ЛИНЕЙНАЯ ПОЛЯРИМЕТРИЯ НИЖНЕЙ К-КОРОНЫ

Попов В.В., Осокин А.Р.

ГАИШ МГУ, Москва, Россия

LINEAR POLARIMETRY OF THE LOW K-CORONA

Popov V.V., Osokin A.P.

Lomonosov Moscow State University, Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia

2D distributions of absolute value of the polarization angle of the K-corona emission are presented for total solar eclipse observations in 1999 and 2006. They reveal the existence of diffuse and structural components of different scales corresponding to angles up to 12° . Small-scale features of $30''$ with angles of $< 5^\circ$ correspond to non-relativistic electrons with tangential velocities up to 2.6×10^4 km/s. Large-scale structures with angles of $3-7^\circ$ are shown to be caused by underlying spots and faculae.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-325-328

1. Введение

Мы ограничимся нижней короной, наблюдаемой в континуумах видимого и ближнего ИК диапазонов спектра на расстояниях $< 1.5 R_\odot$, отсчитываемых от центра диска Солнца. Это так называемая К-корона, свечение которой объясняется томсоновским рассеянием непрерывного спектра фотосферы *свободными покоящимися электронами*. Вследствие нарушения симметрии возбуждающего поля излучения свечение К-короны линейно поляризовано. Вращающийся линейный поляроид, помещенный перед объективом или изображением, выявляет модуляцию интенсивности К-короны. Степень линейной поляризации (далее – поляризации), p , растет с расстоянием от 15–20% вблизи лимба до 50–65% на $1.5 R_\odot$, затем уменьшается. До настоящего времени прямые наблюдения нижней К-короны возможны только во время полных солнечных затмений (ПСЗ). Космические коронографы регистрируют корону с $R > 1.4-1.5 R_\odot$. Внезатменный К-коронметр обсерватории Мауна Лоа США (MK4 MLSO) “вытаскивает” изображения К-короны из измерений поляризационной яркости pV , где V – яркость короны.

Для однородных, симметричных и гидростатичных моделей К-короны в случае томсоновского рассеяния плоскость поляризации (плоскость колебаний электрического вектора) ориентирована тангенциально к лимбу Солнца. Для исключения путаницы в терминологии, далее мы применяем термин “направление поляризации”. В этом случае “угол поляризации” χ (термин, часто используемый для краткости изложения) равен нулю.

Реальной К-короне присущи структурность и динамика, которые, как можно ожидать, должны проявляться на 2D распределениях параметров линейной поляризации p , χ и знака χ .

К сожалению, теории, описывающие поляризацию излучения К-короны с учетом движения электронов и наличия магнитного поля, пока отсутствуют. Нам известны лишь три работы на эту тему. Molodensky [1] рассмотрел изменения параметров поляризации в отсутствии магнитного поля при рассеянии на *одном движущемся электроне* и показал, что в результате абберации света в системе координат, движущейся с электроном, возникает поворот плоскости поляризации (т.е. появляются значения $\chi \neq 0$) при тангенциальном движении рассеивающего электрона. При радиальном движении электрона значение p увеличивается или уменьшается в зависимости от направления движения к Солнцу или от Солнца соответственно. Inhester [2, 3] проанализировал томсоновское рассеяние релятивистскими электронами.

Можно ожидать, что прецизионные измерения параметров линейной поляризации могут предоставить достоверную информацию о динамике электронов. Мы отказались от традиционных методов измерений поляризации, основанных на 3-х положениях поляроида, для которых фактические точности определений p и χ составляют 6–8% и 5–9° соответственно [4]. Современные методы компьютерной обработки позволяют работать с большими массивами данных. Ключевые составляющие нашего подхода [5, 6] нацелены на получение 2D распределений параметров поляризации p , χ и знака χ для всей короны с фактической точностью 1–2% и 1–2°. Был разработан портативный коронограф-поляриметр, позволяющий получать поляризационные фильмы короны в различных интервалах видимого и ближнего ИК континуумов.

Применение такого подхода позволило получить новые результаты.

– Сравнительный анализ 2D распределений степени поляризации излучения К-короны в зеленой и красной областях спектра выявил «избыток» ($\Delta p = p_{\text{green}} - p_{\text{red}}$), повсюду в короне, который может объясняться наличием нейтрального водорода в короне [7].

– 2D распределения знака угла линейной поляризации, выявили наличие диффузной и структурной составляющих различного масштаба, которые мы интерпретировали как сильно фрагментированные тангенциальные потоки электронов (электрические токи) в короне [8].

2. 2D распределения абсолютной величины угла

Ниже мы рассмотрим возможность выявления нарушения симметрии возбуждающего поля излучения из анализа 2D распределений абсолютной величины угла линейной поляризации. На рисунке представлены 2D распределения абсолютной величины угла линейной поляризации, χ , излучения К-короны 11.08.1999 г. (570–800 нм) и 29.03.2006 г. (510–570 нм). По-

казаны N и E направления, лимбы Луны и Солнца, центры дисков Луны и Солнца (крестик), шкалы с шагом 2° градуса. Фактические шкалы монотонные, шаг 2° выбран для удобства представления. Числа на шкале показывают средние значения. Так, 3° градуса означают $2^\circ \leq \chi < 4^\circ$. Светлосерый фон с углом 1° соответствует томсоновскому рассеянию на покоящихся электронах.

Рисунок. 2D распределение абсолютной величины угла для К-корон 1999 и 2006 гг.

Полученные распределения выявляют диффузную и структурную составляющие различного масштаба. Для короны 11.08.1999г. характерно наличие «мелкомасштабных» структур размером $30''$ с углами 5° , локализованных над активными областями. Согласно Molodensky [1], такие структуры можно интерпретировать как визуализацию нерелятивистских электронов с тангенциальными скоростями 2.6×10^4 км/с: $\chi = V_t/c$, где V_t – компонента скорости электрона, тангенциальная к лимбу Солнца, c – скорость света. Детальный анализ 2D распределения абсолютной величины χ для короны 29.03.2006 г. будет представлен позже. Здесь мы отметим диффузные крупномасштабные структуры с $\chi = 3-7^\circ$, существование которых можно объяснить неоднородностью поля фотосферного излучения вследствие нижележащих факелов или пятен согласно выражению, полученному в [9]:

$$\chi = [\sin 2 \vartheta_l \times \omega \times K] / [2p \times \Omega],$$

где ϑ_l – угол между направлением на центр Солнца и направлением на центр активной области (факела) или пятна в рассматриваемой точке короны; ω и Ω – телесные углы активной области (факела) или пятна и диска Солнца соответственно, наблюдаемые из рассматриваемой точки короны; p – степень поляризации; $(K + 1)$ – контраст неоднородности, $K < 0$ для пятна и $K > 0$ для факела.

Заключение

2D распределения абсолютной величины угла линейной поляризации излучения нижней К-короны выявляют следующее.

1. Отсутствие чисто томсоновского рассеяния в нижней короне, наличие углов $0-12^\circ$.
2. Существование «мелкомасштабных» потоков нерелятивистских электронов с тангенциальными скоростями 2.6×10^4 км/с.
3. Наличие диффузных крупномасштабных структур с $\chi = 3-7^\circ$, существование которых можно объяснить неоднородностью поля фотосферного излучения вследствие нижележащих факелов или пятен.

Отсутствие теорий линейной поляризации излучения К-короны в континууме, учитывающих магнитное поля при рассеянии фотосферного излучения движущимися свободными электронами затрудняет интерпретацию углов $9-14^\circ$.

Литература

1. *Molodensky M.M.* // Sol. Phys. 1973, vol. 28, pp. 465-475. doi 10.1007/BF00152317.
2. *Inhester, B.* arXiv 1512.00651v1 [astro-ph.SR], 2 Dec 2015.
3. *Inhester, B.* arXiv 1512.00651v2 [astro-ph.SR], 5 April 2016.
4. *Park Y.-D., Kim I.S., Bugaenko O.I., et al.* // Astron. Rep., 2001, vol. 45, no. 9, pp. 729–737.
5. *Kim I.S., Alexeeva I.V., Bugaenko O.I., et al.* // Solar Phys., 2013a, vol. 288, pp. 651-661. doi 10.1007/s11207-013-0419-0.
6. *Kim I.S., Nasonova L.P., Lisin D.V., et al.* // J. Geophys. Res.: Space Physics., 2017, vol. 122, no. 2, pp. 92-103. doi 10.1002/2016JA022623.
7. *Kim I.S., Popov V.V., Lisin D. V., and Osokin A.R.* // Geomagn. Aeron. 2013b, vol. 53, No. 7, pp. 901-903.
8. *Kim I.S. and Popov V.V.* // Geomag. Aeron. 2015, vol. 55, no. 8, pp. 1131–1133.
9. *Kishonkov A.K., Molodensky M.M.* // Solar Phys. 1975, vol. 42, 341-353.