

УДК 523.6

**Е. С. Шубина¹, Н. В. Борисов²,
А. В. Иванова^{1,3}, В. К. Розенбуш^{1,4}**

¹ Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины,
ул. Академика Заболотного 27, Киев, Украина, 03143
shubina@mao.kiev.ua

² Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук,
Нижний Архыз, Зеленчукский район, Карачаево-Черкесская республика, Россия, 369167
borisov@sao.ru

³ Астрономический институт Словацкой академии наук,
Татранская Ломница, Словацкая Республика, 05960
sandra@mao.kiev.ua

⁴ Астрономическая обсерватория Киевского национального университета
имени Тараса Шевченко, ул. Обсерваторная 3, Киев, Украина, 04053
vera.rosenbush@gmail.com

Спектр короткопериодической кометы 2P/Енске в появлении 2003 г.

*Анализируются спектры кометы 2P/Енске, полученные 15 и 22 ноября 2003 г. в диапазонах длин волн $\lambda = 410...580$ и $560...720$ нм с помощью спектрографа UAGS, установленного на 1-м телескопе фирмы «Карл Цейс» Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук. Спектральное разрешение составляло 0.5 нм. В коме кометы зарегистрированы эмиссионные полосы молекул C_2 , CN, CH и NH_2 . Нормированный спектральный градиент отражательной способности составляет 11.95 ± 3.45 % на 100 нм и 7.90 ± 2.81 % на 100 нм в диапазонах $\lambda = 450...567$ и $565...676$ нм соответственно. Значения параметра $A_f = 77 \pm 9$, 81 ± 9 и 79 ± 9 см для континуумных фильтров BC, GC и RC соответственно свидетельствуют об очень низком содержании пыли в комете Энке. Скорость производства газовых молекул, определенная с помощью модели Хазера, составляет $1.12 \cdot 10^{25}$ мол/с для молекул C_2 ($\lambda = 0$) и $3.82 \cdot 10^{24}$ мол/с для $NH_2(0,10,0)$.
Ключевые слова: комета, спектр, пыль.*

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдения короткопериодической кометы 2P/Енске (далее — комета Энке) проводятся уже свыше 230 лет с момента ее открытия Пьером Мешеном в 1786 году. Среди известных комет она обладает одним из самых коротких периодов обращения вокруг Солнца — 3.3 года, что

обусловило накопление весьма продолжительного ряда данных. Еще при открытии кометы было установлено, что ее период обращения вокруг Солнца изменяется, уменьшаясь с каждым оборотом, но причиной этого не может быть гравитационное возмущение со стороны планет [22]. В 1950 г. Фрэд Уиппл объяснил этот эффект действием реактивных сил [32], которые возникают при сублимации водяного льда с поверхности ядра кометы в сочетании с собственным вращением ядра.

Эффективный радиус ядра кометы равен 2.4 ± 0.3 км, геометрическое альbedo — 0.047 ± 0.023 [14], а приблизительный период вращения ядра составляет 15.2 ± 0.3 ч [10]. Ось вращения ядра кометы Энке лежит почти в плоскости ее орбиты [28, 30].

Комета Энке отличается большой асимметрией в производительности большинства молекул и пыли, а также асимметрией кривой блеска относительно перигелия [3, 4, 6]. Содержание молекул CN, C₂ и C₃ в комете Энке такое же, как и у типичных комет. Исключением является молекула NH, содержание которой меньше в 2-3 раза, чем в других кометах [26].

Если судить по данным в оптическом диапазоне длин волн, то можно заключить, что комета является одной из наиболее бедных пылью и имеет очень низкую производительность пыли [4, 18, 24]. Ссылаясь на результаты [5, 7], Дорман с сотрудниками [12] отметили, что комета Энке является очень хорошим примером для изучения газовой составляющей кометной комы из-за низкого содержания пыли. Пылевая кома сосредоточена в небольшой околоядерной области, тогда как газовая кома распространяется на большие расстояния от ядра [19]. С другой стороны, инфракрасные наблюдения показали [28], что отношение пыль/газ по массе в комете Энке в 10...30 раз больше, чем было определено из наблюдений в видимой области спектра. Герц с коллегами [15] нашли очень слабые силикатные эмиссии в комете и предположили, что большие частицы с радиусом 5...10 мкм ответственны за инфракрасный континуум. Комета Энке считается одним из источников межпланетной пыли в Солнечной системе [31] и идентифицируется как источник метеорных потоков -Тауриды и Южные Тауриды.

В данной работе представлены результаты спектральных наблюдений кометы Энке, проведенные в ноябре 2003 г. на 1-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН). Ниже мы описываем основные характеристики наблюдений, обработку данных и обсуждаем полученные результаты.

НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Наблюдения кометы Энке были проведены 15 и 22 ноября 2003 года на 1-м телескопе фирмы «Карл Цейс» САО РАН соответственно за 44

и 37 сут до прохождения кометой перигелия 29 декабря 2003 г. Спектры были получены с помощью спектрографа UAGS, установленного в первичном фокусе телескопа. В качестве ПЗС-приемника излучения использовалась матрица EEV 42-40 размером 2048 × 2048 пкп (13.5 × 13.5 мкм). Спектры получены со щелью высотой 3.5 и шириной 8 . 15 ноября спектры кометы получены в диапазоне длин волн 410...580 нм, а 22 ноября — в диапазоне 560...720 нм. Спектральное разрешение составляет примерно 0.5 нм. В табл. 1 приведены характеристики наблюдений: время UT на момент начала экспозиции, гелио- и геоцентрическое расстояния кометы r и R , фазовый угол α , зенитное расстояние Z .

Таблица 1. Журнал наблюдений кометы Энке в ноябре 2003 года

Дата, UT	r , а. е.	R , а. е.	α , град	Z , град	Суммарная экспозиция, с
15.7693	1.029	0.261	73.9	50	4500
22.7629	0.912	0.271	98.1	74	2700

Первичные редукции спектров были проведены с помощью набора программных кодов, написанных авторами с использованием языка IDL (<http://www.itvis.com/idl>). Редукции включали в себя вычитание нулевого кадра, коррекцию за плоское поле, привязку к длинам волн (в качестве стандарта использовалась He-Ne-Ar-лампа) и представление данных с равномерным шагом по шкале длин волн.

Для оценки уровня спектра ночного неба использован спектр неба, который наблюдался на кадрах с изображением кометного спектра в местах, где отсутствовали кометные эмиссии. После указанных редукций двумерный спектр кометы суммировался по пространственной координате для анализа распределения энергии в спектре кометы и поиска молекулярных эмиссий.

Наблюдаемый спектр стандартной звезды BD+28 4211 [25] был использован для учета влияния атмосферы и чувствительности приемника. Спектральная зависимость коэффициента пропускания земной атмосферы взята из работы [2].

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ КОМЕТЫ

Наблюдаемые интенсивности I в кометном спектре были пересчитаны в потоки F излучения согласно формуле

$$F_c(\lambda) = F_{st}(\lambda) \frac{I_c(\lambda)}{I_{st}(\lambda)}, \quad (1)$$

где $F_c(\lambda)$, $F_{st}(\lambda)$, $I_c(\lambda)$ и $I_{st}(\lambda)$ — потоки и наблюдаемые интенсивности

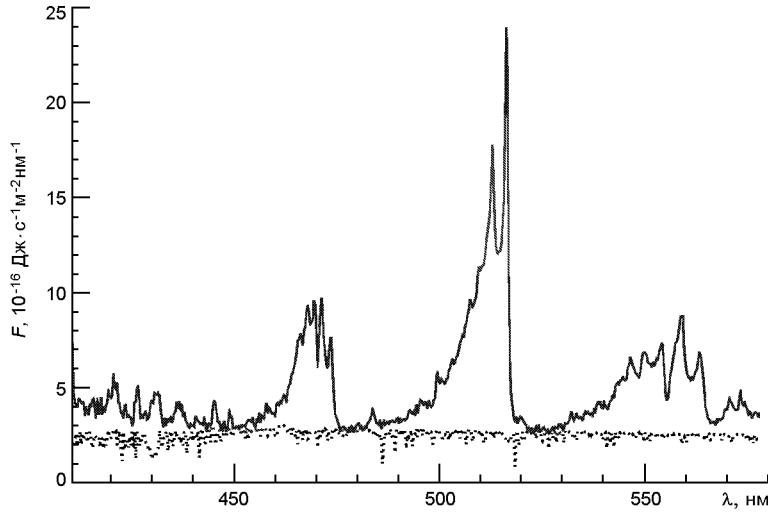


Рис. 1. Абсолютное распределение энергии (участок $\lambda = 410 \dots 580$ нм) в спектре кометы Энке, полученном 15 ноября 2003 г. (сплошная линия). Пунктиром показан уровень кометного континуума

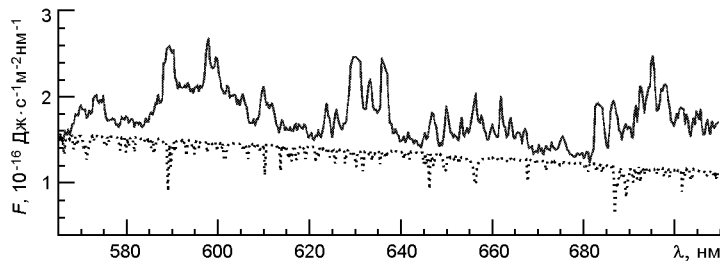


Рис. 2. То же для спектра, полученного 22 ноября 2003 г. ($\lambda = 565 \dots 710$ нм)

кометы и стандартной звезды соответственно, $p(\lambda)$ — спектральный коэффициент пропускания земной атмосферы, M — разница воздушных масс кометы и стандартной звезды. Спектры кометы Энке, полученные 15 и 22 ноября 2003 г., представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Для выделения эмиссионного спектра необходимо вычесть из кометного спектра непрерывный спектр. С этой целью мы использовали спектр Солнца высокого разрешения из работы [23], который путем свертки с помощью функции Гаусса, имеющей соответствующую полуширину спектрального профиля, был приведен к разрешению кометного спектра. Далее уровень солнечного спектра подбирался таким образом, чтобы быть как можно ближе к нижней границе кометного спектра в спектральных окнах, где преобладает континуум. Полученный непрерывный спектр кометы Энке представлен пунктиром на рис. 1 и 2.

Нормированный спектральный градиент отражательной способности. Распределение энергии в непрерывном спектре кометы ха-

рактируется так называемым эффектом покраснения, то есть увеличением эффективности рассеяния света с увеличением длины волны: $S(\lambda) = F_c(\lambda)/F_{Sun}(\lambda)$, где $F_c(\lambda)$ и $F_{Sun}(\lambda)$ потоки излучения от кометы и Солнца соответственно. Нормированный спектральный градиент отражательной способности можно представить следующим выражением:

$$S = \frac{2}{S_1} \frac{S_2}{S_2 - S_1} \frac{S_1}{\lambda_2 - \lambda_1}. \quad (2)$$

В формуле (2) величины S_1 и S_2 соответствуют отношению потока кометы к потоку от Солнца на длинах волн λ_1 и λ_2 , где $\lambda_2 > \lambda_1$. Используя эту формулу для наших данных за 15 и 22 ноября, мы получили значения S , равные $11.95 \pm 3.45\%$ на 100 нм и $7.90 \pm 2.81\%$ на 100 нм соответственно. Спектральные градиенты отражательной способности были рассчитаны для диапазонов длин волн 450...567 нм и 565... 676 нм соответственно. Полученные величины хорошо согласуются со средней оценкой спектрального градиента отражательной способности $8.9 \pm 1.6\%$ на 100 нм, определенной Джевиттом [17].

Отождествление молекулярных эмиссий. Для отождествления молекулярных эмиссий в спектрах кометы Энке были использованы лабораторные спектры молекул, которые ранее наблюдались в спектрах других комет. Были также рассчитаны теоретические спектры каждой отдельной молекулы. Приближение термодинамического равновесия использовалось при расчете теоретических интенсивностей вращательных переходов в молекулярных спектрах. В этом случае населенность вращательных и колебательных энергетических уровней можно описать с помощью распределения Больцмана, варьируя значениями вращательной и колебательной температур, которые являются только параметрами, не отображая физическое состояние кометного вещества. Несмотря на это, данное приближение часто используется при отождествлении эмиссий в кометах [8, 9].

В спектрах кометы Энке отождествлено 52 молекулярные эмиссии, детальное описание которых дано ниже. Результирующие эмиссионные спектры кометы Энке с обозначением всех отождествленных эмиссий показаны на рис. 3 и 4.

Молекула C_2 . Самыми интенсивными эмиссиями в исследуемых спектрах являются эмиссии, принадлежащие молекуле C_2 — полосы Свана. Мы смогли отождествить 13 эмиссионных линий колебательных переходов $v = +1$, $v = 0$ и $v = -1$ в спектре, полученном 15 ноября (рис. 3), которые принадлежат электронному переходу $3^3 P_g - 3^3 P_1$. Также в спектре, полученном 22 ноября (рис. 4), была отождествлена полоса колебательного перехода $v = -2$ этого же электронного перехода. К сожалению, разрешение наблюдаемых спектров не позволило разделить вращательную структуру полос. В качестве опорных спектров использовались лабораторные списки линий из работы [27].

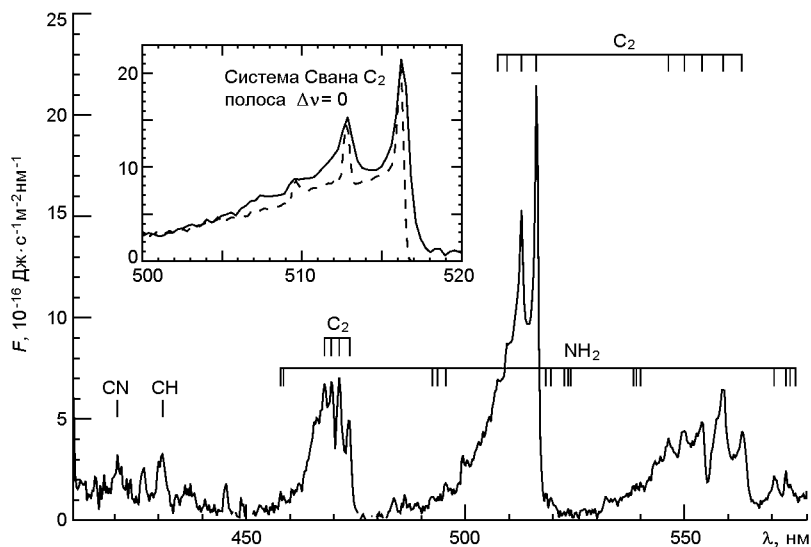


Рис. 3. Эмиссионный спектр кометы Энке, полученный 15 ноября 2003 г. Вертикальные штрихи соответствуют отождествленным эмиссионным линиям. На отдельном фрагменте — наблюдаемая полоса молекулы C_2 ($\nu = 0$) (сплошная линия) и лабораторный спектр C_2 , который использовался для отождествления (штриховая линия)

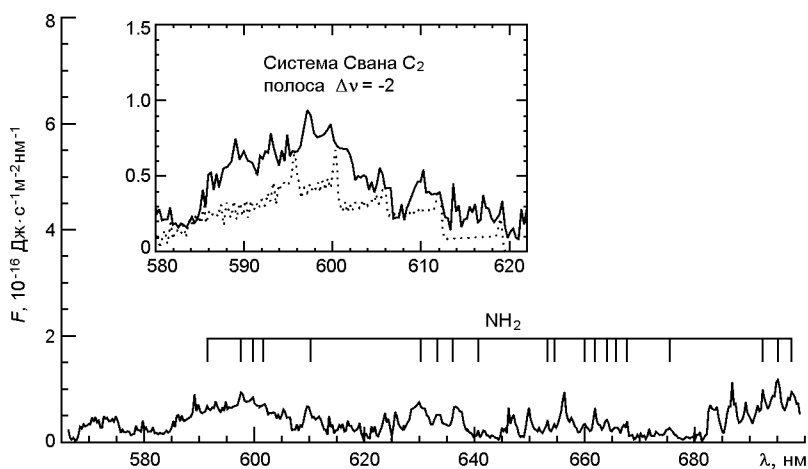


Рис. 4. Эмиссионный спектр кометы Энке, полученный 22 ноября 2003 г. Каждая отождествленная спектральная деталь показана соответствующим штрихом. На отдельном фрагменте — наблюдаемая полоса молекулы C_2 ($\nu = -2$) с наложенными эмиссиями молекулы NH_2 (сплошная линия) и лабораторный спектр C_2 , который использовался для отождествления (штриховая линия)

Молекула CH. В спектре, полученном 15 ноября (рис. 3), отождествлена одна эмиссия молекулы CH, которая принадлежит колебательному переходу 0-0 электронного перехода $A^2 - X^2$. Для отождествления были использованы спектры из работы [1].

Молекула NH₂. Эмиссионные полосы молекулы NH₂ (рис. 3 и 4) были отождествлены в спектрах, полученных в обе ночи наблюдений: 17 и 20 эмиссий в спектрах от 15 и 22 ноября, соответственно. Для определения длин волн использовались лабораторные измерения [13]. Все они принадлежат электронному переходу A²A¹—²B¹ и соответствуют колебательным переходам (0,13,0), (0,12,0), (0,11,0), (0,10,0), (0,9,0), (0,8,0), (0,7,0) и (0,6,0). Некоторые из отождествленных полос представляют собой наложение эмиссий молекулы NH₂ и молекулы C₂.

Молекула CN. В спектре, полученном 15 ноября (рис. 3), была отождествлена одна эмиссия, принадлежащая фиолетовой системе полос молекулы CN. Она соответствует колебательному переходу (0-1) электронного перехода B²+—X²+. Теоретические спектры для этой молекулы были рассчитаны с помощью программного обеспечения LIFBASE [21], разработанного для расчета электронных спектров двухатомных молекул.

Список отождествленных молекулярных эмиссий представлен в табл. 2, где l_{obs} — длина волны эмиссии в наблюдаемом спектре кометы, l_{calc} — соответствующая длина волны в опорном спектре молекулы. Двойные значения в графе l_{calc} отвечают случаю, когда линию в наблюдаемом спектре формируют две слившиеся линии из опорных спектров молекул.

Скорость производства молекул. Для оценки скорости производства газовых молекул использована модель Хазера [16], согласно которой ядро кометы — это точечный источник вещества, которое вылетает в кому равновероятно во всех направлениях и с постоянной скоростью. В рамках данной модели количество молекул на луче зрения в столбе с единичным сечением выражается формулой

$$N(x) = \frac{Q}{2v} \frac{l_d}{l_p} \frac{1}{l_d} \exp \frac{\sqrt{x^2 - z^2}}{l_p} \exp \frac{\sqrt{x^2 - z^2}}{l_d} \frac{dz}{x^2 - z^2}, \quad (3)$$

где Q — скорость производства газовых молекул, v — скорость вылета молекул из ядра, l_p , l_d — характерные пробеги родительских и дочерних молекул, x — расстояние от ядра кометы в проекции на небесную сферу, z — расстояние вдоль луча зрения.

Потоки энергии $F(x)$ в столбе на луче зрения получены из наблюдений путем интегрирования потока излучения в эмиссионной полосе в соответствующих спектральных диапазонах. Так как преобладающим механизмом излучения молекулярных эмиссий является резонансная флуоресценция, то для определения количества молекул в столбе с единичным сечением $N(x)$ на луче зрения (формула (3)) можно использовать известное значение эффективности флуоресценции (g -фактор) для соответственных спектральных переходов. В этом случае корректным будет следующее соотношение:

Таблица 2. Список отождествленных эмиссионных линий в спектре кометы Энке

<i>obs</i> , нм	<i>calc</i> , нм	Молекула	<i>obs</i> , нм	<i>calc</i> , нм	Молекула
15 ноября 2003 г.			22 ноября 2003 г.		
420.62	420.38	CN	591.50	591.55	NH ₂
	421.28		597.65	597.61	NH ₂
430.91	430.36	CH	599.81	599.52	NH ₂
	431.62		601.65	601.91	NH ₂
457.88	458.73	NH ₂	610.27	609.72	NH ₂
458.48	459.37	NH ₂	630.27	628.55	NH ₂
467.89	467.77	C ₂		629.83	
469.41	469.67	C ₂	633.34	633.18	NH ₂
471.23	471.42	C ₂	636.11	636.06	NH ₂
473.66	473.64	C ₂		636.86	
492.49	492.50	NH ₂	640.71	640.69	NH ₂
493.71	493.77	NH ₂	653.34	653.32	NH ₂
495.53	495.36	NH ₂	654.57	654.76	NH ₂
507.39	507.72	C ₂	660.11	660.04	NH ₂
509.52	509.62	C ₂	661.96	661.80	NH ₂
512.87	512.79	C ₂	664.11	664.04	NH ₂
516.22	516.44	C ₂	665.74	665.48	NH ₂
518.35	518.66	NH ₂	667.80	667.24	NH ₂
519.57	519.45	NH ₂	675.49	675.09	NH ₂
522.61	522.31	NH ₂		675.49	
523.53	523.10	NH ₂	692.41	692.73	NH ₂
524.13	523.89	NH ₂	695.18	695.45	NH ₂
538.46	538.48	NH ₂	697.64	697.05	NH ₂
539.07	538.95	NH ₂			
539.98	539.90	NH ₂			
546.38	546.88	C ₂			
550.04	550.05	C ₂			
554.01	554.02	C ₂			
558.89	558.45	C ₂			
563.17	563.37	C ₂			
570.50	570.22	NH ₂			
573.25	573.25	NH ₂			
574.17	574.20	NH ₂			
575.39	575.31	NH ₂			

$$N(x) = \frac{4}{g} \frac{F(x)}{g}. \quad (4)$$

Множитель $g/4$ соответствует количеству энергии, переизлученной одной молекулой за секунду в телесный угол, равный одному стерadianу, — телесный угол, который определяет проекцию единичного элемента приемника излучения на небесную сферу.

Имея величины абсолютных потоков от кометы и определив по формуле (4) количество молекул на луче зрения в столбе с единичным сечением, можно найти искомую величину газопроизводительности,

сравнивая наблюдаемое количество молекул на луче зрения в столбце единичного сечения с соответствующим значением, рассчитанным по модели Хазера.

Чтобы учесть тот факт, что щель спектрографа не является круглой, для корректного расчета газопроизводительности по формуле Хазера был введен в измеренные данные множитель, равный отношению площадей используемой апертуры и щели спектрографа в пределах этой апертуры.

При расчете скорости производства молекул в комете Энке по модели Хазера был использован ряд модельных параметров, которые приведены в табл. 3, где Δ — интервал длин волн, в котором суммировался поток излучения. В последней графе таблицы приведен показатель n степенной зависимости параметров от гелиоцентрического расстояния кометы ($\propto r^{-n}$). Значения параметров для молекулы C_2 взяты из работы [20], а для молекулы NH_2 — из [11]. Значение скорости истечения газа рассчитывалась согласно зависимости $v \propto r^{0.5}$ км/с [20].

Используя указанный набор параметров из табл. 3, мы были вычислили скорости Q производства молекул C_2 по данным для двух полос системы Свана ($\Delta = +1$, $\Delta = 0$) и молекул NH_2 для полосы (0,10,0) (см. табл. 4).

Из сравнения полученных нами значений Q и оценок [20] можно сделать вывод, что скорости производства молекул C_2 и NH_2 в комете Энке в появлении 2003 г. близки к средним значениям для выборки короткопериодических комет на близких гелиоцентрических расстояниях. А'Хирн и др. [4] получили для кометы Энке в появлении 1977 г. значение $Q(C_2) = 4.37 \cdot 10^{25}$ мол/с на расстоянии 0.6...0.7 а.е., что немного превышает полученные нами значения $Q(C_2)$ (табл. 4). Прежде всего такое различие может быть объяснено разными гелиоцентрическими расстояниями, на которых наблюдалась комета в этих двух появле-

Таблица 3. Параметры, которые использовались для расчета скорости производства молекул (для $r = 1$ а. е.)

Молекула	Δ , нм	g , 10^{-20} Ватт/мол	l_d , 10^4 км	l_p , 10^4 км	n
$C_2(\Delta = +1)$	446.0...477.0	2.4	3.16	3.98	2
$C_2(\Delta = 0)$	486.0...518.5	4.5	3.16	3.98	2
$NH_2(0,10,0)$	567.5...576.0	0.185	6.2	0.41	1.55

Таблица 4. Скорости производства молекул C_2 и NH_2 в комете Энке

Дата, UT	r , а. е.	v , а. е.	Q , 10^{24} мол/с		
			$C_2(\Delta = +1)$	$C_2(\Delta = 0)$	$NH_2(0,10,0)$
15.7693	1.029	0.261	9.26	11.22	—
22.7629	0.912	0.271	—	—	3.82

ниях (наши наблюдения проводились на $r = 1.03$ а. е.). С другой стороны, при расчетах использовались несколько разные значения сил осцилляторов и времени жизни молекулы C_2 . В работе [29] исследуется спектр кометы Энке высокого разрешения, полученный в близкое к нашим наблюдениям время, 11 ноября 2003 г. Отмечено, что предварительный анализ спектров кометы указывает на малое количество эмиссионных полос в спектре, что свидетельствует о низкой газопроизводительности кометы в данный период. Наблюдения кометы Энке в последнем появлении в январе 2017 г. показали, что скорости производства молекул C_2 и NH_2 несколько выше: $6.15 \cdot 10^{25}$ мол/с и $2.53 \cdot 10^{25}$ мол/с соответственно [Kiselev et al., частное сообщение], что соответствует среднему значению газопроизводительности короткопериодических комет на сравнимых гелиоцентрических расстояниях [4, 20]. Такие различия в скорости производства молекул C_2 в комете Энке могут указывать на небольшие вариации газопроизводительности кометы в разных появлениях.

Производительность пыли. В качестве параметра для оценки производительности пыли в кометах обычно используется параметр Af , предложенный А'Хирном и др. [7]:

$$Af = \frac{(2r)^2 F_{com}(\lambda)}{F_{Sun}(\lambda)}. \quad (5)$$

Здесь A — сферическое альbedo, f — коэффициент, который характеризует степень заполненности пылевыми частицами поля зрения, r — значение радиуса апертуры, выраженное в сантиметрах, r и λ — гелио- и геоцентрическое расстояния, выраженные в астрономических единицах и сантиметрах соответственно; F_{com} и F_{Sun} — потоки в спектре кометы и Солнца. Для вычисления потоков солнечного излучения в заданном диапазоне длин волн был использован спектр Солнца, взятый из работы [23]. Так как параметр Af не зависит от размера диафрагмы, то формула (5) широко используется для определения относительной меры производительности пыли в разных кометах, несмотря на то что условие изотропного рассеяния света на пылинках в атмосферах комет явно не соблюдается.

Для оценки производительности пыли Af в спектрах кометы были выбраны интервалы длин волн, где преобладает континуум. В спектре 15 ноября — это диапазоны, соответствующие узкополосным кометным фильтрам BC ($\lambda_{эф} / \Delta\lambda = 443/3.6$ нм) и GC ($\lambda_{эф} / \Delta\lambda = 525.6/5.7$ нм), а в спектре, полученном 22 ноября — RC ($\lambda_{эф} / \Delta\lambda = 684/8.3$ нм). Используя формулу (5), мы произвели соответствующие расчеты. Так как спектр кометы был получен со щелью, а параметр Af рассчитывается для круглой диафрагмы, то мы приравнивали площадь щели к площади круга с эффективным радиусом, который и был выбран в качестве размера апертуры. В результате выбранный размер апертуры составил 23.1λ , что соответствует 4378 км на рассто-

янии кометы 15 ноября и 4545 км — 22 ноября. Значения параметра Af составили 77 ± 9 , 81 ± 9 и 79 ± 9 см для полос BC, GC и RC соответственно.

По данным работы [26] параметр Af для кометы Энке на близких гелиоцентрических расстояниях (~ 1 а.е.) составил около 58 см. Эта величина довольно хорошо согласуется с полученными нами значениями. В то же время значения Af , определенные нами, и оценки [26] значительно меньше средней величины $Af = 2500$ см, полученной для выборки комет на близких к нашим гелиоцентрическим расстояниям [20].

ВЫВОДЫ

В результате анализа спектров кометы 2P/Encke, полученных 15 и 22 ноября 2003 г., сделаны следующие выводы:

— в спектрах кометы зарегистрированы эмиссии, которые принадлежат молекулам C_2 , NH_2 , CN и CH . Всего отождествлено 52 эмиссионные линии;

— нормированный спектральный градиент отражательной способности составляет 11.95 ± 3.45 % на 100 нм и $(7.90 \pm 2.81$ % на 100 нм в диапазонах длин волн 450...567 и 565...676 нм соответственно;

— с помощью модели Хазера определены скорости производства молекул C_2 и NH_2 : $Q(C_2(v=+1)) = 9.26 \cdot 10^{24}$ мол/с, $Q(C_2(v=0)) = 1.12 \cdot 10^{25}$ мол/с и $Q(NH_2(0,10,0)) = 3.82 \cdot 10^{24}$ мол/с.

— производительность пыли в комете Энке, определяемая параметром Af , составляет 77 ± 9 , 81 ± 9 и 79 ± 9 см для спектральных полос BC, GC и RC соответственно, что характерно для малозапыленных комет.

Е. Шубина благодарит Национальную стипендиальную программу Словацкой Республики (проект SAIA) за финансовую поддержку. А. Иванова благодарит Программу SASPRO, Marie Curie Actions, седьмую рамочную программу Европейского союза в рамках REA № 609427 и Словацкую академию наук (грант Vega 2/0023/18). Авторы благодарны Ю. Сизоненко и С. Борисенко за помощь во время первичной обработки изображений, а П. Корсуну — за дискуссию в части отождествления эмиссий в спектре.

1. Добровольский О. В. Кометы. М.: Наука, 1996. 288 с.
2. Карташова Т. А., Чунакова Н. М. Спектральная прозрачность атмосферы в САО АН СССР в 1974—1976 гг. *Астрофиз. исслед. Изв. спец. астрофиз. обсерв.* 1978. 10. С. 44—52.
3. A'Hearn M. F., Birch P. V., Feldman P. D., Millis R. L. Comet Encke: Gas production and light curve. *Icarus*. 1985. 64. P. 1—10.
4. A'Hearn M. F., Millis R. L., Birch P. V. Gas and dust in some periodic comets. *Astron. J.* 1979. 84, № 4. P. 570—579.

5. A'Hearn M. F., Millis R. L., Schleicher D. G., et al. The ensemble properties of comets: results from narrowband photometry of 85 comets, 1976—1992. *Icarus*. 1995. 118. P. 223—270.
6. A'Hearn M. F., Millis R. L., Thompson D. T. The disappearance of OH from comet Encke. *Icarus*. 1983. 55. P. 250—258.
7. A'Hearn M. F., Schleicher D. G., Millis R. L., et al. Comet Bowell 1980b. *Astron. J.* 1984. 89. P. 579—591.
8. Arpigny C. Comet spectra. Comets. Scientific data and missions. Tucson: Univ. Arizona Press, 1972. P. 84—111.
9. Arpigny C. Interpretation of comet spectra. The study of comets. U. S. Government Printing Office, 1976. P. 797—838.
10. Belton M. J. S., Samarasinha N. H., Fernández Y. R., Meech K. J. The excited spin state of comet 2P/Encke. *Icarus*. 2005. 175. P. 181—193.
11. Cochran A. L., Barker E. S., Ramseyer T. F., Storrs A. D. The McDonald observatory faint comet survey: gas production in 17 comets. *Icarus*. 1992. 98. P. 151—162.
12. Dorman G., Pierce D. M., Cochran A. L. The spatial distribution of C₂, C₃, and NH in comet 2P/Encke. *Astrophys. J.* 2013. 778. P. 140—154.
13. Dressler K., Ramsay D. A. The electronic absorption spectra of NH₂ and ND₂. *Phil. Trans. Roy. Soc. London A.* 1959. 251. P. 553—604.
14. Fernández Y. R., Lisse C. M., Kaufl H. U., et al. Physical properties of nucleus of comet 2P/Encke. *Icarus*. 2000. 147. P. 145—160.
15. Gehrz R. D., Ney E. P., Piscitelli J., et al. Infrared photometry and spectroscopy of comet P/Encke. *Icarus*. 1989. 80. P. 280—288.
16. Haser L. Distribution d'intensité dans la tête d'une comète. *Bull. Acad. roy. Belg., Cl. Sci.* 1957. 43. P. 740—750.
17. Jewitt D. From Kuiper Belt object to cometary nucleus: The missing ultrared matter. *Astron. J.* 2002. 123. P. 1039—1049.
18. Jewitt D. Looking through the HIPPO: nucleus and dust in comet 2P/Encke. *Astron. J.* 2004. 128. P. 3061—3069.
19. Jockers K., Szutowicz S., Villanueva G., et al. Gas and dust in Comet 2P/Encke observed in the visual and submillimeter wavelength ranges. *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel, Suppl.* 2005. 5. P. 458—464.
20. Langland-Shula L. E., Smith G. H. Comet classification with new methods for gas and dust spectroscopy. *Icarus*. 2011. 213. P. 280—322.
21. Luque J., Crosley D. R. LIFBASE: Database and spectral simulation program (version 1.5). *SRI International Report* MP 99-009. 1999.
22. Marsden B. G., Sekanina Z. Comets and nongravitational forces. VI. Periodic comet Encke 1786—1971. *Astron. J.* 1974. 79, N 3. P. 413—419.
23. Neckel H., Labs D. The solar radiation between 3300 and 12500 Å. *Solar Phys.* 1984. 90. P. 205—258.
24. Newburn R. L., Spinrad H. Spectrophotometry of seventeen comets. II — The continuum. *Astron. J.* 1985. 90. P. 2591—2608.
25. Oke J. B. Faint spectrophotometric standard stars. *Astron. J.* 1990. 99. P. 1621—1631.
26. Osip D. J., Schleicher D. G., Millis R. L. Comets: groundbased observations of spacecraft mission candidates. *Icarus*. 1992. 98. P. 115—124.
27. Phillips J. G., Davis S. P. The Swan system of the C₂ molecule. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 2002. 260 p.
28. Reach W. T., Sykes M. V., Lien D., Davies J. K. The formation of Encke meteoroids and dust trail. *Icarus*. 2000. 148. P. 80—94.

29. Saba L., Capria M. T., Cremonese G. High-resolution observations of 2P/Encke comet: preliminary results. *Mem. Soc. astron. ital. Suppl.* 2005. 6. P. 137—141.
30. Sekanina Z. Fan-shaped coma, orientation of rotation axis, and surface structure of a cometary nucleus. I — Test of a model on four comets. *Icarus*. 1979. 37. P. 420—442.
31. Sekanina Z., Schuster H. E. Dust from periodic comet Encke: Large grains in short supply. *Astron. and Astrophys.* 1978. 68. P. 429—435.
32. Whipple F. L. A comet model. I. The acceleration of comet Encke. *Astrophys. J.* 1950. 111. P. 375—394.

Статья поступила в редакцию 29.03.2018

*О. С. Шубіна*¹, *М. В. Борисов*², *О. В. Іванова*^{1,3}, *В. К. Розенбуш*^{1,4}

¹Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ, Україна

²Спеціальна астрофізична обсерваторія Російської академії наук, Нижній Архиз, Росія

³Астрономічний інститут Словацької академії наук, Татранська Ломниця, Словацька Республіка

⁴Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

СПЕКТР КОРОТКОПЕРИОДИЧНОЇ КОМЕТИ 2P/ENCKE У ПОЯВІ 2003 р.

Аналізуються спектри комети 2P/Енке, отримані 15 і 22 листопада 2003 р. в діапазонах довжин хвиль $\lambda = 410 \dots 580$ нм і $560 \dots 720$ нм відповідно за допомогою спектрографа UAGS, встановленого на 1-м телескопі фірми «Карл Цейс» Спеціальної астрофізичної обсерваторії Російської академії наук. Спектральна роздільна здатність становила 0.5 нм. У комі комети зареєстровано емісійні смуги молекул C₂, CN, CH і NH₂. Нормований спектральний градієнт відбивної здатності становить 11.95 ± 3.45 % на 100 нм і 7.90 ± 2.81 % на 100 нм в діапазонах $\lambda = 450 \dots 567$ і $565 \dots 676$ нм відповідно. Значення параметра $Af = 77 \pm 9$, 81 ± 9 і 79 ± 9 см для континуумних фільтрів BC, GC і RC свідчать про дуже низький вміст пилу в кометі Енке. Швидкість продукування газових молекул, визначена за допомогою моделі Хазера, становить $1.12 \cdot 10^{25}$ мол/с для молекул C₂ ($\lambda = 0$) і $3.82 \cdot 10^{24}$ мол/с для NH₂ (0,10,0).
Ключові слова: комета, спектр, пил.

*О. S. Shubina*¹, *N. V. Borisov*², *O. V. Ivanova*^{1,3}, *V. K. Rosenbush*^{1,4}

¹Main Astronomical Observatory of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²Special Astrophysical Observatory, Nizhnij Arkhyz, Russia

³Astronomical Institute of Slovak Academy of Sciences, Tatranská Lomnica, Slovak Republic

⁴Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

SPECTRUM OF SHORT-PERIODIC COMET 2P/ENCKE IN THE APPARITION OF 2003

We analysed the spectra of comet 2P/Encke obtained on November 15 and 22, 2003 within the wavelength ranges 410—580 nm and 560—720 nm, with the help of the UAGS spec-

trograph on the 1-m telescope Zeiss-1000 of Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences. The spectral resolution is about 0.5 nm. In the cometary coma, the emission bands of C₂, CN, CH, and NH₂ molecules are detected. The normalized spectral gradient of reflectivity is 11.95 ± 3.45 % per 100 nm and 7.90 ± 2.81 % per 100 nm in the wavelength bands 450—567 nm and 565—676 nm, respectively. The values of parameter $Af' = 77 \pm 9$, 81 ± 9 , and 79 ± 9 cm for the BC, GC, and RC continuum filters, respectively, reflect a very low dust content in comet Enke. Using the Haser model, we determined the production rate of gas molecules: $1.12 \cdot 10^{25}$ mol/s for C₂ ($v = 0$) and $3.82 \cdot 10^{24}$ mol/s for NH₂ (0,10,0).

Key words: comet, spectrum, dust.