

УДК 523.6

Спектрофотометрическое исследование кометы Вест 1975n (1976VI). Натрий в голове кометы

В.П. Таращук

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

SPECTROPHOTOMETRIC INVESTIGATION OF COMET WEST 1976VI, by *V.P. Tarashchuk*.
The old spectrophotometric observations of comet 1976 VI West are presented. The main emission features in the head of comet in energy units are given. The problem of radiating of sodium emission and its formation from comet dust is discussed.

Ключевые слова: кометы, спектр, пылинки, натрий

Яркие кометы, проходящие на небольших расстояниях от Солнца и Земли, дают наиболее ценные и интересные данные для изучения комет. К сожалению, условия видимости комет редко когда удовлетворяют требованиям, необходимым для выполнения качественных физических наблюдений. Из-за этого полученные в прошлом данные спектров комет неоднородны и для ряда интересных эмиссий количественные оценки очень скудны (например, для натрия). Каждая комета – это уникальный объект со своей историей развития, но присущие только ей характеристики представляют интерес для выявления общих закономерностей для всех комет. Поэтому старые наблюдения комет могут дать полезные сведения. Уникальная комета Вест 1975n (1976 VI) наблюдалась после развала ядра, обнаруженного после прохождения перигелия ($q = 0.2$ а. е.) 5 марта 1975 г.

Аппаратура и наблюдения

Спектрофотометрические наблюдения кометы Вест 1976 VI выполнены 11, 12 марта и 3, 4, 8 апреля 1976 г. на ЮС ГАИШ с помощью сканирующего фотометрического спектрометра с вогнутой дифракционной решеткой, смонтированного по схеме Сейя-Намиока и установленного в касегреновском фокусе телескопа АЗТ-14. В качестве приемника излучения использовался ФЭУ-79. Линейная дисперсия на выходной щели и дисперсия на регистрограмме, зависевшая от скорости сканирования спектра и скорости движения ленты в ЭПП-9, составляла $30 \text{ \AA}/\text{мм}$ и $11 \text{ \AA}/\text{мм}$. Область сканирования $3\,025\text{--}7\,600 \text{ \AA}$. Спектр сканировался в двух направлениях, время сканирования 7 минут. Размер щели, центрированной на ядро, 1.3×0.65 минут. Положение ее проверялось после каждого скана. Контроль чувствительности аппаратуры велся по записи свечения двух люминофоров в начале и в конце наблюдений. Из-за различия потоков излучения в разных участках спектра в процессе сканирования производилось изменение чувствительности прибора, что затем учитывалось. Для абсолютной привязки измерений кометных спектров наблюдались стандартные звезды: 11 и 12 марта и 8 апреля – η U Maj, 3 и 4 апреля – α Aql. Записывался также фон неба с теми же характеристиками аппаратуры, что и запись спектра.

Обработка спектров и результаты

В спектре головы отождествлены следующие эмиссии: OH 3148, NH 3358, C₂ 3584, CN 3883, C₃ 4053, CH⁺ 4232, C₂ 4366–68, CN 4206, CH 4336, C₂ 4713, C₂ 5634, Na 5889, NH₂ 6297 Å. Вычисление монохроматических освещенностей от кометных эмиссий определялось по формуле:

$$E_c = E_s \frac{I_c(\lambda) L_s S_s D_s}{I_s(\lambda) L_c S_c D_c} \cdot p(\lambda)^{-\Delta M},$$

где $E_s(\lambda)$ – монохроматическая освещенность от стандартной звезды, $I_c(\lambda)$ и $I_s(\lambda)$ – интенсивности в спектрах кометы и звезды, L_s и L_c – средние отсчеты на люминофоры, S_s и S_c – ширины выходной щели, регулирующих световые потоки, D_s и D_c – отношение чувствительностей прибора при работе на диапазонах усиления, соответствующих записям спектра, $p(\lambda)^{-\Delta M}$ – коэффициент прозрачности и разность воздушных масс объектов. $L_s/L_c = 1$ во все ночи (свидетельство стабильной работы аппаратуры).

Вычисления энергии эмиссий, количества частиц и массы выполнялись по общепринятой методике таких определений. При обработке учитывалась разность зенитных расстояний кометы и звезд сравнения. Для приведения потоков излучения к внеатмосферным значениям использовались средние значения прозрачности для данного сезона. В таблице приведены полученные после обработки спектров значения энергий в эмиссиях, количества частиц и масс.

Натрий в комете Вест

Натрий в кометах открыт в 1882 г. Но наблюдения его не очень многочисленны и количественных данных чрезвычайно мало. Изучение свечения натрия в кометах распадется на две самостоятельных проблемы: 1) принципиальная возможность возбуждения резонансного свечения натрия фотонной радиацией Солнца на разных гелиоцентрических расстояниях; 2) особенности пылевыделения в кометах и освобождение Na на разных гелиоцентрических расстояниях, что приводит к наблюдаемой картине появления эмиссии натрия и ее особенностям в кометах.

Обычно натрий наблюдался до ~1.5 а. е. Однако имеется наблюдение свечения Na на $r = 5$ а. е., когда через магнитосферу Юпитера проходили обломки кометы Шумейкер-Леви 9, окруженные комой [1]. Хотя условия освобождения натрия имели в этом случае совершенно другую природу, в [2] было проведено сравнение наблюденных профилей линии с теоретическими. Расчеты велись для двухуровневой модели атома Na с учетом влияния многократного рассеяния излучения в облаке с использованием не-ЛТР программы переноса излучения. Эмиссия Na на расстоянии 5 а. е. может возникать в результате резонансного рассеяния солнечного излучения при большой оптической толщине облака. Наблюденный профиль спектральной линии хорошо согласовался с вычисленным.

Существует несколько механизмов возбуждения атомов: солнечное излучение, электронный удар, перезарядка и др. Но считается, что только вблизи Солнца физические условия в кометах и плотность солнечного излучения приводят к реализации механизма резонансного возбуждения. D-линия возникает при переходе $^{32}\text{S}_{3/2,1/2} - ^{22}\text{P}_{1/2}$ на основной уровень. При этом отношение интенсивностей линий дублета $D_2/D_1 \sim 2$. Однако даже с учетом интенсивности возбуждающего солнечного излучения и доплеровского смещения кометы (эффект Свингса), наблюдавшееся отношение интенсивностей линий дублета D отличается от теоретического. Существует крайне мало оценок отношения линий дублета: комета Скъеллеруп – 1.0 [3]; Маркос 1957V – 1.39 [4]; Секи-Лайнс 1962 III – 2.5 (предсказанное 1.95), 1.6–2.2 [5]; Икейя-Секи 1965VIII – 1.25–1.65, 1.57, 1.77–1.26 [6], 1.6–2.2 только на расстоянии 30".

Таблица

Дата, г а. е.	Эмиссия Å	Е эрг/с	N 10 ³²	М, г
11 03 1975	NH 3558	5.16 · 10 ¹⁸	0.19 · 10 ³²	4.66 · 10 ⁸
r = 0.53	CN 3883	37.87 · 10 ¹⁹	2.94 · 10 ³²	1.27 · 10 ¹⁰
	C ₂ 4713	10.79 · 10 ²⁰	3.11 · 10 ³²	1.24 · 10 ¹⁰
	C ₂ 5165	21.96 · 10 ²⁰	5.71 · 10 ³²	2.28 · 10 ¹⁰
	C ₂ 5582	17.97 · 10 ²⁰	4.15 · 10 ³²	1.65 · 10 ¹⁰
	Na 5890	3.27 · 10 ²⁰	3.59 · 10 ³⁰	1.37 · 10 ⁸
3 04 1975	NH 3558	1.43 · 10 ²¹	2.12 · 10 ³⁴	5.10 · 10 ¹¹
r = 1.07	CN 3883	7.98 · 10 ²¹	2.48 · 10 ³⁴	10.70 · 10 ¹¹
	C ₂ 4713	6.96 · 10 ²¹	0.80 · 10 ³⁴	3.19 · 10 ¹¹
	C ₂ 5165	11.89 · 10 ²¹	12.40 · 10 ³⁴	49.40 · 10 ¹¹
	C ₂ 5582	6.78 · 10 ²¹	0.63 · 10 ³⁴	2.50 · 10 ¹¹
		.	.	.
4 04 1975	NH 3558	3.21 · 10 ²²	4.97 · 10 ³⁵	12.0 · 10 ¹²
r = 1.07	CN 3883	11.73 · 10 ²²	3.80 · 10 ³⁵	16.4 · 10 ¹²
	C ₂ 4713	9.85 · 10 ²²	1.06 · 10 ³⁵	4.23 · 10 ¹²
	C ₂ 5165	15.72 · 10 ²²	1.50 · 10 ³⁵	5.98 · 10 ¹²
	C ₂ 5582	9.89 · 10 ²²	0.96 · 10 ³⁵	3.81 · 10 ¹²
		.	.	.
8 04 1975	NH 3558	3.24 · 10 ²²	5.86 · 10 ³⁵	1.42 · 10 ¹³
r = 1.18	CN 3883	8.35 · 10 ²²	3.14 · 10 ³⁵	1.36 · 10 ¹³
	C ₂ 4713	29.57 · 10 ²²	4.11 · 10 ³⁵	1.64 · 10 ¹³
	C ₂ 5165	12.75 · 10 ²²	1.60 · 10 ³⁵	0.64 · 10 ¹³
	C ₂ 5582	8.61 · 10 ²²	0.96 · 10 ³⁵	0.38 · 10 ¹³

Для сравнения вычисленных и наблюдаемых величин эмиссии для приведенных комет и кометы Веста, наблюдавшихся на различных гелиоцентрических расстояниях, проведены расчеты для определения столбовой плотности и ее изменение с гелиоцентрическим расстоянием в пределах 0.05–0.75 а. е. Рассчитана величина отношения интенсивности D_2/D_1 для различных оптических толщин облака натрия. Прежние теоретические оценки этого отношения делались в приближении оптически тонкого слоя, поэтому расчет сделан с учетом многократного рассеяния для различных величин оптической толщи слоя и для разных фазовых углов кометы φ . Оказалось, что при $\varphi = 0^\circ$ отношение D_2/D_1 превышает значение 2 очень незначительно, при $\varphi = 90^\circ$ и выше D_2/D_1 может быть больше 2 и достигать величины 2.5., а при $\varphi = 180^\circ$ характер зависимости аналогичен ходу кривой для фазового угла 90° с максимальным значением D_2/D_1 более 2.5. Вычисления учитывали, что в спектре Солнца излучение ослаблено наличием линий поглощения D_2 и D_1 , которое больше в D_2 , вследствие чего отношение D_2/D_1 меньше 2 для малой оптической толщи. От фазового угла зависит распределение по глубине количества поглощенного солнечного излучения в комете и входящей в уравнение переноса ход функции источника с глубиной, а в конечном итоге и отношение интенсивностей линий D_2 и D_1 , так как линии образуются на разных глубинах. Не исключено, что на величину этого отношения может также влиять изменение поляризации одной из компонент дублета, — одна из компонент дублета имеет поляризацию.

Таким образом, свечение натрия в кометах можно объяснить резонансным рассеянием солнечного излучения на расстоянии от 0.05 а. е. до 5 а. е. Это указывает на то, что проблема

свечения Na в кометах сводится не к процессу его возбуждения, а к механизмам доставки натрия в невозбужденном состоянии на большие расстояния от ядра, освобождения натрия из пыли и дальнейшем его распространении в голове и хвосте (на R более 10^7 км). В принципе, совершенно неизвестно, в каком виде в ядре комет присутствуют металлы – в виде металлических примесей или в виде твердого раствора (эвтектики) самих металлов или их соединений. Но логично предположить, что они входят в состав пылинок. При нагревании кометные льды сублимируют, и поток газа увлекает пылинки. Время жизни возбужденного Na до ионизации составляет 6–7 ч (на $r \sim 1$ а. е.) [7], что значительно меньше времени распространения пыли на эти расстояния. Na или его соединения транспортируются пылью достаточно мелких размеров, о чем можно судить по величине отталкивательного ускорения. Прямолинейный натриевый хвост отстоит от хвостов II и III типов, частично сливаясь с плазменным хвостом, т. е. под небольшим углом к продолженному радиус-вектору. Присутствие слабого магнитного поля и плазмы, по-видимому, способствуют процессу освобождения Na и его возбуждения. По мере продвижения пыли в хвост под действием сил солнечного лучевого давления взаимодействие кометных пылинок с окружающей их плазмой определяется различными процессами. Малая работа выхода Na способствует его появлению в результате десорбции и фотоэффекта. Под действием фотоэффекта на пылинках образуется (с освобождением электронов) заряд, а с другой стороны – происходит частичная ионизация освобождающихся атомов. При каждом акте возникают нейтральные атомы и ионы (до 10 %). Столкновения могут вызывать термоэлектронную и ионную эмиссию. При наличии в пылинке примесей щелочных и щелочноземельных металлов выход электронов и ионов усиливается. До полного испарения этих элементов работа выхода будет пониженной. Аналогично действуют и окислы этих элементов (CaO, Na₂O, K₂O). Т. о. щелочные и щелочноземельные металлы являются своеобразными катализаторами испускания заряженных частиц с микропылинки, причем, чем выше температура пылинки, тем больший эффект и тем скорее эти металлы уходят с поверхности пылинки [8].

Механизм распыления также способствует увеличению Na и концентрации электронов. При увеличении концентрации электронов в окружающей плазме и при достижении газопылевой смеси определенной скорости вступает в действие механизм критической ионизации, приводящий к лавинообразному увеличению действующих компонент. Резонансное возбуждение Na сопровождается дополнительным столкновением с электронами, концентрация которых в небольших объемах может резко возрастать, приводя к освобождению Na. Присутствие Na приводит к уменьшению работы выхода также других металлов из пыли. Истощение пылинок или их полное исчезновение ведет к затуханию свечения Na на больших расстояниях от ядра. Приведенная картина требует уточнения деталей, например, рассмотрения процессов диссоциации натрийсодержащих молекул типа Na или Na₂O.

Литература

1. Прокофьева В.В., Таращук В.П. // Кинематика и физика небесных тел. 1996. Т. 12. N 5. С. 82.
2. Барановский Э.А., Таращук В.П. // ПАЖ Т. 30. N. 11. 2004. Р. 874–880.
3. Adel A., Slipher V.M. and Ladenburg R. // *Astroph. J.* 1937. 86. 345.
4. Greenstein J.L., Arpigny C. // *Astroph. J.* 1962. 135. 892.
5. Warner B. // *Observatory.* 1963. V. 83. P. 223.
6. Evans C., Malville J. Mck. // *Pub A. S. P.* 1967. V. 79. P. 310.
7. Шкловский И.С. // *Иск. спутники земли.* 1960. N 46 С. 195.
8. Мессиг Г., Бархоп Е. // 1958.