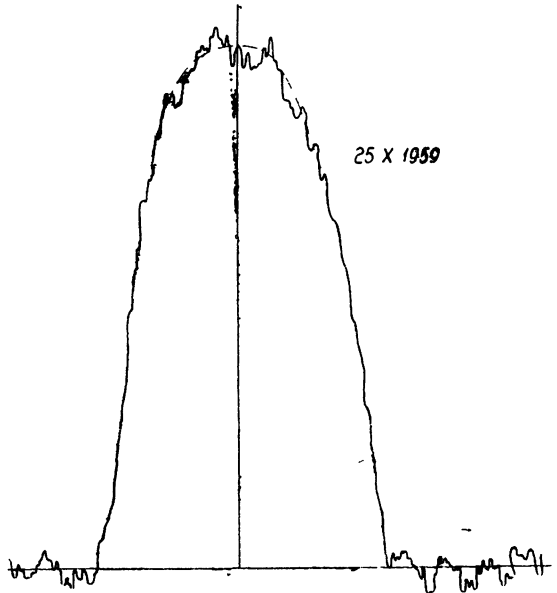


Рис. 3.

положение центрального меридиана устанавливалось при обработке записей кривых прохождений. Так как положение нулевых точек кривой прохождения, соответствующих краям диска, нельзя было уверенно определить по записям, то на диаграммной ленте, на которой была записана кривая прохождения, строилась линия, равноудаленная от сторон кривой рис. 3. Очевидно, что средняя линия должна пересекать нулевую линию в точке, равноудаленной от нулевых точек кривой. На этом основании считалось, что перпендикуляр к нулевой линии в точке ее пересечения со средней линией определяет положение центрального меридиана Луны. От этого перпендикуляра отсчитывалась координата центра тяжести плоской фигуры, ограниченной кривой прохождения, и таким образом находилось смещение центра тяжести радиоизлучения Луны относительно геометрического центра.

На рис. 4 приведены результаты измерений смещения центра тяжести радиоизлучения Луны  $x/R$  в зависимости от фазы. Ход кривой смещения может быть аппроксимирован в виде

$$x_{цтн} = 0,17 \sin(\omega t - 35^\circ). \quad (9)$$

(В новолуние фаза  $\omega t = 0$ .) Максимальное смещение центра тяжести

радиоизлучения Луны на волне  $\lambda = 2,3$  см наступает через  $35^\circ \div 40^\circ$  после квадратуры и достигает 0,17 с точностью  $\pm 30\%$ .

Значительный разброс точек на кривой рис. 4, по-видимому, объясняется медленными изменениями коэффициента усиления приемника. К стабильности приемника, применяемого для таких измерений, должны быть предъявлены довольно высокие требования, так как линейное изменение коэффициента усиления за время записи (около 2 минут) на 10% может вызвать кажущееся смещение центра тяжести излучения на 1% от диаметра.

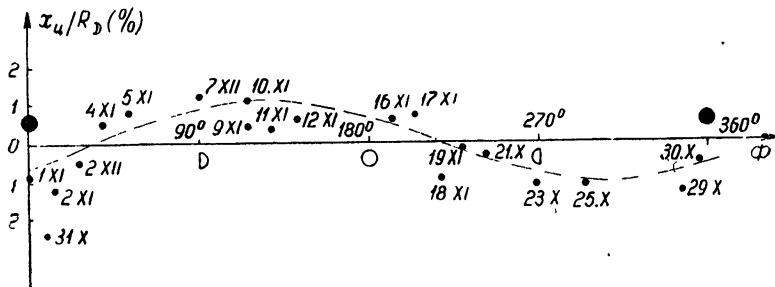


Рис. 4.

По величине максимального смещения центра тяжести излучения, которое имеет место во время эффективной квадратуры, когда  $\omega t - \xi = \pi/2 = 3\pi/2$ , можно, пользуясь выражением (4), определить амплитуду яркостной температуры  $T_{eac} = a_1 D(1 - R_{\text{ц}}) / \sqrt{1 + \delta + 2\delta^2}$ , если известны излучательная способность  $1 - R$  и функция  $\eta(\psi)$ .

Для определения численной связи между  $x_{\text{цти}}$  и  $T_{eac}$  принималось, что  $\eta(\psi) = \cos^{1/2} \psi$  и  $\varepsilon = 2$ . В результате численного интегрирования было получено, что

$$T_{eac} = 11,3 \frac{x_{\text{цти}}}{R} \%.$$

Отсюда и из (9) следует, что амплитуда переменной составляющей яркостной температуры в центре диска Луны  $T_{eac} = 13,5^\circ \pm 4^\circ$ .

Авторы приносят благодарность С. Э. Хайкину за ценную дискуссию и А. А. Новышу за участие в наблюдениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Троицкий, Астрон. ж., 31, 511 (1954).
2. Н. Л. Кайдановский, Н. Т. Турусбеков, С. Э. Хайкин, Труды 5 совещания по вопросам космогонии, изд. АН СССР, М., 1956, стр. 347.
3. С. Э. Хайкин, Н. Л. Кайдановский, ПТЭ, 2, 119 (1959).
4. С. Э. Хайкин, Н. Л. Кайдановский, Н. А. Есепкина, О. Н. Шиврис, Труды ГАО, 21, вып. 5, 164 (1960).

Главная астрономическая обсерватория  
АН СССР

Поступила в редакцию  
7 октября 1960 г.

#### OBSERVATIONS OF THE LUNAR RADIO EMISSION AT 2.3 cm WAVELENGTH WITH THE LARGE PULKOV RADIO TELESCOPE

N. L. Kaydanovsky, V. N. Ikhsanova, G. P. Apushkinsky, O. N. Shivrís

Results are given of processed data from observations of lunar radio emission at 2.3 cm wavelength with the Large Pulkovo radio telescope. The displacement of the centre of the emission during the lunar cycle was measured. Maximum displacement arises  $35 \div 40^\circ$  after the quadrature, reaching a value of 0.17. Radio temperature amplitude in the centre of the lunar disk is calculated upon certain assumptions regarding to the emission capacity and the character of the latitudinal fall of the surface temperature.