

ОБЛАСТИ ЛОКАЛЬНО ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ

Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова, РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

LOCAL ENHANCED TEMPERATURE IN THE SOLAR CORONA

Merzlyakov V.L., Starkova L.I.

*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, RAS,
Moscow, Troitsk, Russia*

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-223-226>

The spatial distribution of the electron temperature of the solar corona is studied. The temperature is determined from the analysis of polarization images obtained during the total solar eclipse in 2008 year. The analysis showed the presence of zones of temperature maximum, which were distributed discretely in the sky plane. Up to the distances of $2 \cdot R_s$ (solar radii) from the center of the Sun, the temperature maxima are located at latitudes 25° S, 9° N, 35° N and distances $1.29 \cdot R_s$, $1.78 \cdot R_s$. The values of the maximum temperature at these distances are 60–80 MK and 20–40 MK, respectively.

Введение

Авторы обнаружили неоднородность температурного распределения в солнечной короне. По данным поляризационных наблюдений солнечного затмения 2008 года были найдены три уровня, где электронная температура имела локальное повышение [1]. Чтобы понять причину этого, необходимо изучить особенности распределения указанной температуры. И этой задаче посвящено настоящее исследование.

Области повышенной температуры

Как было установлено авторами, в короне существуют три уровня с повышенной электронной температурой на расстояниях $1.3 \cdot R_s$, $1.8 \cdot R_s$ и в интервале 2.5 – $2.7 R_s$ (в радиусах Солнца) [1] от центра Солнца. Эти результаты получены из анализа отклонения плоскости поляризации от стандартного положения. Величина такого отклонения согласно Молоденскому [2] зависит от кинетической скорости электронов. Чем больше величина указанного отклонения, тем выше электронная температура.

Рассмотрим ситуацию с распределением максимальной электронной температурой в короне Солнца. Ограничимся расстоянием $2 \cdot R_s$, где влияние поляризационного излучения земной атмосферы мало. В этом случае наибольшая величина отклонения плоскости поляризации от стандартного положения будет соответствовать максимальной электронной температуре.

На рис. 1 приведены радиальные расстояния, где величина отклонения плоскости поляризации от стандартного положения имеет наибольшее значение в зависимости от широты на двух уровнях повышенной температуры. Квадраты относятся к данным на восточном секторе (E), а кружки отражают ситуацию на западном секторе (W) солнечной короны (рис. 1). Сплошные кривые представляют квадратичную аппроксимацию наблюдаемых данных. Эти аппроксимации демонстрируют небольшую вариацию менее 4% в пределах широт 50° . Первый уровень находится на расстоянии $r = 1.28 \pm 0.04 R_s$ (E) , $1.29 \pm 0.02 R_s$ (W). Второй уровень согласно данным рис. 1 удален на $r = 1.78 \pm 0.03 R_s$ как на востоке (E) короны Солнца, так и на западе (W).

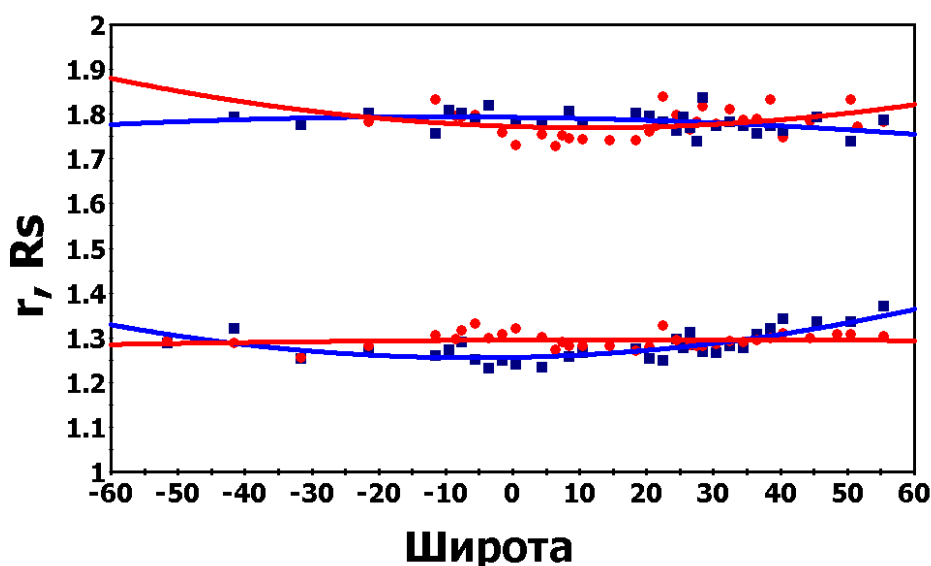


Рис. 1.

Ситуация с уровнем около $2.6 R_s$, где тоже отмечено повышение температуры [1] требует отдельного изучения. Трудность такого изучения связана с влиянием поляризационного излучения земной атмосферы и значительными флуктуациями в расчетах положения плоскости поляризации [1]. Такие флуктуации вызваны шумами приемника цифровой камеры. Не прибегая к полномасштабному учету указанных факторов, удалось оценить среднее положение упомянутого уровня. Оказалось, что для восточного сектора этот уровень находился на расстоянии $2.7 \cdot R_s$, а для западного сектора получили $2.5 \cdot R_s$. Относительное различие этих расстояний около 8%, что можно считать незначительным при существующих флуктуациях.

Величины наибольшего отклонения плоскости поляризации $\delta\chi$ (в градусах) на двух изучаемых уровнях (рис. 1) в зависимости от широты приведены на рис. 2 и рис. 3. Квадраты отмечают данные восточного сектора короны, а кружки соответствуют западному сектору. Рис. 3 показывает величины изучаемых отклонений на уровне $1.29 \cdot R_s$, а рис. 4 отражает ситуа-

цию на уровне $1.78 \cdot R_s$. Как видно на рис. 3 и рис. 4 существуют три широты, где отклонения $\delta\chi$ имеют экстремумы. Разные знаки $\delta\chi$ на рис. 2 означают, что в экваториальной зоне изменяется соотношение между радиальными градиентами плотности и магнитного поля [1].

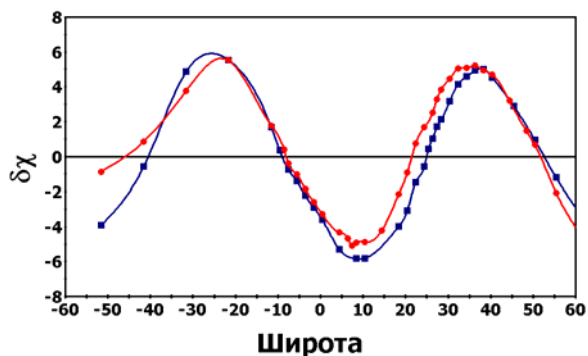


Рис. 2.

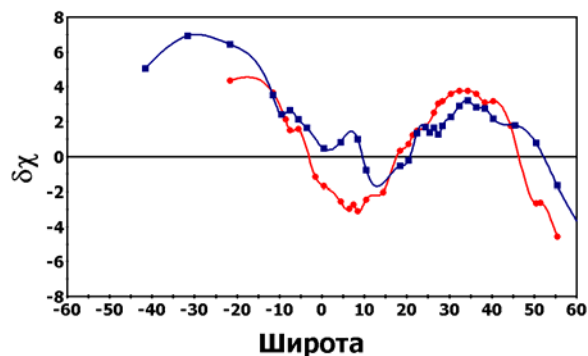


Рис. 3.

Переход к электронным температурам от величины отклонения $\delta\chi$ проведем по модели [1], которая приводит к выражению для величины температуры (в Кельвинах) $T = 7.3 \cdot 10^9 (\text{tg} \delta\chi)^2$. В итоге получаем широтное распределение максимальных электронных температур по данным рис. 2 и рис. 3. Эти распределения приведены на рис. 4 (для расстояния $1.29 \cdot R_s$) и рис. 5 (для расстояния $1.78 \cdot R_s$).

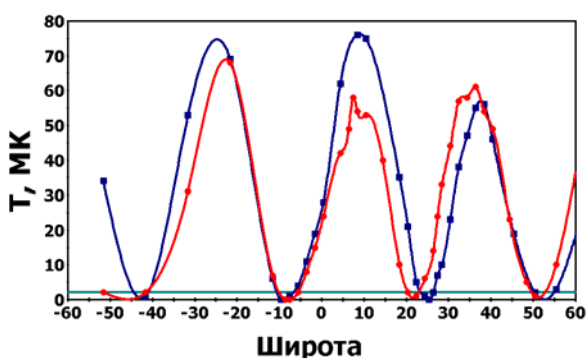


Рис. 4.

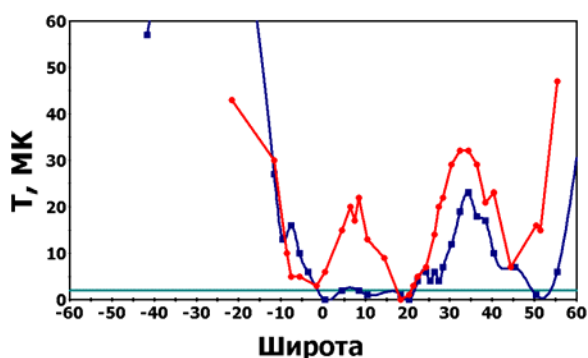


Рис. 5.

Положение максимумов электронной температуры (рис. 4) приходится на широты 25° S , 9° N , 35° N , которые имеют небольшие вариации в пределах 2° для восточной и западной секторах короны. Экстремумы на уровне $1.78 \cdot R_s$ (рис. 5) проявились на тех же широтах, что и для уровня $1.29 \cdot R_s$ (рис. 4). Расчетные величины температур в местах смены знака $\delta\chi$ (рис. 3 и рис. 4) оказались меньше фонового значения температуры короны $2 \cdot 10^6 \text{ K}$, которое отмечено сплошной горизонтальной линией на рис. 4 и рис. 5. Вероятно, тот же эффект смены знака $\delta\chi$ (рис. 3) привел и к малой

величине экстремума электронной температуры в восточной экваториальной зоне (рис. 5).

Выводы

Анализ пространственного расположения максимальных значений электронной температуры выявил ряд закономерностей. Во-первых, вариации радиального положения уровней максимальной электронной температуры оказались незначительными по широте – не более 4%. Во-вторых, эти уровни находились на одинаковых расстояниях $1.29 \cdot R_s$ и $1.78 \cdot R_s$ для восточного и западного секторов солнечной короны. В-третьих, максимальные значения электронной температуры имели экстремумы на широтах $25^\circ S$, $9^\circ N$, $35^\circ N$. Экстремальные значения температуры на этих широтах были 60–80 МК на уровне $1.29 \cdot R_s$ (рис. 4) и 20–40 МК на уровне $1.78 \cdot R_s$ (рис. 5).

Литература

1. Старкова Л.И., Мерзляков В.Л. // Труды Всероссийской конференции “Солнечная и солнечно-земная физика – 2022”, СПб, ГАО РАН, 2022, с. 201-204.
2. Molodensky M.M. // Solar Phys., 1973, v. 28, pp. 465–475.