

УДК 629.198.3:523.755:521.8

АСТРОНОМИЯ

Член-корреспондент АН СССР К. Я. КОНДРАТЬЕВ, А. И. ЛАЗАРЕВ,  
А. А. ЛЕОНОВ, О. И. СМОКТИЙ

**РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ  
С ПИЛОТИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ «ВОСХОД-2»**

При полете пилотируемого космического корабля (КК) «Восход-2» 18—19 III 1965 г. А. А. Леонов наблюдал интересное оптическое явление во время восхода и захода Солнца за видимый горизонт Земли: с высоты орбиты КК  $\sim 500$  км были хорошо заметны лучи солнечной короны, распространяющиеся в вертикальном направлении на расстояние до двух солнечных радиусов  $R_{\odot}$ . Представляет интерес рассмотреть результаты этих наблюдений в связи с обсуждением возможностей обнаружения из космоса слабо светящихся астрофизических объектов (звезды, планеты, солнечная корона, зодиакальный свет и др.) (¹, ²).

Наиболее полно эта проблема рассмотрена для дневных условий в работе (¹), где показано, что солнечная корона не может наблюдаться с КК при высоком положении Солнца над горизонтом. Рассеяние света газопылевым окружением и элементами конструкции космического корабля (включая иллюминатор), а также отражение солнечного излучения подстилающей поверхностью полностью экранирует такие слабые источники излучения, как корона и зодиакальный свет.

Очевидно, что в реальных условиях для обеспечения возможности наблюдения солнечной короны из космоса необходимо уменьшить яркость фона до уровня, сопоставимого с яркостью солнечной короны. Для этого используются достаточно сложные и громоздкие вспомогательные устройства типа специальных защитных бленд и экранов (³), однако излучение газопылевого окружения КК очень трудно исключить полностью.

В связи с оптическими наблюдениями, проведенными на КК «Восход-2», «Союз-3» и «Союз-9» (⁴), большой интерес представляет анализ возможностей обнаружения и исследования солнечной короны из космоса на фоне светящегося слоя атмосферы вблизи горизонта непосредственного перед выходом либо сразу после захода Солнца за видимый край диска Земли. Фон в данных условиях создают рассеянное атмосферой и отраженное подстилающей поверхностью диффузное излучение Солнца, а также эмиссии верхних слоев атмосферы в переходном неустановившемся режиме от дня к ночи (заход Солнца) или, наоборот, от ночи к дню (восход Солнца); диск Земли выполняет роль непрозрачного экрана для прямого солнечного излучения.

Возможность обнаружения из космоса короны Солнца, «покрытого» диском Земли, для каждой фиксированной высоты орбиты КК в первую очередь определяется соотношением между яркостью короны, которая зависит от элонгации  $\varepsilon$ , и яркостью естественного атмосферного фона, которая зависит от оптического состояния атмосферы, отражательных характеристик подстилающей поверхности, условий освещения Солнцем верхней границы атмосферы и направления визирования.

Соотношение между вкладом рассеянной и эмиссионной компонент в излучении естественного атмосферного фона для фиксированной оптической модели атмосферы в основном зависит от угла погружения Солнца под горизонт и направления визирования (или высоты перигея линии визирования в данной меридиональной плоскости). В видимой области спек-

тра (400–800 мкм) на высотах до 90–100 км основной вклад вносит рассеянное излучение атмосферы, а выше 100 км яркость атмосферы определяется главным образом эмиссионным излучением<sup>(7)</sup>.

Оценки визуальной яркости дневного эмиссионного излучения верхней атмосферы выполнены по опубликованным результатам ракетного зондирования в отдельных эмиссионных линиях<sup>(7)</sup>. Как показано, для визуальной яркости наиболее существенны линии атомарного кислорода (5577; 6300 Å) и натрия (5893 Å). Вклад других линий (5200 Å) и полос (3914; 7600 Å) незначителен либо вследствие малых значений спектрального коэффициента видности (3914; 7600 Å), либо вследствие небольшой интенсивности линии (5200 Å). Оценки визуальной яркости трех наиболее интенсивных линий дневного эмиссионного излучения верхней атмосферы (5577; 5893; 6300 Å) при наблюдениях из космоса в направлении горизонта Земли дают величины: для  $H_p = 120$  км порядка 30–160 минут, для  $H_p = 200$  км порядка 7–65 минут. Если же учесть вклад непрерывной составляющей дневного излучения верхней атмосферы, то, по-видимому, эти значения следует увеличить в 3–5 раз.

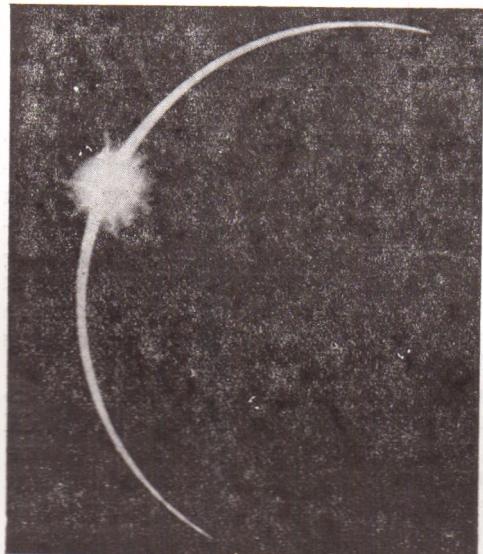


Рис. 1. Фотография солнечной короны, полученная на КК «Аполлон 12» с расстояния  $\sim 10^5$  км во время покрытия диска Солнца Землей

Практическая реализация возможности обнаружения солнечной короны из космоса в выбранной области спектра определяется не только оптической моделью системы атмосфера — подстилающая поверхность, положением Солнца относительно видимого края диска

Земли или направлением визирования, но и существенно зависит от высоты орбиты КК. Выбор высоты орбиты КК определяется главным образом соотношением между яркостью солнечной короны и яркостью естественного атмосферного фона в данном направлении визирования. Характер углового распределения яркости земной атмосферы при наблюдении из космоса слабо зависит от высоты орбиты КК. Однако с увеличением высоты орбиты уменьшается угловой размер светящегося слоя атмосферы вблизи горизонта Земли, а угловой размер солнечной короны остается постоянным. Это обстоятельство и определяет возможность наблюдения короны Солнца с высоких орбит в тот момент, когда Солнце скрылось за твердым краем диска планеты и светящийся слой атмосферы вблизи горизонта имеет по сравнению с короной малые угловые размеры в вертикальном направлении. С низких орбит наблюдения солнечной короны при больших элонгациях Солнца ( $\varepsilon \sim 70-80^\circ$ ) по фотометрическим оценкам маловероятны. В связи с этим явление вертикально-лучевой структуры, наблюдавшееся с КК «Союз-3» и «Союз-9» с высоты орбиты  $H \sim 250$  км при элонгациях  $\varepsilon \sim 70-80^\circ$ <sup>(4)</sup>, трудно интерпретировать как внеатмосферный корональный эффект<sup>(2)</sup>.

Большой интерес представляют цветные фотографии солнечной короны, полученные экипажем космического корабля «Аполлон 12» на трассе Луна — Земля<sup>(8)</sup>. Космонавты А. Бин, Р. Гордон и Ч. Конрад сфотографировали солнечную корону, когда Солнце только что скрылось за види-

мый горизонт Земли (рис. 1). На фотографии видны узкий светящийся слой атмосферы вблизи горизонта Земли и верхняя половина короны Солнца, экранированного диском Земли. Очевидно, нижняя часть изображения солнечной короны имеет «искусственное» происхождение или появилась как зеркальное отражение неэкранированной верхней половины солнечной короны от сферической поверхности Земли при больших углах отражения.

Кроме случая покрытия диска Солнца Землей солнечная корона может наблюдаться из космоса сразу после выхода или непосредственно перед заходом Солнца за видимый горизонт Земли («Восход-2»). В этом случае прямое излучение Солнца существенно ослабляется нижними плотными слоями земной атмосферы. Поэтому возможность исследования солнечной короны из космоса определяется прозрачностью атмосферы и соотношением между яркостью короны и яркостью верхней атмосферы в направлении горизонта Земли. Прозрачность и яркость атмосферы в видимой области спектра довольно резко меняются на высоте 20—30 км. При наблюдении горизонта Земли из космоса прозрачность атмосферы при  $H_p \approx 20$  км составляет  $10^{-6} - 10^{-2}$ , а выше  $H_p = 40$  км практически равна единице. Яркость атмосферы вблизи горизонта при  $H_p \approx 30$  км значительно слабее зависит от  $H_p$ , чем при  $H_p \approx 40$  км, когда она быстро убывает.

Когда Солнце выпло из-за горизонта, возможность исследования солнечной короны из космоса фактически определяется высотой Солнца над горизонтом и высотой орбиты космического корабля. Выбор высоты Солнца над горизонтом определяется зависимостью прозрачности атмосферы от высоты перигея линии визирования и связан в основном с необходимостью уменьшить яркость фона вблизи КК (иллюминатор, газопылевое окружение и др.). Выбор высоты орбиты космического корабля зависит от соотношения между теми же параметрами, что и в случае покрытия диска Солнца Землей. Анализ зависимости оптической толщины (или прозрачности) атмосферы от высоты перигея линии визирования, проведенный по методике [3], показывает, что для существенного уменьшения яркости прямого излучения Солнца в видимой области спектра необходимо, чтобы верхний край диска Солнца находился на высоте  $H_p = 20 - 30$  км. При этом освещенность от Солнца на КК и соответственно яркость искусственного фона вблизи КК на 4—5 порядков меньше, чем при более высоком положении Солнца.

Для выбора высоты орбиты космического корабля сопоставим угловые зависимости яркости солнечной короны и яркости атмосферы Земли вблизи горизонта при наблюдении из космоса в плоскости солнечного вертикала с высоты 200, 500 и 1000 км и визировании горизонта до высоты  $H_p = 100$  км. Анализ этих зависимостей показывает (рис. 2), что с высоты 200 км исследования солнечной короны практически невозможны, так как яркость естественного фона существенно превышает яркость солнечной короны. С высоты 500 км яркость наиболее ярких участков солнечной короны в области элонгаций  $\epsilon \approx 35'$  сопоставима с яркостью естественного фона и, следовательно, можно проводить визуальные, фотографические и другие

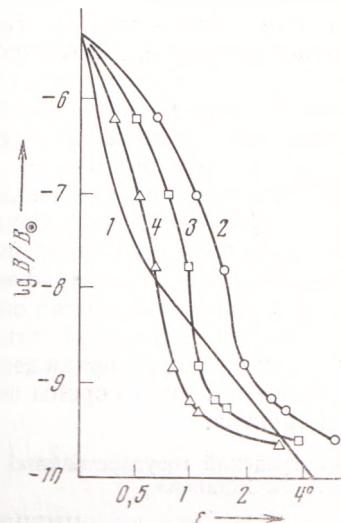


Рис. 2. Угловая зависимость средней яркости солнечной короны (1), по данным [6], и атмосферы Земли (2—4) вблизи горизонта при наблюдении из космоса с различных высот: 2 — 200, 3 — 500 и 4 — 1000 км при положении верхнего края диска Солнца на высоте перигея линии визирования 20 км. Расчет проведен для оптической модели земной атмосферы, использованной в [5].

исследования короны. Этот вывод подтверждается визуальными наблюдениями с КК «Восход-2», апогей орбиты которого находился на высоте около 500 км. Следует отметить, что с КК, орбиты которых были ниже (160—300 км), визуальные наблюдения солнечной короны не могли быть выполнены, так как яркость атмосферного фона существенно превышает яркость короны. С высоты 1000 км прямые исследования солнечной короны в видимой области спектра, по-видимому, возможны для элонгаций до  $3^{\circ}$ .

Для исследования солнечной короны в других участках спектра выбор положения Солнца над (или под) горизонтом и определение необходимой высоты орбиты космического корабля могут быть выполнены по соответствующей методике, изложенной выше для видимой области спектра. Например, в у.-ф. области спектра в диапазоне 200—300 мкм верхний край диска Солнца, наблюдаемого из космоса, по-видимому, должен находиться на высоте перигея линии визирования  $H_p = 45—50$  км, а высота орбиты космического корабля должна превышать 400 км.

Таким образом, исследования солнечной короны из космоса во время покрытия диска Солнца Землей, а также непосредственно после восхода или перед заходом Солнца возможны с помощью визуальных наблюдений, фотографической, спектрофотометрической и телевизионной аппаратуры в зависимости от выбранной области спектра и цели эксперимента. Этот способ будет особенно эффективен в у.-ф. области спектра, которая практически недоступна для наблюдений с Земли и где относительная и абсолютная яркости солнечной короны значительно выше, чем в видимой и и.-к. областях спектра.

Ленинградский государственный университет  
им. А. А. Жданова

Поступило  
15 V 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> N. S. Kovar, R. P. Kovar, G. R. Bonner, *Planet. Space Sci.*, **17**, 143 (1969).  
<sup>2</sup> А. И. Симонов, Космические исследования, **11**, № 3 (1973). <sup>3</sup> R. Tousey, *Sky and Telescop*, **42**, № 6, 346 (1971). <sup>4</sup> Г. Т. Береговой, А. А. Бузников и др., Оптические явления в атмосфере по наблюдениям с пилотируемых космических кораблей. Л., 1972. <sup>5</sup> О. И. Смоктый, Изв. АН СССР, сер. Физика и атмосфера океана, **5**, № 8, 872 (1969). <sup>6</sup> G. Newkirk, D. Bohlin, *Astron. Obs. from Space Vehicles, Symp.* 23, 1964. <sup>7</sup> T. F. Noxon, *Space Sci Rew.*, **8**, № 1, 92 (1968). <sup>8</sup> S. Bedini, W. von Braun, F. Whipple, *The Moon. Man's Greatest Adventure*, N. Y., 1970.