

А.В. Помазан, Н.В. Майгурова

Научно-исследовательский институт «Николаевская астрономическая обсерватория»,
ул. Обсерваторная, 1, Николаев, 54030, Украина, тел. +38 (0512) 47-70-14

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ИЗБРАННЫХ АСТЕРОИДОВ НА ТЕЛЕСКОПЕ КТ-50 КОМПЛЕКСА МОБИТЕЛ НИИ «НАО»



В статье представлены первые результаты фотометрических наблюдений астероидов, выполненных на телескопе КТ-50 комплекса Мобител (НИИ «НАО») в 2016 году. Астероиды были выбраны на основе анализа инфракрасного обзора NEOWISE, каталога подвижных объектов SDSS MOC-3 и базы данных MPC. Выбранные астероиды имеют относительно высокое альbedo ($pV > 0,2$) и расположены во внешней части главного пояса астероидов (большая полуось $a > 0,28$). Наблюдения проводились в фильтре, близком к стандартной полосе Rc системы Казинса. Стандартные отклонения измерений инструментальной звездной величины находятся в диапазоне $(0,01–0,03)^m$ для опорных звезд $(10–15,5)^m$. Для астероида (2144) Marietta, для которого были получены продолжительные серии наблюдений, приводится кривая блеска по результатам дифференциальной апертурной фотометрии.

Ключевые слова: астероиды, наблюдения, фотометрия, кривые блеска, фазовые зависимости блеска.

Фотометрические наблюдения астероидов содержат информацию о физических характеристиках астероидов, таких, как скорость вращения, форма поверхности, химический состав поверхности и др. В настоящее время из более 720 тыс. открытых астероидов, по данным Международного центра малых планет (Minor Planet Center, MPC), лишь чуть более 11 тыс. имеют надежные и достоверные кривые блеска. Из них только около 200 астероидов имеют полные кривые блеска и фотометрические наблюдения, на основе которых можно построить зависимость изменения блеска от фазового угла. Для большинства наблюдаемых диапазонов фазовых углов фазовые кривые блеска астероидов показывают линейный ход в диапазоне фазовых углов от $7–10^\circ$ до $20–25^\circ$ и нелинейное возрастание блеска при углах менее $5–7^\circ$ за счет так называемого *опозиционного эффекта* [1, 2]. Опозиционный эффект может охарак-

теризовать физические свойства поверхности астероида и химический состав [2, 3].

До недавнего времени основным направлением исследований в НИИ «Николаевская астрономическая обсерватория» (НИИ «НАО») было проведение астрометрических наблюдений и определение высокоточных положений тел Солнечной системы, в том числе астероидов. Специализированные фотометрические наблюдения и их обработка для изучения оптических свойств поверхности и физических характеристик астероидов — это новое направление исследований НИИ «НАО».

В 2011 году в НИИ «НАО» был сконструирован и введен в действие телескоп КТ-50 комплекса Мобител и были начаты регулярные астрометрические наблюдения астероидов по различным программам (определение масс ряда крупных астероидов, определение эффекта Ярковского для малых астероидов, алертные (от англ. *alert* — бдительный, настороженный) наблюдения астероидов и астероидов, сближаю-

щихся с Землей (АСЗ) и др.). Анализ результатов астрометрической обработки показал высокую внутреннюю точность (лучше 0,1") измерений положений астероидов по обеим координатам для объектов в диапазоне 15–17 звездных величин [4, 5]. Телескоп КТ-50 оснащен оптическим фильтром, близким к стандартной полосе R_c системы Казинса, что позволяет выполнять на нем и фотометрические наблюдения. С 2015 года проводились тестовые фотометрические наблюдения астероидов и звезд фотометрических стандартов для отработки методики специализированных наблюдений и исследований фотометрической системы инструмента.

ИНСТРУМЕНТ И ОБОРУДОВАНИЕ

Разработка комплекса Мобител выполнена под руководством А.В. Шульги в НИИ «НАО» [6]. Телескоп КТ-50 комплекса Мобител ($D = 500$ мм, $F = 2975$ мм) оснащен ПЗС-камерой Alta U9000 (3056×3056 , 12×12 мкм²) производства фирмы Apogee Instruments Inc, позволяющей получать изображения с полем зрения $42,4' \times 42,4'$ с масштабом $0.832''/\text{pix}$. Камера имеет механический затвор, который может срабатывать от внешнего синхроимпульса. Данная система позволила получать одновременно с объектом достаточно большое количество опорных звезд для уверенной редукции в современных каталогах. Особенностью наблюдений являлось использование режима синхронного переноса заряда для всех целевых наблюдений. Величина экспозиции подбиралась для достижения отношения *сигнал/шум* (SNR) не менее 25 исходя из видимой звездной величины, представленной в эфемеридах системы HORIZONS (Лаборатория реактивного движения, США). В 80 % случаев продолжительность экспозиции составляла 120 с, что давало кадр размером 3056×980 пикселей и полем зрения $42,4' \times 13,5'$. Для привязки к шкале времени используется GPS-приемник Trimble Resolution-T.

Телескоп в настоящее время оборудован лишь одним фильтром из оптического стекла марки

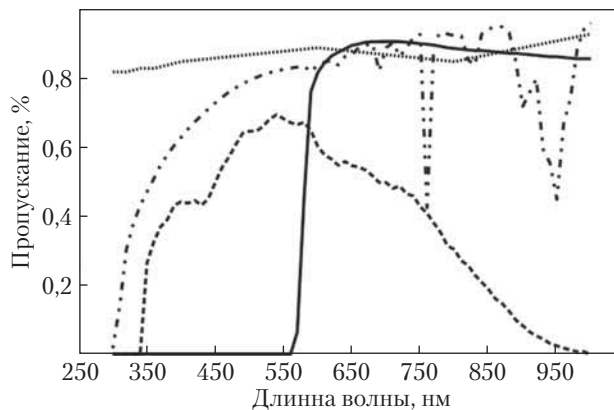


Рис. 1. Кривые отражения на алюминии (точки), пропускания атмосферы (точка-тире), чувствительности ПЗС-матрицы Alta U9000 (пунктир) и пропускания выбранного оптического фильтра ОС-14 (сплошная линия)

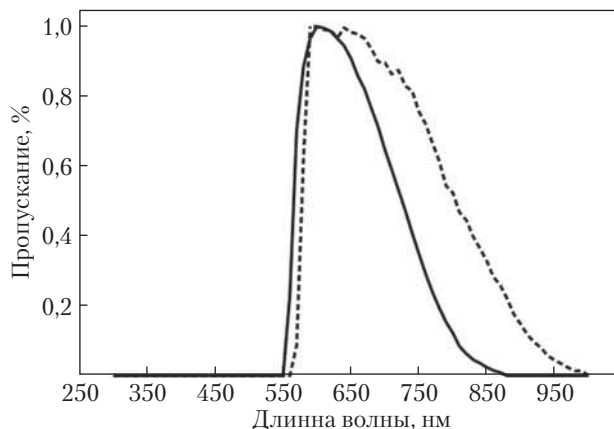


Рис. 2. Кривые пропускания фильтра R_c стандартной системы Казинса (сплошная линия) и результирующее пропускание инструментальной системы (пунктир)

ОС-14 (ГОСТ 9411-91). Фильтр обеспечивает полосу пропускания, близкую к полосе пропускания стандартного фильтра R_c системы Казинса. Кривая пропускания фильтра [7], пропускание атмосферы, отражение на алюминии и чувствительность ПЗС-камеры Alta U9000, заимствованные из технической документации, представлены на рис. 1. Нормированные кривые пропускания получившейся инструментальной полосы и фильтра R_c стандартной полосы пропускания системы Казинса [8] представлены на рис. 2.

В табл. 1 приведено сравнение характеристик инструментальной системы телескопа КТ-50 и фильтра R_c стандартной системы Казинса [9].

МЕТОДИКА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Обработка полученных изображений выполнялась программным пакетом «GAIA» (Graphical Astronomy and Image Analysis Tool, версия 4.4.6), разработанным в проекте Starlink [10]. Данное программное обеспечение работает в операционной системе Linux и позволяет использовать пользовательские скрипты. Программа выполняет редукцию фотометрических измерений блеска объектов за время экспозиции, апертуру, фактор трансформации (gain). Измерения изображений объектов и звезд сравнения выполнялись методом апертурной фотометрии.

Для обработки кадров были написаны скрипты, позволяющие автоматизировать следующие этапы процесса обработки:

- ✦ последовательное измерение блеска выбранного объекта и среднего значения фона в окрестностях объекта с различными апертурами;
- ✦ выбор апертуры и значения фона, что дают наибольшее значение SNR для уменьшения погрешности при расчете инструментальной звездной величины. Запрограммированный алгоритм для вычисления фона для каждого объекта является относительно свободным от влияния других объектов. Поправка на апертуру позволяет скорректировать все измерения за малую систематическую погрешность, зависящую от блеска объекта.

Первичное отождествление звезд на изображениях выполнялось программным пакетом «Astrometrica» [11] в опорном каталоге UCAC-4 [12]. Данный каталог содержит информацию о 5-полосной (B, V, g, r, i) фотометрии из каталога APASS (AAVSO Photometric All-Sky Survey) для более чем 50 млн звезд. Отождествленные звезды по всем кадрам идентифицировались с помощью скрипта, и только звезды, присутствующие на каждом из кадров, использовались в качестве звезд сравнения для определения блеска исследуемого объекта.

Таблица 1

Характеристики инструментальной фотометрической системы телескопа КТ-50 и фильтра R_c стандартной системы Казинса

	Инструментальная система	Фильтр R_c стандартной системы Казинса
$\lambda_{эфф}$, нм	707	641
$\Delta\lambda$, нм	224	158

РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ

Наблюдения астероида 2144 Marietta (1975 BC1) были выполнены в 2016 г. в течение шести ночей. Было получено около 200 кадров с

Таблица 2

Статистика наблюдений астероида 2144 Marietta (1975 BC1) по сериям

Дата	Количество кадров в серии	Продолжительность серии, доли часа	Средние координаты астероида в серии	
			RA, градус, мин, с	Dec, градус, мин, с
2016.07.27	14	0,39	21 11 10.73	-15 41 32.66
2016.07.28	15	0,39	21 10 24.33	-15 45 51.42
2016.07.30	10	0,25	21 08 50.09	-15 54 34.06
2016.08.02	15	0,56	21 06 25.06	-16 07 52.23
2016.08.05	73	2,14	21 03 57.47	-16 21 16.24
2016.08.06	68	1,97	21 03 09.17	-16 25 38.18

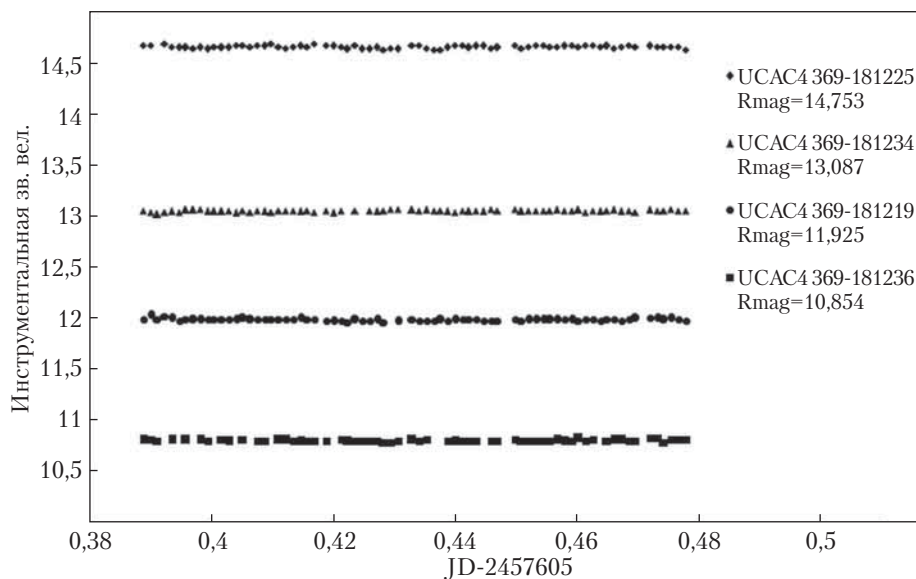


Рис. 3. Кривые блеска в инструментальной полосе для некоторых из звезд сравнения, находящихся на кадрах с исследуемым объектом, построенные по измерениям одной серии наблюдений за 04.08.2016 г.

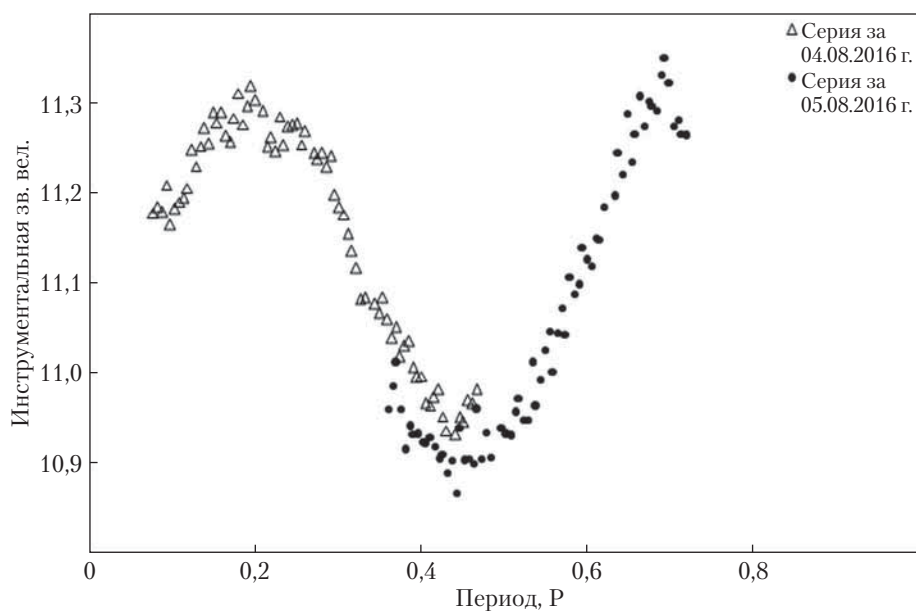


Рис. 4. Сводная кривая блеска в инструментальной полосе астероида 2144 Marietta (1975 BC1), построенная по наблюдениям 4 августа 2016 г. (светлые треугольники) и 5 августа 2016 г. (темные кружочки)

изображениями объекта и звезд сравнения. В табл. 2 приведена статистическая информация по сериям наблюдений данного астероида.

Для каждой серии наблюдений были построены кривые блеска в инструментальной полосе как для звезд сравнения, так и для исследуемого объекта. Звезды, показывающие непостоянность блеска, которая не проявлялась на других звездах сравнения для данной серии наблюдений, исключались. На рис. 3 представлен ход кривых блеска для некоторых звезд сравнения по одной из серий наблюдений.

Внутренняя погрешность определения блеска на звездах сравнения находится в диапазоне $(0,01-0,03)^m$ звездных величин для звезд $(10-15,5)^m$ звездной величины. Полученные оценки погрешностей являются достаточно высокими для телескопов с диаметром зеркала до 1 м и свидетельствуют о перспективности продолжения фотометрических наблюдений на телескопе Мобител.

На рис. 4 представлена сводная кривая блеска в инструментальной фотометрической системе для астероида 2144 Marietta (1975 BC1), построенная по двум продолжительным сериям наблюдений. Кривая покрывает полный период вращения астероида, что позволило определить период вращения астероида — 5,45 ч. Это значение хорошо согласуется с полученным в 2014 г. [13] значением периода вращения данного астероида, который составляет 5,489 ч.

Данные серии были получены при фазовых углах менее $0,5^\circ$, и видимое увеличение амплитуды изменения блеска на втором отрезке может свидетельствовать о влиянии оппозиционного эффекта.

ВЫВОДЫ

Приведены первые результаты обработки фотометрических наблюдений, выполненных на телескопе КТ-50 комплекса Мобител НИИ «НАО». В течение 2016 г. был получен массив наблюдений избранных астероидов Главного пояса. Результаты фотометрических редуций показали высокую точность измерений блеска

в инструментальной полосе, которая находится в диапазоне $(0,01-0,03)^m$ для звезд сравнения $(10-15,5)^m$, находящимся на кадре с исследуемым объектом.

Для астероида (2144) Marietta, для которого были получены продолжительные серии наблюдений, приведена кривая блеска по результатам дифференциальной апертурной фотометрии, что позволило оценить период вращения астероида. Полученное значение хорошо согласуется с оценками других авторов.

Полученные результаты показывают перспективность использования телескопа КТ-50 для проведения фотометрических наблюдений тел Солнечной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belskaya I.N. Opposition effect of asteroids. *Icarus*. 2000. No. 146. С. 490—499.
2. Терешенко И.А., Шевченко В.Г., Чорный В.Г., Круглый Ю.Н., Бельская И.Н., Гафтонок Н.М. Поведение блеска астероидов на малых фазовых углах. Результаты наблюдений. *Вісник астрономічної школи*. 2009. № 1. С. 83—87.
3. Lagerkvist C.-I., Magnusson P. Analysis of asteroid light-curves. II — Phase curves in a generalized HG-system. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. 1990. No. 86. P. 119—165.
4. Ivantsov A., Pomazan A., Kryuchkovskiy V., Gudkova L. Results of observations of selected asteroids at the new telescope Mobitel of NAO in 2011-12. *Odessa Astronomical Publications*. 2012. No. 1. P. 66—68.
5. Pomazan A.V., Maigurova N.V. Optical observations of the selected asteroids with measurable Yarkovsky effect. *Advances in Astronomy and Space Physics*. 2013. No. 2. P. 113—115.
6. Шульга А.В., Козырев Е.С., Сибирякова Е.С., Халодлей М.И., Чернозуб В.М. Мобильный комплекс телескопов НИИ НАО для наблюдений объектов околоземного космического пространства. *Космічна наука і технологія*. 2012. № 4. С. 70—76.
7. Стекло оптическое цветное. Технические условия: ГОСТ 9411-91. [Действителен с 1993-01-01]. Москва: Издательство стандартов, 1992. 49 с.
8. Страйжис В.Л. Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс: Мокслас, 1977. 312 с.
9. Bessell M. Standard Photometric Systems. *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*. 2005. No. 43. P. 293—336
10. Disney M.J., Wallace P.T. STARLINK. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*. 1982. No. 23. P. 485.

11. Astrometrica. URL: <http://www.astrometrica.at>
12. Zacharias N., Finch C., Girard T., Henden, A., Bartlett, J.L., Monet, D.G., Zacharias, M.I. The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4). *The Astronomical Journal*. 2013. No. 145. P. 44.
13. Arredondo A., Hartt A., Yazdi S. Rotation Periods and R Magnitudes of Three Koronis Family Members. *Minor Planet Bulletin*. 2014. No. 41. P. 252–254.

REFERENCES

1. Belskaya I.N., Shevchenko V.G. Opposition effect of asteroids. *Icarus*. 2000. 146: 490–499.
2. Tereschenko I.A., Shevchenko V.G., Chiorny V.G., Kruglyj Ju.N., Bel'skaja I.N., Gaftonjuk N.M. Povedenie bleska asteroidov na maliyh fazoviyh uglah. Rezul'taty nablyudeny. *Visnyk astronomichnoyi shkoly* (Astronomical school's report). 2009. 6(1): 83–87 [in Russian].
3. Lagerkvist C.-I., Magnusson P. Analysis of asteroid light-curves. II – Phase curves in a generalized HG-system. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. 1990. 86: 119–165.
4. Ivantsov A., Pomazan A., Kryuchkovskiy V., Gudkova L. Results of observations of selected asteroids at the new telescope Mobitel of NAO in 2011-12. *Odessa Astronomical Publications*. 2012. 25(1): 66–68.
5. Pomazan A.V., Maigurova N.V. Optical observations of the selected asteroids with measurable Yarkovsky effect. *Advances in Astronomy and Space Physics*. 2013. 3(2): 113–115.
6. Shulga A.V., Kozyrev E.S., Sibiryakova E.S., Halelej M.I., Chernozub V.M. Mobil'niy complex telescopov NII NAO dlya nablyudenyi ob'ectov okolozemnogo kosmicheskogo prostranstva. *Kosmichna nauka i tehnologiya* (Space science and technology). 2012. 18(4): 70–76 [in Russian].
7. *Steklo opticheskoe cvetnoe*. Tehnicheskie usloviya: GOST 9411-91. [Deystvitelen s 1993-01-01]. Moskva: Izdatel'stvo standartov, 1992 [in Russian].
8. Strayzys V.L. (ed.). *Multicolor stellar photometry*. Vilnius: Mokslas, 1977 [in Russian].
9. Bessell M.S., Standard Photometric Systems. *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*. 2005. 43(1). 293–336.
10. Disney M.J., Wallace P.T. STARLINK. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*. 1982. 23: 485
11. *Astrometrica* [Electronic resource] <http://www.astrometrica.at>
12. Zacharias N., Finch C., Girard T., Henden, A., Bartlett, J.L., Monet, D.G., Zacharias, M.I. The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4). *The Astronomical Journal*. 2013. 145: 44.
13. Arredondo A., Hartt A., Yazdi S. Rotation Periods and R Magnitudes of Three Koronis Family Members. *The Minor Planet Bulletin*. 2014. 41: 252–254.

A.V. Pomazan, N.V. Maigurova

Research Institute «Mykolaiv Astronomical Observatory»,
1, Observatorna Str., Mykolaiv, 54030, Ukraine,
tel. +38 (0512) 47-70-14

THE FIRST RESULTS OF THE PHOTOMETRIC OBSERVATION OF SELECTED ASTEROIDS ON KT-50 TELESCOPE OF MOBITEL COMPLEX OF RI «MAO»

The first results of the photometric observations of asteroids performed on the telescope KT-50 of Mobitel complex (RI «MAO») during 2016 are presented in the paper. Asteroids were selected based on the infrared survey NEOWISE, moving objects catalog SDSS MOC-3 and MPC database. Selected asteroids have a relatively high albedo ($pV > 0.2$) and are located in the Outer Main Belt (semi-major axis $a > 0.28$ a.u.). The observations were made using filter close to the R_c standard band of Cousins system. Standard deviations of the instrumental differential magnitude measurements were in the range of $0.01^m - 0.03^m$ for a $10^m - 15.5^m$ reference stars. The light curve based on the results of the differential aperture photometry was obtained from long series of observations of the asteroid (2144) Marietta.

Keywords: asteroids, photometric observations, light curves, phase-magnitude dependencies.

A.B. Помазан, Н.В. Майгурова

Науково-дослідний інститут
«Миколаївська астрономічна обсерваторія»,
вул. Обсерваторна, 1, Миколаїв, 54030, Україна,
тел. +38 (0512) 47-70-14

ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ ФОТОМЕТРИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ОБРАНИХ АСТЕРОЇДІВ НА ТЕЛЕСКОПІ КТ-50 КОМПЛЕКСУ МОБІТЕЛ НДІ «МАО»

У статті наведено перші результати фотометричних спостережень астероїдів, виконаних на телескопі КТ-50 комплексу Мобітел (НДІ «МАО») у 2016 р. Астероїди були обрані на основі аналізу інфрачервоного огляду NEOWISE, каталогу рухомих об'єктів SDSS MOC-3 і бази даних MPC. Обрані астероїди мають відносно високе альbedo ($pV > 0,2$) і розташовані у зовнішній частині головного поясу астероїдів (велика піввісь $a > 0,28$). Спостереження проводилися в фільтрі, близькому до стандартної смуги R_c системи Казінса. Стандартні відхилення вимірювання інструментальної величини знаходяться в діапазоні $(0,01 - 0,03)^m$ для опорних зірок $(10 - 15,5)^m$. Для астероїда (2144) Марієтта, для якого були отримані тривалі серії спостережень, наводиться крива блиску за результатами диференціальної апертурної фотометрії.

Ключові слова: астероїди, спостереження, фотометрія, криві блиску, фазові залежності блиску.

Стаття надійшла до редакції 21.10.16