Доклады Академии наук СССР
1955. Том 100, № 4

АСТРОНОМИЯ

С. М. ПОЛОСКОВ

ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ИНФРАКРАСНОГО СПЕКТРА КОМЕТ

(Представлено академиком Г. А. Шайном 29 IX 1954)

Данные по инфракрасному участку спектра комет еще очень бедны. Инфракрасные спектрограммы комет, охватывающие участок от λ 7000 до примерно λ 8800 Å, были получены лишь по трем последним ярким кометам: 1947k, 1947n и 1948l. Всего было получено ([1-3]) по всем трем кометам лишь около десятка спектрограмм. Инструмент — 84-дюймовый рефлектор Макдональдовской обсерватории, спектрограф — плоская диффракционная решетка с камерой Шмидта $f/0{,}65$, сфокусирован на участок 7000—9000 Å. Эмульсия — гиперсенсибилизированная Eastman I — N. Дисперсия — около 330 Å/мм. Проектируемая ширина щели составляла около 33 Å. Чтобы убрать второй порядок, фиолетовая часть которого налагается на инфракрасный участок, перед щелью ставился фильтр, поглощающий излучение от λ 3100 до λ 5200.

Было установлено, что в спектре всех перечисленных комет имеются очень интенсивные излучения с максимумами около λλ 7906 и 8106. Описана структура лишь этих двух полос. Полного списка линий и их интенсивностей указанные работы не содержат. Есть упоминание, что должны существовать и другие, значительно более слабые излучения, вблизи λλ 7088, 8242 и 8783, но их присутствие еще не установлено со всей определенностью.

Структура двух главных излучений в общих чертах такова: синий край полосы λ 7906 расположен возле λ 7858, красный — возле λ 7957. Кроме максимума у λ 7906, имеется вторичный максимум в синем крыле излучения вблизи λ 7876. Излучение, концентрирующееся около λ 8106, слабее, чем излучение у λ 7906. Оно простирается от λ 8046 до λ 8164 и не показывает какой-либо заметной структуры. Однако это отсутствие структуры может быть только кажущимся и объясняться падением чувствительности эмульсии и большой шириной щели.

Свингс и Пейдж отождествили это излучение с так называемой «красной системой» CN. Цель данной работы показать: 1) сомнительность отождествления Свингса и Пейджа, 2) весьма большую вероятность отождествления этого излучения с новой резонансной системой $^2\Pi - {}^2\Sigma$, обнаруженной недавно у молекулы N_2^+ ([4]).

1. Основанием для отождествления Свингсом и Пейджем инфракрасных кометных полос с полосами «красной» системы CN послужило то обстоятельство, что получается удовлетворительное совпадение в длинах волн у полос серии $\Delta v = +2$, а именно, полос (2,0) и (3,1) с полосами λ 7906 и λ 8106. В самом деле, полоса (2,0) имеет голову ветви у λ 7874 и головы других ветвей в несколько более длинноволновой части спектра, так что максимум интенсивности может оказаться у λ 7906, и аналогично, переход (3,1) может иметь максимум у λ 8106. Авторы далее опираются на низкотемпературный синтетический контур, вычисленный Гюннаертсом (для $T = 430°$ K); однако, как указывают

сами Свингс и Пейдж, этот контур не вполне соответствует наблюдаемому (максимум лежит у 7910 Å). Но дело здесь совсем не в отсутствии совпадения и даже не в том, что контур совсем не соответствует лабораторному контуру «красной» системы, полученному с тем же спектрографом (в Иеркской обсерватории), хотя при столь высоком колебательном возбуждении красной системы, которое требуется Свингсу и Пейджу, контур не может быть низкотемпературным, а должен быть именно таким, как в лаборатории. Более того, Свингс и Пейдж считают возможным распространить свое отождествление на более коротковолновую часть спектра, привлекая к рассмотрению еще более высокие колебательные переходы, лежащие даже в визуальном участке: (3,0) у λ 7000, (4,1) у λ 7150, (5,1) у λ 6350, (4,0) у λ 6200, (5,0) у λ 5620. Мы приведем соображения, которые, как нам кажется, убедительно показывают, что рассматриваемое отождествление является недоразумением.

Совершенно очевидно, что при таком отождествлении приходится предполагать, что механизм возбуждения — не резонансная флуоресценция, а какой-то другой, что весьма маловероятно в условиях комет. Но допустим, что это так и что этот механизм действует лишь в окрестностях ядра кометы и не действует в ее голове; тогда необходимо предположить (и это единственное возможное предположение), что таким механизмом является возбуждение молекул в момент фотодиссоциации «первичных» молекул. Известно, что таким образом может достигаться значительное возбуждение. Однако при этом должна возбуждаться и фиолетовая система и, более того, во всех известных случаях фотодиссоциации циановых соединений возбуждается именно фиолетовая, а не красная система. Допустим все же, что существует такая фотохимическая реакция, при которой возбуждается именно красная система, а фиолетовая не возбуждается. Совершенно очевидно, что тогда подобное излучение будет иметь интенсивность пренебрежимо малую по сравнению с интенсивностью «фиолетовой» системы. В самом деле: а) молекула может испустить лишь один такой красный или инфракрасный квант и именно в момент диссоциации; б) количество молекул CN, образующихся в данный момент путем диссоциации, на несколько порядков меньше того количества молекул CN, которые находятся в голове ([5]); в) сила осциллятора для рассматриваемых полос «красной» системы весьма мала по сравнению с силой осциллятора для фиолетовой системы.

Совокупность всех этих данных с неизбежностью приводит нас к выводу, что интенсивность «красной» системы в этих условиях должна быть весьма малой, тогда как из наблюдений следует, что интенсивность инфракрасных полос, и особенно полосы λ 7906, сравнима с интенсивностью фиолетовой системы или даже превосходит ее. Такой вывод можно сделать потому, что в работах Свингса содержатся данные, позволяющие очень уверенно произвести оценку интенсивностей.

Как мы уже говорили выше, кометный инфракрасный спектр был получен при помощи диффракционной решетки на эмульсии Eastman I — N. При отсутствии красного фильтра перед щелью спектрографа на инфракрасный участок спектра первого порядка налагается ультрафиолетовый участок спектра второго порядка, и это позволяет непосредственно сравнить интенсивность фиолетовой системы CN и инфракрасного излучения, если известна чувствительность эмульсии в разных областях спектра. Эмульсия I — N очень чувствительна к ультрафиолетовому излучению (более, чем к инфракрасному: чувствительность у λ 8000 составляет $^1/_3$ чувствительности у λ 3880). Учет всех данных о чувствительности, коэффициенте отражения решетки и примененных щелях показывает, что интенсивность полосы λ 7906 на 1 Å спектра

примерно равна интенсивности полосы λ 3883 CN, а полная интенсивность, как легко сообразить, должна быть даже больше, так как фиолетовая полоса имеет протяжение по спектру 35 Å или меньше, а полоса у λ 7906 — примерно 100 Å.

2. Отождествление инфракрасного излучения комет. В 1951 г. Мейнел ([4]) обнаружил новую резонансную систему молекулы N_2^+, лежащую в инфракрасной области. Это система $A^2\Pi - X^2\Sigma$. Сила осциллятора для этого электронного перехода велика, хотя и меньше, чем сила осциллятора для первой отрицательной системы азота, примерно на один порядок. Однако хорошо известно, что сила осциллятора для системы $^2\Sigma - {}^2\Sigma$ молекулы N_2^+ близка к единице (это вообще чрезвычайно редко бывает у молекул; другой пример в кометах — молекула CO^+). Следовательно, по силе осциллятора новая система $^2\Pi - {}^2\Sigma$ превосходит все другие молекулы, которые наблюдаются в головах комет.

Краткое описание спектра новой системы N_2^+. На рассматриваемый нами участок инфракрасной области приходятся первые колебательные полосы серии $\Delta v = 1$, наиболее интенсивной серии этой системы. Полоса (0,0) серии $\Delta v = 0$ расположена в более далекой инфракрасной области спектра. Главные излучения, принадлежащие рассматриваемой системе, приведены в табл. 1 ([4]).

Таблица 1

Длина волны в Å	Волновые числа в $см^{-1}$	Интенсивность	Отождествление	Длина волны в Å	Волновые числа в $см^{-1}$	Интенсивность	Отождествление
6858,2	14577,0	7	(2,0)	7879,6	687,4	63	(1,0)
6892,2	505,2	4	(2,0)	7912,2	635,2	19	(1,0)
7049,9	180,8	5	(3,1)	8056,8	408,5	22	(2,1)
7085,1	110,3	5	(3,1)	8094,0	351,5	18	(2,1)
7249,5	13790,2	6	(4,2)	8107,0	331,7	31	(2,1)
7281,1	730,4	5	(4,2)	8297,6	048,3	5	(3,2)
7828,2	12770,7	42	(1,0)	8349,2	11973,9	8	(3,2)
7861,9	716,0	39	(1,0)				

В 1953 г. Дуглас привел анализ системы $^2\Pi - {}^2\Sigma$ ([6]), основываясь на ее лабораторном изучении ([7]). Лабораторные длины волн почти совпадают с измерениями Мейнела. Результаты Дугласа по анализу колебательной структуры несколько отличаются от результатов Мейнела, однако сам Дуглас замечает, что ошибка при определении v у него составляет ± 1. Поэтому мы сохранили классификацию Мейнела и производим сравнения с его данными о длинах волн и интенсивностях, так как условия возбуждения в кометах ближе к условиям в верхних слоях земной атмосферы, чем к лабораторным условиям.

Астрофизические соображения, заставляющие ожидать присутствия системы $^2\Pi - {}^2\Sigma$ в спектрах комет. Мы приведем ряд соображений, которые показывают, что в спектре комет следует ожидать присутствия вновь открытой системы молекулярного ионизованного азота.

1) Все кометы, у которых наблюдался инфракрасный участок спектра, обладали газовыми хвостами. В спектре газовых хвостов всегда наблюдаются полосы первой отрицательной системы N_2^+. Если ионизованный азот присутствует, то его свечение с необходимостью должно происходить не только в резонансной системе $^2\Sigma - {}^2\Sigma$, но также и в резонансной системе $^2\Pi - {}^2\Sigma$.

2) Немедленно возникает вопрос, почему излучение, вызываемое системой $^2\Pi - {}^2\Sigma$, наблюдается лишь около ядра кометы, но не наблю-

дается в ее хвосте и голове. Это также находит весьма простое и естественное объяснение: в головах комет эта молекула наблюдаться не может, так как световое давление уносит ее из фотохимического ядра в хвост; в хвостах же вряд ли удалось бы обнаружить новую систему, потому что даже гораздо более интенсивная система — первая отрицательная — наблюдается лишь с большим трудом вследствие ничтожности концентраций вещества в хвостах.

3) Соответствуют наблюдаемым также и данные об интенсивностях. Выше было отмечено, что имеются количественные данные об относительных интенсивностях полосы λ3380 фиолетовой системы CN и излучения λ7906; эти интенсивности оказываются примерно одинаковыми при расчете на 1 Å. Этого и следует ожидать, если предположить, что концентрация молекул CN и N_2^+ одинакова. В самом деле, полосы находятся по разные стороны от максимума излучения в солнечном спектре примерно на одном и том же расстоянии от максимума ≈ 2500 Å. При резонансном переизлучении энергия при расчете на 1 Å, излучаемая в этих полосах, будет примерно одинаковой: меньшей энергии кванта в инфракрасной области соответствует бо́льшая сила осциллятора и, наоборот, большей энергии кванта в фиолетовой системе отвечает меньшая сила осциллятора.

4) То обстоятельство, что наблюдаемые инфракрасные полосы отождествляются с переходами, соответствующими самым низким значениям колебательных квантовых чисел, представляет собой один из самых сильных доводов в пользу предлагаемого нами отождествления. В самом деле, перестают быть необходимыми поиски нерезонансных механизмов возбуждения, механизмов, которые в условиях комет не могут иметь места.

Сравнение спектров. Из этих соображений, а также из прямого сопоставления спектров мы убеждаемся в справедливости предлагаемого отождествления. Главные излучения полосы (1,0) занимают участок от λ7828 до λ7912, а в кометах — от λ7838 до λ7959, причем в кометах максимум двойной: у λ7906 (или λ7907) и у λ7876, тогда как в полосе (1,0) — у λ7879. Однако не следует забывать, что проектируемая ширина щели составляет 33 Å! Полосы λ8106 и (2,1) имеют одинаковое распространение по спектру. Максимумы интенсивности в полосах практически совпадают (λ8106 и λ8107). Интенсивности полос λ7906 и λ8106 в кометах относятся друг к другу, как 2:1 или 3:1 (примерно). Отношение максимумов интенсивностей в полосах (1,0) и (2,1) равно 2·1. Отношение суммарной интенсивности главных излучений полосы (1,0) к таковой же для полосы (2,1) также равно примерно 2:1. Заметим далее, что наблюдаемые в спектре комет излучения λ7088 и λ8242, вероятно, соответствуют полосам (3,2) и (3,1) (см. табл. 1). Мы не строили синтетического контура потому, что ввиду весьма широкой щели и малого количества линий поглощения в солнечном спектре в рассматриваемой области прямое сопоставление, по нашему мнению, не менее убедительно, чем сравнение синтетических контуров.

Астрономический совет
Академии наук СССР

Поступило
15 IX 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] P. Swings, T. Page, Ap. J., **111**, 530 (1950). [2] P. Swings, T. Page, ibid., **108**, 526 (1948). [3] P. Swings, P. D. Jose, ibid., **111**, 41 (1950). [4] A. B. Meinel, ibid., **113**, 583 (1951) [5] С. М. Полосков, Астр. журн., **28**, 373 (1951). [6] A. E. Douglas, Ap. J., **117**, 380 (1953). [7] F. W. Dalby, A. E. Douglas, Phys. Rev., **84**, 843 (1951).