

УДК 523.4

**В. В. Клецонок, И. В. Лукьяник, К. И. Чурюмов,  
В. А. Пономаренко**

Астрономическая обсерватория  
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко  
ул. Обсерваторная 3, Киев-53, 04053  
klev@observ.univ.kiev.ua

### **Физические параметры нейтральной составляющей комы кометы 103P/Хартли 2**

*Получены некоторые физические параметры нейтральной составляющей комы кометы 103/P Хартли по моделям Хазера и Шульмана. Для компенсации быстрого собственного движения комет при фотометрических наблюдениях исследуются две методики: восстановление изображений алгоритмами решения обратной задачи и метод эффективных диафрагм. Показано, что метод эффективных диафрагм предпочтительнее.*

*ФІЗИЧНІ ПАРАМЕТРИ НЕЙТРАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ КОМИ КОМЕТИ 103/P ГАРТЛІ 2, Клецонок В. В., Лук'яник І. В., Чурюмов К. І., Пономаренко В. О. — Отримано деякі фізичні параметри нейтральної складової коми комети 103/P Гартлі в рамках моделей Газера і Шульмана. Для компенсації швидкого власного руху комет при фотометричних спостереженнях досліджуються дві методики: відновлення зображення алгоритмами розв'язання оберненої задачі і метод ефективних діафрагм. Показано, що метод ефективних діафрагм використовувати доцільніше.*

*PHYSICAL PARAMETERS OF NEUTRAL COMPONENT OF COMA OF COMET 103/P HARTLEY 2, by Kleschonok V. V., Luk'yanyuk I. V., Churyumov K. I., Ponomarenko V. A. — Some physical parameters of the neutral component of the coma comet 103/P Hartley were calculated by Hazer and Shulman models. To compensate for fast own comet's movement for photometric observations two methods are investigated: recovery of the image by algorithms of the solution of the return task and method of effective diaphragms. It is shown that the method of effective diaphragms is preferable.*

## ВВЕДЕНИЕ

Комета 103P/Хартли 2 принадлежит к кометам семейства Юпитера. Она имеет период вращения вокруг Солнца 6.46 г. Перигелийное расстояние кометы составляет 1.05 а. е., что позволяет ей близко подходить к Земле. С момента её открытия в 1986 г. комета наблюдалась при её каждом возвращении. Большой интерес к изучению кометы 103P/Хартли 2 связан с проведением космических исследований в непосредственной близости от ядра. Уникальные результаты были получены во время пролета космической миссии «Эпокси» (EPOXI) 4 ноября 2010 г. на расстоянии 700 км от ядра кометы. Были получены изображения ядра с высоким разрешением. Ядро имеет неправильную вытянутую форму со средним радиусом  $0.58 \pm 0.018$  км и разбросом диаметров для разных сечений 0.69...2.33 км [15]. Наблюдения с помощью космического телескопа Спитцер (Spitzer) в августе 2008 г. показали, что ядро кометы имеет низкое альbedo 0.028 [12]. Массу кометы оценивают примерно в  $3 \cdot 10^{11}$  кг [12].

## НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА

Для наблюдений использовался телескоп Цейс-600 ( $D = 60$  см,  $F = 7.2$  м) Международного центра астрономических и медико-экологических исследований (пик Терскол,  $H = 3100$  м, код В18). Регистрация проводилась ПЗС-камерой «PixelVision Vienna» (1024 × 1024 пкл) с набором узкополосных кометных фильтров [8]. Масштаб изображения 0.63 /пкл, поле зрения  $10.7 \times 10.7$ . Время экспозиции для всех изображений кометы составляло 90 с. В качестве звезд-стандартов использованы звезды HD 26912 (τ) и HD 30246 [8].

В табл. 1 приведены обстоятельства наблюдений: гелиоцентрическое расстояние  $r$ , геоцентрическое расстояние  $\rho$ , гелиоцентрическая скорость кометы  $V_r$ , приведенная скорость  $(d\rho/dt)\cos\alpha$  движения кометы по прямому восхождению, фазовый угол  $\alpha$  (угол  $\alpha$  между направлениями на наблюдателя и истинное положение Солнца).

Все кадры с кометой подвергались предварительной обработке по стандартной методике: из исходного изображения вычитался темновой кадр, а затем результат делился на кадр плоского поля. Темновой кадр рассчитывался с помощью медианной фильтрации 4-5 кадров, полученных при закрытом затворе с экспозицией, равной экспозиции кадров с кометой. Кадр плоского поля рассчитывался в несколько этапов. Сначала с помощью медианной фильтрации для каждого фильтра отдельно из 4-5 кадров сумеречного неба получался усредненный кадр. Затем для данной экспозиции рассчитывался темновой кадр по двум темновым кадрам: а) с экспозицией кометных изображений и б) с короткой экспозицией (BIAS). Для расчетов принималось, что шум в

**Таблица 1. Обстоятельства наблюдений кометы 103P/Хартли 2 (наблюдатель В. А. Пономаренко)**

Дата, октябрь 2010 г.	$r$ , а. о.	$\rho$ , а. о.	$V_r$ , км/с	$(d \rho / dt) \cos \delta$ , /ч	$d(\delta) / dt$ , /ч	$\delta$ , град	Фильтр	Количество экспозиций
19	1.067	0.121	-2.9	338	334	51.9	CN	9
							BC	8
							C2	8
							GC	8
							RC	8
24	1.060	0.123	-1.4	265	-373	54.9	BC	7
							C3	6
							C2	6
							GC	6
							RC	7
25	1.059	0.124	-1.0	249	-370	55.5	CN	8
							BC	9
							C3	8
							C2	8
							GC	8
							RC	8

пикселах линейно нарастает со временем. Такое допущение возможно, поскольку экспозиции сумеречного неба не превышали 5...10 с и уровень шума был достаточно слабый, так как камера имела охлаждение. Рассчитанный темновой кадр вычитался из усредненного кадра сумеречного неба. Результирующий кадр делился на среднюю интенсивность пикселей таким образом, чтобы усредненная интенсивность пикселей равнялась 1. В результате такой процедуры получались кадры плоского поля для каждого фильтра.

Во время наблюдений спектральная зависимость пропускания земной атмосферы не определялась. Она бралась по материалам [http://old.mao.kiev.ua/sol\\_ukr/terskol/ters\\_all.html](http://old.mao.kiev.ua/sol_ukr/terskol/ters_all.html). Разница воздушных масс звезды-стандарта и кометы в среднем составляла около 0,2, поэтому даже возможные неточности оценок экстинции не внесут большую погрешность в результат. Причем эта погрешность в основном будет влиять на абсолютные потоки от кометы и газопроизводительность. На характерные масштабы кометных эмиссий ошибки значений экстинции практически не сказываются.

После предварительной обработки проводилась очистка изображений кометы от фоновых звезд. Вначале производилось отождествление звезд, которые видны на кадре с кометой. Затем по найденным звездам определялась связь прямоугольной системы координат в кадре с небесными координатами. Далее считывались координаты звезд из каталога UCAC3 в окрестности кометы. По этим координатам рассчитывались положения звезд в кадре. Затем сигнал в пикселях с изображениями звезд заменялся линейной интерполяцией, которая рассчитывалась методом наименьших квадратов по соседним пикселям,

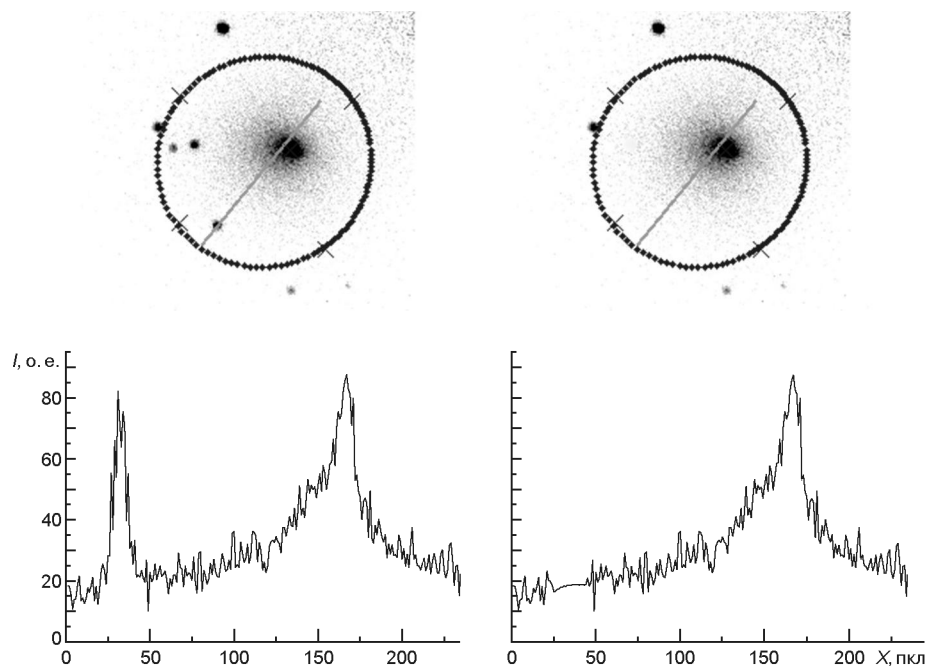


Рис. 1. Очистка изображения от звезд в процессе предварительной обработки кадров. Слева — исходное изображение в фильтре С2 19 октября 2010 г. и разрез через звезду и ядро кометы, справа — изображение и тот же разрез после процедуры очистки

которые находятся рядом с изображением звезды. Рис. 1 показывает исходное изображение и изображение кометы, очищенное от звезд. Для контроля в процессе работы над изображением можно было вывести произвольный разрез изображения без обработки и с удалением звезд. Подобные разрезы также представлены на рис. 1.

Для улучшения соотношения сигнал/шум все изображения кометы, которые были получены с одним фильтром за одну дату, складывались. И дальнейшая обработка производилась с таким составным изображением.

Для изображений кометы в эмиссионных линиях проводился расчет изображения в континууме для эффективной длины волны данного фильтра. Расчет проводился по изображениям в соседних фильтрах для континуума с учетом цветов в разных фильтрах аналога Солнца. Далее проводилось попиксельное вычитание рассчитанного изображения из изображения в эмиссионной полосе.

Таким образом получалось чистое изображение в молекулярной эмиссии без дополнительного вклада от пылевого компонента. Детально методика описана в работе [8].

#### МЕТОДИКА КОРРЕКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ КОМЕТЫ

Снимки изображений кометы производились с экспозицией 90 с. Такое время необходимо для получения приемлемого изображения. Из

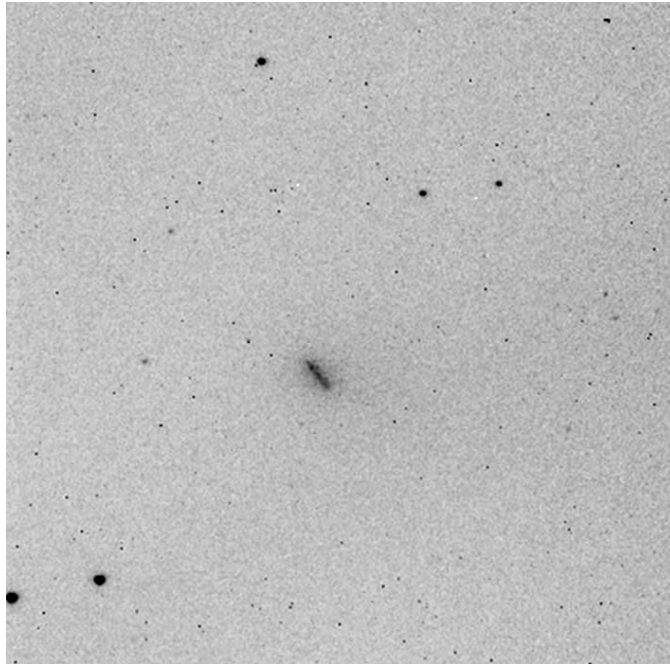


Рис. 2. Изображение кометы, полученное в полосе RC 25 октября 2010 г. с экспозицией 90 с

табл. 1 видно, что комета обладала большим собственным движением, поэтому изображение получалось сильно растянутым. Рис. 2 также демонстрирует данную проблему. К сожалению, по техническим проблемам проводить гидирование по комете не было возможности.

Для обработки таких кадров были использованы две методики. Первая методика базировалась на восстановлении исходного изображения методами решения обратной задачи. Использовались стандартные методы из пакета Image Processing Toolbox системы Matlab: винеровская фильтрация, регуляризованный фильтр, алгоритм Лаки — Ричардсона, слепой деконволюции (Blind Deconvolution). Все эти алгоритмы восстанавливали изображение с артефактами, которые делали невозможным последующий анализ изображений для изучения физических параметров атмосферы кометы.

Второй метод основан на использовании процедуры расчета интенсивностей, которые будут эквивалентны суммарной интенсивности от набора круговых диафрагм для точечного (несмазанного) изображения. При этом предполагается, что некоторые оценки физических параметров можно получить по интегральным величинам светового потока от кометы для круговых диафрагм.

Наши рассуждения были следующие.

С точки зрения цифровых числовых расчетов интегрирование изображения  $f(x,y)$  с круговой диафрагмой эквивалентно нахождению суммы

$$I(r) = \int_{x,y} f(x,y) g(x,y).$$

Здесь  $g(x, y)$  — цифровой образ круговой диафрагмы, которая рассчитывалась по формуле

$$g(x, y) = \begin{cases} 0, & r > r_d \\ 0.5, & r_d - 0.5 \leq r \leq r_d \\ 1, & r < r_d - 0.5 \end{cases}$$

где  $r_d$  — радиус диафрагмы,  $r$  — расстояние в пикселах от ядра кометы  $(x_0, y_0)$ . Такая диафрагма применяется для точечного (несмазанного) изображения. Для растянутого изображения с помощью цифрового фильтра из круговой диафрагмы формируется новая диафрагма (уже не круговая) с такими же параметрами размытия (растяжения), как у реального изображения кометы.

Проверка возможности подобного подхода для интегрирования смазанного изображения проводилась на численной модели. Модельное изображение задавалось в виде

$$f(r) = \frac{1}{a + r},$$

которое задает распределение яркости типичное для комет. Можно изменять степень конденсации модельного изображения, изменяя величину  $a$ . Модельное изображение задавалось радиусом в 30 пкл. Использовался набор значений  $a$ , который позволял получить отношение яркости в центре к яркости на краю в диапазоне 3—10. Аналогом реального наблюдения через круговую диафрагму является интеграл от поверхностной яркости по площади интегрирования. Для данного модельного изображения такой интеграл берется аналитически.

Точное значение интеграла сравнивалось с численными расчетами для двух случаев. Первый (рис. 3, *a*) отвечает круговой диафрагме и нерастянутому изображению. Второй (рис. 3, *б*) соответствует растянутому изображению и диафрагме, к которой применили цифровое преобразование. Для наглядности веса диафрагм приведены в пози-

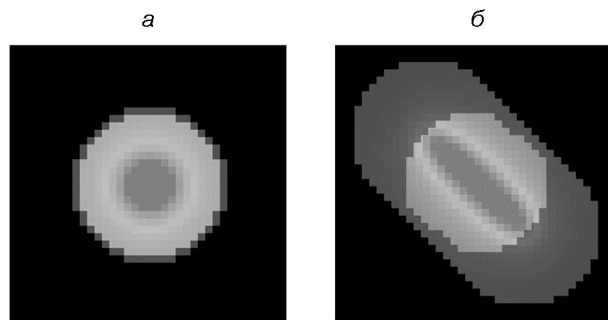


Рис. 3. Интегрирование модельного изображения для отношения яркости в центре к яркости на краю 3 с круговой диафрагмой (*a*) и смазанного изображения (*б*)

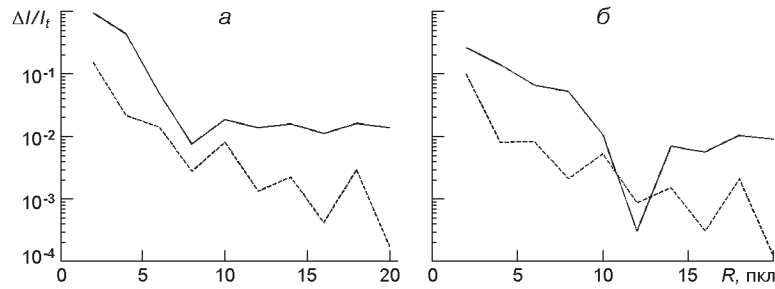


Рис. 4. Зависимость относительной ошибки  $\Delta/I_t$  интегрирования для неподвижного изображения с круговой диафрагмой  $R$  (пунктирная кривая) и смазанного изображения (сплошная кривая). Фрагмент  $a$  — диффузное изображение,  $b$  — конденсированное изображение

тивной палитре (0 — непрозрачный участок, 1 — прозрачный), а модельное изображение — в негативной. Изображения и численные веса пикселей формируются с помощью одного числового фильтра, который рассчитывает смазанное изображение с параметрами движения такими, как у исследуемой кометы. Для модельных вычислений и обработки кометных растянутых изображений использовались готовые модули из пакета Image Processing Toolbox системы Matlab.

Для оценки возможности применения данной методики были исследованы зависимости ошибки результатов интегрирования от радиуса диафрагмы в пикселях. На рис. 4 по оси абсцисс приведен радиус  $R$  диафрагмы, в пределах которой проводилось интегрирование, а по оси ординат — относительная ошибка  $\Delta/I_t$  численного интегрирования по отношению к точному значению. Пунктирная кривая демонстрирует поведение относительной ошибки для несмещенного изображения, сплошная — относительная ошибка численного интегрирования для растянутого изображения. Рис. 4,  $a$  соответствует диффузному изображению (отношение интенсивности в центре кометы к интенсивности на краю равно 3), рис. 4,  $b$  — для конденсированного изображения (отношение интенсивностей 10).

Для неподвижного изображения ошибка уменьшается с увеличением диафрагмы. Для смазанного изображения ошибка сначала уменьшается, а затем стабилизируется на уровне около 1 %. Такая качественная картина наблюдается для всех модельных изображений, независимо от отношений яркости в центре и на краю.

Таким образом, данная методика позволяет рассчитывать световые потоки для эффективной круговой диафрагмы изображения. Из рис. 4 видно, что для кометы, изображение которой растянуто вследствие значительного собственного движения, необходимо выбирать радиус диафрагмы больше 8 пкл, чтобы иметь приемлемую на практике точность.

При применении описанной выше методики удалось получить значения интенсивностей в круговых диафрагмах для нерастянутого изображения кометы, пригодные для дальнейших исследований.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НЕЙТРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ КОМЫ КОМЕТЫ 103P/ХАРТЛИ 2

Для интерпретации полученного наблюдательного материала использовались модели Хазера [9] и Л. М. Шульмана [2]. Модель Хазера одна из наиболее часто используемых, хотя и имеет ряд недостатков, главный из которых — неучёт лучевого давления Солнца на кометные молекулы. Хазер предположил, что кома кометы сферически симметрическая и что дочерние молекулы образуются в результате процессов фотодиссоциации. К тому же предполагается, что дочерние молекулы одного сорта образуются только из одного сорта родительских молекул в результате одношаговой реакции диссоциации. Многие исследователи (например М. А'Херн) указывают на физическую необоснованность этой модели, но тем не менее отмечают, что она правильно описывает наблюдаемые данные. Распределение плотности молекул в голове кометы Хазер описывает как

$$n = \frac{Q}{4\pi r^2 v} \left( \frac{e^{-\lambda_0 r}}{\lambda_0} - \frac{e^{-\lambda_1 r}}{\lambda_1} \right),$$

где  $Q$  — газопроизводительность родительских молекул,  $r$  — кометоцентрическое расстояние,  $v$  — скорость молекул,  $\lambda_0, \lambda_1$  — обратные величины длин пробегов родительских ( $L_{par}$ ) и дочерних молекул ( $L_{dot}$ ) соответственно.

Результаты расчета по модели Хазера приведены в табл. 2. В качестве стандартных значений пробегов на 1 а. е. для расчетов газопроизводительности взяты значения, которые приведены в работе [5]. Использованные значения фактора флуоресценции составляли  $\lg g = -12.347$  для молекул  $C_2$  [10],  $\lg g = -12.000$  для молекул  $C_3$  [4] и  $\lg g = -12.459$  для молекул CN [14] (величины  $g$  даны в эрг/с на одну молекулу).

Других оценок газопроизводительности кометы 103P/Хартли 2 по наблюдениям с узкополосными фильтрами в эти даты нет. Поэтому сравнение возможно только за более длительный интервал. В работе [10] приведены такие оценки производительности:  $\lg Q/v = 25.03(CN)$ ,  $24.50(C_3)$ ,  $25.10(C_2)$  на момент 01.17 октября 2010 г. и  $\lg Q/v = 25.27(CN)$ ,  $24.69(C_3)$ ,  $25.40(C_2)$  на момент 31.27 октября 2010 г. Как и для наших расчетов, в работе [10] также были использованы значения пробегов родительских и дочерних молекул из работы [5]. Наши оценки приблизительно соответствуют этим цифрам, за исключением данных за 19 октября 2010 г., которые показывают несколько более высокую производительность. Это возможно, если имеются флуктуации блеска комет. По данным наблюдений производительности пыли в этот период [13], как раз наблюдаются такие колебания с амплитудой  $0.3...0.4^m$ , что может объяснить разброс в наших результатах по газопроизводительности.



**Таблица 2. Значения параметров модели Хазера для кометы 103P/Хартли 2**

Дата, октябрь 2010 г.	Молекула	$L_{par}, 10^3$ км	$L_{par}, 10^3$ км	$L_{dots}, 10^4$ км	$L_{dots}, 10^4$ км	$\lg Q/v$ , мол/км
19	$C_2$	6.2	1.5	2.5	0.2	25.48±0.05
	$C_2$	4.9	1.5	2.5	0.2	25.41±0.05
	CN	4.2	1.6	3.8	0.3	25.37±0.07
24	$C_2$	5.5	1.5	6.4	0.2	24.97±0.05
	$C_2$	4.6	1.5	3.7	0.2	25.10±0.05
	$C_3$	8.8	2.6	29.5	3.3	23.93±0.06
25	$C_2$	7.5	1.5	1.8	0.2	25.14±0.05
	$C_2$	7.4	1.5	2.1	0.3	25.17±0.05
	$C_3$	3.6	1.1	36.1	5.2	24.15±0.06
	CN	6.4	1.5	10.9	0.9	25.06±0.08

Значения производительности пыли в единицах  $Af$  по изображению в фильтре GC, приведенные на стандартный размер области ( $R = 5000$  км), составили  $94 \pm 3$ ,  $91 \pm 3$  и  $92 \pm 3$  см для 19, 24 и 25 октября 2010 г. соответственно. Методика расчета производительности пыли и численные значения редуционных величин для используемых фильтров взяты из работы [8]. Полученные значения  $Af$  соответствуют данным, которые получены в рамках кампании по наземному сопровождению миссии Эпокси (ЕРОХИ) [13].

Л. М. Шульман [2] теоретически показал, что в кометных атмосферах осуществляется режим свободномолекулярного течения вещества. Применительно к этому случаю он получил общую формулу для вычисления поверхностной плотности кометной атмосферы для произвольного источника родительских молекул с центром в ядре кометы. При этом зона фотохимических превращений родительских молекул лежит во внутренних частях околоядерной области кометы. Распределение молекул по скоростям успевает быстро релаксировать к локально-максвелловскому из-за столкновений. В результате в переходной области головы кометы наблюдаются в основном дочерние молекулы.

Работа Л. М. Шульмана носит чисто теоретический характер. В. Л. Афанасьев [1] адаптировал его теорию для вычисления параметров течения газа из спектральных и фотометрических наблюдений комет. Он получил выражение для поверхностной яркости головы кометы [1]:

$$I(\theta, \varphi) = \frac{Q}{r_{0k}} \int_{r_{0c}} K_0(y) dy \left[ 1 - \frac{2}{r_{0c}} \sin \theta \cos \varphi + \frac{2Q}{r_{0c}} \cos E_i \right] \frac{1}{r_{0k}}, \quad (1)$$

где  $(\theta, \varphi)$  — полярные кометоцентрические координаты с полярной осью, направленной к Солнцу,  $K_0(y)$  — функция Макдональда,  $E_i(\theta, \varphi)$  — интегральная показательная функция,  $r_{0c} = 2V^2/g$ ,  $r_{0k} =$

**Таблица 3. Значения физических параметров молекул CN, C<sub>3</sub>, C<sub>2</sub> кометы 103P/Хартли 2**

Дата, октябрь 2010 г.	CN		C <sub>3</sub>		C <sub>2</sub>	
	$V$ , м/с	, $10^5$ с	$V$ , м/с	, $10^5$ с	$V$ , м/с	, $10^5$ с
19	590	0.62	—	—	640	1.28
24	—	—	—	—	610	1.1
25	540	0.52	560	0.75	580	0.85

**Таблица 4. Физические параметры молекулы C<sub>2</sub> избранных комет**

Комета	$r$ , а. е.	$V$ , м/с	, $10^6$ с	Литературный источник
C/2000 WM1 (LINEAR)	2.79	482.3	1.45	[6]
153P/Ikeya-Zhang	1.15	201	3.08	[7]

$V$ ,  $V$  — гидродинамическая скорость течения газа в атмосфере кометы, — время жизни светящихся молекул до их распада или ионизации,  $g$  — ускорение этих молекул под действием лучевой радиации Солнца, — фазовый угол кометы.

На основе выражения (1) в работе [11] была разработана методика определения гидродинамической скорости истечения кометных молекул и времени их жизни. Эта методика основывается на методе круговых диафрагм и применима для интерпретации фотометрических наблюдений комет в узких кометных фильтрах. К тому же этот метод малочувствителен к небольшим искажениям изображений комет, что является несомненным плюсом в нашем случае. Результаты расчета в рамках модели Л. М. Шульмана по методике [11] приведены в табл. 3.

Сравнение полученных оценок параметров для молекулы C<sub>2</sub> с аналогичными оценками для комет C/2000 WM1 (LINEAR) и 153P/Ikeya-Zhang [6, 7] позволяет сделать вывод о достоверности как полученных результатов, так и метода компенсации собственного движения кометы (табл. 4).

Результаты расчета физических параметров нейтральной составляющей комы кометы 103P/Хартли 2, полученные по модели Хазера и Л. М. Шульмана, несколько различаются. Так, из табл. 2 видим, что характерный пробег дочерних молекул C<sub>2</sub>  $L_{dot}$  находится в пределах (1.8...6.4)  $10^4$  км. Эта же величина из табл. 3 может быть получена умножением  $V$  на  $t$  и составляет (4.9...8.2)  $10^4$  км. Как видим, порядки величин совпадают, диапазоны величин пересекаются. Тем не менее, следует отметить, что в основу моделей Хазера и Л. М. Шульмана положены несколько различающиеся допущения. Модель Л. М. Шульмана более реалистична, поскольку учитывает лучевое давление, де-

формирующее кому кометы. Модель Хазера, в свою очередь, использует сферическую симметрию. В этой модели скорость истечения молекул не зависит от их типа, в отличие от модели Л. М. Шульмана. Соответственно результаты расчетов будут различаться, но совпадение по порядку величины, на наш взгляд, подтверждает применимость менее популярной модели Л. М. Шульмана для определения физических параметров нейтральной составляющей комы комет.

## ВЫВОДЫ

Исследованы два метода компенсации быстрого собственного движения кометы при фотометрических наблюдениях в узкополосных фильтрах. Первый базировался на методике восстановления исходного изображения методами решения обратной задачи. Этот метод восстанавливает изображение с артефактами, которые делают невозможным последующий анализ изображений для изучения физических параметров атмосферы кометы.

Второй метод основан на использовании процедуры расчета интенсивностей, эквивалентных суммарной интенсивности кометы, изображение которой получено с набором эффективных круговых диафрагм для несмазанного изображения кометы. Анализ показал, что для неподвижного изображения ошибка уменьшается с увеличением диафрагмы. Для смазанного изображения ошибка сначала уменьшается, а затем стабилизируется на уровне около 1 %.

Таким образом, данная методика позволяет рассчитывать световые потоки для эффективной круговой диафрагмы изображения.

Применение данной методики к фотометрическим наблюдениям кометы 103P/Хартли 2 позволило оценить некоторые физические параметры нейтральной составляющей атмосферы этой кометы. Так, в рамках модели Хазера были получены пробеги родительских и дочерних молекул CN, C<sub>3</sub>, C<sub>2</sub> на моменты наблюдений, а также газопроизводительность этих молекул. Кроме того, были получены времена жизни и гидродинамические скорости молекул CN, C<sub>3</sub>, C<sub>2</sub> в рамках модели Л. М. Шульмана.

1. Афанасьев В. Л. Физические характеристики нейтральной комы кометы Абе, 1970g // Пробл. космич. физики.—1974.—Вып. 9.—С.120—129.
2. Шульман Л. М. Динамика кометных атмосфер. Нейтральный газ. — Киев: Наук. думка, 1972.—242 с.
3. A'Hearn M. F. Spectroscopy and spectrophotometry of comets at optical wavelength // Comets / Ed. by L. Wilkenning. — Tucson: Univ. of Arizona Press, 1982.— P. 433—460.
4. A'Hearn M. F., Birch P. V., Feldman P. D., et al. Comet Encke — gas production and lightcurve // Icarus.—1985.—64.—P. 1—10.
5. A'Hearn M. F., Millis R. C., Schleicher D. O., et al. The ensemble properties of comets: Results from narrowband photometry of 85 comets, 1976–1992 // Icarus.—1995.—

- 118**, N 2.—P. 223—270.
6. *Churyumov K. I., Luk'yanyk I. V., Bereznoi A. A., et al.* Optical spectroscopy of comet C/2000 WM1 (LINEAR) at the Guillermo Harro Astrophysical observatory in Mexico // *Earth, Moon and Planets.*—2002.—**90**.—P. 361—368.
  7. *Churyumov K. I., Luk'yanyk I. V., Chubko L. S., et al.* Exploration of spectra of periodic Comet 153P/Ikeya-Zhang // *Kinematics and Phys. of Celestial Bodies. Suppl.*—2005.—N 5.—P. 472—476.
  8. *Farnham T. L., Schleicher D. G., A'Hearn M. F.* The HB narrowband comet filters: standard stars and calibrations // *Icarus.*—2000.—**147**.—P. 180—204.
  9. *Haser L.* Distribution d'intensité dans la tête d'une comète // *Bull. Sci. Acad. Roy. Belgique. Class des Sciences.*—1957.—**43**, N 10.—P. 740—750.
  10. *Knight M. M., Schleicher D. G.* The highly unusual outgassing of comet 103P/Hartley 2 from narrowband photometry and imaging of the coma. — arXiv: 1206.1318v.
  11. *Kravtsov F. I., Luk'yanyk I. V.* Determination of the physical parameters of gas in the neutral atmospheres of comets: The circular aperture method // *Kinematics and Phys. of Celestial Bodies.*—2013.—**29**, N 6.—P. 285—290.
  12. *Lisse C. M., Fernandez Y. R., Reach W. T., et al.* Spitzer space telescope observations of the nucleus of comet 103P/Hartley 2 // *Publ. Astron. Soc. Pacif.*—2009.—**121**, N 883.—P. 968—975.
  13. *Milani G., Bryssinck E., Nicolini M., et al.* Photometry and imaging of comet 103P/Hartley in the 2010–2011 apparition // *Icarus.*—2013.—**222**, N 2.—P. 786—798.
  14. *Tatum J. B.* Cyanogen radiance/column-density ratio for comets calculated from the Swings effect // *Astron. and Astrophys.*—1984.—**135**, N 1.—P. 183—187.
  15. *Thomas P. C., A'Hearn M. F., Veverka J., et al.* Shape, density, and geology of the nucleus of comet 103P/Hartley 2 // *Icarus.*—2013.—**222**, N 2.—P. 550—558.

Стаття надійшла до редакції 05.01.15