

Академик Г. А. ШАЙН и В. Ф. ГАЗЕ

**ПОЛОСЫ МОЛЕКУЛЫ $C^{13}N^{14}$ В СПЕКТРАХ УГЛЕРОДНЫХ ЗВЕЗД
(КРАСНАЯ СИСТЕМА $^2\Pi - ^2\Sigma$)**

Обнаружение в спектрах некоторых углеродных звезд значительного числа сильных полос тяжелой молекулы $C^{13}C^{12}$ почти такой же интенсивности, как и полосы $C^{12}C^{12}$, явилось серьезным доказательством в пользу очень большой относительной концентрации C^{13} . В углеродных звездах отношение $C^{13} : C^{12}$ меняется в очень значительных пределах, превышая в максимуме теоретическое и лабораторное значение по крайней мере в 25 раз ⁽¹⁾. Это было подтверждено исследованиями Мак-Келлара ⁽²⁾, Герцберга ⁽⁵⁾, Додэн и Ференбаха ⁽³⁾.

Было очень странно, что, несмотря на химическую однородность C^{13} и C^{12} , долго не обнаруживались полосы тяжелой молекулы $C^{13}N^{14}$ наряду с давно известными и хорошо заметными в спектрах углеродных звезд полосами обычной молекулы циана $C^{12}N^{14}$. Лишь совсем недавно мы обнаружили в спектре Υ Cap. Ven. наряду с сильными полосами циана $C^{12}N^{14}$ также довольно сильные изотопные полосы $C^{13}N^{14}$, относящиеся к фиолетовой системе циана $^2\Sigma - ^2\Sigma$ ⁽⁴⁾.

Совсем недавно Герцберг и Филлипс могли установить в лаборатории с помощью инфракрасного спектрофотометра с фотоэлементом PbS новую нумерацию квантовых чисел для красной системы $^2\Pi - ^2\Sigma$ ⁽⁵⁾. Базируясь на этом, Мак-Келлар отождествил уже в 1949 г. одну изотопную полосу $C^{13}N^{14}$ около 6260 ⁽⁶⁾, которую Сэнфорд объявил еще в 1941 г. как новую и заподозрил возможную ее принадлежность к $C^{13}N^{14}$. Не зная об этой работе, напечатанной в конце 1941 г., мы в своей работе ⁽⁷⁾ объявили эту полосу новым непрерывным поглощением.

Обнаружение изотопных полос, смещенных в том же направлении, что и отклонение основных, представляет трудную задачу. Сама по себе идентификация отдельных деталей не имеет большого значения по причине очень большой скученности деталей, эффекта бленд и малой точности определения длин волн голов (порядка 1—2 Å). Только тогда можно иметь известную уверенность, когда удовлетворительное согласие в длинах волн гармонирует с общей картиной.

В этой стадии нашего исследования мы ставим задачу найти доказательства наличия полос тяжелой молекулы $C^{13}N^{14}$. Вместе с тем, мы пытаемся отождествить некоторые ранее отмеченные неизвестные детали с полосами молекулы $C^{13}N^{14}$. Для решения вопроса о наличии $C^{13}N^{14}$ мы отобрали пять наиболее сильных полос красной системы циана $C^{12}N^{14}$ (2.0), (3.0), (4.0), (3.1), (4.1) и для них попытались найти соответствующие полосы $C^{13}N^{14}$. Это все без исключения доступные нам полосы в верхней левой части кантовой схемы. Для этой цели мы использовали спектрограммы ряда звезд, полученные в Симеизе,

в том числе Y Can. Ven. с очень малой дисперсией на пластинках Agfa Infra rot 750. Другим источником послужили две спектрограммы Y Can. Ven. и U Hydrae, полученные на Моунт Вилсон при дисперсии 20 Å/мм, представленные Р. Сэнфордом.

В табл. 1 даны измеренные длины волн голов, а также наблюдаемое и теоретическое изотопическое смещение.

Таблица 1

	$C^{13}N^{14}$	$C^{12}N^{14}$	Изотопич. смещение		
			наблюд.	теория *	
(2.0)	${}^sR_{21}$	7893.8	7850.2	+43.6	+43.5
	R_2	7915.7	7872.5	43.2	
	R_1	7937.2	7893.8	43.4	
	Q_1	7956.2	7912.9	43.3	
(3.0)	${}^sR_{21}$	6960.5	6910.0	+50.5	+50.4
	R_2	6976.9	6925.6	51.3	
	R_1	6994.3	6944.8	49.5	
	Q_1	7003.6	6953.4	50.2	
(3.1)	${}^sR_{21}$	8084.9 (центр)	8043.2	—	+40.8
	R_2	8108.2	8067.0	+41.2	
	R_1	8129.3	8089.4	39.9	
	Q_1	8148.5	8108.2	40.3	
(4.1)	R_2	7138.0	7092.0	+46.0	+48.4
	R_1	7157.7	7108.8	48.9	
	Q_1	7167.1 (центр)	7118.7	—	
(4.0)	${}^sR_{21}$	6235.0	6182.3 (центр)	—	+53.1
	R_2	6245.4	6191.7	+53.7	
	R_1	6259.8	6206.2	53.6	
	Q_1	6266.8	6213.5	53.3	

* Теоретическое вибрационное изотопическое смещение вычислено со следующими постоянными: $\omega_e' = 1814.43 \text{ см}^{-1}$, $x_e\omega_e' = 12.883 \text{ см}^{-1}$, $\omega_e'' = 2068.70 \text{ см}^{-1}$, $x_e''\omega_e' = 13.144 \text{ см}^{-1}$, $\rho - 1 = -0.02093$, $\rho^2 - 1 = -0.04142$, взятыми из книги Джевонса

Более надежным критерием является здесь общая картина. Общей отличительной чертой для всех исследованных полос является значительная депрессия, начинающаяся вслед за полосой R_1 и простирающаяся на 70—90 Å в сторону больших длин волн. Наличие таких депрессий или непрерывных поглощений не оставляет никакого сомнения. В нашей недавней работе мы обратили внимание на такого рода характерные для углеродных звезд широкие и более узкие депрессии и назвали их непрерывными поглощениями (?). То, что при малой дисперсии кажется депрессией, представляет собой при большой дисперсии аномально большое число достаточно сильных полос и линий.

Для объяснения такого рода депрессий в непрерывном спектре можно предложить две гипотезы: 1) Депрессия является результатом наложения друг на друга ротационной структуры основных полос $C^{12}N^{14}$: ${}^sR_{21}$, R_2 , R_1 , Q_1 . 2) Депрессия обязана в значительной степени неизвестным молекулярным полосам, в основном — полосам тяжелой молекулы $C^{13}N^{14}$.

Первой гипотезой ни в коем случае пренебрегать нельзя. Хотя полосы ${}^4R_{21}$ и R_2 в спектрах звезд выглядят изолированными, но возможно, что полосы R_1 и Q_1 во много раз сильнее, вследствие чего они создают наблюдаемую депрессию. В действительности мы очень мало знаем об относительной интенсивности полос ${}^4R_{21}$, R_2 , R_1 и Q_1 и об их структуре как в эмиссии, так и в поглощении. На основании лабораторных данных можно вообще ожидать депрессию в непрерывном спектре после голов R_1 и Q_1 по крайней мере на 50 Å, если не дальше.

Однако имеется несколько серьезных аргументов в пользу того, что в области наблюдаемой депрессии имеются также новые молекулярные полосы, обязанные $C^{13}N^{14}$.

1) Максимумы депрессии для всех полос (2.0), (3.0), (4.0), (3.1), (4.1), хотя и мало определенные, отстоят, как показывают фотографии, на расстоянии около 50—70 Å от голов основных полос R_1 , Q_1 и приходятся на область полос R_1 и Q_1 тяжелой молекулы $C^{13}N^{14}$.

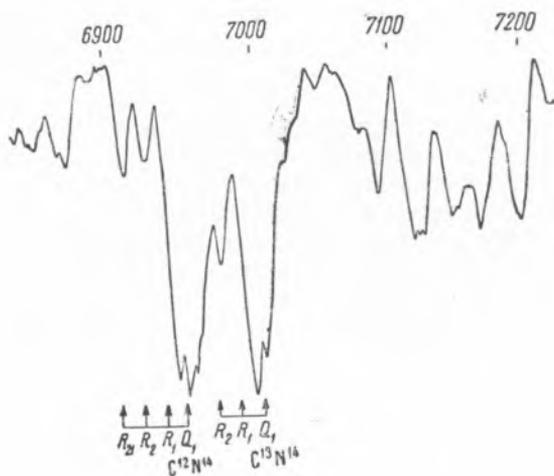


Рис. 1

2) Для всех без исключения рассмотренных полос на месте, где должны находиться более сильные полосы R_1 , мы действительно находим сильные полосы при удовлетворительном согласии наблюдений с теорией (табл. 1).

3) В спектрах звезд γ Cap. Ven. и γ Draconis, полученных в Симеизе при очень малой дисперсии, отчетливо видно, что рассматриваемые максимумы депрессии, связанные с полосами (3.0) и (4.0), представляют собой совершенно самостоятельное образование, а не результат наложения ротационной структуры полос циана $C^{12}N^{14}$ R_1 и Q_1 . Для иллюстрации мы даем на рис. 1 микрофотограмму для области около полосы (3.0) в спектре γ Cap. Ven., полученном в Симеизе при очень малой дисперсии.

4) Из нашего наблюдательного материала для визуальной области следует, что предполагаемая изотопная полоса $C^{13}N^{14}$ (4.0) как раз очень сильна в спектрах таких звезд, как γ Cap. Ven. и γ Draconis, в которых очень сильны также изотопные полосы $C^{13}C^{12}$ и $C^{13}C^{13}$.

Следует отметить, что различие в изотопическом смещении, вычисленном на основании новой и старой нумерации квантовых чисел, очень значительно. Если к вопросу об идентификации подойти формально, то при очень сильной скученности бленд, полос и линий всегда можно найти в спектре те или иные детали, более или менее

близкие к положениям изотопных полос, вычисленным также для старой нумерации квантовых чисел.

Однако два аргумента говорят против старой нумерации: 1) при меньшем изотопическом смещении для старой нумерации еще более непонятно очень значительное удаление максимума интенсивности тех депрессий, которые наблюдаются в сторону больших длин волн от полос $C^{12}N^{14}$. 2) Отождествление индивидуальных полос $C^{13}N^{14}$ с теми или иными деталями для случая новой нумерации несравненно или много лучше, чем для старой нумерации. Поэтому данные, относящиеся к изотопическим смещениям в звездных спектрах, дают независимое доказательство в пользу правильности последовательности квантовых чисел для системы циана ${}^2\Pi - {}^2\Sigma$.

На основании перечисленных выше аргументов мы приходим к заключению, что в спектрах таких звезд, как *Y Can. Ven.* и *RY Draconis*, несомненно имеются полосы, обязанные тяжелой молекуле $C^{13}N^{14}$. Интенсивность этих полос, вероятно, очень значительна и, возможно, даже лишь немногим слабее интенсивности основных полос циана $C^{12}N^{14}$. Достоинно внимания, что среди небольшого числа имеющих у нас звезд мы могли еще ранее обнаружить полосы тяжелой молекулы циана для фиолетовой системы $C^{13}N^{14} {}^2\Sigma - {}^2\Sigma$ как раз только для *Y Can. Ven.*

В свете полученных данных мы имеем возможность отождествить ранее неидентифицированные детали с предвычисленными значениями длин волн изотопных полос. Ранее объявленные непрерывные поглощения, согласно терминологии нашей работы (⁷), номера 20, 21, 15, 23, 16, 14 нашего списка (стр. 76) можно отождествить с некоторыми изотопными полосами. Кроме того, некоторые из отдельных неотожествленных полос или деталей (стр. 73) можно теперь с той или иной степенью вероятности отождествить также с изотопными полосами $C^{13}N^{14}$.

Основным результатом этой работы является установление факта наличия в спектре некоторых углеродных звезд многочисленных сильных полос красной системы циана ${}^2\Pi - {}^2\Sigma$ для тяжелой молекулы $C^{13}N^{14}$. Наряду с ранее установленным фактом наличия полос фиолетовой системы ${}^2\Sigma - {}^2\Sigma$ для тяжелой молекулы $C^{13}N^{14}$, а также полос $C^{13}C^{12}$ и $C^{13}C^{13}$, мы имеем теперь бесспорные доказательства в пользу наличия изотопа C^{13} в значительной относительной концентрации. По крайней мере, в атмосферах некоторых углеродных звезд отношение $C^{13}:C^{12}$ нередко достигает значения 0.30, а возможно, 0.50.

Практическое значение этого факта заключается в том, что он очень помогает интерпретации сложного спектра углеродных звезд, так как визуальная и инфракрасная область спектра этих звезд почти целиком определяется сложной структурой многочисленных полос $C^{12}N^{14}$ и $C^{13}N^{14}$. Однако наиболее важным представляется принципиальное значение факта бесспорного обнаружения изотопа C^{13} в значительной концентрации со всеми вытекающими последствиями для некоторых проблем астрофизики и космогонии.

Поступило
5 VIII 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. А. Шайн, Вестн. АН СССР, № 10, 52 (1940); Бюлл. Абастум. обсерв., № 6 (1942). ² A. McKellar, Publ. Astr. Soc. of Pacific, 59, No. 349, 186 (1947). ³ A. Daudin et C. Fehrenbach, Ann. d'Astrophys., 11 (1948). ⁴ Г. А. Шайн и В. Ф. Газе, Изв. Крымск. астрофизич. обсерв., II, 131 (1948). ⁵ G. Herzberg and J. G. Phillips, Ap. J., 108, 163 (1948). ⁶ A. McKellar, Publ. Astr. Soc. of Pacific, 61, No. 358, 34 (1949). ⁷ В. Ф. Газе и Г. А. Шайн, Изв. Крымск. астрофизич. обсерв., II, 51 (1948).