

СПЕКТР СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ В ОБЛАСТИ $1,85 + 1,87 \text{ \AA}$

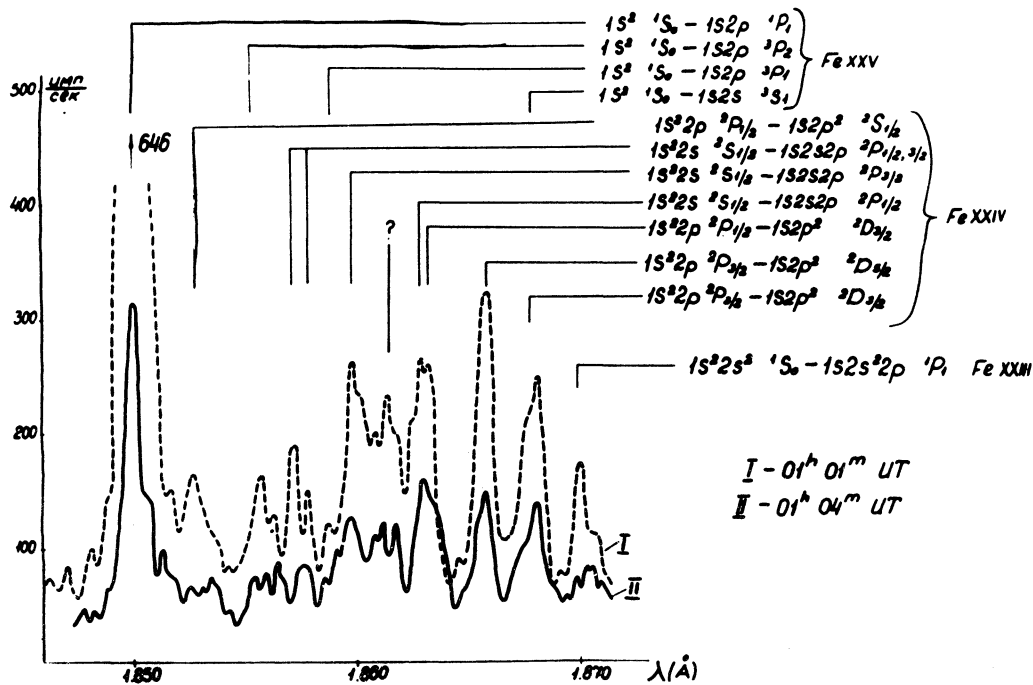
Б. Н. Васильев, Ю. И. Гринева, И. А. Житник,
В. И. Карев, В. В. Корнеев, В. В. Крутов,
С. Л. Мандельштам

В работах /1,2/ было показано, что в солнечном рентгеновском спектре в области $1,9 \text{ \AA}$ во время вспышек наблюдается значительный максимум интенсивности, имеющий сложную спектральную структуру, а в /3/ было предложено отождествление 6 линий ионов $\text{FeXXIII} - \text{FeXXV}$. Однако, достигнутое в этих работах спектральное разрешение явно недостаточно для четкой идентификации линий и физической интерпретации результатов.

На спутнике "Интеркосмос-4", запущенном 14 октября 1970 г. и проработавшем около двух месяцев, нами был проведен эксперимент по получению спектров вспышек в области $1,75 + 1,95 \text{ \AA}$ с более высоким разрешением и с точностью определения абсолютных длин волн не хуже $0,001 \text{ \AA}$.

Исследования проводились с помощью спектрометров Брэгга, диспергирующими элементами в которых служили плоские кристаллы кварца с постоянными решетки $d = 1,1776 \text{ \AA}$ и $4,246 \text{ \AA}$, а приемниками излучения - счетчики Гейгера, заполненные аргоном, с окнами из Be (160 мг/см^2). Полуширины кривых отражения кристаллов $\sim 10''$. Развертка по спектру осуществлялась за счет сканирования ориентированной на Солнце оси спутника в пределах $\pm 40'$ с постоянной для каждого скана скоростью. От скана к скану скорость могла меняться от $0,5/\text{сек}$ до $3'/\text{сек}$. Постоянная времени электронной схемы в режиме запоминания информации составляла $0,7 \text{ сек}$.

Всего за время работы спутника получено около 15 интенсивных спектров вспышек. Ниже будут рассмотрены два спектра (рис. 1), полученные в $01^h 01^m$ и $01^h 04^m 16.11.70$ во время вспыш-



Р и с. I. Спектры вспышки 2В 16.II. 1970г., зарегистрированные со спутника "Интеркосмос-4" в 01^h 01^m и 01^h 04^m UT.

ки класса 2В (начало $00^h 45^m$, максимум $00^h 52^m$). Спектральное разрешение на обеих регистрациях $\sim 4 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$ *). Привязка спектра по длинам волн проводилась по показаниям рентгеновского гелиографа (8–12 \AA) с механическим коллиматором, который позволял для трех моментов сканирования, соответствующих пересечению одним из щелевых полей зрения гелиографа области вспышки, определять угол падения излучения на отражающую плоскость кристалла с точностью $\sim 1'$. В спектрометре с $d = 1,1776 \text{ \AA}$ таким образом фиксировались длины волн 1,850; 1,854 и 1,858 \AA с возможной ошибкой $+4 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$. С использованием этих реперных точек и значений скорости сканирования, определенных по специальному оптическому датчику, были определены длины волн линий. На обеих спектрограммах большинство интенсивных линий достаточно хорошо совпадают; некоторое отличие вида спектра в области 1,853 + 1,858 \AA скорее всего объясняется возможными статистическими флуктуациями в линиях с относительно низкой интенсивностью, хотя последняя заметно выше интенсивности в области спектра без линий (короче 1,850 \AA) – 40 и 25 имп/сек для записи в 01^m и 04^m соответственно.

В таблице I представлены основные результаты обработки спектров рис. I. В первом столбце даны экспериментальные значения длин волн (с точностью до $5 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$) наиболее интенсивных линий, в 3, 4 и 2 столбцах указаны интерпретация и длина волны перехода по /4,6/.

В интервал от 1,850 до 1,870 \AA попадают линии He-подобного иона FeXXV : резонансная $1s_0 - 1p_1$, интеркомбинационная $1s_0 - 3p_1$, запрещенная $1s_0 - 3s_1$ и линия, соответствующая магнито-квадрупольному переходу $1s_0 - 3p_2$. Отметим, что магнито-квадрупольное излучение, очевидно, вообще наблюдается впервые. Остальные линии вызваны переходами с автоионизационных уровней FeXXIV и FeXXIII . Эти линии (сателлиты) образуются путем возбуждения внутренней оболочки или путем диалектронной рекомбинации (подробнее см. /4/) и в данном случае, как видно, имеют интенсивность, сравнимую с интенсивностью линий FeXXV .

*) Приведенная на рис. I запись для 04^m отличается от опубликованной в /5/ более детальной обработкой.

Экспериментальные и теоретические значения длин волн линий, приведенных в таблице, совпадают в пределах точности эксперимента и расчета ($\sim 5 \cdot 10^{-4}$ Å). В соответствии с отождествлением наблюдаемый на рис. 1 контур линий 1,863 Å имеет сложную

Таблица I

$\lambda_{\text{эксп}}$ Å	$\lambda_{\text{теор}}$ Å	Уон	Переход		$I \cdot 10^3$ <small>изм-от-ср</small>	Lcp	Lтеор
1,850	1,850	Fe XXV	1s ²	'S ₀ -1s2p	'P ₁ 90,0	100	100
1,8525	1,852	Fe XXIV	1s ² 2p	² P _{3/2} -1s2p ²	² S _{1/2} 19,0 ^{ж)}	21	2,4
1,8555	1,855	Fe XXV	1s ²	'S ₀ -1s2p	² P ₂ 19,0 ^{ж)}	21	17
1,857	1,857	Fe XXIV	1s ² 2s	² S _{1/2} -1s2p2s	² P _{3/2} 21,0	23	2
1,858	1,8575	Fe XXIV	1s ² 2p	² P _{3/2} -1s2p ²	² P _{3/2} 13,5	15	4,6
1,8585	1,859	Fe XXV	1s ²	'S ₀ -1s2p	'P ₁ 6,0?	7?	11
1,860	1,8605	Fe XXIV	1s ² 2s	² S _{1/2} -1s2p2s	² P _{3/2} 22,5	25	20
1,8615					19,5	22	—
	1,862	Fe XXIV	1s ² 2p	² P _{3/2} -1s2p ²	² P _{3/2} 7,5	8,0	6
1,863	1,863	Fe XXIV	1s ² 2s	² S _{1/2} -1s2p2s	² P _{3/2} 12	13,0	9
	1,863	Fe XXIV	1s ² 2p	² P _{1/2} -1s2p ²	² D _{3/2} 24	26,0	4,7
1,866	1,8655	Fe XXIV	1s ² 2p	² P _{3/2} -1s2p ²	² D _{3/2} 43,5	48	48
1,868	1,868	Fe XXV	1s ²	'S ₀ -1s2s	'S ₁ 34,5	38	12
	1,867	Fe XXIV	1s ² 2p	² P _{3/2} -1s2p ²	² D _{3/2}		28
1,870	1,870	Fe XXIII	1s ² 2s ²	'S ₀ -1s2s ² p	'P ₁ 15,5	17	11

ж) Пиковая интенсивность, контур шире доплеровского.

структуру. Сравнение полученных результатов с /3/ показывает, что в /3/ точно отождествлена только резонансная линия Fe XXV. В столбце 5 приведены абсолютные интенсивности линий для спектра OI^m за вычетом фона при $\lambda < 1,850$ Å. Там, где это оказалось возможным, проведено разделение накладывающихся линий. В столбцах 6, 7 сопоставляются наблюдаемые и расчетные /4/ интенсивности линий. Температура области вспышки была определена

по относительной интенсивности линии $1,866 \text{ \AA}$ и равна $17 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$. Как видно, теоретические значения интенсивностей по отношению к $1,850 \text{ \AA}$ как правило несколько ниже, а для линий $1,8525 \text{ \AA}$ и $1,858 \text{ \AA}$ значительно ниже экспериментальных. По-видимому, отождествление этих линий неправильно. Следует, однако, указать, что при отождествлении не учитывались переходы с уровней $1s2p^31$, которые могут попадать в рассматриваемую область спектра.

Как уже сообщалось ранее /5/, наличие двух спектрометров с существенно различной спектральной дисперсией и гелиографа с механическим коллиматором позволяет разделить спектральное уширение линии и ширину линии, обусловленную размером области вспышки. Для рассматриваемых спектров полуширина линий, связанная с размером области вспышки, меньше $8 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$, и поэтому практически все максимумы на записях рис. 1 отвечают отдельным линиям. Спектральная полуширина линии $1,866 \text{ \AA}$, которая наиболее четко разрешается и имеет большую интенсивность, составляет $8-9 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$. Это соответствует ионной температуре $20-25 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$, что близко к полученному выше значению электронной температуры. Мера эмиссии области вспышки, соответствующая абсолютной интенсивности резонансной линии Fe XXV при температуре $17 \cdot 10^6$, согласно /7/ порядка 10^{50} см^{-3} .

В заключение отметим, что линия $1,850 \text{ \AA}$ (скач 01^{III}) имеет сложный спектральный контур, который может быть представлен в виде трех компонент — центральной и двух боковых, отстоящих на $\pm 6 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$ и имеющих сравнимые интенсивности. Возможное объяснение этого факта дано в /4,8/. За интенсивность линии $1,850 \text{ \AA}$ принималась интенсивность центрального максимума.

Авторы выражают благодарность А. Б. Гильваргу и И. А. Циглеру за консультацию при выборе кристаллов и их обработке и профессору М. А. Блохину, в лаборатории которого были измерены кривые отражения кристаллов кварца.

Поступила в редакцию
20 декабря 1971 г.

Л и т е р а т у р а

1. W. M. Neupert, W. Gates, M. Swartz., R. Young. *Aph.* J., 149, L. 79 (1967).

2. J. F. Meekins, R. W. Kreplin, T. A. Chubb, H. Friedman. Science, 162, 891 (1968).
3. W. M. Neupert, M. Swartz. Aph. J., 160, 189 (1970).
4. Л. А. Вайнштейн, И. А. Житник, В. В. Корнеев, С. Л. Манделъштам. Краткие сообщения по физике № 3, 35, (1972).
5. Л. А. Вайнштейн, Б. Н. Васильев, Ю. И. Гринева, И. А. Житник, В. И. Карев, В. В. Корнеев, В. В. Крутов, С. Л. Манделъштам. COSPAR XIV; Seattle, 1971.
6. Л. А. Вайнштейн, У. И. Сафронова. Краткие сообщения по физике 3, 40, (1972).
7. И. Л. Бейтман, Л. А. Вайнштейн, А. М. Урнов. Препринт ФИАН № 28 (1971).
8. Б. Н. Васильев, Ю. И. Гринева, И. А. Житник, В. И. Карев, В. В. Корнеев, В. В. Крутов, С. Л. Манделъштам. Материалы совещания по солнечной активности, Москва, ИЗМИРАН, 1971 г.