

УДК 523.44

## ПЗС-ПОЛЯРИМЕТРИЯ АСЗ 2014 JO<sub>25</sub> И КОМЕТЫ 41P/TUTTLE-GIACOBINI-KRESAK В ПРЯМОМ ФОКУСЕ 2.6-М ТЕЛЕСКОПА (ЗТШ) КРАО

© 2019 г. В. В. Румянцев<sup>а, \*</sup>, Н. Н. Киселев<sup>а</sup>, А. В. Иванова<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Крымская астрофизическая обсерватория РАН (КРАО РАН), пос. Научный, Крым, 298409 Россия

<sup>б</sup>Астрономический институт Словацкой академии наук, Татранска Ломница, 05960 Республика Словакия

\*e-mail: rum@crao.crimea.ru

Поступила в редакцию 05.07.2018 г.

После доработки 16.08.2018 г.

Принята к публикации 16.08.2018 г.

Приведены результаты первых поляриметрических измерений астероида, сближающегося с Землей (АСЗ), 2014 JO<sub>25</sub> и кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresak, полученных с ПЗС-матрицей в прямом фокусе ( $f/3.85$ ) 2.6-м телескопа (ЗТШ) КРАО в фильтре  $R$  19 апреля 2017 г. Степень линейной поляризации астероида  $P = 2.69 \pm 0.44\%$  на фазовом угле  $55.6^\circ$  соответствует его принадлежности к S-классу астероидов. Соответственно, геометрическое альbedo астероида равно  $p_v \approx 0.2$ . Применение цифрового фильтра к прямому изображению кометы выявило присутствие в коме кометы джета и хвоста в направлении на Солнце ( $PA = 45.1^\circ$ ) и от Солнца ( $PA = 241.2^\circ$ ), соответственно. Максимальная степень линейной поляризации в околоядерной области кометы составила 18% на фазовом угле  $69.8^\circ$ . Для областей комы радиусом 865–4856 км поляризация уменьшалась в пределах 16.2–10.7%. Обсуждаются разные факторы, влияющие на величину максимальной степени поляризации кометы и распределение степени поляризации по коме.

**Ключевые слова:** астероиды, сближающиеся с Землей, кометы, 2014 JO<sub>25</sub>, 41P/Tuttle-Giacobini-Kresak, поляриметрия, фазовая зависимость поляризации

DOI: 10.1134/S0320930X19020063

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время накоплен большой материал по поляриметрическим измерениям астероидов и комет, которые представлены в базах поляриметрических данных Lupishko (2014) и Kiselev и др. (2017), соответственно. В большинстве случаев наблюдения были выполнены с апертурными фотоэлектрическими поляриметрами, которые обеспечивают высокую точность измерений степени поляризации. Однако с применением более информативных приемников излучения, начиная с пионерской работы Scarrott и др. (1983), апертурная поляриметрия уступила по проникающей силе и пространственному разрешению поляриметрическим измерениям с ПЗС-матрицами. Второе преимущество ПЗС-поляриметрии особенно важно для изучения свойств отдельных морфологических структур комет (например, джетов и дуг) и распределения параметров поляризации по коме кометы (см., например, Rosenbush и др., 2017).

Измерения поляризации света звезд, а в дальнейшем внегалактических объектов и малых тел Солнечной системы в Крымской астрофизической обсерватории (КРАО) были начаты после

создания первого звездного поляриметра (Шаховской, Димов, 1962). До 2017 г. конструкции поляриметров в касегреновском фокусе ( $f/16$ ) 2.6-м телескопа ЗТШ и методика поляриметрических измерений неоднократно совершенствовались (см., например, Ефимов, Шаховской, 2008; Шаховской, Ефимов, 1972), но приемниками излучения оставались все те же фотоумножители (в последнем варианте ФЭУ-136), обладающие небольшим квантовым выходом. Малый квантовый выход фотоумножителей и не оптимальное относительное отверстие касегреновского фокуса телескопа ЗТШ для поляриметрических и фотометрических наблюдений комет ограничивает их измерения  $\approx 11$  интегральной величины в фильтре  $R$  с точностью  $\approx 0.5\%$  за время порядка 1 ч. Ограничения по блеску звездобразных объектов – астероидов, спутников планет – составляет 12–13<sup>м</sup>.

В 2004 г. прямой фокус ( $f/3.85$ ) ЗТШ был оснащен ПЗС-камерой FLI PL-1001E, автоматизированной турелью и фокусирующим узлом. Это позволило возобновить наблюдения в прямом фокусе ЗТШ после 40-летнего простоя. Предшеству-

**Таблица 1.** Геометрические условия наблюдений АСЗ 2014 JO<sub>25</sub> и кометы 41P/Tuttle–Giacobini–Kresak 19 апреля 2017 г.

Объект/Средний момент наблюдений, всем. время	Фазовый угол, $\alpha$ , град	Плоскость рассеяния, $\phi$ , град	Гелиоцентрическое расстояние, $r$ , а. е.	Геоцентрическое расстояние, $\Delta$ , а. е.
2014 JO <sub>25</sub> 19.80208	55.63	178.2	1.0118	0.0130
41P/T-G-K 19.92638	69.78	235.1	1.0496	0.16496

ющие наблюдения проводились только в 1963 г. (Гершберг, 1964). Возобновление наблюдений было связано с повышением интереса к прямым наблюдениям объектов разрушения в геостационарной области и оптического послесвечения космических гамма-всплесков. В 2013 г. ПЗС-камера была заменена на FLI PL-4240.

ПЗС-приемники в прямом фокусе ЗТШ применяются для различных наблюдательных программ. С 2004 по 2012 гг. проводились глубокие наблюдения малоразмерных объектов в геостационарной области (Агаров и др., 2005; Молотов и др., 2008; 2009). С 2004 г. и по настоящее время проводятся глубокие фотометрические наблюдения оптического послесвечения космических гамма-всплесков и связанных с ними родительских галактик (Volnova и др., 2017; De Pasquale и др., 2016; Stratta и др., 2009; Hill и др., 2006). С 2013 г. ведутся фотометрические наблюдения астероидов, направленные на выявление влияния эффекта Ярковского–О’Киффе–Радзиевского–Поддака на их вращение (Pravec и др., 2018; 2016).

В 2017 г. было принято решение, используя минимальные технические изменения в приемной аппаратуре, провести первые поляриметрические наблюдения астероидов и комет с матрицей в прямом фокусе телескопа ЗТШ.

#### АППАРАТУРА, НАБЛЮДЕНИЯ И РЕДУКЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Для наших наблюдений в первичном фокусе ЗТШ была использована ПЗС-камера FLI PL-4240. Приемником служит обратно освещенная матрица (back illuminated matrix) ccd42-40 фирмы E2V, имеющая чип размером  $27.6 \times 27.6$  мм,  $2048 \times 2048$  пикселей, размер пиксела  $13.5 \times 13.5$  мкм. Угловой размер пиксела составляет  $0.28''$ , поле приемника  $9.5 \times 9.5'$ . Турель укомплектована BVRI-фильтрами системы Джонсона–Кузинса. За суммарную экспозицию около часа достигается предельная звездная величина  $25.0^m$  в полосе  $R$ .

Для проведения поляриметрических измерений в гнезда турели для фильтров были вмонтированы три поляроида, вырезанные из одного куска пленочного поляроида типа P-W64 фирмы Edmundoptics (Германия) так, что при установке

на оптическую ось, поляроиды были ориентированы своими осями максимального пропускания соответственно под углами  $0^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $120^\circ$ . Тем самым была выбрана методика поляриметрических измерений, предложенная В.Г. Фесенковым (Fesenkov, 1935). Для наблюдений использовался стандартный фильтр  $R$  системы Кузинса, который был укреплен стационарно перед входным окном ПЗС-камеры.

Наблюдения астероида, сближающегося с Землей 2014 JO<sub>25</sub> и кометы 41P/Tuttle–Giacobini–Kresak (в дальнейшем 41P/T-G-K) были проведены 19 апреля 2017 г. В табл. 1 представлены геометрические условия наблюдений объектов, а именно: средние моменты наблюдений,  $UT$ , фазовые углы,  $\alpha$ , позиционные углы плоскостей рассеяния,  $\phi$ , геоцентрические,  $r$  и гелиоцентрические,  $\Delta$ , расстояния.

Измерения проводились по схеме: по три измерения астероида и по одному измерению кометы для каждого угла поляроидов  $0^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$  (одна серия), затем измерения повторялись. Экспозиции единичных кадров для астероида и кометы выбирались с учетом скорости объектов так, чтобы во время экспозиции смещение объектов не превосходило  $\approx 2''$  – типичный размер изображений, получаемых в КрАО. С учетом этого времени накопления одного кадра для астероида и кометы составило 3 и 20 с соответственно.

В ту же ночь проведены наблюдения звезды GD 319 – стандарта с малой степенью поляризации ( $P_R \approx 0.09 \pm 0.09\%$ ) (Schmidt и др., 1992) и стандартов с известной высокой степенью поляризации – CRL 2688 (Egg Nebulae),  $P_{cat} = 53.7 \pm 0.3\%$ , (Michalsky и др., 1976); Hiltner 960,  $P_{cat} = 5.210 \pm 0.029\%$  (Schmidt и др., 1992); VI Cyg#12,  $P_{cat} = 7.893 \pm 0.037\%$ , (Schmidt и др., 1992). К сожалению, во время наблюдений по небу эпизодически проходили легкие циррусы. Поэтому, часть наблюдений не была обработана. Всего для обработки наблюдений астероида и кометы было использовано 8 (216 с) и 19 (19 мин) серий наблюдений, соответственно.

Редукция наблюдений проводилась стандартным образом с учетом темновых кадров и кадров плоских полей, полученных на рассветном небе.

**Таблица 2.** Результаты наблюдений АСЗ 2014 JO<sub>25</sub> и кометы 41P/T-G-K

Объект/Дата, всем. время	Радиус области комы, км	$P \pm \sigma P, \%$	$\theta \pm \sigma\theta, \text{град}$
2014 JO <sub>25</sub> 19.80208	—	$2.69 \pm 0.44$	$274.6 \pm 4.6$
41P/T-G-K 19.92638	864.8	$16.17 \pm 0.45$	$149.4 \pm 0.8$
	2195.2	$13.28 \pm 0.22$	$150.3 \pm 0.5$
	3525.6	$11.58 \pm 0.16$	$151.3 \pm 0.4$
	4855.9	$10.70 \pm 0.25$	$152.0 \pm 0.7$

Обработка изображений проведена по программам, написанными в пакете IDL (см., например, Rosenbush и др., 2017).

Вычисления параметров линейной поляризации были проведены по формулам:

$$I_i = \frac{2}{3}(I_0 + I_{60} + I_{120}), \quad (1)$$

$$q_i = \frac{2I_0 - I_{60} - I_{120}}{I_0 + I_{60} + I_{120}} \times 100\%, \quad (2)$$

$$u_i = \sqrt{3} \frac{I_{60} - I_{120}}{I_0 + I_{60} + I_{120}} \times 100\%, \quad (3)$$

где  $I_i, I_0, I_{60}, I_{120}$  — полная интенсивность и интенсивности от объекта, измеренные для одной серии углов поляроидов 0°, 60° и 120° и освобожденные от фона неба, соответственно,  $i$  — номер серии.  $q_i$  и  $u_i$  — нормированные параметры Стокса для каждой серии. Позиционный угол плоскости поляризации каждой серии измерений можно определить по формуле (4).

$$\theta_i = 0.5 \arctg \left( \sqrt{3} \frac{I_{60} - I_{120}}{2I_0 - I_{60} - I_{120}} \right) + \Delta, \quad (4)$$

где  $\Delta$  — поправка за нуль-пункт инструментальных позиционных углов. На практике мы находили средние значения параметров Стокса  $\bar{q}$  и  $\bar{u}$  по всем сериям измерений, а затем определяли средние значения степени и позиционного угла плоскости поляризации  $P$  и  $\theta$  по формулам:

$$P = \sqrt{\bar{q}^2 + \bar{u}^2}, \quad (5)$$

$$\theta = 0.5 \arctg \left( \frac{\bar{u}}{\bar{q}} \right) + \Delta. \quad (6)$$

Для вычисления ошибок средних значений  $P$  и  $\theta$  использовались выражения, согласно (Шаховской, Ефимов, 1972):

$$\sigma P = \sqrt{0.5(\sigma_{\bar{q}}^2 + \sigma_{\bar{u}}^2)}, \quad (7)$$

$$\sigma\theta = 28.65 \frac{\sigma_P}{P}, \quad (8)$$

где  $\sigma_{\bar{q}}$  и  $\sigma_{\bar{u}}$  стандартные отклонения параметров  $q_i$  и  $u_i$  в серии измерений.

Наблюдения звезды GD 319 были проведены через циррусы, поэтому не были использованы в дальнейшем для обработки программных объектов. Измерения стандартов с высокой степенью поляризации CRL 2688 ( $P_{\text{obs}} = 52.3 \pm 0.3\%$ ); Hiltner 960 ( $P_{\text{obs}} = 5.2 \pm 0.1\%$ ); VI Cyg#12 ( $P_{\text{obs}} = 7.8 \pm 0.1\%$ ) показали хорошее совпадение с каталожными данными, приведенными выше. Поэтому можно заключить, что инструментальная степень поляризации поляриметра прямого фокуса телескопа ЗТШ не превосходила 0.1% и поэтому в дальнейшем не учитывалась. Поправка  $\Delta$  в выражениях (4) и (6) была определена по разности каталожного и наблюдаемого (инструментального) значения позиционных углов плоскости поляризации поляризационного стандарта CRL 2688. Она составила  $45.5^\circ \pm 1^\circ$ .

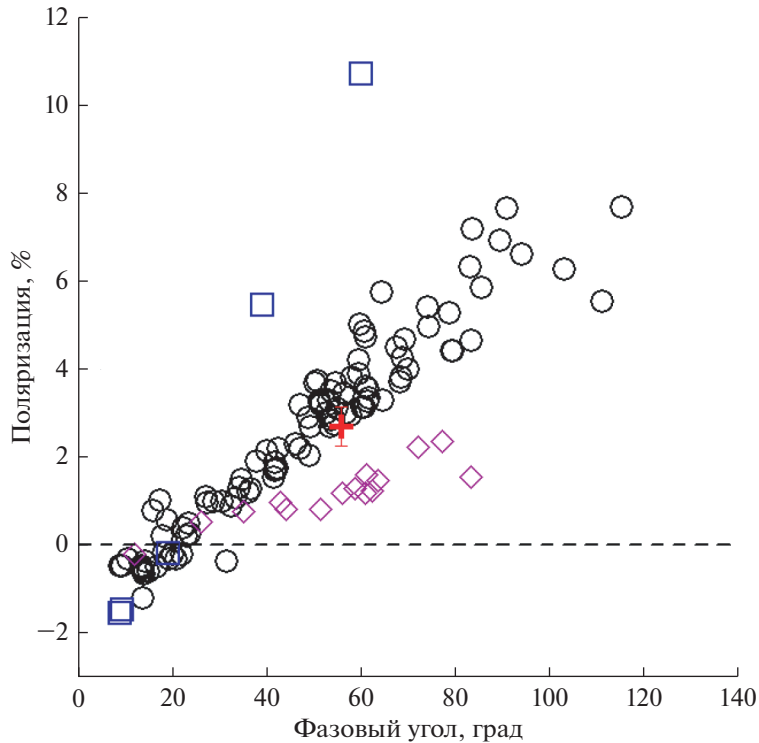
## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Результаты наблюдений астероида и кометы представлены в табл. 2. В ней приведены средние за весь период наблюдений значения степени,  $P$ , и угла плоскости поляризации,  $\theta$ , вычисленные по близким по времени значениям  $I_0, I_{60}, I_{120}$ , которые были пригодны к обработке, с учетом погодных условий. Для кометы значения параметров поляризации даны для нескольких радиусов диафрагмы в километрах по коме, с учетом масштаба  $1'' = 119.6$  км в проекции на комету.

Заметная ошибка средней величины степени поляризации астероида связана с небольшим временем накопления одной серии наблюдений для трех положений поляроида (27 с) объекта 10.4 зв. вел. и небольшим числом ( $n = 8$ ), пригодных из-за погодных условий, серий наблюдений.

### АСЗ 2014 JO<sub>25</sub>

На рис. 1 представлены среднее значение степени поляризации астероида 2014 JO<sub>25</sub> и фазовые зависимости поляризации низкоальбедных АСЗ — (1580) Betulia, (2100) Ra-Shalom; среднеальбедных АСЗ — (433) Eros, (1036) Ganymed, (1566) Icarus, (1620) Geographos, (1627) Ivar, (1685) Toro, (4179) Toutatis, (23187), (25143) Itokawa, (99942) Apophis и высокоальбедных АСЗ (33342) 1998 WT<sub>24</sub>, (144898) 2004 VD17, имеющиеся в базе данных



**Рис. 1.** Зависимость степени поляризации АСЗ разных классов: низкоальбедные С-типа – квадраты; среднеальбедные S-типа – кружочки; высокоальбедные Е-типа – ромбы. Данные для АСЗ 2014 JO<sub>25</sub> отмечены крестом.

(Lupishko, 2014) и наблюдавшиеся на фазовых углах, близких к углу АСЗ 2014 JO<sub>25</sub>. Данные для (1580) Betulia, (1627) Ivar, (23187) 2000 PN<sub>9</sub> и (99942) Aopphis приведены в фильтре *V*, остальные – в фильтре *R*. Из рис. 1 очевидно, что степень поляризации астероида 2014 JO<sub>25</sub> лежит среди данных для астероидов S-класса, т.е. он принадлежит к среднеальбедным астероидам, для которых средняя величина геометрического альbedo  $\rho_V \approx 0.20 \pm 0.07$  (Shevchenko, Lupishko, 1998).

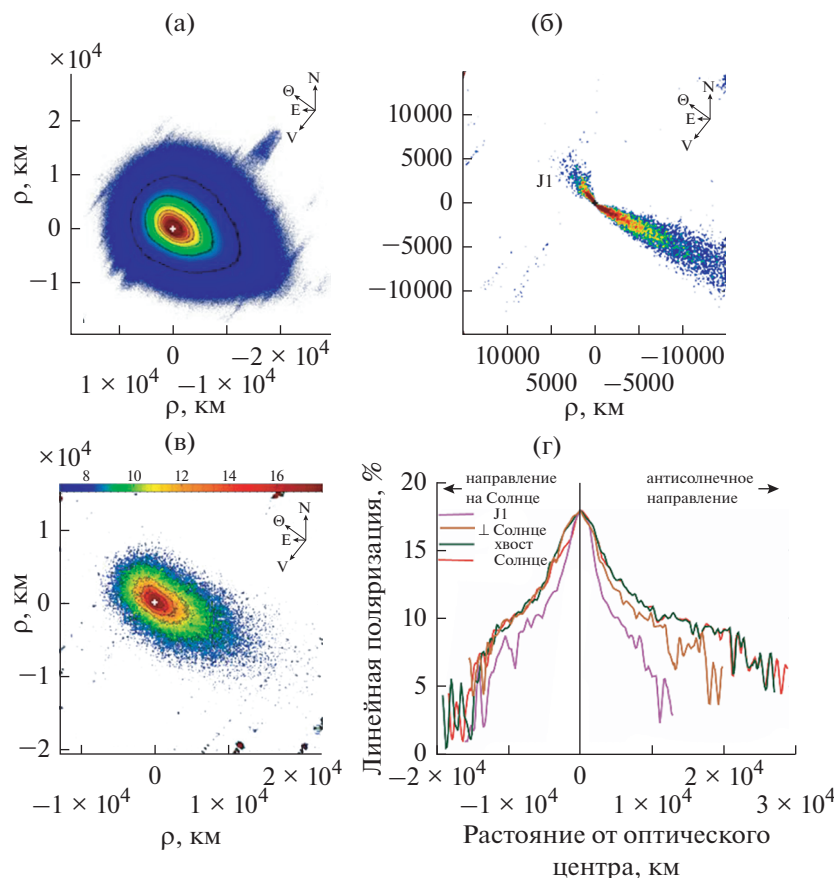
#### Комета 41P/Tuttle–Giacobini–Kresak

Прямые изображения кометы (рис. 2а), полученные на телескопе ЗТШ 19 апреля 2017 г., были совмещены и обработаны с использованием цифровых фильтров (Larson, Sekanina, 1984; Samarasinha, Larson, 2014). В результате в околоядерной области комы были выявлены джет и хвост (рис. 2б). Позиционный угол джета ( $PA = 45.1^\circ$ ) был близким к направлению на Солнце. Позиционный угол хвоста составил  $241.2^\circ$ . Это определило в целом вытянутую форму комы в направлении на Солнце.

Комета 41P/T–G–K также наблюдалась с апертурным поляриметром в кассегреновском фокусе ЗТШ с диафрагмой диаметром 15" и широкополосным красным фильтром *WR* ( $\lambda = 6358 \text{ \AA}$ ,  $\text{FWHM} = 2630 \text{ \AA}$ ) в период 23 февраля–4 апреля

2017 г. (Жужулина и др., 2018). На рис. 3 приведены все имеющиеся поляризационные данные кометы.

Как известно (см., например, Kiselev и др., 2015 и ссылки там), по величине максимума степени поляризации кометы делятся на два класса: с высокой степенью поляризации ( $\text{high-}P_{\text{max}} \approx 28\%$ ) на фазовом угле  $\approx 95^\circ$  и с низкой степенью поляризации ( $\text{low-}P_{\text{max}} \approx 15\%$ ) на фазовом угле  $\approx 90^\circ$ . Максимальная степень поляризации кометы 41P/T–G–K для центральной области комы и в площадке комы радиусом 865 км составила 18 и 16.17% соответственно (рис. 2г и табл. 1). Полученные значения степени поляризации кометы лежат в пределах возможных отклонений от средней ФЗП комет с высокой степенью поляризации, что позволяет отнести ее к группе  $\text{high-}P_{\text{max}}$  комет (рис. 3, кривая 1). Вместе с тем рис. 2г и 3 демонстрируют явную зависимость степени поляризации от размера измеряемой площадки комы. С увеличением расстояния от фотометрического центра степень поляризации уменьшается. Подобный эффект наблюдается у большинства комет (см., например, Kiselev, Rosenbush, 2004; Kiselev и др., 2015; Rosenbush и др., 2017). Более низкое значение степени поляризации в больших площадках комы соответствует классу комет  $\text{low-}P_{\text{max}}$ , который обычно ассоциируется с кометам, спектры которых показывают незначительный континуум и сильный молекулярные эмиссии. Примером кометы такой группы является 2P/Encke, демонстрирующая низкую степень поляриза-

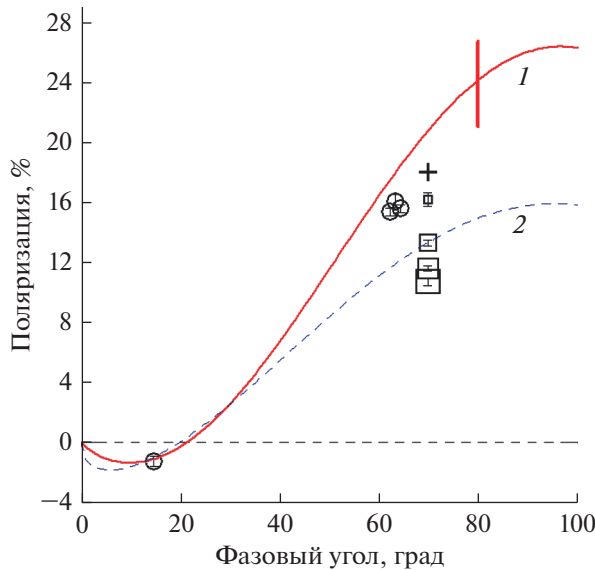


**Рис. 2.** Прямое изображение кометы 41P/T–G–K, полученное на ЗТШ 19 апреля 2017 г. – панель (а); выделенный джет J1 ( $PA = 45.1^\circ$ ) и хвост ( $PA = 241.2^\circ$ ) после обработки цифровыми фильтрами – панель (б) и (в); распределение степени поляризации по коме – панель (в); распределение степени поляризации в сечениях по коме – панель (г). Стрелки указывают направление на Солнце (☉), Север (N), Восток (E) и вектор скорости кометы в проекции на небо (V).

ции в больших площадках комы и высокую степень в околоядерной области (Kiselev и др., 2004; Jewitt, 2004; Jockers и др., 2005). В связи с этим, в некоторых работах (Jewitt, 2004; Jockers и др., 2005) ставится под сомнение классификация комет на две группы по поляризационным свойствам. Проблемой для классификации является влияние газовых эмиссий на степень поляризации континуума, в результате пропускания излучения молекулярных эмиссий фильтрами, предназначенными для выделения континуума комет. Этот эффект может быть особенно значимым, если измерения проводятся с широкополосными фильтрами. Молекулярные, менее поляризованные эмиссии образуют более протяженные комы, в то время как более поляризованное непрерывное излучение комет сосредоточено в околоядерной области комы. Поэтому дилуция поляризации континуума увеличивается к периферии комы. В спектре 41P/T–G–K наряду с континуумом присутствовали многочисленные эмиссионные линии. Согласно (Ivanova, Luk'yanuk, Kumar Venkataramani – статья готовится к печати) отношение потоков эмиссии к континууму в апреле 2017 г. для кометы 41P/T–G–K в фильтре R составило 25%.

Это может быть одной из причин сильного уменьшения степени поляризации с расстоянием от фотометрического центра кометы. С другой стороны, высокая степень поляризации в околоядерной области комы может быть обусловлена присутствием джета. Наиболее резкое уменьшение степени поляризации у кометы 41P/T–G–K наблюдается вдоль разреза по джету и хвосту. Значительное влияние джетов на поляризацию комет продемонстрировано в комете C/2012 S1 (ISON) (Hines и др., 2014). Авторы выполнили поляриметрию кометы на космическом телескопе HST с высоким пространственным разрешением и обнаружили в околоядерной области на расстоянии 1000 км положительную степень поляризации до 2.5% на фазовом угле  $12.2^\circ$ . Вне этой области поляризация была отрицательной,  $P = -1.6\%$ , что обычно и наблюдается у комет на таком фазовом угле.

Значительное уменьшение степени поляризации на расстоянии примерно 7000–10000 км от фотометрического ядра наблюдалось у кометы 67P/Churyumov–Gerasimenko (Rosenbush и др., 2017) и у кометы 2P/Encke (Jewitt, 2004). Показатель цвета при этом уменьшался. Наблюдения



**Рис. 3.** Фазовая зависимость поляризации (ФЗП) кометы 41P/T–G–K по данным апертурной (кружочки, Жужулина и др., 2018) и ПЗС-поляриметрии (квадратики, настоящая работа). Апертура 15" соответствует диаметру комы 2670 км на фазовом угле 14.6° и 1545 км на углах 62°–64°. Размеры квадратиков соответствуют степени поляризации в разных площадках комы (см. табл. 2). Крестом отмечена степень поляризации для центральной области комы, полученная по разрезам (рис. 2г). Кривые 1 и 2 соответствуют средним ФЗП комет с высокой степенью поляризации и ФЗП комет с низкой степенью поляризации, согласно (Kiselev и др., 2015). Вертикальная линия показывает отклонения степени поляризации разных комет относительно средней ФЗП комет с высокой степенью поляризации.

проводились с узкополосными кометными фильтрами, исключаяющими значительное “загрязнение” континуума молекулярными эмиссиями. Это может указывать на реальную эволюцию свойств частиц, а именно на уменьшение размера пылинок с расстоянием от ядра (Jewitt, 2004). Подобное поведение подтверждается компьютерным моделированием частицы пыли в виде смеси сфероидов с разными соотношениями размеров (Kolokolova и др., 2015; Kimura и др., 2003).

Таким образом, подводя итоги результатов поляриметрических наблюдений кометы 41P/T–G–K необходимо отметить, что на величину степени поляризации кометы и ее распределение по коме могут играть несколько факторов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведены результаты первых поляриметрических измерений астероида, сближающегося с Землей, 2014 JO<sub>25</sub> и кометы 41P/Tuttle–Giacobini–Kresak полученные с ПЗС-матрицей в прямом фокусе (f/3.85) 2.6-м телескопа (ЗТШ) КрАО в фильтре R 19 апреля 2017 г. Показано, что астероид 2014 JO<sub>25</sub> относится к S-классу. Оценено его геометрическое альbedo  $\rho_v \approx 0.2$ . В комете выяв-

лен джет и хвост, направленные в сторону Солнца ( $PA = 45.1^\circ$ ) и от Солнца ( $PA = 241.2^\circ$ ) соответственно. Максимальная степень поляризации в околоядерной области кометы составила 18% на фазовом угле 69.8°. Для областей комы радиусом 865–4856 км поляризация уменьшалась в пределах 16.2–10.7%. Обсуждаются разные факторы, влияющие на величину максимальной степени поляризации кометы и распределение степени поляризации по коме.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Крым в рамках научного проекта № 17-42-92018\17 и № 18-42-910019\18. Александра Иванова благодарит за поддержку Программу SASPRO (1287/03/01) и Словацкую академию наук (грант Vega 2/0023/18). Авторы благодарят проф. К. Йокерса за предоставление поляроида для наблюдений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Герриберг Р.Е. О характере внутренних движений межзвездного газа // Изв. Кр. АО. 1964. Т. 31 С. 100–109.
- Ефимов Ю.С., Шаховской Н.М. История поляриметрических исследований звезд и галактик в КрАО: 1954–2008 гг. // Изв. КрАО. 2008. Т. 104. С. 55–62.
- Жужулина Е.А., Киселев Н.Н., Шаховской Д.Н. Апертурная поляриметрия избранных комет в КрАО // Изв. КрАО. 2018. Т. 114. № 2. С. 37–39.
- Шаховской Н.М., Димов Н.А. Интегрирующий звездный поляриметр // Изв. КрАО. 1962. Т. 27. С. 291–308.
- Шаховской Н.М., Ефимов Ю.С. Поляризационные наблюдения нестационарных звезд и внегалактических объектов. I. Аппаратура и методика наблюдений и их обработка // Изв. КрАО. 1972. Т. 45. С. 90–110.
- Agapov V., Biryukov V., Kiladze R., Molotov I., Rumyantsev V., Sochilina A., Titenko V. Faint Geo objects search and orbital analysis // Proc. 4th European Conf. on Space Debris (ESA SP-587). 18–20 April 2005, ESA/ESOC, Darmstadt, Germany, 2005. P. 153.
- De Pasquale M., Oates S.R., Racusin J.L., Kann D.A., Zhang B., Pozanenko A., Volnova A. A., Trotter A., Frank N., Cucchiara A., Troja E., Sbarufatti B., Butler N.R., Schulze S., Cano Z., Page M.J., Castro-Tirado A.J., Gorosabel J., Lien A., Fox O., Littlejohns O., Bloom J.S., Prochaska J.X., de Diego J.A., Gonzalez J., Richer M.G., Román-Zúñiga C., Watson A.M., Gehrels N., Moseley H., Kutyrev A., Zane S., Hoette V., Russell R.R., Rumyantsev V., Klunko E., Burkhonov O., Breeveld A.A., Reichart D.E., Haislip J.B. The central engine of GRB 130831A and the energy breakdown of a relativistic explosion // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 2016. V. 455. Iss. 1. P. 1027–1042.
- Fessenkoff B. Détermination de la polarisation de la couronne solaire // Astron. J. 1935. T. 12 (4). P. 309–323.
- Hill J.E., Morris D.C., Sakamoto T., Sato G., Burrows D.N., Angelini L., Pagani C., Moretti A., Abbey A.F., Barthelmy S., Beardmore A.P., Biryukov V.V., Campana S., Capalbi M., Cusumano G., Giommi P., Ibrahimov M.A., Kennea J., Kobayashi S., Ioka K., Markwardt C., Mészáros P., O’Brien P.T., Osborne J.P., Pozanenko A.S., Perri M., Rumyantsev V.V., Schady P., Sharapov D.A., Tagliaferri G.,

- Zhang B., Chincarini G., Gehrels N., Wells A., Nousek J.A. GRB 050117: Simultaneous gamma-ray and X-ray observations with the Swift satellite // *Astrophys. J.* 2006. V. 639. Iss. 1. P. 303–310.
- Hines D.C., Videen G., Zubko E., Muinonen K., Shkuratov Yu., Kaydash V.G., Knight M. M., Sitko M.L., Lisse G.M., Mutchler M., Hammer D., Yanamandra-Fisher P.A. Hubble space telescope pre-perihelion ACS/FC imaging polarimetry of comet Ison (C/2012 S1) at 3.81 au // *Astrophys. J. Lett.* 2014. V. 780. P. L32.
- Jewitt D. Looking through the HIPPO: Nucleus and dust in comet 2P / Encke // *Astron. J.* 2004. V. 128. P. 3061–3069.
- Jockers K., Kiselev N., Bonev T., Rosenbush V., Shakhovskoy N., Kolesnikov S., Efimov Yu., Shakhovskoy D., Antonyuk K. CCD imaging and aperture polarimetry of comet 2P/Encke: Are there two polarimetric classes of comets? // *Astron. and Astrophys.* 2005. V. 441. P. 773–782.
- Kimura H., Kolokolova L., Mann I. Optical properties of cometary dust. Constraints from numerical studies on light scattering by aggregate particles // *Astron. and Astrophys.* 2003. V. 407. P. L5.
- Kiselev N., Rosenbush V. Polarimetry of comets: Progress and problems // *Photopolarimetry in remote sensing / Eds Videen G., Yatskiv Ya., Mishchenko M.* Dordrecht, The Netherlands: Kluwer acad. Publ., 2004. P. 411–430.
- Kiselev N.N., Rosenbush V.K., Kolokolova L., Lvasseur-Regourd A. Comets // *Polarimetry of Stars and Planetary Systems / Eds Kolokolova L., Hough J., Lvasseur-Regourd A-Ch.* Cambridge Univ. Press, 2015. P. 379–404.
- Kiselev N., Shubina E., Velichko S., Jockers K., Rosenbush V., Kikuchi S. Compilation of Comet Polarimetry from Published and Unpublished Sources. 2017. urn:nasa:pds:compil-comet:polarimetry:1.0, NASA Planetary Data System.
- Kiselev N.N., Jockers K., Bonev T. CCD imaging polarimetry of Comet 2P/Encke // *Icarus.* 2004. V. 168. P. 385–391.
- Kolokolova L., Das H.S., Dubovik O., Lapyonok T., Yang P. Polarization of cosmic dust simulated with the rough spheroid model // *Planet. and Space Sci.* 2015. V. 116. P. 30.
- Larson S., Sekanina Z. Coma morphology and dust-emission pattern of periodic comet Halley. I. High-resolution images taken at Mount Wilson in 1910 // *Astron. J.* 1984. V. 89. P. 571–578.
- Lupishko D. Asteroid Polarimetric Database V8.0. EAR-A-3-RDR-APD-POLARIMETRY-V8.0. NASA Planetary Data System. 2014.
- Michalsky J., Stokes R., Ekstrom Ph. Polarization studies of the infrared source CRL 2688 at visible wavelengths // *Astrophys. J.* 1976. V. 203. P. L43–L45.
- Molotov I., Agapov V., Titenko V., Khutorovsky Z., Burtsev Yu., Guseva I., Rumyantsev V., Ibrahimov M., Kornienko G., Erofeeva A., Biryukov V., Vlasjuk V., Kiladze R., Zalles R., Sukhov P., Inasaridze R., Abdullaeva G., Rychalsky V., Kouprianov V., Rusakov O., Litvinenko E., Filippov E. International scientific optical network for space debris research. // *Adv. Space Res.* 2008. V. 41. Iss. 7. P. 1022–1028.
- Molotov I., Agapov V., Khutorovsky Z., Titenko V., Rumyantsev V., Biryukov V., Minikulov N., Gulyamov M., Abdulloev B., Andrievsky S., Kashuba S., Kashuba V., Inasaridze R., Phiralishvili T., Ayvazian V., Ivashchenko Y., Korobtsev I., Tsukker T., Tergoiev V. Faint High Orbit Debris Observations with ISON Optical Network // *Proc. Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conf. Abstract book.* 2009. P. 16.
- Pravec P., Scheirich P., Kušnirák P., Hornoch K., Galád A., Naidu S.P., Pray D.P., Világi J., Gajdoš Š., Kornoš L., Krugly Yu.N., Cooney W.R., Gross J., Terrell D., Gaftonyuk N., Pollock J., Husárik M., Chiorny V., Stephens R.D., Durkee R., Reddy V., Dyvig R., Vraštil J., Žižka J., Motola S., Hellmich S., Oey J., Benishek V., Kryszczyńska A., Higgins D., Ries J., Marchis F., Baek M., Macomber B., Inasaridze R., Kvaratskhelia O., Ayvazian V., Rumyantsev V., Masi G., Colas F., Lecacheux J., Montaignut R., Leroy A., Brown P., Krzeminski Z., Molotov I., Reichart D., Haislip J., LaCluyze A. Binary asteroid population. 3. Secondary rotations and elongations // *Icarus.* 2016. V. 267. P. 267–295.
- Pravec P., Fatka P., Vokrouhlický D., Scheeres D.J., Kušnirák P., Hornoch K., Galád A., Vraštil J., Pray D.P., Krugly Yu.N., Gaftonyuk N.M., Inasaridze R. Ya., Ayvazian V.R., Kvaratskhelia O.I., Zhuzhunadze V.T., Husárik M., Cooney W.R., Gross J., Terrell D., Világi J., Kornoš L., Gajdoš Š., Burkhonov O., Ehgamberdiev Sh.A., Donchev Z., Borisov G., Bonev T., Rumyantsev V.V., Molotov I.E. Asteroid clusters similar to asteroid pairs // *Icarus.* 2018. V. 304. P. 110–126.
- Rosenbush V.K., Ivanova O.V., Kiselev N.N., Kolokolova L.O., Afanasiev V.L. Spatial variations of brightness, colour and polarization of dust in comet 67P/Churyumov–Gerasimenko // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 2017. V. 469. P. 475–491.
- Rumyantsev V., Pozanenko A. GRB040422: Optical observations at CrAO // *GRB Coordinates Network, Circular Service.* 2004. № 2580.
- Samarasinha N.H., Larson S.M. Image enhancement techniques for quantitative investigations of morphological features in cometary comae: A comparative study // *Icarus.* 2014. V. 239. P. 168–185.
- Scarrott S.M., Warren-Smith R.F., Pallister W.S., Axon D.J., Bingham R.G. // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 1983. V. 204. P. 1163.
- Schmidt G., Elston R., Lupie O. The Hubble space telescope northern-hemisphere grid of stellar polarimetric standards // *Astron. J.* 1992. V. 104. P. 1563–1567.
- Shevchenko V.G., Lupishko D.F. Optical properties of asteroids from photometric data // *Sol. Syst. Res.* 1998. V. 32. P. 220.
- Stratta G., Pozanenko A., Atteia J.-L., Klotz A., Basa S., Gendre B., Verrecchia F., Boër M., Cutini S., Henze M., Holland S., Ibrahimov M., Ienna F., Khamitov I., Klose S., Rumyantsev V., Biryukov V., Sharapov D., Vachier F., Arnouts S., Perley D.A. A multiwavelength study of Swift GRB 060111B constraining the origin of its prompt optical emission // *Astron. and Astrophys.* 2009. V. 503. Iss. 3. P. 783–795.
- Volnova A.A., Pruzhinskaya M.V., Pozanenko A.S., Blinnikov S.I., Minaev P.Yu., Burkhonov O.A., Chernenko A.M., Ehgamberdiev Sh.A., Inasaridze R., Jelinek M., Khorunzhev G.A., Klunko E.V., Krugly Yu.N., Mazaeva E.D., Rumyantsev V.V., Volvach A.E. Multicolour modelling of SN 2013dx associated with GRB 130702A // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 2017. V. 467. Iss. 3. P. 3500–3512.