

С. И. Гопасюк, О. С. Гопасюк

Науково-дослідний інститут «Кримська астрофізична обсерваторія», п. Науковий, Україна

Спектрополяриметр проекта COT

Дається опис оптичних систем телескопа і спектрополяриметра експерименту COT. Експеримент COT дозволить проводити спостереження магнітних полів та стану плазми в УФ-лініях ($\lambda = 90\text{—}240$ нм) в різних утвореннях на Сонці з просторовим розділенням $0.1\text{—}0.2''$.

ВВЕДЕНИЕ

В современной физике Солнца можно выделить два приоритетных направления. Первое — исследование глобальных характеристик Солнца — проводится методами гелиосейсмологии и основывается на наблюдениях с низким пространственным разрешением (несколько секунд дуги и больше). Второе — это исследование тонкой структуры магнитных полей, движения и свечения плазмы различных образований в атмосфере Солнца. Исследования тонкой структуры требуют наблюдений с высоким пространственным разрешением (по крайней мере $0.1\text{—}0.2''$).

Наземные наблюдения далеко не полностью позволяют реализовать истинные возможности больших телескопов ($0.1''$), ибо предел разрешению, в лучшем случае $1''$, ставит атмосфера Земли.

Измерения даже с невысоким пространственным разрешением показывают быстрые изменения магнитных полей и электрических токов. Магнитный поток активной области (АО) за 1 час может измениться на 20 %. Средняя скорость изменения магнитного потока активной области составляет примерно 10^{10} Вб/с [2, 4, 13, 14]. Изменяются и электрические токи. Средняя скорость изменения электрических токов по АО достигает $8 \cdot 10^7$ А/с [10]. Быстрые изменения магнитных полей и электрических токов не совместимы ни с полученными из наблюдений поперечными размерами магнитных структур, ни с классическим значением электропроводности.

Источником энергии нестационарных процессов (вспышек и др. образований) является магнитная энергия электрических токов. Получение информации о магнитных полях в верхних слоях хромосферы и короне основывается пока что главным образом на экстраполяции фотосферных данных в потенциальной или бессиловой моделях, предполага-

ющих, что напряженность поля наибольшая в фотосфере, а с высотой уменьшается. Тем самым ставятся жесткие ограничения на величину и структуру электрических токов, текущих на этих же высотах.

Огромная величина накопленной энергии в виде энергии магнитного поля токов выделяется в последующем за короткое время, создавая нестационарные явления (вспышки и др.). Одно из довольно распространенных в настоящее время мнений, основанное на сравнении УФ- и рентгеновских изображений со структурой фотосферного магнитного поля, предполагает, что основная часть выделения энергии происходит в нижней короне и верхней хромосфере в процессе пересоединения силовых линий магнитного поля со встречным направлением [8]. Наряду с этим имеются данные, показывающие, что нагрев корональных петель и ускорение частиц происходит и в тех случаях, когда процесс пересоединения силовых линий невозможен [12].

Высокая плотность плазмы во вспышечных корональных петлях $10^{16}\text{—}10^{17}$ м⁻³ ограничивает возможности ускорения частиц. Совершенно не ясно, происходит ли реализация магнитной энергии по всему сечению магнитной петли, или же она сосредоточена в отдельных тонкоструктурных каналах. При механизме пересоединения силовых линий нагрев плазмы и ускорение частиц следует ожидать на периферии магнитных петель. В то же время, как показывают наблюдения, наиболее сильный нагрев плазмы и наибольшее число ускоренных электронов приходится на внутреннюю часть корональных петель [9, 15]. Недостаточные знания тонкой структуры магнитного поля, движения и свечения плазмы и генерации электрических токов в верхних слоях Солнца не позволяют изучать реальные условия, в которых происходят нестационарные процессы, и причины, приводящие к этим нестационарным процессам.

ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для понимания физической сути многих нестационарных явлений и солнечной активности в целом необходимы наблюдения с высоким пространственным разрешением (не хуже $0.2''$) магнитного поля, движений и свечения плазмы в различных образованиях солнечной атмосферы. В переходной области хромосфера—корона и в нижней короне образуются наиболее интенсивные спектральные линии. Они находятся в УФ-области спектра. Верхние слои атмосферы Солнца подвержены сильному воздействию процессов, связанных с ускорением частиц и нагревом плазмы во время вспышечных явлений.

Установление путем наблюдений истинных структур магнитного поля и плазмы в верхних слоях Солнца возможно только по наблюдениям из космоса, так как земная атмосфера ограничивает пространственное разрешение больших телескопов и не пропускает УФ-излучение. Наблюдения с пространственным разрешением $0.1\text{--}0.2''$ важны не только для понимания нестационарных процессов на Солнце, но и на тех звездах, где наблюдаются вспышки типа солнечных.

Все многообразие воздействия Солнца на Землю и околоземное пространство связано с нестационарными процессами, источником энергии которых является энергия магнитного поля токов, протекающих в атмосфере Солнца. Поэтому изучение структуры и динамики магнитного поля и электрических токов, а также физических процессов в нестационарных явлениях имеет не только научное, но и большое прикладное значение.

ТЕЛЕСКОП

Для продвижения в понимании сути нестационарных явлений и солнечной активности в целом был предложен проект СОТ (солнечно-ориентированный телескоп) для наблюдений в УФ-линиях магнитного поля, движений и свечения плазмы в различных образованиях на Солнце с пространственным разрешением $0.1\text{--}0.2''$ [11].

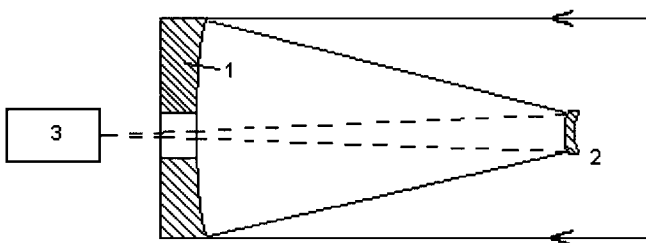


Рис. 1. Оптическая схема телескопа (система Кассегрена) 1 — главное зеркало; 2 — вторичное зеркало; 3 — спектрополяриметр

СОТ включает УФ-телескоп [3], спектрополяриметр, систему для обзора поверхности Солнца и гидирующую систему, систему сбора, предварительной обработки и хранения данных, систему передачи информации.

Чтобы иметь пространственное разрешение $0.2''$ в длинах волн $\lambda \approx 240$ нм диаметр объектива телескопа должен быть около 0.3 м. Телескоп предназначен в значительной степени для поляризационных наблюдений. При углах падения света на зеркало, отличных от нуля, коэффициенты отражения лучей, поляризованных в плоскости падения и в плоскости, перпендикулярной к ней, не одинаковы. В результате отражения отношение интенсивностей компонентов и степень поляризации изменятся. Вследствие косоугольного падения лучей возможен переход круговой поляризации в линейную и наоборот [7]. Требование минимума инструментальной поляризации при отражении, а также минимума потери света и габаритов инструмента позволяют выбрать оптическую систему телескопа. Она должна быть системой Кассегрена. В ней вторичное выпуклое зеркало располагается перед главным, что приводит к центральному экранированию главного зеркала. Центральное экранирование не должно превышать 0.10 доли площади объектива [5]. Центральное экранирование в указанных пределах не уменьшает разрешающую силу телескопа, а даже несколько повышает ее, сужая поперечник центрального ядра дифракционной картины. Но при этом снижается контраст изображения протянутого объекта, так как увеличивается яркость колец, сопровождающих каждую точку изображения [6].

Телескоп двухзеркальный (рис. 1). Зеркала имеют специальное покрытие, обеспечивающее отражение значительной части падающего на них потока УФ-излучения. Главное вогнутое параболическое зеркало имеет центральное отверстие, через которое проходит отраженный от вторичного выпуклого зеркала свет. Вторичное зеркало располагается перед фокусом главного зеркала. Фокальная плоскость телескопа находится с тыльной стороны главного зеркала и совпадает с входной щелью спектрополяриметра. Эквивалентное фокусное расстояние телескопа составляет 11 м и обеспечивает пространственное разрешение $0.2''$ на щели спектрополяриметра при размере 10 мкм отдельного элемента ПЗС-приемников.

СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТР

Двухкамерный спектрополяриметр, оптическая схема которого показана на рис. 2, позволит проводить поляризационные и спектральные наблюдения. Спектрополяриметр включает в себя модуля-

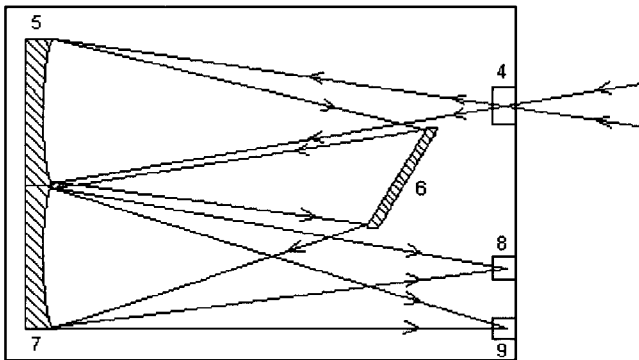


Рис. 2. Спектрополяриметр: 4 — модулятор; 5 — коллиматорное зеркало; 6 — дифракционная решетка; 7 — камерное зеркало; 8, 9 — приемники

тор (или поляриметр), который располагается непосредственно за его входной щелью, коллиматорное и камерное зеркала, плоскую дифракционную решетку (2400 штрихов/мм) и приемники на ПЗС-матрицах. Модулятор (поляриметр) съемный, он применяется при измерении магнитных полей. Фокусные расстояния коллиматорного и камерного зеркал — около 1.2 м.

Диаметр светового пучка на коллиматорном зеркале и дифракционной решетке составит примерно 31 мм. Разрешающая сила спектрополяриметра при $\lambda \approx 150$ нм будет $1.5 \cdot 10^5$. При наблюдениях во втором порядке спектра спектральное разрешение прибора $\Delta\lambda \approx 1$ пм, линейная дисперсия — около 7 мм/нм.

Точность измерения магнитного поля зависит от нескольких факторов: от чувствительности и размера элементов ПЗС-приемника, от крутизны спектральной линии, от глубины модуляции светового пучка модулятором, времени накопления и от чувствительности линии к магнитному расщеплению. Однако при регистрации 0.1 % светового потока, падающего на приемник, точность измерения магнитного поля по линии C IV λ 154.8 нм (средне-взвешенное по σ -компонентам значение фактора Ланде $g = 1.17$) составит 20—25 мТл.

Для исключения эффектов нагрева на качество изображений зеркала телескопа и спектрополяриметра должны быть изготовлены из ситалла, коэффициент линейного расширения которого меньше 10^{-7} 1/К в довольно широком диапазоне температур [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдения с пространственным разрешением 0.1—0.2" магнитного поля и плазмы в линиях УФ-спектра дадут весомый вклад в развитие совре-

менной астрофизики. Они позволят существенно продвинуть решение ряда основных проблем физики Солнца: генерации магнитного поля, его выхода на поверхность, генерации электрических токов в верхних слоях атмосферы, нестационарных процессов, сопровождающихся огромным энерговыделением, ускорения частиц до высоких энергий, солнечного ветра, формирование которого связано с процессами ускорения плазмы в магнитных полях, солнечно-земных связей и др.

1. Бужинский И. М., Даниленко В. А., Степанов С. Е. // Новая техника в астрономии.—1970.—Вып. 3.—С. 202—206.
2. Гопасюк С. И. Временные изменения магнитного поля в активных областях на Солнце // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1967.—36.—С. 56—68.
3. Гопасюк С. И., Гопасюк О. С., Яцкив Я. С. УФ-телескоп проекта SOT. Сборник тезисов Первой украинской конференции по перспективным космическим исследованиям, Киев (Украина), 2001, с. 30.
4. Зверева А. М. Северный А. Б. Магнитные поля и протонные вспышки 6 июля и 2 сентября 1966 года // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1970.—41—42.—С. 97—157.
5. Максудов Д. Д. Изготовление и исследование астрономической оптики, М.: Гостехиздат, 1948.
6. Михельсон Н. Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция, М.: Наука, 1976.
7. Северный А. Б. Некоторые инструментальные вопросы измерения магнитных полей Солнца и звезд // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1977.—56.—С. 142—148.
8. Сомов Б. В. Проблемы физики солнечных вспышек. М.: 1983, № 1, С. 5—51.
9. Dennis B. R. Solar flare hard X-ray observations // Solar Phys.—1988.—118, № 1/2.—P. 49—94.
10. Gopasyuk S. I. The magnetic field structure in active regions on the Sun. 18th Symp on the physics of ionized gases Yugoslavia (Eds B. Vujicic, S. Djurovic, J. Puric), 1997.—P. 457—466.
11. Gopasyuk S. I. SOT Experiment SOLAR-ORIENTED TELESCOPE // Space Science and Technology.—2000.—6, № 4.—P. 87.
12. Howard R., Svestka Z. Development of a complex of activity in the solar corona // Solar Phys.—1977.—54, № 1.—P. 65—105.
13. Mayfield E. B. Chapman G. A. Magnetic flux changes associated with the solar flares of August 1972 // Solar Phys.—1981.—70, № 2.—P. 351—362.
14. Simon G. W., Wilson P. R. Flux changes in small magnetic regions. II. Astrophys. J.—1985.—295, № 1, pt. 1.—P. 241—257.
15. Tanaka K. Impact X-ray observations from the Hinotori satellite on solar flare research // Publ. of the astron. soc. of Japan.—1987.—39, № 1.—P. 1—45.

THE SPECTROPOLARIMETER OF THE SOT PROJECT

S. I. Gopasyuk and O. S. Gopasyuk

We describe the optical systems of the telescope and spectropolarimeter for the SOT experiment. The SOT experiment will allow one to carry out observations of magnetic fields and the plasma state in UV lines ($\lambda = 90—240$ nm) for various solar formations with a spatial resolution of 0.1–0.2".